BAUWESEN

WISSEN

Heinrich Otto Buja

Ingenieurhandbuch Bergbautechnik

Lagerstätten und Gewinnungstechnik

Beuth

Ingenieurhandbuch Bergbautechnik

7541014/10787806875Biblio

Dipl.-Berg-Ing. Heinrich Otto Buja

Ingenieurhandbuch Bergbautechnik

Lagerstätten und Gewinnungstechnik

1. Auflage 2013

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

7541014/10787806875Biblio

© 2013 Beuth Verlag GmbH
Berlin · Wien · Zürich
Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0
Telefax: +49 30 2601-1260
Internet: www.beuth.de
E-Mail: info@beuth.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronischen Systemen.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Titelbild: ullstein bild – Schellhorn
Satz: B & B Fachübersetzergesellschaft mbH, Berlin
Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706.

ISBN 978-3-410-22618-5
ISBN (E-Book) 978-3-410-22619-2

7541014/10787806875Biblio

Vorwort

Die Erschließung (Prospektion) und Gewinnung (Förderung) von Rohstoffen aus den Lagerstätten sind Tätigkeitsbereiche des Bergbaus und der bergbaunahen Betriebe, wobei hierzu auch die Aufbereitung bestimmter Rohstoffe wie Kohle, Erze, Erdöl, Salze, Gesteine und Erden gehören.

Dem Bergbau zugehörig sind auch die Bergakademien (z. B. in Freiberg und Clausthal-Zellerfeld) sowie die Bergbehörden.

Der dem Bergbau zugeordnete Abbau erfolgt

- bei oberflächennahen Lagerstätten im Tagebau und
- bei tieferliegenden Lagerstätten im Untertagebau.

Der deutsche Bergbau war und ist die Grundlage für den industriellen und wirtschaftlichen Aufstieg Deutschlands.

Ein großer Teil der Bevölkerung (politische Kreis nicht ausgenommen) versteht leider unter Bergbau lediglich die Gewinnung von Erzen, Kohle und Salz und verbinden dies mit Fördertürmen und riesigen Schaufelradbaggern.

Dieses Buch soll zum einen ein Fachbuch sein und zum anderen dazu beitragen, den Bergbau aus einem anderen Blickwinkel zu sehen. Hierzu ein Ausschnitt zum Vorwort aus der Fachzeitschrift „Glückauf“ (10/2008) von Dr.-Ing. Norbert Schächter, Geschäftsführer der Vereinigung Rohstoffe und Bergbau e. V.:

„Da der Steinkohlenbergbau im Bewusstsein vieler Menschen in Deutschland und auch in weiten Kreisen der Politik gleichgesetzt wird mit dem Bergbau schlechthin, scheint es vielen so, als würde das Land in wenigen Jahren bergbaufrei sein.

Das häufig zitierte Wort – Deutschland ist ein rohstoffarmes Land – trägt zu diesem Eindruck wesentlich bei. Dabei geht diese Aussage, so pauschal wie sie ist, völlig an der Realität vorbei. Weltweit führend ist die Braunkohlengewinnung, die damit einen kostengünstigen und in ausreichender Menge auch weit in die Zukunft vorhandenen heimischen Energieträger darstellt. Die heimische Versorgung vermindert die Importabhängigkeit und die Umweltbeeinträchtigung durch eine Verringerung von energieaufwändigen Transportwegen.

Die seit dem Jahr 2003 anhaltende und nach Auffassung vieler Experten noch weiter in die Zukunft zu projizierende Hochpreisphase bei metallischen Rohstoffen hat deutsche, aber auch ausländische Unternehmen bewogen, die Neubewertung bekannter Metallerzlagerstätten beispielsweise in Sachsen durchzuführen.

Das sächsische Oberbergamt hat bereits eine Reihe von Erlaubnissen zur Exploration erteilt. Kupfer, Zinn, Zink, Wolfram, Molybdän sind u. a. die Zielminerale in diesen Projekten.“

Durch modernste Bohr- und Fördertechnik wird versucht, den Anteil der Gewinnung von Rohöl und Gas in Deutschland zu steigern. Die deutsche Gasförderung deckte 2010 z. B. 20 % des Gesamtverbrauchs.

7541014/10787806875Biblio

Deutschland werden jährlich ca. 0,8 Mrd. Tonnen mineralischer Rohstoffe aus heimischen Lagerstätten von ca. 4.000 rohstoffgewinnenden Unternehmen mit 220.000 Beschäftigten direkt und 500.000 damit in Zusammenhang stehenden Beschäftigten gewonnen.

Die Ausfuhr von wichtigen Rohstoffen wie Salz, Kalisalz, Quarzsand (z. B. 12,8 Mio. t), Zement, Ton, Kaolin u. a. mehr trägt nicht unwesentlich am Exportüberschuss der BRD bei.

Buchinhalt: Neben den Grundlagen der Geologie und der Sprengtechnik werden die Erkundung (Exploration) der Lagerstätten, die Förderung bzw. Gewinnung der Rohstoffe mit modernster Technologie ausführlich beschrieben. Weitere Themen sind die zurzeit sehr aktuellen Themen Geothermie, die Untertagespeicherung von Erdöl und Erdgas sowie die Speicherung von CO_2 im Untergrund. Auch das schwere Unglück auf der Bohrplattform Deepwater Horizon im Golf von Mexiko wird ausführlich behandelt.

Das Buch richtet sich an Studierende der Universitäten/Bergakademien (z. B. Freiberg, Clausthal) und Universitäten mit einem Studiengang Bergbau (z. B. Aachen, Bochum, Dortmund, Essen), ferner an Studierende mit einer Studienvertiefung in Tunnelbau, Industrietechnik und Geotechnik, Fachhochschulen und Fachschulen für Rohstoffgewinnung und -technologie sowie Ingenieurbüros und Unternehmen des Bergbaus, die Bergbehörden, die Bergbauzulieferindustrie, die Geräte- und Maschinenhersteller der Bergbautechnik, aber auch an technisch interessierte Leser.

Murrhardt im Januar 2013
Heinrich Otto Buja

7541014/10787806875Biblio

Inhaltsverzeichnis

Seite

A Deutschland und der Bergbau ... 1

1 Historische Entwicklung der Bergbauregionen ... 1

1.1 Bergbau im Siegerland ... 1
1.1.1 Anfänge in der La-Tène-Zeit und Entwicklung ... 1
1.1.2 Industrialisierung und Blütezeit ... 2

1.2 Oberharzer Bergbau ... 3
1.2.1 Historische Entwicklung ... 4
1.2.2 Bergbauperiode im Mittelalter ... 4
1.2.3 Bergbau bis zur Industriellen Revolution ... 5
1.2.4 Letzte Betriebsphase bis zur Einstellung ... 5

1.3 Bergbau im Erzgebirge ... 5
1.3.1 Historische Entwicklung im Osterzgebirge ... 5
1.3.2 Uranabbau im Westerzgebirge ... 7
1.3.3 Beginn von Erkundung und Abbau ... 7
1.3.4 SMAD (SAG) Wismut ... 8
1.3.5 SDAG Wismut (1954 bis 1991) ... 8
1.3.6 Gesamtproduktion und Bilanz ... 9

1.4 Steinkohle im Ost- und Westerzgebirge ... 10
1.4.1 Reviere ... 10
1.4.2 Plauenscher Grund ... 10
1.4.3 Kohlereviere Zwickau/Lugau/Ölsnitz ... 12

1.5 Braunkohlenreviere in Deutschland ... 13
1.5.1 Reviere ... 13
1.5.2 Rheinisches Braunkohlenrevier ... 13
1.5.3 Großtagebaue ... 18
1.5.4 Braunkohlenreviere im Osten Deutschlands ... 18

1.6 Salz- und Kalireviere ... 21
1.6.1 Wichtigste Salzbergwerke ... 21
1.6.2 Entwicklung der Salzgewinnung ... 22
1.6.2.1 Salzgewinnung aus salzhaltigen Wässern ... 22
1.6.2.2 Salzbergbau 500 Jahre v. Chr. ... 23
1.6.2.3 Wege des Salzes ... 23
1.6.2.4 Salzstraßen – die ältesten Handelswege ... 24
1.6.2.5 Obrigkeit und das Salz ... 25
1.6.2.6 Steinsalzlager im Heilbronner Raum ... 25
1.6.2.7 Salzgewinnungen in Berchtesgaden ... 25
1.6.2.8 Salzgewinnungen in Bad Reichenhall ... 25
1.6.3 Kalibergbau an Werra und Ulster ... 25

1.7 Ruhrgebiet ... 28
1.7.1 Historische Entwicklung ... 28
1.7.2 Druckluft-, Dampf- und Pferdekraft ... 28

7541014/10787806875Biblio

Seite

1.7.3 Schlagwetterexplosionen ... 30
1.7.4 Schwerer Unfall beim Abteufen eines neuen Schachtes ... 31
1.7.5 Besonderheit auf der Zeche Auguste-Victoria Schacht 4 ... 32
1.7.6 Große Vorräte, hohe Förderpreise ... 32
1.7.7 Anthrazit-Steinkohle in Ibbenbüren ... 32

1.8 Bergbaurevier Saarland ... 33
1.8.1 Historische Entwicklung ... 33
1.8.2 Saarbergbau unter französischer Verwaltung 1793 bis 1815 ... 33
1.8.3 Saarbergbau in preußischer Verwaltung 1815 bis 1919 ... 33
1.8.4 Nach dem Ersten Weltkrieg ... 34
1.8.5 Nach dem Zweiten Weltkrieg ... 34
1.8.6 Abbaustopp wegen starker Bergschäden 2008 ... 35

1.9 Abbau von Kaolin ... 36
1.9.1 Verwendung ... 36
1.9.2 Besonderheit beim Kaolinabbau ... 37

1.10 Tonbergbau ... 37
1.10.1 Vorkommen ... 37
1.10.2 Tonbergbauregion Westerwald ... 37
1.10.3 Tonbergbauregion Lauenburg ... 39

1.11 Bentonit-Bergbau ... 40
1.11.1 Eigenschaften ... 40
1.11.2 Vorkommen ... 40
1.11.3 Verwendung ... 41

1.12 Feldspatabbau ... 41

1.13 Klebsandgewinnung ... 41

1.14 Quarzsand ... 41
1.14.1 Historisches ... 42
1.14.2 Verwendung ... 42
1.14.3 Quarzabbau im Raum Haltern ... 42
1.14.4 Historische Entwicklung ... 43

1.15 Kieselerde ... 43

1.16 Quarzit ... 44

1.17 Schwerspat und Flussspat ... 45

1.18 Schieferbergbau ... 46
1.18.1 Ölschiefergewinnung ... 46
1.18.2 Weitere Schiefertonvorkommen ... 46

1.19 Kies- und Sandgewinnung ... 46

1.20 Sandstein ... 46
1.20.1 Verwendung ... 47
1.20.2 Bekannte Sandsteinsorten ... 47

1.21 Kalksteine ... 47
1.21.1 Vorkommen ... 48

1.22 Basalt ... 48

7541014/10787806875Biblio

Seite

1.22.1 Vorkommen ... 48
1.22.2 Verwendung ... 49
1.23 Erdöl und Erdgas in Deutschland ... 49
1.24 Torf ... 50
1.24.1 Historische Entwicklung ... 50
1.24.2 Heutige wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung ... 51
1.25 Kies- und Sandgewinnung ... 52
1.26 Bedeutung der Rohstoffe für Deutschland ... 53

B Grundlagen der Geologie ... 55
1 Aufbau der Erdkruste ... 55
2 Tektonik ... 57
2.1 Störungs- oder Bruchtektonik ... 57
2.1.1 Faltentektonik ... 57
2.1.2 Überschiebungstektonik ... 57
3 Erdgeschichtliche Untergliederung ... 58
3.1 Erdaltertum (Paläozoikum) ... 58
3.2 Erdmittelalter (Mesozoikum) ... 58
3.3 Erdneuzeit (Känozoikum) ... 59
4 Aufbau des Erdkörpers ... 62
4.1 Erdkruste ... 62
4.1.1 Exogene (äußere) Kräfte ... 62
4.1.2 Endogene (innere) Kräfte ... 64
5 Festgesteine ... 65
5.1 Tiefen- und Ganggesteine ... 66
5.2 Ergussgesteine oder Vulkanite ... 67
5.2.1 Wichtige Vulkangesteine ... 68
5.3 Schichtgesteine ... 69
5.3.1 Mechanische Schichtgesteine ... 69
5.3.2 Verfestigte Trümmergesteine ... 70
5.3.3 Verschiedene Trümmergesteine ... 71
5.3.4 Chemische Schichtgesteine ... 74
5.3.5 Organische Schichtgesteine ... 74
5.3.6 Umwandlungsgesteine ... 75
5.4 Gesteinsbildende Mineralien ... 75
5.5 Lagerungsformen der Erstarrungsgesteine ... 77
5.6 Lagerungsformen der Schichtgesteine (Tektonik) ... 77
5.6.1 Schichtenbiegungen (Falten) ... 78
5.6.2 Schichtenzerreißungen (Verwerfungen) ... 79

7541014/10787806875Biblio

Seite

6 Böden (Lockergesteine) ... 81
6.1 Ursprung ... 81
6.2 Einteilung der Böden ... 82
7 Grundwasser und Quellen ... 84
7.1 Wasserkreislauf ... 84
7.2 Grundwasser ... 85
7.3 Quellen ... 86

C Grundlagen der Mineralogie ... 89
1 Faszination Mineralien ... 89
2 Entstehung ... 89
2.1 Physikalische Eigenschaften ... 90
2.2 Magnetische Eigenschaften ... 93
2.3 Elektrische Eigenschaften ... 93
2.4 Wichtige Minerale ... 93
2.4.1 Metalle ... 93
2.4.2 Metalloide und Nichtmetalle ... 94
2.4.3 Sulfide ... 96
2.4.4 Haloidsalze ... 103
2.4.5 Salze der sauerstoffhaltigen Säuren ... 104
2.4.6 Edelsteine ... 105

D Exploration ... 107
1 Definitionen ... 107
2 Aufgaben der Bodenerkundung ... 107
3 Umfang der Bodenuntersuchungen ... 108
4 Einfache Verfahren ... 109
4.1 Auskunftsverfahren ... 109
4.2 Geologische Karten ... 109
4.3 Auskünfte von Nachbarn ... 110
4.4 Boden- und Wasserverhältnisse anzeigende Pflanzen ... 110
4.4.1 Wasser anzeigende Pflanzen ... 110
4.4.2 Pflanzen, die Bodenarten anzeigen ... 111
4.4.3 Bedeutung der Ingenieurbiologie ... 111
4.4.4 Rutengänger ... 111
4.4.5 Schürfgruben ... 112
4.4.6 Handbohrer und Schlitzsonden ... 113

7541014/10787806875Biblio

Seite

5 Weiterführende Verfahren ... 114
5.1 Bohrungen ... 114
5.1.1 Spülbohrungen ... 114
5.1.2 Kernbohrungen ... 114
5.1.3 Seilkernbohrtechnik ... 114
5.1.4 Bohrverfahren ... 115
5.2 Bohrgeräte ... 116

6 Sondierungen ... 119
6.1 Rammsondierungen ... 119
6.2 Drucksondierungen ... 120

7 Explorationsbohrungen ... 121
7.1 Klassifikation der Erdöl- und Erdgasbohrungen ... 122
7.2 Bohraktivitäten ... 123

8 Geowissenschaftliche Untersuchungen ... 123
8.1 Seismische Untersuchungen ... 123
8.2 Erdmagnetische Messungen ... 125
8.3 Gravimetrische Verfahren (Schweremessungen) ... 125
8.4 Geologische Auswertung ... 126
8.5 Auswertungen der Messergebnisse ... 126
8.6 Folgerungen bezüglich der Gasart ... 127

9 Exploration in den Steinkohlenlagerstätten ... 128
9.1 Lagerstättenkenntnis ... 128
9.2 Exploration über Tage ... 128
9.3 Exploration unter Tage ... 129
9.3.1 Sondervermessungen ... 129
9.3.2 Stereo-Photogrammetrie ... 129
9.4 Bohrtechniken unter Tage ... 129
9.4.1 Horizontalbohrtechnik im Gestein ... 130
9.4.2 Horizontalbohrtechniken in der Kohle ... 130
9.4.3 Vertikalbohrtechnik ... 130
9.4.4 Seismik ... 130
9.4.5 Flözwellenseismik ... 130
9.5 Bedeutung der Exploration ... 131

10 Bohrtechnik ... 131
10.1 Bohrungsarten ... 132
10.1.1 Bohrungen auf Erdöl und Erdgas ... 132
10.1.2 Bohrungen im Bergbau, Tunnel- und Stollenbau ... 133
10.1.3 Bohrungen für Bergbau, Kalk- und Zementindustrie ... 134
10.1.4 Bohrungen für die Wasserversorgung, Brunnenbau ... 136

7541014/10787806875Biblio

Seite

E Grundlagen der Sprengtechnik ... 139

1 Heutige Bedeutung ... 139

2 Sprengtechnische Grundbegriffe ... 140

2.1 Deflagration und Detonation ... 140

2.2 Empfindlichkeit von Sprengstoffen ... 140

3 Sprengstoffe ... 141

3.1 Einteilung der Sprengstoffe ... 141

3.2 Pulversprengstoffe ... 141

3.3 Brisante Gesteinssprengstoffe ... 142

3.4 Wettersprengstoffe ... 143

3.4.1 Begriffsbestimmung ... 143

3.4.2 Ursachen der Schlagwetter- und Kohlenstaubzündung ... 144

3.4.3 Wichtige Vorgaben für die Sprengarbeit ... 146

3.4.4 Sicherheitsrelevante Hinweise ... 147

4 Zündmittel ... 147

4.1 Sprengkapseln ... 147

4.2 Aufbau der Sprengkapseln ... 147

4.3 Handhabungssicherheit der Sprengkapseln ... 148

4.3.1 Vergleich zwischen Kupfer- und Aluminiumkapseln ... 148

4.3.2 Zündschnur und Sprengschnur ... 149

4.3.3 Verbindung mit der Sprengkapsel ... 150

4.3.4 Anzünden der Zündschnur ... 150

4.4 Elektrische Zünder ... 153

4.4.1 Zündsatz ... 154

4.4.2 Brückenzünder ... 154

4.4.3 Nichtscharfe Zünder ... 154

4.4.4 Scharfe Momentzünder ... 155

4.4.5 Halbsekundenzünder ... 155

4.4.6 Millisekundenzünder ... 155

4.4.7 Zünderdrähte ... 156

4.5 Elektrische Zündanlagen ... 157

4.5.1 Nebenschlüsse und Streuströme ... 157

4.5.2 Schaltungsweisen ... 158

4.5.3 Sprengleitungen ... 160

4.5.3.1 Ausführung und Verlegung der Leitungen ... 160

4.5.3.2 Verbindung der Leitungen ... 160

4.5.3.3 Stromquellen ... 162

4.5.3.4 Prüfgeräte für elektrische Zündanlagen ... 167

5 Lagern und Bewirtschaften von Sprengmitteln ... 168

7541014/10787806875Biblio

Seite

6 Ausführung der Sprengarbeit ... 169
6.1 Patronen ... 169
6.2 Besetzen ... 169
6.3 Vorgabe und Lademenge ... 171
6.4 Hohlraumsprengen ... 173
6.5 Kombiniertes Sprengen ... 174
6.6 Sprengarbeit beim Auffahren von Strecken ... 174
6.6.1 Grundformen der Einbrüche ... 175
6.6.2 Abarten dieser Einbrüche ... 177
6.7 Sprengstofftransport ... 187
6.8 Sprengmittellagerung ... 187
6.8.1 Übertagelagerung ... 187
6.8.2 Untertagelagerung ... 188
6.9 Sprengarbeit im Kali- und Steinsalzabbau ... 189
6.9.1 Sprengverfahren in kammerartigen Abbauräumen ... 190
6.9.2 Kali- und Steinsalzbergbau ... 190
6.9.3 Anwendungsbeispiel für den Erzbergbau ... 191

7 Sprengverfahren im Tagebau ... 193
7.1 Besondere Probleme bei Übertagesprengungen ... 193
7.2 Anforderungen an das Sprengergebnis ... 194
7.3 Sonstige Anforderungen ... 195
7.4 Begriffe und Techniken ... 196
7.4.1 Begriffe ... 196
7.4.2 Großbohrlochsprengungen ... 198
7.4.3 Sprengtechnische Begriffe ... 200
7.4.4 Abschlaglänge ... 204
7.5 Sondersprengungen ... 205
7.5.1 Rundholzsprengungen ... 205
7.5.2 Stahlsprengungen ... 206

8 Anmerkung ... 206

F Gewinnung der Rohstoffe ... 207

Fl Lagerstätten ... 209

1 Allgemeines ... 209

2 Einteilung der Lagerstätten ... 210
2.1 Gliederung nach Inhalt und Entstehung ... 210
2.2 Kennzeichnung nach der äußeren Form ... 211
2.3 Schlussbemerkung ... 214

7541014/10787806875Biblio

Seite

Fst Bergbau auf Steinkohle ... 217

1 Entstehung der Steinkohle ... 217

2 Steinkohlenvorräte in Deutschland ... 219

3 Noch tätige Bergbaubetriebe ... 219

4 Errichtung einer Schachtanlage ... 225

4.1 Aus- und Vorrichtung ... 226

4.2 Herstellen der Schächte ... 227
4.2.1 Schachtansatzpunkt ... 228
4.2.2 Bedeutung der Lagerungs- und Betriebsverhältnisse ... 228
4.2.3 Verhältnisse über Tage ... 228
4.2.4 Grubenfeld- und Betriebsgröße ... 228
4.2.5 Größe des Schachtquerschnitts von Förderschächten ... 229
4.2.6 Größe des Schachtquerschnitts bei Wetterschächten ... 230

4.3 Abteufen von Hauptschächten ... 231
4.3.1 Gewöhnliche Abteufverfahren ... 232
4.3.1.1 Abteufen von Tagesschächten ... 232
4.3.1.2 Bohren und Sprengen ... 233
4.3.1.3 Abschlaglänge ... 234
4.3.1.4 Sprengarbeiten ... 235
4.3.1.5 Ladearbeit ... 236
4.3.1.6 Wanddrehkran ... 237
4.3.1.7 Fördergefäße ... 238
4.3.1.8 Führung und Entleeren der Kübel ... 240
4.3.1.9 Vorläufiger Ausbau ... 241
4.3.1.10 Wasserhaltung ... 242
4.3.1.11 Bewetterung ... 243
4.3.1.12 Beleuchtung ... 243
4.3.1.13 Fahrung ... 243
4.3.2 Herstellen von Schächten im Gefrierverfahren ... 245
4.3.2.1 Grundlagen ... 245
4.3.2.2 Anordnung und Herstellung der Gefrierlöcher ... 246
4.3.2.3 Gefrier- und Fallrohre ... 247
4.3.2.4 Kreislauf – Kältemittel, Kühlwasser und Kälteträger ... 248
4.3.3 Wasserdichter Tübbing-Schachtausbau ... 249
4.3.3.1 Deutsche Tübbing-Bauweise ... 249
4.3.3.2 Einbau der Tübbings ... 250
4.3.4 Sonstiger Schachtausbau ... 252
4.3.5 Abteufen von Blindschächten ... 252

4.4 Ausrichtung vom Schacht aus ... 256
4.4.1 Sohlenbildung ... 256
4.4.2 Einsohlenbau ... 257
4.4.3 Mehrsohlenbau ... 257
4.4.4 Sohlenabstand ... 258

7541014/10787806875Biblio

Seite

4.4.5 Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit ... 258
4.4.6 Einfluss der Kohlenfrontlänge ... 258

4.5 Ausrichtung in der Sohlenebene ... 259
4.5.1 Richtstrecken ... 259
4.5.2 Querschläge ... 259
4.5.3 Abstand der Querschläge ... 260

4.6 Herstellen Ausrichtungsbaue ... 261
4.6.1 Auffahren mit Bohr- und Sprengarbeit ... 261
4.6.2 Füllort ... 263
4.6.2.1 Ausrüstung ... 263
4.6.2.2 Auffahren der Füllörter ... 264
4.6.3 Auffahren der Gesteinsstrecken ... 266
4.6.3.1 Streckenausbau ... 266
4.6.3.2 Vortriebsverfahren in Gesteinstrecken ... 267
4.6.3.3 Verwendung von Spritzbeton im Streckenvortrieb ... 273
4.6.3.4 Anker und ihre Wirkungsweise ... 274
4.6.3.5 Bauformen von Ankern ... 276
4.6.3.6 Bohrtechnik ... 278
4.6.3.7 Laden, Besetzen, Sprengen ... 289
4.6.3.8 Lüften ... 292
4.6.3.9 Laden und Transportieren des Haufwerks (Schuttern) ... 295
4.6.4 Spritzbeton ... 300

4.7 Auffahren der Querschläge ... 304
4.7.1 Abstand der Querschläge und Größe der Bauabteilungen ... 305
4.7.2 Einfluss von Störungen auf den Querschlagabstand ... 306
4.7.3 Lage der Querschläge auf der Förder- und Wettersohle ... 307
4.7.4 Auffahren der Querschläge ... 308
4.7.5 Auffahren der Flözstrecken ... 310
4.7.5.1 Nachreißen des Hangenden oder Liegenden ... 311
4.7.5.2 Nachgeführte Abbaustrecken ... 311
4.7.5.3 Vorgesetzte Abbaustrecken ... 312
4.7.5.4 Ausmaß des Vorsetzens von Abbaustrecken ... 312
4.7.5.5 Kostenvergleiche ... 312
4.7.5.6 Auffahrtechniken ... 312
4.7.5.7 Betriebsablauf und Belegung ... 313
4.7.6 Aufhauen und Abhauen ... 314
4.7.6.1 Herstellen von Auf- und Abhauen ... 314
4.7.6.2 Herkömmliche Herstellung ... 315
4.7.6.3 Neuzeitliche Herstellung eines Aufhauens ... 316

5 Streb ... 322

5.1 Gewinnung ... 323
5.1.1 Kettenstegförderer (Panzerförderer) ... 324
5.1.2 Schälende Gewinnung mit dem Kohlenhobel ... 327
5.1.3 Schneidende Gewinnung mit dem Walzenschrämlader ... 332
5.1.3.1 Entwicklungen in der schneidenden Gewinnung ... 332

7541014/10787806875Biblio

Seite

5.1.3.2 Bedüsungen an Walzenschrämladern ... 333
5.1.4 Ausbau ... 337
5.1.4.1 Schildvortriebssysteme ... 337
5.1.4.2 Belegung der Gewinnungs- und Streckenbetriebe ... 340

5.2 Transportsysteme im Steinkohlenbergbau ... 341
5.2.1 Entwicklung der Gurtförderer und der Komponenten ... 342
5.2.2 Bandspannstationen ... 344
5.2.3 Bandspeicheranlagen ... 344
5.2.4 Personenfahrung auf Gurtförderern ... 345
5.2.5 Gleisgebundene Streckenfördertechnik ... 346
5.2.6 Grubenlokomotiven ... 347
5.2.6.1 Diesellokomotiven ... 347
5.2.6.2 Elektrolokomotiven ... 348
5.2.6.3 Materialwagen ... 349
5.2.6.4 Förderwagen ... 349
5.2.6.5 Personenbeförderungen ... 350
5.2.6.6 Einschienen-Hängebahnen mit Seilantrieb ... 351
5.2.6.7 Einschienen-Hängebahnen mit Eigenantrieb ... 352
5.2.6.8 Dieselkatzen – wichtigstes Transportsystem im Vor-Ort-Transport ... 352
5.2.6.9 Rangier- und Steigkatzen ... 353
5.2.6.10 Schienenflurbahnen ... 354
5.2.6.11 Besonderer Einsatz einer Einschienen-Hängebahn ... 355
5.2.6.12 Transportsysteme von der Gewinnung zu Tage ... 358

6 Bewetterung ... 359

6.1 Begriffsbestimmungen ... 359

6.2 Zweck der Grubenbewetterung ... 360

6.3 Luftbedarf für die Atmung ... 360

6.4 Auftreten und Beseitigung nicht atembarer Gase ... 360

6.5 Wetterbedarf ... 361

6.6 Auftreten von Grubengas ... 361
6.6.1 Entstehung von Grubengas ... 361
6.6.2 Vorkommen von Grubengas ... 362
6.6.3 Schlagwetterexplosionen ... 362
6.6.4 Entstehungsursachen der Schlagwetterexplosionen ... 363
6.6.5 Mittel und Geräte zur Erkennung von Grubengas ... 363
6.6.6 Letzte Schlagwetterexplosionen ... 366
6.6.7 Verhütung bzw. Bekämpfung von Schlagwetterexplosionen ... 366
6.6.8 Wetterkühlung – Maßnahmen ... 367

6.7 Wetterbewegung und Wetterführung ... 375
6.7.1 Wetterstrom ... 375
6.7.2 Saugende und blasende Bewetterung ... 375
6.7.3 Aufsteigende und abfallende Bewetterung ... 376
6.7.4 Künstliche Wetterbewegung mit Hilfe von Lüftern ... 379
6.7.4.1 Schraubenlüfter ... 379

7541014/10787806875Biblio

Seite

6.7.4.2 Schleuderlüfter ... 381
6.7.4.3 Zusatzlüfter ... 381
6.7.5 Verteilung der Wetter in den Grubenbauen ... 382
6.7.6 Maßnahmen zur Führung der Wetterströme ... 384
6.7.7 Wettertüren ... 384
6.7.8 Bewetterung in der Aus- und Vorrichtung ... 386
6.7.8.1 Sonderbewetterung ... 386
6.7.8.2 Blasende und saugende Bewetterung ... 386
6.7.8.3 Betrieb von Sonderbewetterungsanlagen ... 387
6.7.8.4 Luttenarten ... 388
6.8 Wasserhaltung ... 389

7 Grubensicherheit und Grubenwehr ... 389
7.1 Selbstretter ... 390
7.2 Grubenrettungswesen ... 390
7.2.1 Entwicklung ... 390
7.2.2 Aufgaben der Grubenwehr ... 391
7.2.3 Ausbildung ... 391
7.2.4 Tauchausbildung ... 392
7.2.5 Ausrüstung ... 392
7.2.6 Organisation ... 393

8 Bergschäden ... 394

Fs Bergbau auf Salz ... 399

1 Entstehung von Kali und Salz ... 399

2 Kali-Lagerstätten in Deutschland ... 401
2.1 Abbauverfahren ... 401
2.2 Gewinnungstechnik ... 403

3 Werra-Fulda-Kalirevier ... 405
3.1 Entwicklung im Werra-Kalirevier ... 405
3.2 Lagerstätte ... 406
3.3 Abbauverfahren ... 407
3.4 Größe der Abbaukammern ... 408
3.5 Schachtanlagen ... 408
3.6 Personal- und Geräteeinsatz ... 409
3.7 Von der Kaue zum Vortriebsort ... 411
3.8 Gewinnungszyklus ... 411
3.8.1 Beschreibung der Gewinnungszyklen ... 412
3.8.2 Einrichtungen in Schachtnähe ... 418
3.8.3 Verwahrung ... 419
3.8.4 Bedeutung der Vorratsbunker unter Tage ... 421

7541014/10787806875Biblio

Seite

3.8.4.1 Vorhandene Bunker in der K+S-Gruppe ... 421
3.8.4.2 Beispiele genutzter Bunker ... 422
3.9 Technik über Tage ... 424
3.9.1 Weiterverarbeitung ... 424
3.9.2 Rückstandsbeseitigung ... 426
3.9.2.1 Entwicklung ... 426
3.9.2.2 Versenkung der Rückstände ... 426
3.9.2.3 Aufhaldung ... 427
3.10 Umweltschutz und Renaturierung ... 428
3.11 Erlebnis-Bergwerk Merkers ... 433
4 Kaliwerk Sigmundshall ... 435
4.1 Förderung und Rückstandsmengen ... 436
4.2 Abbauverfahren ... 436
4.3 Erweiterungsarbeiten ... 437
4.4 Anforderung an die Fahrzeugtechnik ... 437
4.5 Technische Daten und Leistungsparameter ... 438
4.6 Einsatzerfahrung im Kaliwerk Sigmundshall ... 439
4.7 Leistung und Personal ... 443
4.8 Halde ... 443
4.9 Geschlossene Rohstoffkreisläufe ... 444
5 Bergbau auf Steinsalz ... 444
5.1 Allgemeines und Vorkommen ... 444
5.2 Bergmännische Gewinnung ... 445
5.3 Steinsalzbergwerk Heilbronn ... 446
5.3.1 Geologie ... 447
5.3.2 Abbauverfahren ... 447
5.3.3 Gewinnung ... 449
5.3.4 Förderung ... 453
5.3.5 Aufbereitung ... 455
5.3.6 Deponie ... 455
5.3.7 Untertagedeponierung ... 455
5.3.8 Vom Sprengen zur schneidenden Gewinnung ... 456
5.3.8.1 Inbetriebnahme des ersten Continuous Miners (CM1) ... 456
5.3.8.2 CM1-Einsatz bei der Streckenauffahrung ... 459
5.3.8.3 Inbetriebnahme des zweiten Continuous Miners (CM2) ... 460
5.3.8.4 Ausblick ... 461
5.3.9 Ein Schacht wird abgeteuft ... 461
5.3.10 Untertage-Abfalldeponie und Versatz ... 466
5.3.11 Abfallverwertung als Versatz ... 467
5.3.12 Unter-Tage-Archiv ... 468
5.3.13 Besucherbergwerke ... 469

7541014/10787806875Biblio

Seite

5.4 Steinsalzbergwerk Stetten ... 470
5.4.1 Geschichtliche Entwicklung ... 470
5.4.2 Zugänge zum Unter-Tage-Betrieb ... 471
5.4.3 Geologie ... 473
5.4.4 Abbau- und Gerätetechnik ... 473
5.4.5 Besondere Anforderungen an die Lade- und Transportgeräte ... 477
5.4.6 Produktionsleistung ... 478
5.4.7 Abfallverwertung ... 478
5.5 Steinsalzbergwerk Borth ... 480
5.5.1 Geschichtliche Entwicklung ... 480
5.5.2 Geologie ... 481
5.5.3 Neu entwickelte Gewinnungsverfahren ... 482
5.5.4 Salzbergbau unter einem Naturschutzgebiet ... 486
5.5.4.1 Abbauverfahren ... 486
5.5.4.2 Lage der Grubenbaue ... 487
5.5.4.3 Rahmenbetriebsplanverfahren von 1985 bis 2025 ... 488
5.6 Steinsalzbergwerk Bernburg ... 489
5.6.1 Geologie ... 489
5.6.2 Gebirgsmechanische Bedingungen für den Steinsalzabbau ... 490
5.6.3 Abbauverfahren und Abbautechnik ... 493
5.6.4 Förderung, Bewetterung und Rohsalzaufbereitung ... 494

6 Salzgewinnung durch Solung ... 496
6.1 Südwestdeutsche Salzwerke ... 496
6.2 Salzbergwerk Berchtesgaden ... 496
6.3 Alte Soleleitung ... 498
6.4 Natursolevorkommen Bad Reichenhall ... 500

7 Bohrloch-Solegewinnung ... 501
7.1 Salzbergwerk Epe ... 501
7.1.1 Bedeutung der Anlage ... 501
7.1.2 Geologie der Salzlagerstätte Epe ... 502
7.1.3 Gewinnung ... 502
7.1.4 Aussolverfahren ... 503

Fe Bergbau auf Erz ... 505

1 Vorkommen und Gewinnung ... 505
1.1 Historische Bedeutung des Erzbergbaus ... 505
1.2 Entstehung von Erzlagerstätten ... 507
1.3 Erzvorkommen ... 509
1.4 Wiederaufnahme des Bergbaus im Erzgebirge ... 512
1.4.1 Bergbau auf Fluss- und Schwerspat ... 512
1.4.2 Bergbau auf Kupfer ... 513

7541014/10787806875Biblio

Seite

1.4.3 Fluss- und Schwerspatförderung ... 514
1.4.4 Facharbeiterausbildung ... 514
1.5 Gewinnungsverfahren ... 514
1.5.1 Untertagebau ... 514
1.5.2 Örterbau und Kammerbau ... 515
1.5.3 Teilsohlenbruchbau ... 517
1.5.4 Firstenstoßbau in gangartigen Lagerstätten ... 517
1.6 Erzgewinnung im Tagebau ... 519
1.6.1 Abbautechnik ... 519
1.6.2 Beispiele für Großgeräte im Tagebau ... 521
1.6.3 Eisenerzgewinnung am Erzberg/Steiermark ... 523
1.6.3.1 Aufbereitung ... 524
1.6.3.2 Gewinnung ... 524
1.6.3.3 Abbauverfahren ... 526
1.6.4 Eisenerzbergbau in Deutschland ... 526
1.6.4.1 Gewinnung ... 526
1.6.4.2 Versatz ... 531
1.6.4.3 Vorteile der Erzgewinnung unter Tage ... 533
1.6.5 Einrichtungen im Unter-Tage-Erzbergbau ... 533
1.7 Derzeitige wirtschaftliche Bedeutung des Erzbergbaus ... 534
1.8 Baryt-Bergbau Grube Clara ... 534
1.8.1 Zugang und Abbau ... 534
1.8.2 Gegenwärtiger Abbau und Verwendung ... 536
1.9 Bergbau auf Scheelit ... 536
1.9.1 Scheelit-Vorkommen ... 536
1.9.2 Aufschluss und Gewinnung ... 537
2 Seltene Erden ... 537
2.1 Bezeichnung ... 538
2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften ... 538
2.3 Vorkommen ... 538
2.4 Verwendung ... 539
2.5 Gewinnung ... 539
2.6 Weiterverarbeitung und Auffangbecken ... 539
2.7 Thorium ... 540
2.8 Umweltverschmutzung durch illegalen Abbau ... 540
2.9 Nutzen für die Industrieländer ... 541
Fb Bergbau auf Braunkohle ... 543
1 Entstehung ... 543
2 Hauptlagerstätten in Deutschland ... 546
2.1 Vorkommen und Förderung ... 546

7541014/10787806875Biblio

Seite

2.2 Planung von Tagebauen ... 548
2.3 Grundlagen der Tagebautechnik ... 549
2.4 Definitionen der Tagebautechnik ... 550
2.5 Tagebausysteme ... 551
2.6 Planungsschritte ... 551
2.7 Geräteentwicklungen ... 552
2.8 Planung von Braunkohlentagebauen ... 554
2.8.1 Bergbauberechtigungsverfahren ... 554
2.8.2 Der Grunderwerb ... 556
2.8.3 Bergbaubetrieb ... 557
2.8.4 Technische Fachbegriffe im Tagebau ... 558

3 Rheinisches Braunkohlenrevier ... 559
3.1 Grundsätzliches zum Abbau ... 560
3.2 Gewinnung und Förderung ... 561
3.2.1 Gewinnungsseite ... 562
3.2.1.1 Gewinnungsverfahren ... 562
3.2.1.2 Gewinnungsgeräte ... 563
3.2.1.3 Transportgeräte ... 566
3.2.1.4 Verkippungsseite ... 571
3.2.1.5 Kohlebunker ... 573
3.3 Immissionsschutz ... 576
3.4 Grundwasserabsenkung ... 577
3.4.1 Bohrverfahren ... 578
3.4.1.1 Druckspülbohrverfahren (Rotarybohrverfahren) ... 578
3.4.1.2 Prinzip des Rotarybohrens ... 580
3.4.1.3 Lufthebebohrverfahren ... 581
3.4.1.4 Sonderentwässerungsverfahren ... 583
3.4.2 Rohrnetzbau ... 586
3.4.3 Pumpen ... 586
3.4.4 Verwendung des Sümpfungswassers ... 587
3.4.5 Planung nach dem Ende der Sümpfung ... 588
3.5 Tagebau Garzweiler ... 588
3.5.1 Abbautechnik ... 589
3.5.2 Rekultivierung ... 590
3.6 Tagebau Hambach ... 590
3.7 Tagebau Inden ... 596
3.7.1 Die Abbautechnik ... 598
3.7.2 Rekultivierung und Renaturierung ... 598
3.8 Ergänzendes zur Rekultivierung und Renaturierung ... 600
3.8.1 Gesetzliche Regelungen ... 601
3.8.2 Landwirtschaftliche Rekultivierung ... 602
3.8.3 Forstliche Rekultivierungen ... 603
3.8.4 Ökologie und Renaturierung ... 603

7541014/10787806875Biblio

Seite

3.8.5 Umsiedlungen ... 605
3.8.5.1 Erfordernis von Umsiedlungen ... 605
3.8.5.2 Gemeinsame Umsiedlung ... 606
3.8.5.3 Begleitende Maßnahmen ... 606
3.8.5.4 Ablauf einer gemeinsamen Umsiedlung ... 607
3.8.6 Großgerätetransport im rheinischen Braunkohlenrevier ... 608
3.8.7 Gerätewartung und -ertüchtigung ... 609

3.9 Kraftwerke der RWE Power ... 611
3.9.1 Kraftwerk Niederaußem ... 611
3.9.2 Kraftwerk Neurath ... 612
3.9.3 Kraftwerk Weisweiler ... 613
3.9.4 Kraftwerk Frimmersdorf ... 614
3.9.5 Kraftwerk BoA 2 & 3 ... 615

3.10 RWE Power – Zahlen – Daten – Fakten ... 617

4 Lausitzer Braunkohlenrevier ... 617

4.1 Tagebautechnologie ... 618
4.1.1 Genehmigungsrechtliche Grundlagen ... 618
4.1.2 Grundlagen der Tagebauführung ... 620
4.1.3 Einsatztechnologie der Großgeräte ... 623
4.1.3.1 Vorschnitt ... 623
4.1.3.2 Spangeometrie ... 625
4.1.3.3 Sichelschnitt ... 625
4.1.3.4 Hochstufenbaggerung mit Verladegerät ... 626
4.1.3.5 Tiefstufenbaggerung mit Verladegerät ... 627
4.1.3.6 Verkippung ... 628
4.1.3.7 Förderbrückenbetrieb ... 629
4.1.3.8 Baggertechnologie ... 633
4.1.4 Grubenbetrieb ... 636
4.1.5 Kohlehalden und Grabenbunker ... 639
4.1.6 Rücken von Gleisen und Bandanlagen ... 640
4.1.7 Hilfsgerätetechnik ... 641
4.1.8 Transport von Großgeräten ... 641
4.1.9 Gewinnung von Begleitrohstoffen ... 642

4.2 Gerätetechnik ... 642
4.2.1 Konstruktionselemente ... 643
4.2.1.1 Windwerke ... 644
4.2.1.2 Schienenfahrwerke ... 645
4.2.1.3 Raupenfahrwerke ... 645
4.2.1.4 Gurtförderer ... 645
4.2.1.5 Gurtzugverteilung an einem Gurtförderer ... 646
4.2.2 Großgeräte ... 647
4.2.2.1 Eimerkettenbagger ... 647
4.2.2.2 Schaufelradbagger ... 650
4.2.2.3 Abraumförderbrücken (AFB) ... 653
4.2.2.4 Zugförderung ... 655

7541014/10787806875Biblio

Seite

4.3 Tagebau Welzow-Süd ... 657
4.3.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt ... 658
4.3.2 Abraumförderung und Verkippung ... 658
4.3.3 Vorschnitt ... 660
4.3.4 Rohkohlengewinnung und Förderung ... 660
4.3.5 Geräteeinsatz und Förderung ... 660
4.3.6 Rekultivierung und Renaturierung ... 661
4.4 Tagebau Nochten ... 662
4.4.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt ... 662
4.4.2 Abraumförderung und Verkippung ... 662
4.4.3 Rohkohlegewinnung und Förderung ... 662
4.4.4 Geräteeinsatz und Förderung ... 663
4.5 Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord ... 663
4.5.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt ... 664
4.5.2 Abraumförderung und Verkippung ... 664
4.5.3 Elektrotechnik und Elektronik ... 666
4.5.3.1 Einspeisung der Tagebaue mit Strom ... 667
4.5.3.2 Prozess-, Steuer- und Leitsystem ... 667
4.5.3.3 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ... 668
4.5.3.4 Visualisierung ... 668
4.6 Rekultivierung und Renaturierung im Lausitzer Revier ... 669
4.6.1 Gesetzliche Grundlagen ... 669
4.6.2 Neue Waldflächen und Agrarland ... 669
4.6.3 Beispiele für Renaturierungsmaßnahmen ... 671
4.7 Grundwasserabsenkung und -haltung ... 672
4.7.1 Begriffsbestimmung ... 672
4.7.2 Ziel der Grundwasserabsenkung ... 672
4.7.3 Entwässerungsverfahren ... 674
4.7.4 Dichtwandverfahren mit Abdichtungsfrästechnik ... 675
4.7.4.1 Gründe der Vattenfall AG zur Anwendung der Dichtwände ... 679
4.7.4.2 Auswirkungen der Dichtwand auf das in Anspruch genommene Gebiet ... 679
4.7.4.3 Investitionsaufwand für die Errichtung einer Dichtwand? ... 679
4.7.4.4 Ein Blick zurück ... 679
4.7.4.5 Neuer Stand ... 681
4.8 Kraftwerke ... 682
4.8.1 Kraftwerk Boxberg ... 682
4.8.2 Kraftwerk Jänschwalde ... 683
4.8.3 Kraftwerk Schwarze Pumpe ... 684
4.8.4 Kraftwerk Lippendorf ... 685

5 Mitteldeutsches Braunkohlenrevier ... 685
5.1 MIBRAG-Reviere ... 685
5.2 Personal und Leistungen ... 688
5.3 Lagerstättenbedingungen ... 690
5.4 Allgemeines zur Gewinnungs- und Fördertechnik ... 691

7541014/10787806875Biblio

Seite

5.5 Gerätetechnik ... 694
5.5.1 Neue Förderband-Rückraupe ... 694
5.5.2 Generalüberholung von Großgeräten ... 695
5.5.3 Schaufelradbagger ... 698
5.5.4 Eimerkettenbagger ... 700
5.5.5 Bandanlagen ... 700
5.5.6 Bandabsetzer ... 702
5.5.7 Bandwagen ... 703
5.6 Energieversorgung ... 703
5.7 Tagebau Profen ... 704
5.8 Tagebau Vereinigtes Schleenhain ... 707
5.9 Immissionsschutz ... 709
5.10 Rekultivierung ... 711
5.11 Wiedernutzbarmachung ... 713
5.12 Renaturierung ... 713
5.13 Umsiedlungen ... 716

Ft Bergbau auf Torf ... 721
1 Entstehung ... 721
2 Vorräte ... 724
3 Historischer Rückblick ... 724
4 Rekultivierung und Renaturierung ... 726
5 Gewinnung ... 727
5.1 Schwach zersetzter Hochmoortorf ... 727
5.2 Gewinnung von stark zersetztem Hochmoortorf ... 728
5.3 Wirtschaftliche Bedeutung ... 729
5.4 Verwendung heute ... 729
5.5 Kultursubstrat ... 730

Ff Bergbau auf Festgestein ... 733
1 Genehmigungsverfahren ... 733
2 Erkundung ... 733
3 Aufschluss ... 735
4 Besonderheiten ... 736
5 Abbautechnik ... 737
6 Bohrtechnik ... 738

7541014/10787806875Biblio

Seite

7 Sprengtechniken ... 740
7.1 Sprengverfahren ... 740
7.2 Mischladetechnologie ... 741
7.3 Neue Zündsysteme ... 743
7.3.1 Zündgerät ... 743
7.3.2 Arbeitsvorgang ... 744
7.3.3 Zündvorgang ... 745
7.3.4 Fernzündung über Funk ... 745
7.4 Laden und Transportieren ... 746

8 Beispiele von Hartgestein- und Tonabbau ... 748
8.1 Kalksteinbrüche im Bereich Wülfrath ... 748
8.2 Diabas – Abbau in Garching bei München ... 749
8.3 Sandsteinabbau ... 751
8.4 Tonabbau im Westerwald ... 752
8.5 Kaolinabbau ... 754
8.6 Granitabbau ... 755
8.7 Schieferbergwerke ... 759
8.7.1 Schiefergewinnung in Deutschland ... 759
8.7.2 Gewinnungsverfahren ... 759
8.7.3 Gewinnungsmethoden ... 760
8.7.4 Firstenkammerabbauverfahren ... 761
8.7.5 Gewinnungsverfahren in den deutschen Schieferbergwerken ... 762
8.7.6 Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Katzenberg ... 763
8.7.7 Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Margareta ... 765
8.7.8 Schieferbergbau im Sauerland ... 766
8.8 Marmorgewinnung in Deutschland ... 768
8.9 Basaltabbau ... 771
8.10 Rekultivierung und Renaturierung ... 773

Fk Bergbau auf Kies und Sand ... 777

1 Genehmigungsverfahren ... 777

2 Gewinnungsverfahren ... 778
2.1 Trockengewinnung ... 778
2.2 Weiterverarbeitung und Verladung ... 780
2.3 Quarzsand-Trockengewinnung ... 780
2.3.1 Quarzsand-Trockenabbau im Raum Frechen ... 781
2.3.2 Quarzvorkommen bei Senftenberg (Lausitz) ... 782
2.3.3 Quarzvorkommen Hirschau-Schnaittenbach ... 783
2.3.4 Monte Kaolino bei Hirschau ... 783

7541014/10787806875Biblio

Seite

2.4 Nassgewinnung von Kies und Sand ... 785
2.4.1 Genehmigung einer marinen Kiessandgewinnung ... 785
2.4.2 Gewinnungstechnik ... 786
2.4.3 Böschungsbaggerung ... 786
2.4.4 Löseverfahren und Lösewerkzeuge ... 787
2.4.5 Landgestützte Geräte ... 788
2.4.6 Schürfkübelbagger ... 789
2.4.7 Raupen-Hydraulikbagger ... 789
2.4.8 Schrapperanlagen ... 790
2.4.9 Schwimmbagger (allgemein) ... 791
2.4.10 Eimerkettenbagger ... 792
2.4.11 Schwimmender Eimerkettenbagger ... 793
2.4.12 Schwimmgreiferbagger ... 794
2.4.13 Nassgewinnung mit Saugbaggern ... 795
2.5 Quarzsand-Nassabbau ... 797
2.5.1 Haltener Sande ... 797
2.5.2 Renaturierung ... 798

Fg Bergbau auf Erdöl und Erdgas ... 801

1 Überwindung ungünstiger geologischer Verhältnisse ... 801

2 Öl- und Gasreserven ... 801

3 Gewinnungstechnik ... 802
3.1 Bohrplatz ... 802
3.2 Einbringen des Standrohres ... 804
3.3 Leit- und Ankerrohr ... 805
3.4 Technische Rohrtouren ... 805
3.5 Produktionsrohrtour ... 806
3.6 Förderrohrtour ... 806
3.7 Verlorene Rohrtour – Liner ... 806
3.8 Sonstige Nebenanlagen ... 807
3.9 Gerätetechnik ... 808
3.9.1 Gerätegruppen ... 808
3.9.2 Bohranlagen ... 808
3.9.2.1 Begriffsbestimmung ... 808
3.9.2.2 Entwicklung ... 809
3.9.3 Organisation des Auf- und Abbaus ... 812
3.9.4 Deutsche Tiefbohrgeräteindustrie ... 813
3.10 Neue Entwicklungen bei Tiefbohrgeräten ... 819
3.10.1 Geräte der Fa. Bauer AG ... 819
3.10.2 Tiefbohranlage Typ B001-Terra Invader 350 Ti ... 820
3.10.3 Bohrgeräte der Max Streicher GmbH & Co. KG ... 821
3.10.4 Mobile Tiefbohranlagen Fa. Satvia, Gommern ... 822

7541014/10787806875Biblio

Seite

3.11 Auswahl der Bohranlagen ... 823

3.12 Wesentliche Gerätekomponenten ... 824
3.12.1 Hebeeinrichtungen ... 824
3.12.2 Elevatoren ... 826
3.12.3 Bohrhaken (Traveling Block) ... 826
3.12.4 Pipe-Handling-Systeme ... 827
3.12.5 Verschraubeinrichtung ... 829
3.12.6 Hydraulikzangen ... 830
3.12.7 Rotationseinrichtungen ... 830
3.12.8 Top Drive ... 832
3.12.9 Geräte der Spülungstechnik ... 833
3.12.9.1 Spülungskreislauf und Geräte ... 833
3.12.9.2 Spülungsbestandteile ... 838
3.12.9.3 Spülungsuntersuchungen ... 840
3.12.10 Spülpumpen ... 842
3.12.11 Instrumentierung von Bohranlagen ... 843

3.13 Gestänge und Werkzeuge ... 844
3.13.1 Bohrstrang beim Rotary-Bohrverfahren ... 844
3.13.1.1 Zusammensetzung des Bohrstranges ... 844
3.13.1.2 Hinweise zu API ... 849
3.13.1.3 Stabilisatoren ... 850
3.13.1.4 Stoßdämpfer ... 852
3.13.1.5 Schlagschere ... 854

3.14 Bohrgestängeantrieb ... 854
3.14.1 Drehtisch ... 854
3.14.2 Top Drive – Kraftdrehkopf ... 854
3.14.3 Bohrmotor – Downhole Motor ... 855
3.14.4 Neue Downhole-Systeme aus Celle ... 857
3.14.4.1 Entwicklung ... 857
3.14.4.2 Celle als Sitz von Erdöl-Service-Unternehmen ... 858
3.14.4.3 AutoTrak-System ... 858
3.14.4.4 Forschung in der Tiefe ... 859
3.14.4.5 AutoTrak-Funktionssystem ... 860
3.14.4.6 Vertikalbohrsystem ... 861
3.14.4.7 Magtrak-System ... 862
3.14.4.8 Wired Drill Pipe ... 864

3.15 Drehbohrwerkzeuge ... 865
3.15.1 Rollenbohrwerkzeuge beim Rotary-Bohrverfahren ... 865
3.15.1.1 Rollenmeißel-Lager ... 867
3.15.1.2 Zähne und Stifte ... 869
3.15.2 Gesteinszerstörung durch Rollenmeißel ... 870
3.15.3 Klassifizierung von Rollenbohrwerkzeugen ... 871
3.15.4 Verschleißbeurteilung von Rollenbohrwerkzeugen ... 872

3.16 Bohrarbeiten ... 873
3.16.1 Aufbau und Einrichtung ... 874
3.16.1.1 Arbeitsvorbereitungen ... 874

7541014/10787806875Biblio

Seite

3.16.1.2 Einrichtung, Aufbau und Probelauf ... 875
3.16.1.3 Setzen der Ankerrohrtour ... 876
3.16.1.4 Festlegung des Anfangsdurchmessers ... 878
3.16.2 Weiterer Verlauf der Bohrung ... 878
3.17 Horizontalbohrtechnik und Multi-Frac-Technik ... 879
3.18 Fördertechnik ... 880
3.18.1 Erdöl- und Erdgasförderung in Deutschland ... 881
3.18.1.1 Förderung von Erdgas ... 881
3.18.1.2 Förderung von Erdöl ... 881
3.19 Offshore-Förderung in der Nordsee ... 883
3.20 Neues Onshore-Tiefbohrgerät ... 885

G Untertagespeicherung von Erdöl und Erdgas ... 887
1 Grundzüge der Untertage-Gasspeicherung ... 888
2 Bohrarbeiten ... 890
3 Komplettieren ... 890
4 Einspeicherung ... 890
5 Entnahme ... 891
6 Sicherheitseinrichtungen ... 891
7 Erdgas- und Erdölspeicher ... 892
8 Speicher aus der Solegewinnung ... 893
8.1 Kavernenspeicher Bremen-Lesum ... 895
8.2 Untertage-Kavernen-Speicheranlage Epe ... 896
8.2.1 Näheres zum Salzbergwerk Epe ... 896
8.2.2 Bedeutung der Anlage ... 897
8.2.3 Geologie der Salzlagerstätte Epe ... 897
8.3 Gewinnung ... 898
8.4 Erdölspeicherung im Kavernenfeld Epe ... 899
8.5 Übersicht über die Kavernenspeicher in Epe ... 901

H Untertagespeicherung von CO_2 ... 903
1 CCS – Begriffserklärung ... 903
2 Verfahrensanwendung ... 904
3 Gefährlichkeit von CO_2 ... 904
4 CO_2-Speicherung ... 905

7541014/10787806875Biblio

Seite

5 Speicherungsforschung in Deutschland ... 906

6 Beispiel aus Norwegen ... 906

7 ERG-Pilotprojekt Altmark ... 907

8 Weitere Forschungen und Entwicklungen ... 910

8.1 Postcombustion – Rauchgaswäsche ... 910

8.2 Precombustion – Kohlevergasung ... 911

8.3 Oxyfuel-Verfahren ... 911

9 Rolle der Politik ... 912

10 Beispiel Australien ... 913

10.1 Näheres zu den Forschungsarbeiten in Australien ... 913

I Geothermie ... 915

1 Bedeutung der Geothermie ... 915

1.1 Gewinnung der Erdwärme ... 916

1.2 Bedingungen zur Erdwärmenutzung in Deutschland ... 917

1.3 Geothermische Potenziale in Deutschland ... 918

2 Geothermiequellen ... 918

2.1 Niedertemperatur-Geothermiequellen ... 919

2.2 Mitteltemperatur-Geothermiequellen ... 919

2.3 Hochtemperatur-Geothermiequellen ... 919

3 Gewinnungsarten ... 920

3.1 Erdwärmesonden ... 921

3.1.1 Systembeschreibungen ... 922

3.1.2 Funktion einer erdgekoppelten Wärmepumpe ... 922

3.1.3 Erdwärmesondenfelder ... 924

3.2 Bohr- und Einbautechnik für Erdwärmesonden ... 925

3.2.1 Bohrverfahren ... 925

3.2.2 Einbau der Sondenrohre ... 926

3.2.3 Verpressung der Sondenbohrung ... 926

3.2.4 Bohrdurchmesser und Sondenrohre ... 927

3.2.5 Bohrrohre, Innengestänge und Bohrköpfe ... 928

3.2.6 Bohranlagen für die Oberflächennahe Geothermie ... 929

3.3 Erdberührte Bauteile ... 935

3.3.1 Energiepfähle ... 935

3.3.2 Energie-Spriralkörbe ... 938

3.3.3 Erdwärmekörbe ... 938

3.3.4 Erdwärmekollektoren ... 939

7541014/10787806875Biblio

Seite

3.4 Neuere Entwicklungen ... 940
3.5 Energie aus dem Grundwasser ... 944
3.5.1 Voraussetzungen ... 944
3.5.2 Lage der Brunnen ... 945
3.6 Saisonale Wärmespeicher ... 945

4 Tiefengeothermie ... 946
4.1 Entstehung und Vorrat der Erdwärme ... 946
4.2 Tiefe Erdwärmesonde ... 947
4.3 Petrothermale Systeme ... 949
4.4 Geräte für Geothermie-Tiefbohrungen ... 951
4.5 Genehmigungsverfahren ... 957
4.6 Ausführung einer Geothermie-Tiefbohrung – Demonstrationsprojekt GeneSys ... 958
4.6.1 Projektbeschreibung ... 958
4.6.2 Ausführung ... 958
4.6.3 Tiefenzirkulationskonzept ... 959
4.6.4 „Huff-Puff“-Konzept ... 960
4.6.5 Bohrarbeiten ... 962
4.6.6 Abschluss der Arbeiten ... 969
4.6.7 Genehmigungsverfahren ... 969

5 Risikobewertung von Geothermiebohrungen ... 970
5.1 Beispiele für Schadensfälle ... 971
5.2 Fehlerquellen ... 974

6 Zusammenfassung ... 975

J Bergrecht ... 977

1 Begriffe und Wesen des Bergrechts ... 977

2 Materieller Inhalt des Bundesberggesetzes ... 978
2.1 Anwendungsbereich ... 978
2.2 Bergbauberechtigungen ... 979
2.3 Bergbaubetrieb ... 980
2.4 Bergbau und Grundeigentum ... 982
2.5 Ausblick ... 984

Resümee ... 986

Fachbegriffe für den Bergbau ... 989

Literaturverzeichnis ... 1003

7541014/10787806875Biblio

Seite

Verzeichnis der Informationsunterlagen und Abbildungen von Fachunternehmen, Geräte- und Maschinenhersteller 1005

Quellenangaben zu den einzelnen Kapiteln 1011

Danksagung 1021

Stichwortverzeichnis 1023

7541014/10787806875Biblio

A Deutschland und der Bergbau

Wie der Titel des Buches schon sagt, ist die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands eng mit dem Bergbau verknüpft. Wie die über 200 Besucherbergwerke verteilt über alle Bundesländer beweisen, ist kein Land in der Welt so mit dem Bergbau verbunden wie Deutschland. Ganze Regionen verdanken ihre Entwicklung dem Bergbau. Jedes Land in der BRD verfügt über Bodenschätze, die zu einem mehr oder weniger intensiven Bergbau führten. Neben der Landwirtschaft und dem Handwerk waren die meisten Menschen im Bergbau tätig.

Mit dem Bergbau entwickelten sich Zulieferbetriebe für Ausbaumaterial und Bergbaugeräte und -maschinen sowie weiterverarbeitende Unternehmen zur Verhüttung von Erzen und heute z. T. noch bestehende, stahlverarbeitende Betriebe.

In Salzregionen entstanden bekannte Bäderstädte, wie z. B. Berchtesgaden, Bad Reichenhall und viele andere mehr. Der Gesundheitstourismus brachte und bringt heute noch vielen Menschen Arbeit und Brot.

Nachfolgend wird die geschichtliche Entwicklung einiger Bergbauregionen näher beschrieben.

1 Historische Entwicklung der Bergbauregionen

1.1 Bergbau im Siegerland

Obwohl der aktive Bergbau vor mehr als vierzig Jahren eingestellt wurde, hat sich eine starke metallverarbeitende Industrie erhalten und laufend weiterentwickelt.

1.1.1 Anfänge in der La-Tène-Zeit[1)] und Entwicklung

Das Siegerland war lange von der Gewinnung von Eisenerz und dessen Weiterverarbeitung geprägt. Erste Spuren der Eisenverhüttung reichen bis in die frühe Eisenzeit um das Jahr 600 v. Chr. zurück. Die ab 500 v. Chr. von Süden kommenden Kelten bauten die an der Oberfläche liegenden Erzgänge in sogenannten „Mollkauten“ (Schürfungen direkt an der Oberfläche) und später Pingen ab.

Die älteste neuzeitliche Grube war die Grube Stahlberg in Müsen (Hilchenbach) ab 1079 n. Chr.

Frühe Belege durch Ausgrabungen weisen auf eine Bergbausiedlung mit Schachtbauteufen (bis 20 m) im 13. Jahrhundert am Altenberg bei Müsen hin, hier entstand später eines der Zentren des Bergbaus.

Durch die Erfindung des Schießpulvers als Sprengmittel wurde im 15. Jahrhundert zum Anlegen von einfachen Schächten übergegangen, denn diese waren durch den Einsatz des Schießpulvers leichter anzulegen. Mit Haspeln und Pferdegöpeln wurde ab jetzt das Erz gefördert. Das Grundwasser wurde mit „Wasserrädern“ und anderen Hebetechniken wie Eimern aus größeren Teufen geholt. Gesenke wurden anfangs hauptsächlich zur Förderung von NE-Metallen wie Kupfer, Blei und Zink eingesetzt. Sie wurden meist

1) La-Tène-Zeit – 500 bis 450 v. Chr.

7541014/10787806875Biblio

blind zwischen zwei Sohlen oder in einem Stollen angelegt und mit wenig bis keiner Technik ausgestattet, da sie meist schräg verliefen. 1417 wurde das erste Mal ein Hauberg erwähnt; dieser wurde zum Herstellen von Holzkohle gebraucht.

Im 16. Jahrhundert verfiel die Entwicklung des Bergbaus zunehmend. Dies lag an der im Siegerland üblichen „Realteilung", der Aufteilung des Landes unter allen Nachfahren.

1.1.2 Industrialisierung und Blütezeit

Im 19. Jahrhundert wurde im Zuge der Industrialisierung mehr und mehr Erz benötigt. Das Siegerland entwickelte sich nun zu einem der bedeutendsten Zentren des Eisenerzbergbaus und dessen Weiterverarbeitung in Europa. Im Jahr 1853 waren etwa 660 Gruben aktiv. Ab den 1850er Jahren wurden Dampfmaschinen für die stark zunehmende Anzahl und die immer tiefer werdenden Schächte genutzt.

Durch die Maschinen konnte aus größeren Teufen Erz gefördert werden. Moderne Schächte mit Dampfmaschinen und Förderkörben lösten mehr und mehr den Stollenbau und das Anlegen von Gesenken ab.

Die Industrialisierung hatte auch andere Vorteile: Ab den 1930er Jahren wurde beim Bohren Wasser zur Staubverminderung eingesetzt. Zahlreiche Maschinen, Wasserhaltungsanlagen und Antriebe sowie später Elektro- oder Benzinmotoren wurden erfunden oder konnten verbessert eingesetzt werden.

Ab 1900 wurden Druckluftwerkzeuge eingesetzt. Auch die Ausstattung der Bergleute wurde verbessert.

Die flackernden Öllampen wurden im 20. Jahrhundert durch Karbidlampen ersetzt. Noch in den 1920ern wurden Helme aus Leder getragen. In den 50er Jahren wurden diese durch Helme aus Plastik ersetzt.

Ab den 1860ern wurden die Pferdetransporte durch Eisenbahnen, ab 1879 Drahtseilbahnen und ab 1903 Benzinloks ersetzt. Zahlreiche Neben- und Kleinbahnen verbanden die Gruben mit Bahnhöfen in der Umgebung. Dazu kam die 1861 gebaute Bahnverbindung ins Ruhrgebiet, ohne die der Bergbau im Siegerland rund 100 Jahre früher zu Ende gewesen wäre. Seine Blütezeit hatte der Siegerländer Bergbau um 1900.

Von 1818 bis 1967 bestand in Siegen eine Bergschule. Die Grube Schleifmühlchen in Siegen wurde nach ihrer eigentlichen Stilllegung als „Übungsgrube" eingesetzt.

Um 1900 arbeiteten 15.000 Bergleute im Siegerland. Die größte Jahresförderung betrug 1913 2,62 Mio. t. Die größte Teufe lag bei 1.343,33 m.

7541014/10787806875Biblio

Abb. A-1:
Grube Georg
im Siegerland [1]

Der längste Stollen hatte eine Länge von 7.597,50 m. Insgesamt wurden etwa 175 Mio. t Eisenerz gefördert. Außer Eisenerz wurden geringere Mengen Kobalt, Nickel, Silber und sogar Gold gewonnen.

1880 waren noch rund 35 % der geförderten Erze im Deutschen Reich aus Bergwerken im Siegerland.

Die manganreichen und qualitativ hochwertigen Eisenerze waren gefragt. Bis 1909 ging diese Zahl jedoch auf knapp 10 % zurück.

Neue Verhüttungsverfahren machten die phosphorarmen Siegerländer Erze für weiter weg liegende Hütten unbrauchbar, zudem konnten durch Gebietsgewinne große Mengen von lothringischen Minette-Erzen gewonnen werden, deren Nachfrage stetig anwuchs. Die hohen Transportkosten durch die schlechte Lage im Siegerland brachten dem Bergbau zusätzliche Schwierigkeiten. Gute Abnehmer der heimischen Erze blieben jedoch auch weiterhin die örtlichen Hütten.

Ab 1959 wurden umfangreiche Mechanisierungs- und Rationalisierungsmaßnahmen durchgeführt, die den Erzpreis drücken sollten.

Doch die erzabnehmenden Ruhrhütten reduzierten Stück für Stück die Verhüttung von Siegerländer Erzen, da Auslandserze billiger waren und durch neue Techniken der früher so begehrte hohe Mangangehalt von Siegerländer Erzen nicht mehr gefragt war.

Mit der Schließung der Gruben Georg in Willroth und Füsseberg in Biersdorf bei Daaden endeten am 31. März 1965 über 2.500 Jahre Erzbergbau im Siegerländer Erzrevier.

1.2 Oberharzer Bergbau

Der Bergbau im Oberharz diente der Gewinnung von Silber, Blei, Kupfer und zuletzt auch Zink. Besonders von der Silbergewinnung gingen vom 16. bis zum 19. Jahrhundert ein großer Reichtum, aber auch bedeutende technische Erfindungen aus. Mittelpunkt dieses Bergbaus waren die sieben Oberharzer Bergstädte Clausthal, Zellerfeld, Sankt Andreasberg, Wildemann, Grund, Lautenthal und Altenau.

7541014/10787806875Biblio

Abb. A-2: Schachtgerüst des Kaiser-Wilhelm-Schachtes in Clausthal [1]

1.2.1 Historische Entwicklung

Der Oberharz gehörte einst zu den bedeutendsten Erzrevieren Deutschlands. Die Hauptprodukte des Bergbaus waren Silber, Kupfer, Blei und Eisen, ab dem 19. Jahrhundert auch Zink; Haupteinnahmequelle war jedoch das Silber.

Ab dem 16. bis Mitte des 19. Jahrhunderts wurden im Mittel etwa 40 % bis 50 % des in ganz Deutschland geförderten Silbers im Oberharz gewonnen.

Die darauf zu entrichtenden Abgaben trugen ganz erheblich zu den Steuereinnahmen der Königshäuser in Hannover und Braunschweig-Wolfenbüttel bei und sicherten deren Macht und Einfluss innerhalb des Reiches.

Die Lukrativität rechtfertigte einen hohen Einsatz an Investitionen und Anstrengungen. Hierdurch brachte der Oberharzer Bergbau eine beträchtliche Menge an Innovationen und Erfindungen hervor, darunter so bedeutende wie die Fahrkunst, die Wassersäulenmaschine und das Drahtseil.

1.2.2 Bergbauperiode im Mittelalter

Bergbauliche Tätigkeiten im Harz lassen sich bis in das 10. und 11. Jahrhundert zurückverfolgen. Die ersten Wasserräder zur Energieversorgung von Bergwerken standen im 13. Jahrhundert im Pandelbachtal südöstlich von Seesen.

Seinerzeit wurde der Bergbau, einschließlich dieser frühen Anwendung der sogenannten Wasserkünste, vom Zisterzienserkloster Walkenried betrieben.

Es wurden zunächst die Gangausbisse an der Erdoberfläche aufgesucht und oberflächennahe Erzpartien mit Schlägel und Eisen abgebaut.

Eine erste Blütezeit erreichte der Bergbau zwischen 1200 und 1360. In den oberen Gangpartien befanden sich besonders reiche Silbererze (bis zu 9 % Ag).

7541014/10787806875Biblio

1.2.3 Bergbau bis zur Industriellen Revolution

Eine deutliche Wiederbelebung erfolgte ab etwa 1520 auf Veranlassung des Braunschweig-Wolfenbütteler Herzogs Heinrich der Jüngere. Besonders dessen Sohn Herzog Julius von Wolfenbüttel forcierte den begonnenen Oberharzer Erzbergbau und veranlasste auch die Anlage von weiterer Infrastruktur, insbesondere von Bauwerken des Oberharzer Wasserregals zur Kraftwasserversorgung der Bergwerke. Um das nötige Arbeits- sowie Fachpersonal und auch Kapitalgeber (Gewerke) in den Harz zu locken, erließen die Herzöge Bergfreiheiten nach böhmisch-sächsischem Vorbild.

Die größte Lukrativität hatte der Oberharzer Bergbau im 16. und im 17. Jahrhundert, auch wenn es zwischendurch immer wieder zu Krisen kam.

Ab 1690 wurde eine bis 1850 unübertroffene Quantität bei der Metallerzeugung erreicht. Das war vor allem den wasserwirtschaftlichen Bauten und der Einführung des Schießpulvers für Sprengungen ab 1630 zu verdanken. Im Verlauf des 18. Jahrhunderts kam es zu anhaltenden Krisen infolge Holzmangels.

1.2.4 Letzte Betriebsphase bis zur Einstellung

Nach dem Anschluss des Königreiches Hannover an das Königreich Preußen 1866 übernahm die Königlich-Preußische Bergbauinspektion und ab 1924 die Preussag den Betrieb der Bergwerke des Oberharzes.

Um 1900 wurden Schachtteufen von 1.000 m erreicht. Die Förderung der Erze wurde damit immer aufwändiger.

Gleichzeitig musste man bei immer besser werdenden Transportmöglichkeiten auch mit anderen in- und ausländischen Erzen konkurrieren. Raubbau während des Ersten Weltkrieges und sehr niedrige Metallpreise verursachten auf dem Höhepunkt der Weltwirtschaftskrise im Jahre 1930 eine große Stilllegungswelle, als große Bergwerke in Clausthal-Zellerfeld, Bockswiese und Lautenthal schließen mussten. In Bad Grund wurde der Oberharzer Erzbergbau noch bis 1992 fortgeführt.

1.3 Bergbau im Erzgebirge[2)]

1.3.1 Historische Entwicklung im Osterzgebirge

„Wohl keine deutsche Landschaft ist so sehr vom Bergbau geprägt wie das Erzgebirge. Kultur und Landschaft zwischen Freiberg und Schneeberg, zwischen Chemnitz und Oberwiesenthal und bis ins Böhmische hinein sind auf vielfältige Weise vom Bergbau bestimmt.

Bereits vor dem großen ‚Berggeschrey' und den Silberfunden im Westerzgebirge war das Erzgebirge eines der wichtigsten Zinnlieferanten. Deutschlands ältestes Zinnbergbaugebiet und auch die größten Zinnkammern Europas befinden sich im Erzgebirge.

In der Produktion von Blaufarben (Kobalt) und Wismut war das Erzgebirge zeitweise Weltmarktführer.

2) Mit Auszügen aus dem Buch: „Alles kommt vom Bergwerk her" – Chemnitzer Verlag

7541014/10787806875Biblio

Auch der Rohstoff für das erste europäische Porzellan wurde aus dem Erzgebirge an die Manufaktur nach Meißen geliefert."

Mit dem Bergbau siedelten sich vor allem im Umfeld der Bergbauzentren zahlreiche andere Wirtschaftszweige an, die sich nach dem Rückgang des Bergbaus weiterentwickelten. Spätestens seit dem 15. Jahrhundert war der Bergbau auch Vorreiter bei der Entwicklung des Maschinenwesens und des Maschinenbaus.

Viele Industriezweige, die heute im Erzgebirge und im Erzgebirgsvorland produzieren, haben ihre Wurzeln im Bergbau. Vom Erzgebirge gingen zahlreiche Impulse sowohl für die sächsische als auch böhmische Landesgeschichte aus. Die Entwicklung des Montanwesens prägten dabei alle Arbeits- und Lebensbereiche, die sozialen Beziehungen sowie das geistig-kulturelle Umfeld.

Die Montangeschichte reicht bis in die Gegenwart, denn das Hüttenwesen wird auf der Basis von Import-Erzen und Recyclingmaterial an alten Standorten mit modernsten Techniken und Technologien weitergeführt.

Der erzgebirgische Bergbau, aber auch die Weiterverarbeitung der gewonnenen Rohstoffe, auf die man im Erzgebirge allerorts stößt, hat über Jahrhunderte die Landschaft dieses Mittelgebirges verändert und geformt.

Der Bergbau prägte von Anfang an die Entwicklung der Städte Freiberg und Annaberg, wo die berühmten Bergakademien entstanden.

Vom 15. Jahrhundert bis zum Ende des 19. Jahrhunderts waren Pferdegöpel im Einsatz.

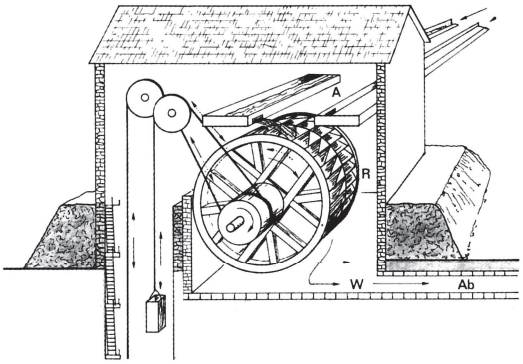
Dabei drehten ein bis maximal acht Pferde (meist jedoch zwei Pferde) die senkrechte Göpelwelle, auf der der Seilkorb angebracht war. Mit dieser Technik konnte schon eine Tiefe von maximal 250 m erreicht werden.

Bereits im 16. Jahrhundert wurden erste Wassergöpel entwickelt. Der Antrieb erfolgt über ein Kehrrad – das ist ein Wasserrad mit zwei einander gegenläufigen Beschaufelungen. So konnte sich das Kehrrad sowohl links, als auch rechts herum drehen.

Es kamen über Tage und unter Tage Kehrräder bis zu 12 m Durchmesser und 2 m Breite zum Einsatz, je nach verfügbarer Wassermenge, Fallhöhe und benötigter Leistung. Zu Beginn wickelte sich das Förderseil gleich auf die verlängerte Kehrradwelle auf. Später wurde die Bewegung über Gestänge auf die Seiltrommel übertragen.

Im 19. Jahrhundert wurden die Seiltrommeln aus Eisen gefertigt und die Förderseile über Seilscheiben in den Schacht geleitet. Diese Wassergöpel erreichten eine Tiefe bis zu 550 m.

7541014/10787806875Biblio



A- Gerinne für Aufschlagwasser
Ab- Abfluss des gebrauchten Aufschlagwassers
R- Kehrrad

MITTE 15. - ENDE 19. JAHRH:

FÖRDERHÖHE:	500 m
FÖRDERGESCHW.:	0,6...1,4 m/s
FÖRDERGEFÄSS:	BIS 1,2 m³
LEISTUNG:	7...11 kw

Abb. A-3: Wassergöpel (Kehrrad) aus dem 16. Jahrhundert [1]

Erst im 19. Jahrhundert (etwa ab 1844) wurden auch Dampfmaschinen zur Förderung eingesetzt. Bis zu dieser Zeit war es billiger, Wasserkraft einzusetzen als Dampfkraft. Im 20. Jahrhundert, der letzten Blütezeit des Bergbaus im Freiberger Revier, wurde elektrische Energie genutzt, um die Förderanlagen zu betreiben.

1937 begann die letzte Periode des Freiberger Bergbaus. Die staatliche „Sachsenerz A.G." baute neue Schachtanlagen in den Gruben Beihilfe sowie Himmelfahrt Fundgrube ein und förderte Blei, Zink und Silber.

Nach der Gründung der DDR wurden 1950 die Freiberger Gruben, wie auch die Gruben Brand-Erbisdorfs und Halsbrücke, zum VEB Bleierzgruben „Albert Funk" vereinigt. 1961 erfolgte die Gründung des VEB Bergbau- und Hüttenkombinates „Albert Funk".

1.3.2 Uranabbau im Westerzgebirge

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde das Erzgebirge auch für sein Uran bekannt, welches in den sowjetischen Atomwaffen Verwendung fand.

1.3.3 Beginn von Erkundung und Abbau

Die Geschichte des Urans ist mit keiner anderen Region der Welt so eng verknüpft wie mit dem sächsisch-böhmischen Erzgebirge. Der Bergbau im Erzgebirge setzte ab dem 12. Jahrhundert mit Silber und Zinn ein. Es folgte die Gewinnung von weiteren Mineralien.

Vor allem in den Silber-Kobalt-Bergwerken im Westerzgebirge war schon seit dem 16. Jahrhundert ein schwarzes, schweres, nutzloses Mineral bekannt, das verschiedentlich dem Eisen oder Zink zugeordnet wurde.

Es entstand der Name „Pechblende" für dieses Mineral. Als Typlokalität für die Pechblende (bzw. Uraninit) wird Joachimsthal (heute: Jáchymov) im böhmischen Teil des Erzgebirges angegeben.

Der Berliner Chemiker Martin Heinrich Klaproth bearbeitete 1789 Material aus Johanngeorgenstadt im Westerzgebirge und entdeckte darin das Metall Uran. Im 19. Jahrhundert wurde Uran in einigen erzgebirgischen Gruben als Nebenprodukt für die Farbenherstellung gewonnen.

7541014/10787806875Biblio

In Joachimsthal erreichte dies industrielle Ausmaße; es handelt sich dort um den ersten Uranbergbau (Uran als Hauptprodukt) weltweit.

Bis 1898 waren wissenschaftlich 21 Uranminerale bekannt, davon wurden 14 im Erzgebirge zum ersten Mal beschrieben.

Das Erzgebirge war fast monopolartig Quelle für Uran in der wissenschaftlichen Forschung jener Zeit: Marie und Pierre Curie nutzten große Mengen von Aufbereitungsrückständen aus Joachimsthal für ihre Entdeckung des Poloniums und des Radiums.

Dies hatte große Auswirkungen: Zum einen begann man in Joachimsthal mit der Gewinnung von Radium parallel zur Farbenproduktion, zum Zweiten nutzte man stark radioaktive Wässer aus den Gruben zum Aufbau eines bis heute andauernden Kurbetriebes.

Vor allem Letzteres weckte Begehrlichkeiten in Sachsen, und der Freiberger Professor Carl Schiffner startete Anfang des 20. Jahrhunderts ein intensives Erkundungsprogramm auf radioaktive Quellen und Mineralvorkommen im Erzgebirge.

Die stärkste Quelle fand er in Oberschlema im „Markus-Semmler-Stollen“, was zum Aufbau des dortigen Kurzentrums führte.

Mit Ende des Zweiten Weltkriegs kamen unverzüglich sowjetische Experten ins Land. Diese sollten zuerst den Stand der deutschen Atomforschung untersuchen.

Das Auffinden von mehr als 100 t Uranoxid in Neustadt-Glewe war ein großer Sprung für das sowjetische Nuklearprogramm. Gleichzeitig nahmen Untersuchungen im Erzgebirge ihren Anfang, um natürliche Uranvorkommen zu finden.

1.3.4 SMAD (SAG) Wismut

Im Mai 1947 erteilte die SMAD den Befehl Nr. 128, der die Überführung mehrerer sächsischer Bergbauanlagen in sowjetisches Eigentum und die Anrechnung auf das Reparationskonto der UdSSR enthielt.

Daraufhin wurde die „Sowjetische Staatliche Aktiengesellschaft der Buntmetallindustrie Wismut“ (SABM) mit Sitz in Moskau gegründet.

Als Abkürzung für das Unternehmen hat sich aber SAG eingebürgert. Die deutsche Zweigniederlassung hatte ihren Sitz in Aue (Sachsen), wo sie am 2. Juli 1947 im Handelsregister eingetragen wurde.

Bewacht von Truppen des sowjetischen NKWD/MGB, kam die Produktion gut voran und erreichte 1950 erstmals mehr als eintausend Tonnen Uran pro Jahr. Bis zum Ende dieses Jahres hat die Wismut und der ihr vorangegangener Bergbau rund 2.500 t Uran an die Sowjetunion geliefert.

1.3.5 SDAG Wismut (1954 bis 1991)

Nachdem 1953 alle SAG vornehmlich in Volkseigene Betriebe überführt wurden, wurde die SAG Wismut liquidiert und als Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) neu gegründet, die bis 1991 existierte. Die SDAG übernahm alle Anlagen der SAG Wismut, wurde aber nicht deren Rechtsnachfolger. Das Aktienkapital wurde zur Gründung auf zwei Milliarden Mark festgesetzt, wobei die DDR und die UdSSR einen Anteil von je einer Milliarde Mark besaßen. Die DDR musste ihren Aktienanteil allerdings in Raten von jeweils 200 Mio. Mark pro Jahr von der UdSSR kaufen.

7541014/10787806875Biblio

Der Hauptsitz der Gesellschaft wurde von der SAG Wismut in Karl-Marx-Stadt/Siegmar übernommen (Chemnitz). Die SDAG nahm ihre wirtschaftliche Tätigkeit am 1. Januar 1954 auf. Zu diesem Tag standen 32.632 t Uran in der Vorratsbilanz der Wismut.

In den Jahren 1962, 1968 und 1975 wurden zwischen der DDR und der UdSSR mehrere Abkommen zur Verlängerung der Tätigkeit der SDAG Wismut getroffen – das Abkommen von 1975 galt bis zum Jahr 2000.

Die Beschäftigtenzahl, die um 1950 bei über 100.000 lag, sank im Laufe der 1950er Jahre auf etwa 45.000 und blieb bis Ende der 1980er Jahre fast unverändert.

1989 stellten der Bergbaubetrieb „Willy Agatz“ in Freital sowie die Aufbereitungsanlage Crossen ihren Betrieb ein.

Im gleichen Jahr wurde beschlossen, auch die Uranförderung des Bergbaubetriebes Beerwalde auf der Ronneburger Lagerstätte einzustellen. Die politischen Geschehnisse überholten allerdings die Planung für die SDAG Wismut. Im Jahr 1990 einigten sich die DDR und die UdSSR darauf, die Tätigkeit der SDAG Wismut zum 1. Januar 1991 einzustellen, was die meisten der zehntausend Beschäftigten ihren Arbeitsplatz kostete. Da sich die UdSSR bereits 1990 weigerte, vereinbarte Uranlieferungen abzunehmen und zu bezahlen, geriet die SDAG in ernsthafte finanzielle Schwierigkeiten.

Die drohende Zahlungsunfähigkeit konnte nur unter Aufnahme von Krediten, die durch Bundesbürgschaften ermöglicht wurden, abgewendet werden.

Am 18. Dezember 1991 trat das durch den Bundestag beschlossene „Wismut-Gesetz“ in Kraft, das die Umwandlung der SDAG in eine bundeseigene GmbH regelte.

Bereits zwei Tage zuvor trat der Vorstand der SDAG Wismut zum letzten Mal zusammen und entband die Generaldirektion sowie sich selbst von seinen Aufgaben.

1.3.6 Gesamtproduktion und Bilanz

Bis einschließlich 1990 wurden durch die SAG/SDAG Wismut 231.400 t Uran produziert. Damit lieferte die DDR etwa ein Drittel des im sowjetischen Einflussbereich geförderten Urans bis 1990.

Die letzte Vorratsbilanz der SDAG Wismut lag zum 1. Januar 1991 vor. Diese nannte gelöschte Vorräte in Höhe von 251.000 t Uran, Bilanzvorräte von 57.922 t Uran sowie prognostische Ressourcen von 74.079 t Uran.

Bis 1990/91 erfolgte noch die Förderung bedeutender Mengen an Zinn-, Wolfram- und Uranerzen, die jedoch aufgrund der niedrigen Metallpreise aufgegeben werden musste. Die Halden und Grubenbaue wurden bzw. werden seitdem rekultiviert.

Das Erzgebirge erlangte durch den Uranabbau einen traurigen Ruhm. Er brachte den damaligen Bergleuten einen kleinen Wohlstand, den sie sich aber mit z. T. schweren Gesundheitsschäden erkauft haben.

7541014/10787806875Biblio

1.4 Steinkohle im Ost- und Westerzgebirge

1.4.1 Reviere

Zwei Reviere haben durch die Steinkohlengewinnung einen großen Aufschwung erfahren, und zwar

- das Kohlenrevier im Osterzgebirge im Raum Plauenscher Grund/Freital/Dresden,
- das Kohlenrevier im Westerzgebirge im Raum Lugau/Ölsnitz.

Die Förderung von Steinkohle in den o. g. Bergbaurevieren ist inzwischen eingestellt. Im Gebiet „Plauenscher Grund“ wurde die Förderung 1989 und im Raum Lugau/Ölsnitz bereits 1971 eingestellt.

1.4.2 Plauenscher Grund[3)]

„Der Plauensche Grund erstreckt sich entlang der Weißeritz von Freital-Hainsberg bis an den westlichen Dresdner Stadtrand.

In seinem südwestlichen Teil befindet sich eine im Rotliegenden mit mehreren hundert Metern mächtigen Sedimeten aufgefüllte Mulde.

Diese wird Döhlener Becken genannt. In ihr gibt es sieben, oft tektonisch stark gestörte Steinkohleflöze, von denen drei begrenzt abbauwürdig waren.

Insgesamt wurde im Döhlener Becken Steinkohle auf einer Fläche von etwa 27 km^2 abgebaut.

Die Entwicklung des Kohlebergbaus vollzog sich von einem grundherrlich-bäuerlichen über privatkapitalistischen und landesherrlichen zum staatlichen Bergbau.

Die Steinkohle, als Ersatzbrennstoff für Holzkohle, führte seit dem 18. Jahrhundert zu einer Vielzahl von Versuchen zu ihrer Nutzung. Die größte wirtschaftliche Bedeutung besaßen im 19. Jahrhundert der Bergbau des königlichen Steinkohlewerkes Zauckerode und des Freiherrlich von Burgker Steinkohlen- und Eisenhüttenwerkes.

Der später unter veränderten Betriebsformen betriebene Steinkohlebergbau kam 1959 auf dem Stadtgebiet Freital vollständig zum Erliegen.“

- **Technische und technologische Entwicklungen**[3)]

Die Anlage eines zentralen Kunstschachtes in Döhlen war ein erster Schritt einer effektiven Wasserhaltung. Bereits unmittelbar nach der Übernahme der Grube durch den Landesherrn hatte man acht Lichtlöcher und im Gegenortbetrieb aufgefahrene Stollen wurde erst mit dem Döhlener Kunstschacht, später mit dem Grubenfeld von Zauckerode durchschlägig.

Er war 6,5 km lang. Unmittelbar nach seiner Fertigstellung wurde 1817 ein weiteres Stollenprojekt begonnen, der Bau des 5,7 km langen Tiefen Elbstollens von Dresden-Cotta nach Zauckerode. Über Tage waren vielfach Frauen (z. B. in der Kohlenwäsche und auf der sog. Rasenhängebank) beschäftigt (siehe Abb. A-4).

3) Text (auszugsweise) und Bild A-4 aus „Alles kommt vom Bergwerk her“ – Lahl/Kugler und Unterlagen aus dem Freitaler Heimatmuseum.

7541014/10787806875Biblio

Der Kohlebergbau im Plauenschen Grund galt stets als gefährlich. Bei einem Wassereinbruch 1808 ertranken neun Bergleute, und bei einer Schlagwetterexplosion 1839 kamen sechs Bergleute ums Leben.

Diese tragischen Unfälle standen aber weit im Schatten der großen Schlagwetterexplosion im Neuhoffnungs- und Segen-Gottes Schacht am 2. August 1869 infolge ungenügender Bewetterung. In den betroffenen beiden Grubenanlagen kamen 276 Bergleute ums Leben, lediglich fünf konnten sich in Sicherheit bringen.

Erschütternde Mitteilungen und Nachrichten an die Hinterbliebenen fanden sich bei der Bergung der Toten unter Tage.

Eine groß angelegte Spendenaktion erbrachte für die Witwen und Waisen, insgesamt 1.200 Hinterbliebene, die riesige Summe von 392.000 Talern. Heute erinnert an dieses Unglück das Windbergdenkmal mit den Namen aller verunglückten Bergleute.

Seit 1946 ist im Herrenhaus des Rittergutes Burgk das Freitaler Heimatmuseum untergebracht. Die Geschichte des Bergbaus kann hier in einer sehenswerten Bergbauschauanlage, einem Freilichtkomplex sowie im Museum studiert werden.

Das größte Baudenkmal des Steinkohlebergbaus im Plauenschen Grund ist das Ensemble mit Malakoff-Förderturm (1886) am Marienschacht in Dresden-Gittersee.

Abb. A-4: Frauen auf der sog. „Rasenhängebank“ – hier bei der Bedienung des Förderkorbes bei der „Personenseilfahrt“ [11]

7541014/10787806875Biblio

1.4.3 Kohlereviere Zwickau/Lugau/Ölsnitz

- **Historische Entwicklungen**

Das Karl-Marx-Werk wurde in Zwickau am 25. Juni 1855 als Zwickauer Brückenberg-Steinkohlenbau-Verein gegründet. 1859 wurde das erste bauwürdige Flöz erbohrt.

Am 10. Oktober 1859 war der Teufbeginn des Einigkeitsschachtes. Eine Woche später, am 17. Oktober 1859, war Teufbeginn des Beharrlichkeitsschachtes – Teufbeginn des Ernst-Julius-Schachtes war 1861.

Später wurde der Einigkeitsschacht nur noch als Brückenbergschacht I, der Ernst-Julius-Schacht als Brückenbergschacht II bezeichnet; der Beharrlichkeitsschacht wurde 1879 wieder abgeworfen. Im gleichen Jahr ereignete sich am 1. Dezember eine Schlagwetterexplosion im Ernst-Julius-Schacht. Dabei kamen 89 Bergleute ums Leben. Der Teufbeginn des Schachtes III war 1871, drei Jahre später, im Jahre 1874, war der Teufbeginn des Schachts IV.

Der Teufbeginn der Schächte V und VI war 1872. 1879 wurden die Teufarbeiten eingestellt, da die Feldesteile, welche durch diese beiden Schächte gelöst werden sollten, inzwischen günstiger von Schacht I aus vorgerichtet werden konnten. 1893 wurden Schacht V und VI wieder verfüllt.

In den Jahren 1911/12 wurde auf Schacht I ein neues Fördermaschinengebäude für zwei Spiralkorb-Dampffördermaschinen, davon die schwächere, östliche Maschine mit 750 PS, die stärkere, westliche Maschine mit 1.255 PS Leistung, gebaut.

- **Grubenunglück in Zwickau**

Am 22. Februar 1960 kam es zum größten Grubenunglück in der Geschichte der DDR.

In der 1. Abteilung des Karl-Marx-Werkes ereignete sich kurz nach 8 Uhr aus unbekanntem Grund eine schwere Schlagwetter- und Kohlenstaubexplosion. 174 Bergleute wurden mehr als 1.000 m unter Tage durch den dadurch entstandenen Brand eingeschlossen.

Rettungskräfte waren sofort zur Stelle, konnten aber nur etwa 40 Bergleute lebend retten. Die Rettungsarbeiten wurden mit der Hilfe von Grubenwehren aus allen Revieren der DDR und der Tschechoslowakei über mehrere Tage fortgesetzt. Etwa 500 Mann waren rund um die Uhr im Einsatz.

Nach sechs Tagen flammte der Brand von neuem auf. Die Einsatzleitung beschloss – da die Verschütteten nach menschlichem Ermessen nicht mehr am Leben sein konnten –, den Abschnitt zuzumauern, damit sich das Feuer nicht ausbreiten konnte. Bei dem Grubenunglück starben insgesamt 123 Bergleute.

Mehrere Monate später wurden die meisten Opfer geborgen und nach einem Staatstrauerakt im Zwickauer Lindenhof auf dem Zwickauer Hauptfriedhof beigesetzt. Seitdem gedenken jedes Jahr am 22. Februar die Kumpel an dieser Stelle ihrer Kameraden.

Die Unglücksursache konnte bis zum Ende der DDR nicht geklärt werden, erst später stellte sich heraus, dass das Ministerium für Staatssicherheit, welches 1960 die Unfallermittlung geleitet hatte, mit hoher Wahrscheinlichkeit die Unfallursache festgestellt hatte. Der Bericht wurde jedoch nicht veröffentlicht. Über die Gründe dafür liegen keine gesicherten Informationen vor.

7541014/10787806875Biblio

- **Stilllegung**

Die abnehmende Rentabilität des Steinkohlenabbaus zwang die DDR, diesen einzustellen. Als eines der ersten Werke wurde das Karl-Marx-Werk geschlossen.

Ab dem 1. Juli 1968 verlor das Karl-Marx-Werk seine Selbständigkeit, und der Grubenbetrieb wurde als Betriebsteil „Karl Marx“ des VEB Steinkohlenwerk „Martin Hoop“ von diesem aus weitergeführt.

In Vorbereitung der geplanten Schachtverwahrung (1969 bis 1973) wurde eine untertägige Förderverbindung (96-Querschlag) auf der 515-m-Sohle zwischen beiden Werken aufgefahren, um die Restfelder vom Martin-Hoop-Werk aus gewinnen zu können. Der Tagebetrieb, die Werkbahn und die Kokerei wurden durch den VEB Steinkohlenkokereien Zwickau „August Bebel“ übernommen und weitergeführt.

Bis zum Ende der DDR im Jahre 1990 existierten noch zahlreiche Gebäude und Anlagen, welche nunmehr nahezu restlos beseitigt wurden.

Näheres siehe Kap. „Gewinnung der Rohstoffe“

Abb. A-5:
Förderturm des ehemaligen „Kaiserin-Augusta-Schachtes“ (ab 1946 „Karl-Liebknecht-Schacht“, ab 1986 „Bergbaumuseum Ölsnitz“) [1]

1.5 Braunkohlenreviere in Deutschland

1.5.1 Reviere

In Deutschland wird, neben kleinen Vorkommen, Braunkohle in folgenden Tagebauen gewonnen:

- Rheinisches Braunkohlenrevier,
- Lausitzer Braunkohlenrevier,
- Mitteldeutsches Braunkohlenrevier,
- Helmstetter Braukohlenrevier.

In den genannten Revieren sind die Gewinnungsanlagen, verbunden mit ihren leistungsstarken Kraftwerken, Lebensgrundlage für mehrere 100.000 Familien (einschließlich der indirekt Beschäftigten).

1.5.2 Rheinisches Braunkohlenrevier

Das Rheinische Braunkohlenrevier ist ein Bergbaurevier in der Kölner Bucht, am Nordwestrand des Rheinischen Schiefergebirges. Der Abbau der Braunkohle im Tagebauverfahren wirkte hier maßgeblich landschaftsgestaltend und führte darüber hinaus zur Ausbildung einiger bedeutender Industriestandorte.

7541014/10787806875Biblio

Das Revier umfasst die Zülpicher und Jülicher Börde, die Erftniederung und die Ville und ist damit das größte Braunkohlenrevier in Europa. In geringerem Maße werden hier außerdem auch Ton, Quarzsand und Löss abgebaut.

- **Südreviere**

Das Südrevier um Brühl beginnt südlich von Brühl in der Ville, dort nördlich einer Linie Brühl – Eckdorf/Erftstadt – Bliesheim.

Es reicht etwa bis zum Verlauf der Luxemburger Straße B 265 bei Hürth und Liblar und schließt auch die ehemalige Grube „Gewerkschaft Hürtherberg“ sowie das jetzige Naherholungsgebiet Hürtherberg mit ein.

Dieses Gebiet kleinräumiger Gruben war bis Mitte der 1960er Jahre bereits ausgekohlt und rekultiviert worden. Die Tagebaue sind einem bewaldeten Naherholungsgebiet mit einer Vielzahl von kleinen und mittelgroßen Seen gewichen.

- **Mittleres Revier**

Das Mittlere Revier umfasst den Villerücken westlich des Frechener Sprungs (Linie Frechen – Oberaußem – Niederaußem) von der Luxemburger Straße im Süden bis zur Linie Bergheim-Oberaußem im Norden.

Es ist heute weitgehend ausgekohlt und rekultiviert; die Braunkohleindustrie mit Großkraftwerken und Nachfolgeindustrien prägt aber immer noch die Landschaft.

- **Nord- und Westrevier**

Diese Reviere sind die heute tätigen Reviere des Braunkohleabbaus. Näheres hierzu siehe Kapitel „Gewinnung der Rohstoffe“.

- **Historische Entwicklung**[4)]

Erste Nutzungen (17. bis 19. Jahrhundert)

Anfänglich wurde Braunkohle nur als Grundstoff für die Farbherstellung der Kölnischen Umbra gewonnen.

Erst im ausgehenden 17. Jahrhundert entdeckte man, dass die nasse unbrauchbare Schicht, die bei der Tongewinnung für die Keramik-Industrie im Brühler und Frechener Raum über der Tonschicht lagerte und abgeräumt werden musste, nach der Trocknung brennbar war.

Diese torfähnliche Substanz, den Turf, ließen dann die jeweiligen Grundherren in kleinen Gruben von den Kleinbauern und Tagelöhnern mit Hacke und Spaten abgraben. Er wurde in Töpfen zu Klütten (von niederdeutsch Kluit = Klumpen) verdichtet und im Sommer an der Luft getrocknet.

Die Klütten hatten nur einen geringen Heizwert. Sie wurden vor Ort genutzt oder in der nahen Stadt an arme Leute verkauft. Solche Gruben bestanden noch bis in die 1920er Jahre.

4) Nach Informationen der RWE Power [V37]

7541014/10787806875Biblio

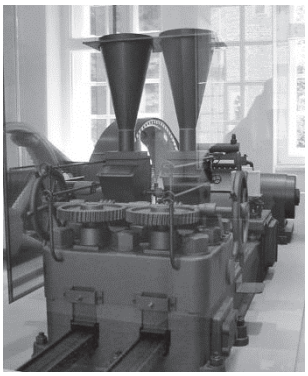
Im Westrevier stieß man 1819 beim Brunnenbau in der Ortschaft Lucherberg bei Inden auf Braunkohle. 1826 begann der Grundherr Karl von Goldstein mit dem Abbau eines 7,5 m mächtigen Flözes.

- **Beginn der Braunkohleindustrie (1850 bis 1905)**

Mit der Industrialisierung und dem Eisenbahnbau (1859 verband die erste Eisenbahnbrücke in Köln das westliche Rheinland mit dem Ruhrgebiet) ging der Absatz durch die Konkurrenz der billigen Steinkohle zurück und erreichte 1876 einen kurzen Tiefstand.

Zu Beginn des allgemeinen Aufschwungs nach dem Deutsch-Französischen Krieg 1870 bis 1871 haben wagemutige Unternehmer in Brühl 1877 (Gewerkschaft Roddergrube) und 1878 (Gewerkschaft Brühl) die Kohlegewinnung durch dampfbetriebene Entwässerungspumpen konkurrenzfähig gemacht und die Herstellung von Briketts durch maschinelle Pressen revolutioniert. Solche Pressen waren 1872 im mitteldeutschen Revier entwickelt worden und wurden jetzt auch in Brühl eingesetzt. In rascher Folge wurden weitere Brikettfabriken gegründet.

Überregionale Eisenbahnlinien sowie die lokalen Bahnen Köln-Frechen-Benzelrather Eisenbahn von 1893, Bergheimer Kreisbahn 1897/1899 und Hürth-Kalscheuren-Hürth-Knapsack von 1901 verbanden viele Orte in der Ville und erschlossen weitere Kohlefelder oder banden Gruben an die Nachfrageräume an.



Die erste Brikettfabrik im Westen wurde 1888 durch die Gewerkschaft Maria Theresia zu Herzogenrath errichtet. 1913 wurde im Westrevier die Braunkohle-Industrie AG Zukunft als Zusammenschluss verschiedener kleiner Gewerkschaften mit dem Ziel gegründet, ein Kraftwerk zu bauen. 1914 gingen der Tagebau Zukunft und das erste Kraftwerk Weisweiler in Betrieb.

Abb. A-6: Brikettpresse von 1872 [1]

Die Mechanisierung machte weitere Fortschritte: 1895 wurde der erste Abraumbagger, der für den Bau des Nord-Ostsee-Kanals gebaut worden war, in der Grube Donatus bei Liblar eingesetzt.

Der erste Schrämbagger zum Kohleabbau kam 1907 im Brühler Gruhlwerk als „Eiserner Mann“ zum Einsatz. 1909 waren es bereits vier Kohlebagger in den 29 Gruben, und 1913 hatten nur drei Gruben keine Bagger.

Die Förderung stieg von fünf Millionen Tonnen 1905 auf 17,4 Mio. t im Jahre 1913. Dennoch war der Absatz gegenüber der traditionellen Steinkohle schwierig. Dazu machten die Gruben sich auch untereinander Konkurrenz.

1899 schlossen sich deshalb 19 Gruben zu einem Verkaufssyndikat zusammen, um Briketts als Markenartikel unter dem Namen Union-Brikett mit einheitlichen Standards auf den Markt zu bringen.

7541014/10787806875Biblio

Im Nordrevier wurde 1907 zwischen Neurath und Garzweiler durch den Aufschluss des Feldes Rheingold mit dem kommerziellen Abbau begonnen, zuerst noch mit Hacken und Loren.

Ein Jahr später wurde aber der erste Kratzbagger eingesetzt. Heute sind die Grubenfelder im Tagebau Garzweiler zusammengefasst.

- **Elektrizitätserzeugung aus Braunkohle (1892 bis 1918)**

Das erste kleine Kraftwerk zur Elektrizitätsversorgung des Ortes Frechen entstand 1892 in der Grube Herbertskaul.

Das erste größere Kraftwerk mit einer Leistung von etwa einem Megawatt (MW) entstand 1899 in Verbindung mit der Zuckerfabrik Brühl an der Grube Berggeist. Das Kraftwerk Berggeist wurde 1906 durch die Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG, Essen, übernommen.

Damals begann die jetzt über 100 Jahre dauernde Verbindung von Braunkohle und RWE. 1910 entstand zur Versorgung von Köln und Bergheim das 8-MW-Kraftwerk Fortuna im Nordrevier. 1912 bis 1918 wurde dann das Kraftwerk Goldenberg von RWE in Knapsack gebaut, das erste Großkraftwerk auf der Basis Braunkohle mit einer Kapazität von 90 MW im Jahre 1918 (1932: 500 MW).

Darüber hinaus erzeugte jede Brikettfabrik seit etwa 1900 ihren eigenen Strom, den sie – wenn nicht selbst benötigt – ins Stromnetz einspeiste. Die preiswerte Energie zog erste energieintensive Chemiewerke an, so 1907 das Kalkstickstoffwerk in Knapsack, das seinen Strom anfangs auch selbst erzeugte.

- **Revier zwischen den Weltkriegen**

Die Kohleförderung vor dem Ersten Weltkrieg von 17,4 Mio. t 1913 wurde bereits 1918 wieder erreicht.

Anfang der 1920er Jahre war, aufgrund rascher Mechanisierung, der Tagebauabbau schon bei einem Verhältnis von Deckgebirge (= Abraum) zu Braunkohle von 4:1 rentabel geworden.

So konnte die Jahresförderung bis 1929 auf 48,0 Mio. t klettern. Im Zuge der Weltwirtschaftskrise ging die Braunkohleförderung kurzzeitig auf 39,2 Mio. t zurück. Zwischen 1933 und 1943 stieg sie kontinuierlich bis auf 68,6 Mio. t.

Der Schwerpunkt der Förderung verlagerte sich dabei auf das Nordrevier. Die ersten Gruben im Südrevier schlossen schon 1931 (Maria Glück) und 1933 (Roddergrube).

1920 übernahm Hugo Stinnes die Aktien der Roddergrube. Dies führte zur beherrschenden Stellung der RWE im Braunkohleabbau.

Die Konzerngesellschaften stellten 1932, nach Übernahme der später sogenannten Rheinbraun, etwa 60 % der Belegschaft von insgesamt 12.404 Arbeitern und 70 % der 645 Brikettpressen im Bereich der Ville.

Der größte Förderzuwachs ging auf die Steigerung der Stromerzeugung zurück. Waren es 1914 bei den beiden Kraftwerken am Standort Ville zusammen noch 38 MW, so brachte es 1932 das Goldenberg-Werk auf 500 MW, Fortuna auf 174 MW und Frimmersdorf auf 90 MW. Die Brikettfabriken erzeugten weitere 11 MW an Überschussenergie.

7541014/10787806875Biblio

Die Chemische Industrie entwickelte sich rapide. 1927 entstand in Knapsack das Natrium-, Chlor- und Chlorkalkwerk der Degussa. Das Martinswerk in Bergheim fabrizierte Aluminiumoxid und Tonerdehydrat.

- **Revier im Zeichen der Nazi-Autarkiepolitik**

Nach 1933 setzten die nationalsozialistischen Autarkiebestrebungen neue Impulse für den Bergbau. Die Aufrüstung und der Zweite Weltkrieg hatten einen übermäßigen Energiebedarf zur Folge.

Von 1934 bis 1942 wurde die Brikettproduktion im Revier von 9 Millionen Tonnen auf eine Rekordzahl von 14,5 Mio. Tonnen jährlich gesteigert.

Auf Anraten von Reichswirtschaftsminister Hjalmar Schacht wurden Verfahren zur Kohleverflüssigung gefördert und 1937 die Union Rheinischer Braunkohlen Kraftstoff AG in Wesseling gegründet.

Die Kohlelager des Südreviers gingen zur Neige, sodass nördliche Tagebaue ausgebaut oder neu erschlossen wurden, um den erhöhten Kohlebedarf zu decken.

Die Kohleförderung und Verarbeitung ließ sich im Weltkrieg nur mit mehreren zehntausend Zwangsarbeitern und Kriegsgefangenen aufrechterhalten.

- **Tiefbau-Schachtanlage Union 103**

Bei Probebohrungen hatte man 1927 in Tiefen von über 200 m Flöze nordwestlich von Kerpen entdeckt. Bei dem damaligen Stand der Technik war eine Förderung im Tagebau in dieser Tiefe nicht möglich.

Entsprechend den nationalsozialistischen Autarkiebestrebungen sollte hier versuchsweise Braunkohle unter Tage gefördert werden.

Die eigens gegründete Rheinische Braunkohlentiefbaugesellschaft begann 1939 mit der Abteufung von zwei Schächten zwischen Morschenich und Elsdorf. Ein ähnlicher Versuch der Gewerkschaft Neu-Deutz in Köln-Kalk um 1850 war an den hohen Grundwassermengen gescheitert.

In Morschenich gelang das Projekt zunächst: Zwischen 1941 und 1954 wurden in einer Teufe von fast 350 m Flöze von bis zu 70 m Mächtigkeit abgebaut. Doch bereits 1954 wurde das Experiment abgebrochen:

Die geologischen Verhältnisse erlaubten den Abbau nur unter extremem technischen Aufwand, welcher das Unternehmen unwirtschaftlich werden ließ. Die vier Hauptstollen und ihre Nebenstrecken mit einer Gesamtlänge von elf Kilometern wurden mit 25.000 Kubikmeter Beton und 8.300 t Stahl verstärkt und die beiden Einstiegsschächte verschlossen.

Im Jahre 2014 oder 2015 wird der Tieftagebau Hambach die Stollen erreichen. Die Ingenieure planen schon jetzt das Vorhaben mit aller Vorsicht.

- **Revier seit 1945**

1960 übernahm RWE auch die BIAG des Westreviers. Bis zur deutschen Wiedervereinigung war das Rheinische Revier damit die bedeutendste westdeutsche Braunkohleregion. Die Braunkohle-Jahresproduktion in Ostdeutschland war jedoch höher.

7541014/10787806875Biblio

Weitere westdeutsche Braunkohlereviere waren etwa die Braunschweigischen Kohlen-Bergwerke (BKB, heute im Besitz der E.ON Energie AG) in Helmstedt sowie die Gruben Hirschberg bei Kassel und Wackersdorf in der Oberpfalz. In Ostdeutschland erfolgt die Braunkohleförderung und -verstromung im Lausitzer und Mitteldeutschen Braunkohlerevier nach umfangreicher Restrukturierung heute durch Vattenfall beziehungsweise durch die MIBRAG.

1.5.3 Großtagebaue

Die Rohkohleförderung im Rheinischen Revier erreichte 1984 mit 120,6 Millionen Tonnen ihr absolutes Maximum. Seit 2002 liegt die Jahresförderung auf einem Niveau von etwa 100 Millionen Tonnen.

1.5.4 Braunkohlenreviere im Osten Deutschlands

- **Braunkohlenbergbau in Mitteldeutschland**

Historische Entwicklung

Die früheste bekannte Förderung erfolgte 1382 in Lieskau. Im Zuge der Industrialisierung nahm die Förderung und Verarbeitung einen ersten Aufschwung, der im Rahmen der Autarkiepolitik im Deutschen Reich und später der DDR stark ausgeweitet wurde. Den Höhepunkt der Kohlegewinnung stellte das Jahr 1963 dar, damals belief sich die Förderleistung auf 143 Mio. Tonnen.

Als Reaktion auf die Ölkrisen wurde ab den 1970er Jahre eine radikale Auskohlungspolitik betrieben; Tagebaue, Brikettfabriken, Kraftwerke (Kraftwerk Thierbach, Altkraftwerk Lippendorf) und Schwelereien prägten das Bild der Region insbesondere im Südraum Leipzig.

Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung erfolgte die Reduzierung des Bergbaus auf ein ökologisch und ökonomisch tragfähiges Niveau.

Von ehemals 20 Tagebauen wurden 17 außer Betrieb genommen, damit wurden auch die meisten Verarbeitungsbetriebe stillgelegt bzw. durch effiziente Neubauten (Kraftwerk Lippendorf, Kraftwerk Schkopau) ersetzt.

Die Zahl der in der Braunkohleindustrie Beschäftigten reduzierte sich innerhalb weniger Jahre von ca. 60.000 auf derzeit ca. 2.200.

Bergbau wird derzeit noch von der MIBRAG in zwei Tagebauen (Förderung 2007: 18,6 Mio. t) und in geringem Umfang von der Romonta GmbH in Amsdorf betrieben.

Die Hinterlassenschaften der stillgesetzten DDR-Braunkohlenwirtschaft werden seit 1994 von der LMBV saniert und rekultiviert.

Der Braunkohlenbergbau hat im Laufe seiner über 300-jährigen Geschichte einerseits eine jahrhundertealte Kulturlandschaft in Anspruch genommen, andererseits aber gerade durch seine Eingriffe selbst wesentlich zur Kulturlandschaftsentwicklung beigetragen.

Die neue Landschaft von Menschenhand (SAUER 2002) hinterließ der Nachwelt beim Zusammenbruch der DDR-Braunkohleindustrie mehrere hundert Sachzeugen aus dem Bereich der Gewinnung und Verarbeitung der Braunkohle.

7541014/10787806875Biblio

Die im Zuge der Wende zu Tage getretenen Akzeptanzprobleme gegenüber der Braunkohlen- und Energiewirtschaft (Umweltverschmutzung, Devastierungen) sowie fehlende Nach- und Umnutzungskonzepte führten zu einem raschen Abriss bzw. Rückbau stillgesetzter Tagebau-Großgeräte und Fabrikanlagen.

Angesichts von ehemals ca. 60.000 Beschäftigten in der mitteldeutschen Braunkohleindustrie haben auch arbeitsmarktpolitische Aspekte bei der Forcierung von Rückbau und Abriss eine nicht zu unterschätzende Rolle gespielt, konnte doch mit den umfangreichen Rückbaumaßnahmen zumindest ein Teil der Belegschaften weiter beschäftigt werden.

- **Braunkohlen-Bergbaurevier Meuselwitz**

Historische Entwicklung

Der Ort Meuselwitz war einer der bedeutendsten Zentren des mitteldeutschen Braunkohlenbergbaus. Die Anfänge des Kohlebergbaus reichen bis in das Jahr 1670 zurück. Um diese Zeit fand Dr. Matthias Zacharias Pilling aus Altenburg in der Nähe von Meuselwitz „brennende Erde“, die er in einer 1671 herausgegebenen Abhandlung beschrieb.

Weniger aufgeschlossen gegenüber dem neuen Gewerbe zeigten sich die Bevölkerung und die damaligen Besitzer des Rittergutes in Meuselwitz, die Erben Winters. Schon 1673 vertrieben die Knechte des Rittergutes die Grubenarbeiter, und im Dorf verweigerte man ihnen die Wohnungen.

Selbst der Gutsherr Friedrich Karl von Seckendorff konnte die Schachtungen nahe der Altenburger Straße nicht verhindern. Eindringendes Wasser in den Schacht ließ jedoch keinen Abbau zu.

In den 20er und 30er Jahren des 19. Jahrhunderts bedingten Bevölkerungszuwachs und steigende Preise für Ackerland die Abnahme der Waldbestände.

Die Bevölkerung wurde mehr und mehr gezwungen, sich auch anderer Feuerungsmaterialien zu bedienen. Neben der Torfgräberei sollte in den nächsten Jahrzehnten dem Braunkohlenbergbau der entscheidende Durchbruch gelingen.

Gruben als landwirtschaftlicher Nebenbetrieb, von Laien geleitet, schossen damals wie Pilze aus dem Boden. Der Abbau glich dementsprechend auch mehr einem Raubbau, da nur etwa 30 % der Vorkommen genutzt worden sind.

Rechnet man zu den 77 Gruben im Sachsen-Altenburgischen Teil die fünf auf preußischem Gebiet, so gab es 1860 insgesamt 82 Braunkohlegruben im Meuselwitz-Rositzer Braunkohlerevier. Als 1858 Heinrich und Oskar Herbst und W. Berger zur Gründung eines Aktienunternehmens aufforderten, mit dem Hinweis darauf, dass die Kohle den Bereich der Industrie zu erobern beginnt und das Kapital sich wohl gut verzinsen lasse, kam schon im Herbst des Jahres die Bildung der Abbaugesellschaft „Fortschritt“ zustande.

Infolge der Neugründungen schwoll die Förderung des gesamten Reviers 1876 auf 750.000 t an. Auf diese für den Bergbau günstigen Jahre folgte jedoch ein im Reich schon 1873 einsetzender Krisenzyklus mit einer akuten Absatzkrise auch für den Braunkohlenbergbau.

Verschiedene Unternehmungen mussten Konkurs anmelden. Die Leidtragenden waren jedoch die Bergleute. Neben Lohnkürzungen verloren allein in Sachsen-Altenburg 1.000 ihren Arbeitsplatz.

7541014/10787806875Biblio

Nach Ausbruch des Ersten Weltkrieges und der damit verbundenen Kriegswirtschaft erhielt die Braunkohle noch größere Bedeutung. Die Kohleförderung hielt sich während des Krieges bei 6,5 Mio. t pro Jahr.

Mit der „Deutschen Erdöl-AG“ ließ sich der erste braunkohleverarbeitende chemische Betrieb nieder. Auch nach dem Weltkrieg stieg die Bedeutung des Rohstoffs Braunkohle unvermindert an.

Mit der Abtrennung von Elsaß-Lothringen und Teilen Oberschlesiens sowie der Besetzung des Saarlandes nach dem Versailler Friedensdiktat Deutschland auferlegten Forderungen fehlten der Industrie wichtige Rohstofflieferanten.

Die Förderung im Meuselwitz-Rositzer Revier wurde so beträchtlich erweitert und stieg von 1919 bis 1928 von 6,6 Millionen t auf 10,3 Millionen Tonnen.

Die Anzahl der Tagebau- und Tiefbaubetriebe ging im gleichen Zeitraum jedoch weiter zurück. Das ganze Revier hatte 1921 noch 20 Braunkohlebetriebe mit 8.631 Beschäftigten.

Die Arbeitszeit betrug vor dem Ersten Weltkrieg 12 Stunden ohne feste Pausen (im Tiefbau 9 Stunden).

Die Einführung des 8-Stunden-Tages als eine der größten Errungenschaften der Novemberrevolution bedeutete für die Kohlebetriebe den Übergang vom Zweischicht- zum Dreischichtsystem.

Die Belegschaft konnte damals um 50 % vermehrt und die Arbeitslosigkeit im Revier fast vollständig beseitigt werden. Nach der Niederlage der Arbeiter im großen Herbststreik 1923 wurden die Errungenschaften zunichte gemacht.

Der erhöhte Energiebedarf der Rüstungs- und Kriegsproduktion ließ die Grubenbetriebe, Kraftwerke und Brikettfabriken auf Hochtouren laufen. Dazu kam der wachsende Bedarf an Rohbraunkohle in der chemischen Industrie.

Nach dem Zweiten Weltkrieg stand zunächst in fast allen Braunkohlenwerken die Produktion still. Einige waren zerstört. So wurden zum Beispiel durch den Großangriff am 20. Februar 1945 das Hauptmagazin der Brikettfabrik Zipsendorf III (Grube Fürst Bismarck) und das Zechenhaus total zerstört und das Kesselhaus stark beschädigt.

Alle Betriebe fielen unter die Bestimmungen zur Beschlagnahme und wurden, außer den in der Sowjetischen Aktiengesellschaft verbleibenden, den Landes- und Provinzialleitungen übergeben, die Treuhänder einsetzten.

Bis 1928 verschwanden in der näheren Umgebung von Meuselwitz einige Dörfer unter dem Bagger (z. B. Ruppersdorf, Wuitz, Sabissa und Zechau-Leesen). Die Bergbaubetriebe vereinigten sich zum VVB Borna und Meuselwitz, Sitz Altenburg.

Die Meuselwitzer Vereinigung umfasste 1948 12 Braunkohlenwerke und 11.820 Beschäftigte, die Bornaer 9 Werke mit 7.345 Beschäftigten.

Schon im Mai 1949 konnte in der Brikettproduktion in Meuselwitz der bisherige Höchststand von 1944 um 1,4 % überboten werden.

Im Jahre 1950 förderte das vereinigte Borna-Meuselwitzer Revier 37 Mio. t Rohbraunkohle und 1957 57 Mio. t, was mehr als ein Viertel des Gesamtbraunkohleaufkommens der DDR bedeutete.

7541014/10787806875Biblio

Die damals noch bestehenden Betriebe und Tagebaue wurden dem VEB Braunkohlekombinat Bitterfeld unterstellt. Das Geschehen hat sich im Laufe der Jahre von seinem einstigen Zentrum Meuselwitz entfernt.

Die nach der politischen Wende 1990 noch bestehenden Brikettfabriken wurden von der MIBRAG (Mitteldeutschen Braunkohlen Aktien Gesellschaft), die aus dem VEB Braunkohlenkombinat Bitterfeld entstanden ist, nach und nach geschlossen.

Hinweis: Der heutige Braunkohlenabbau wird in Kapitel „Gewinnung der Rohstoffe“ ausführlich beschrieben.

1.6 Salz- und Kalireviere

1.6.1 Wichtigste Salzbergwerke

Deutschland steht in der Salz- und Kaliförderung an vierter Stelle in der Weltproduktion. Vor dem Ersten Weltkrieg war Deutschland der alleinige Förderer von Salz. Die wichtigsten deutschen Salzbergwerke (Trockenabbau und Solung):

In Bayern befinden sich das Bergwerk Berchtesgaden sowie die Saline Bad Reichenhall der Südsalz AG. Im Salzbergwerk Berchtesgaden wird der klassische Solebergbau nach dem sogenannten Sinkwerksbauverfahren betrieben.

In Baden-Württemberg liegen das Salzbergwerk Heilbronn der Südwestdeutschen Salzwerke AG, die Saline Bad Friedrichshall der Südsalz GmbH sowie das Bergwerk Stetten bei Haigerloch der Wacker Chemie AG.

In Nordrhein-Westfalen befinden sich das Bergwerk und auch die Saline Borth der esco GmbH & Co. KG und in der Nähe von Wesel am Niederrhein das Solwerk Erp. Hier findet in den ausgesolten Bereichen die größte Untertagespeicherung von Erdgas und Erdöl statt.

In Sachsen-Anhalt liegen das Bergwerk und die Saline Bernburg, ebenfalls Betriebe der esco GmbH & Co. KG (K+S Gruppe).

Ein weiteres Bergwerk der esco GmbH & Co. befindet sich im Land Niedersachsen, das Bergwerk Braunschweig-Lüneburg nahe Helmstedt.

Eine Besonderheit und ein Kleinod des deutschen Salzbergbaus bildet die Saline Luisenhall GmbH in Göttingen.

In Hessen liegen die Standorte Wintershall und Hattorf der Kali + Salz AG (K+S) Werra bei den Ortschaften Heringen und Philippsthal im Landkreis Hersfeld-Rotenburg. Ebenfalls in Hessen gelegen ist das Werk Neuhof-Ellers bei Neuhof, südwestlich von Fulda.

In Thüringen werden am Standort Unterbreizbach, welcher ebenfalls zum Verbundwerk Werra gehört, Kalium- und Magnesiumsalze abgebaut (K+S Gruppe).

In Niedersachsen ist das Kaliwerk Sigmundshall bei Wunstorf am Steinhuder Meer aktiv. In den Produktionsanlagen des Werks Bergmanssegen-Hugo in Lehrte werden kalium- und magnesiumhaltige Rohsalze verschiedener Gewinnungsstandorte zu Produkten und Spezialprodukten verarbeitet und konfektioniert (K+S Gruppe).

7541014/10787806875Biblio

1.6.2 Entwicklung der Salzgewinnung

Wie haben die Menschen der Urzeit ohne Salz überleben können? Diese Frage beschäftigte viele Wissenschaftler mit dem Ergebnis, dass die Tiere die im Boden gelösten Mineralien über die Pflanzen aufgenommen haben.
Das Salz wiederum hat sich im Fleisch abgelagert, und da die damaligen Jäger und Sammler große Fleischesser waren, gab es keinen Salzmangel.
Erst als die Menschen sesshaft wurden und Ackerbau betrieben, steigerte sich der Anteil der pflanzlichen Nahrung. Fleisch wurde immer weniger roh oder gebraten verzehrt, sondern zunehmend gekocht.
Durch das Kochen wird dem Fleisch das Salz weitgehend entzogen. Daher entstand die Notwendigkeit, Salz auf andere Art dem Körper zuzuführen.

Aus der Siedlungsgeschichte wissen wir, dass die Menschen sich besonders häufig in der Nähe von Küsten des Meeres ausgesiedelt haben. An diesen Gewässern lagerten sich Salzkrusten ab, die man einfach abernten konnte. Wo dies nicht möglich war, stand der Mensch vor der Aufgabe, das Salz gezielt aus dem Wasser zu gewinnen. Von den alten Germanen wird berichtet, dass sie in unmittelbarer Nähe von salzhaltigen Quellen große Reisighaufen aufgetürmt haben. Sie wurden angezündet und mit dem salzhaltigen Wasser gelöscht. Auf den Holzkohlestückchen bildeten sich Salzkrusten, die dann mühsam abgekratzt wurden.

1.6.2.1 Salzgewinnung aus salzhaltigen Wässern

Die Gewinnung von Salz aus salzhaltigen Wässern ist eine der ältesten Technologien überhaupt. Über Jahrhunderte hat sich am Grundprinzip des Eindampfens von Wasser recht wenig geändert, wenn auch die dabei verwendeten Apparaturen ständig weiterentwickelt wurden. So kam es im Laufe der Zeit zur Entwicklung von sog. Gradierwerken und Salzsiedepfannen. In Gradierwerken ließ man die salzhaltigen Wässer über quer zur Hauptwindrichtung erstellte Reisigwände herunterrieseln. Neben der Vorkonzentration durch Verdunstung wurden bei diesem Prozess gleichzeitig Kalk und zum Teil auch Gips aus den Solen abgeschieden. Die so gesättigte Sole wurde anschließend in offene Pfannen geleitet. Unter diesen Pfannen wurden Feuer entzündet und auf diese Weise die Sole zum Eindampfen gebracht, bis das Salz auskristallisierte.

Die Gewinnung von Salz durch Eindampfen von Sole in offenen Gefäßen behielt über Jahrhunderte ihre Bedeutung. Vor allem an den Küsten des Mittelmeeres schufen die Menschen sogenannte Salzgärten. Sie leiteten Meerwasser durch Kanäle in flache Becken, unterbrachen die Zufuhr, ließen das Wasser verdunsten und „ernteten“ dann das Salz.

Außer am Mittelmeer sind solche Salzgärten auch an der Küste des Schwarzen Meeres, in Indien, China und an der Westküste Afrikas entstanden. Salzgärten findet man auch heute noch z. B. in der Camargue in Südfrankreich.

In der Antike wurde der Salzbedarf rund um das Mittelmeer ausschließlich aus dem Meer gedeckt. Es gibt aber Hinweise, dass es bereits zu dieser Zeit vereinzelt Salzbergwerke gegeben hat.

7541014/10787806875Biblio

Abb. A-7:
Salzgewinnung aus einer Meeressaline. (Frühe Darstellung. Aquarell von N. Barbotin 1860) [V42]

1.6.2.2 Salzbergbau 500 Jahre v. Chr.

In Mitteleuropa konnte das kostengünstige Verfahren der Salzgewinnung aus dem Meer nicht angewendet werden, weil die Sonnenenergie dazu nicht ausreichte. Neben der Nutzung salzhaltiger Quellen gewann der Mensch deshalb im Laufe der Zeit Salz in Bergwerken.

In der Hallstatt- und der ihr folgenden Latènezeit, also in dem zweiten Abschnitt der europäischen Eisenzeit, etwa um 500 bis 450 v. Chr., ist der Salzbergbau nachgewiesen.

In Hallstatt in Österreich entdeckte man bis zu 400 m lange Stollen. Hier wurden Werkzeuge gefunden, ja sogar vom Salz konservierte verunglückte Bergleute. Aus all diesen Funden weiß man, dass Stollen und Schächte mit Bronzepickeln mühsam geschlagen wurden.

Auch die Kelten haben schon 400 Jahre v. Chr. Salz gewonnen. Dazu haben sie im Heilbronner Raum salzhaltige Quellen gefasst und die Sole über Feuer verdampft. Obwohl die Ausbeute aus diesem Salzsiedeverfahren gering war, konnten die Kelten Salz über ihren eigenen Bedarf hinaus erzeugen und als Handelsgut anbieten. Auch im Bad Reichenhaller Raum nutzten die Kelten das Natursolevorkommen.

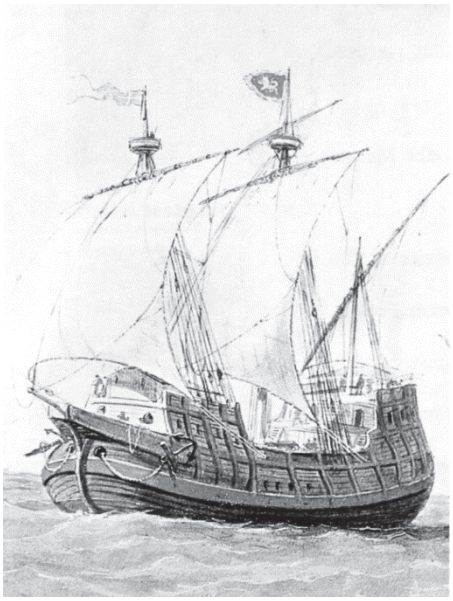
1.6.2.3 Wege des Salzes

Salz war ein wichtiges Handelsgut und überall gebraucht, aber die Vorkommen waren ungleich verteilt. Und so unterschied man die Länder West- und Nordeuropas nach salzerzeugenden und salzlosen Ländern.

In Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Italien, der Schweiz, Österreich, Dänemark und Großbritannien, aber auch in Spanien und Portugal, gab es Salz. Salzlos dagegen waren die Länder Schweden, Norwegen, Finnland, Belgien, Luxemburg und Irland.

Der Handel des in der Frühzeit aus dem Mittelmeer gewonnenen Salzes verlief auf den uralten Bernsteinstraßen, auf denen in vorgeschichtlicher Zeit Bernstein in den Süden und Salz nach Norden transportiert wurden. Über die Meere brachten Großhändler das Salz auf Schiffen. Quer über das Land zogen Karawanen mit Lasttieren. Die Salzgewinnung erlangte besonders in der Nähe von Flüssen große Bedeutung. Reichenhall an der Saalach, Halle an der Saale sind dafür eindrucksvolle Beispiele.

7541014/10787806875Biblio



Der Transport per Schiff war am sichersten und einfachsten. Noch im frühen Mittelalter benutzte man für den Salztransport hauptsächlich die Wasserwege. Auch im Heilbronner Raum ist die verkehrsgünstige Lage am Neckar von großer Bedeutung.

Industriesalz wird heute überwiegend per Schiff transportiert – zweifellos eine umweltschonende und sichere Lösung.

Abb. A-8: Salz auf dem Weg übers Meer (Segelschiff im 14. Jahrhundert) [V42]

1.6.2.4 Salzstraßen – die ältesten Handelswege

Natürlich konnte man sich nicht auf die Wasserwege beschränken. Der Transport über Land spielte aber noch keine gewichtige Rolle, weil die Menschen im Bereich anderer Güter im Wesentlichen Selbstversorger waren. Das Salz brauchte Straßen.

Daher kam es, dass Deutschlands erste Straßennetze Salzhandelswege waren. So gründete und gründet sich noch heute der Wohlstand mancher Region oder Städte auf ihre Salzlagerstätte.

Von Schwäbisch Hall aus exportierte man beispielsweise Salz nach Bayern, Böhmen, aber auch nach Gallien. Salzstraßen entstanden dadurch in ganz Europa.

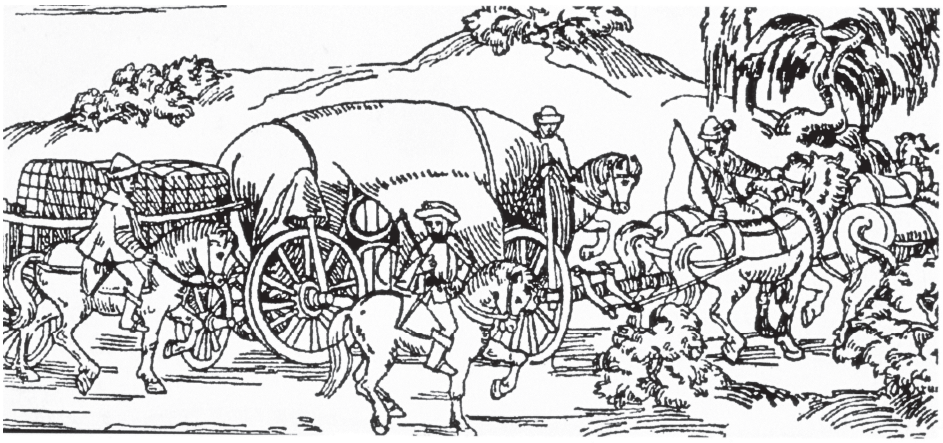


Abb. A-9: In Fässern und Säcken, von Landsknechten bewacht, ging das Salz auf Reisen durch Europa. [V42]

7541014/10787806875Biblio

1.6.2.5 Obrigkeit und das Salz

Ein Wirtschaftsgut, das jeder braucht, weil es lebensnotwendig und unersetzlich ist, bleibt dem Staat als Einnahmequelle selten verborgen. So auch beim Salz. Schon seit frühester Zeit wurden Zölle und Steuern auf das Salz festgesetzt. Bis Ende 1992 mussten noch je 100 kg Salz, das als Speisesalz verwendet wurde, durch den Hersteller 6,14 Euro (umgerechneter Wert) Salzsteuer entrichtet werden.

Im Zuge der Errichtung des Europäischen Binnenmarkts und der damit einhergehenden Steuerharmonisierung entfiel die Salzsteuer als sogenannte Bagatellsteuer ab 1.1.1993.

1.6.2.6 Steinsalzlager im Heilbronner Raum

Eine sensationelle Meldung aus dem Jahre 1816: In Jagstfeld, heute ein Stadtteil von Bad Friedrichshall, wurde erstmals in Mitteleuropa durch eine gezielte Bohrung ein Steinsalzlager entdeckt.

Die bergmännische Gewinnung begann dort um 1859, während in Heilbronn 1885 und in Kochendorf 1899 zum ersten Mal Steinsalz gefördert wurde.

Die bergmännische Gewinnung im Raum Heilbronn ist erst ca. 100 Jahre alt. In dieser Zeit entstand ein Wege- und Streckennetz von über 700 km Länge. Das entspricht in etwa der Entfernung Heilbronn–Florenz. Tag für Tag wächst diese Strecke mit Hilfe modernster Technologie weiter.

1.6.2.7 Salzgewinnungen in Berchtesgaden

Das Salzbergwerk Berchtesgaden ist seit 1517 ununterbrochen in Betrieb. In derselben Salzlagerstätte, allerdings auf österreichischem Staatsgebiet, haben bereits die Kelten Salz gewonnen.

1.6.2.8 Salzgewinnungen in Bad Reichenhall

Das Salz tritt hier in seltener Form zutage: als natürliche Quellsole. Das in den Karst eindringende Wasser löst das Salz aus den Lagerstätten, ohne jeden Eingriff des Menschen, und das seit Tausenden von Jahren.

Im Reichenhaller Becken existieren sehr bedeutende und umfangreiche Natursole-Lagerstätten. Sie besitzen nach bisherigen Erkenntnissen eine Ausdehnung von 4,5 km × 2,5 km. Wahrscheinlich reicht das Vorkommen bis 1.000 m in die Erdoberfläche hinab.

1.6.3 Kalibergbau an Werra und Ulster

Die Böden der Rhön und ihres Umlandes, das bis an die Werra und Fulda reicht, geben wenig her.

Das Klima ist rau, und die Bewirtschaftung der Hanglagen bereitet Mühe. Von Eisenbahntrassen umfahren und nur durch wenige Fernstraßen erschlossen, blieb die Region lange Zeit gemieden.

Hersfeld und Eisenach waren im Vergleich zu ihrem Hinterland industrielle Zentren. Der Raum zwischen Fulda im Südwesten und Salzungen im Nordosten war eines jener abge-

7541014/10787806875Biblio

legenen Armenhäuser, derer es im Deutschland des vergangenen Jahrhunderts verschiedene gab.

Hätte der Geologe Carl von Ochsenius Recht behalten, wäre die Landschaft zwischen den Oberläufen von Fulda und Werra wohl auch ein solches geblieben. Denn der Wissenschaftler hatte geurteilt, dass das weiße Gold des vorigen Jahrhunderts, das Kalisalz, südlich des Harzes nicht vorkäme. Doch der Geologe irrte.

- **Historische Entwicklung**

1856 bis 1888: Die Wurzeln der K+S Gruppe reichen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. Damals entstanden in Deutschland die ersten Düngemittelfabriken, die vor allem Phosphat und Superphosphat herstellten. Zu dieser Zeit propagierte Justus von Liebig bereits den Einsatz von Kalidünger.

Doch erst durch die Entdeckung von kalihaltigen Salzen in Staßfurt 1856 und den Bau der ersten Kalibergwerke der Welt war dieser Rohstoff in großen Mengen verfügbar.

Bald darauf setzten Landwirte das Kali als wirksamen Mineraldünger ein, der zusammen mit Phosphat und Stickstoff die Ernteerträge erheblich steigerte. Die steigende Nachfrage nach diesen Pflanzennährstoffen führte zu einem Boom in der deutschen Kali- und Düngemittelindustrie.

In den 1880er Jahren setzte sich die Mineraldüngung endgültig durch und revolutionierte die Landwirtschaft.

1889: Gründung der „Aktiengesellschaft für Bergbau und Tiefbohrung“ in Goslar, aus der später die Salzdetfurth AG (1899) – die älteste Vorläuferin der heutigen K+S Aktiengesellschaft – hervorging. Die Salzgewinnung erfolgte von Hand durch Lösen mit dem Abbauhammer und Verladen in Loren.

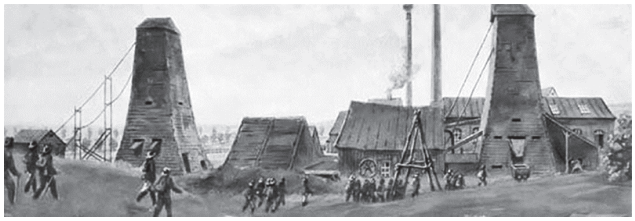


Abb. A-10: Erstes privat betriebenes Kalibergwerk der Welt (Kopie eines Ölgemäldes von einem unbekannten Maler) [V40]

1888 bis 1914: Der weltweite Erfolg des Kalidüngers aus Deutschland führte gegen Ende des 19. Jahrhunderts zur Erschließung neuer Kalireviere und zur Gründung einer Vielzahl von Kaliwerken.

Mit Unternehmen wie Wintershall, Salzdetfurth und Burbach an der Spitze stieg die deutsche Kaliindustrie zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig auf.

Die Kali- und Düngemittelindustrie entwickelte immer wirksamere Mineraldünger und Düngemittelkombinationen.

Sie trug maßgeblich zum schnellen Wachstum der deutschen Landwirtschaft um 1900 bei. Kali war aus der deutschen Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken und hatte sich zum Exportschlager entwickelt. Mit dem Einsatz von Bohrhämmern für das Herstellen der Sprenglöcher stieg die Gewinnungsleistung erheblich.

7541014/10787806875Biblio

1945 bis 1968: Nach dem Zweiten Weltkrieg musste die deutsche Kali- und Düngemittelindustrie in West- und Ostdeutschland getrennte Wege gehen. Ehemals zusammenhängende Unternehmen waren nun geteilt und mussten in unterschiedlichen Gesellschaftssystemen neu beginnen. In Ost und West wurden stillgelegte Werke wieder in Betrieb genommen. Gleichzeitig verstärkte sich der internationale Wettbewerb.

1938: Gasunfall mit 8 Toten – Grund: Stellenweise ist in das Salz der Lagerstätte seit Millionen von Jahren durch den Rhönvulkanismus Kohlensäuregas eingebettet. Das Gas steht unter hohem Druck.

1945: Durch die Aufteilung Deutschlands in Besatzungszonen und die anschließende Teilung des Landes verbleiben in der Bundesrepublik Deutschland nur etwa 40 % der ehemaligen Produktionskapazitäten. Die verbleibenden 60 % fallen an die DDR.

1956: Der Betrieb einer ersten Bandstrecke im Werk Hattorf läutet das Ende der schienengebundenen Streckenförderung ein.

Kilometerlange Förderbänder setzen sich in der Folge immer weiter durch und ersetzen nach und nach Kettenbahnen, Seilbahnen und elektrische Fahrtdrahtlokomotiven. Ihr Vorteil im Vergleich zum schienengebundenen Transportsystem liegt darin, dass arbeitsintensive Tätigkeiten in Gleisbau, Regulierung und Wartung entfallen. Auch lassen sich mit Bändern Steigungen in den Strecken leichter überwinden und Transportmengen steigern. Schwere Radlader transportieren das gelöste Kalisalz zu den Bandübergabestellen.

1968 bis 1989: Die Entwicklung der deutschen Kaliindustrie in den 1970er Jahren war von zwei wichtigen Zusammenschlüssen geprägt: Um auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu bleiben, schlossen in der Bundesrepublik die Salzdetfurth AG und die Wintershall AG ihre Kali- und Steinsalzaktivitäten in der neu gegründeten „Kali und Salz“ unter dem Dach der BASF zusammen.

9. November 1989: Mit der Maueröffnung begann eine neue Ära der deutschen Geschichte. Die Wiedervereinigung bot der deutschen Kaliindustrie die einmalige Chance, gemeinsam eine neue Startposition im internationalen Wettbewerb einzunehmen.

Die ost- und westdeutsche Kaliindustrie entwickelte zusammen mit der Treuhandanstalt ein zukunftsweisendes Konzept, um unter gemeinsamer Führung und Nutzung der besten deutschen Lagerstätten auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu sein. Dieses Konzept der „wirtschaftlichen und sozialen Vernunft“ fand breite Zustimmung auch bei Gewerkschaften und Politik.

Im Zuge der Privatisierung der ostdeutschen Kaliindustrie vereinigten „Mitteldeutsche Kali AG“ und „Kali und Salz AG“ ihre Kali- und Steinsalzaktivitäten in der „Kali und Salz GmbH“.

1999: Änderung des Firmennamens in K+S Aktiengesellschaft. Die deutsche Salzindustrie ist in der Lage, den heimischen Salzbedarf über die nächsten Jahrhunderte abzudecken und gleichermaßen einen bedeutenden Anteil des europäischen Salzbedarfs zu decken.

7541014/10787806875Biblio

1.7 Ruhrgebiet

Das wohl bekannteste Industriegebiet in Deutschland ist das Ruhrgebiet. Grundlage des industriellen Aufschwungs war die Entdeckung der Steinkohle. Sie lieferte den Koks für die Hochöfen der Erzverhüttung. Es entstanden große Stahlwerke und stahlverarbeitende Betriebe.

1.7.1 Historische Entwicklung

Strenggenommen führt das Ruhrgebiet heute einen falschen Namen.

Denn der Kohlebergbau, die ursprüngliche industrielle Basis dieses größten wirtschaftlichen Ballungsraums Europas, findet schon lange nicht mehr an der Ruhr, sondern rund 30 km nördlich davon statt.

Doch im Tal dieses Flusses, wo die Steinkohle an zahlreichen Stellen zutage tritt, nahm der Kohleabbau einst seinen Anfang.

Urkundlich belegt ist dies seit dem 13. Jahrhundert. Über lange Zeit wurde die Kohle lediglich mit Hacke und Schaufel in flachen Gruben geschürft. Erst ab dem 17. Jahrhundert wurden horizontale Stollen in die Talhänge getrieben, und es wurde auch Schwarzpulver zum Sprengen eingesetzt. Den Beginn des regelrechten Bergbaus markiert aber das Jahr 1800, als auf der Zeche „Vollmond“ bei Bochum der erste vertikale Schacht auf 46 m abgeteuft wurde. Am Ende solcher Schächte wurden horizontale Stollen gebaut und ringsum mit Holzstämmen stabilisiert.

Zum Abbau der Kohle wurde dann zwischen zwei Stollen eine Querverbindung angelegt, ein sogenannter „Streb“, der längsseitig an das Kohleflöz stößt, ein Schema, das bis heute beibehalten wurde.

1.7.2 Druckluft-, Dampf- und Pferdekraft

Für die weitere Entwicklung des Ruhrbergbaus nach 1800 spielten Dampfmaschinen eine Schlüsselrolle:

Damit war es möglich, das in die Bergwerke eindringende Grundwasser an die Erdoberfläche zu pumpen – ein im Mittelalter kaum lösbares Problem. Zudem konnten mit den Dampfmaschinen immer größere Kohlemengen aus großen Tiefen durch die Schächte zutage gefördert werden. Das war besonders wichtig, weil die Kohleflöze im Ruhrgebiet mit einer Neigung von ca. 5° nach Norden absinken und die Schächte deshalb im Laufe der Zeit immer tiefer geteuft werden mussten.

7541014/10787806875Biblio

Abb. A-11: Steinkohlengewinnung mit Druckluft-Abbauhammer (Foto aus 1925) [1]

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts war eine Tiefe von 775 m erreicht. Als bahnbrechende Neuerung erwies sich auch das Drahtseil, das 1834 für den Harzer Erzbergbau entwickelt wurde und unmittelbar darauf auch im Ruhrrevier zum Einsatz kam.

Die Bohrlöcher zum Sprengen wurden per Hand gebohrt, das gelöste Material auf kleine Wagen, die Loren, geschaufelt und auf Schienen zum Schacht geschoben.

Ab 1850 wurden dafür vornehmlich Zugpferde eingesetzt, die man in unterirdischen Stallungen hielt und deren Bestand bis 1913 auf 8.000 anwuchs – obschon 1883 die erste Elektrolokomotive unter Tage fuhr.

Auch 1933, als sich der maschinelle Transport bereits durchgesetzt hatte, versahen noch 1.700 Grubenpferde ihren Dienst. Das Letzte seiner Art stand bis 1966 im Geschirr. Die Pferde wurden gut gefüttert und gepflegt.

Die Zeit im Geschirr entsprach der Arbeitszeit der Bergarbeiter. Das Schlagen der Pferde war verpönt. Sie bekamen auch eine gewisse Rente in Form eines Gnadenbrotes auf einem Bauernhof.

Das Futter- und Pflegegeld zahlte das Bergbauunternehmen oder ein Bergmannsverein. Viele ehemalige Pferdeführer besuchten dort regelmäßig ihre vierbeinigen, teilweise erblindeten „Kumpel“.

7541014/10787806875Biblio

Abb. A-12: Ein PS-Antrieb unter Tage – Grubenpferde wurden gut gefüttert und behandelt (Foto aus 1918). [1]

Auch die eigentliche Arbeit des Bergmannes blieb trotz erster Ansätze zur Mechanisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch schwerste Handarbeit. Vielfach wurde die Kohle noch mit Spitzhacken aus dem Flöz gebrochen. Das änderte sich erst 1904 mit der Erfindung des Presslufthammers, der danach zum typischen Werkzeug des Kumpels wurde (Abb. A-23) und allerdings auch eine typische Berufskrankheit zur Folge hatte.

Das Arbeiten mit dem stark rüttelnden Gerät schädigt auf Dauer die Gelenke. Die Vormachtstellung des Abbauhammers, wie ihn die Bergleute nennen, endete erst um 1960.

Im Vergleich zu früheren Zeiten aber hat sich die Situation der Kumpel im Ruhrgebiet wesentlich verbessert. Damals übte der Bergmann einen der gefährlichsten Berufe aus. Stets war er davon bedroht, durch Gesteinsmassen verschüttet zu werden. Dazu gesellte sich noch das spezielle Risiko von Explosionen – im Bergbau „schlagende Wetter" genannt.

1.7.3 Schlagwetterexplosionen

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam es, ausgelöst durch die Lampen der Bergleute mit offener Flamme, wiederholt zu schweren Unglücken mit über 100 Toten.

Auch nach dem Verbot solcher Lampen auf allen Gruben ab 1900 und der Umstellung auf elektrische Lampen blieb das Risiko von Explosionen bis weit ins 20. Jahrhundert bestehen:

Die schwerste Katastrophe des Ruhrbergbaus mit 405 Toten ereignete sich 1946 auf der Zeche „Grimberg" in Bergkamen, und noch 1968 forderte ein Unglück auf der Zeche „Minister Achenbach" nördlich von Dortmund 17 Menschenleben. Seitdem ist es aber gelungen, die Gefahr von „schlagenden Wettern" praktisch aus der Welt zu schaffen.

7541014/10787806875Biblio

1.7.4 Schwerer Unfall beim Abteufen eines neuen Schachtes

Im Dezember 1926 erreichte der Schacht AV 3 (Auguste Victoria) auf der 3. Sohle seine Endteufe von 820 m.

Mit einem von hier aus aufgefahrenen Gegenort erreichte man am 22. April 1927 den vom Süden herangeführten Querschlag und hatte so unter Tage eine Verbindung mit den Schächten AV 1 und AV 2 geschaffen. Aber dann geschah das Unglück! Am 24. Juli 1927, einem Sonntag, stürzte der Schacht AV 3 kurz vor seiner Inbetriebnahme zusammen. Die Tübbingsäule (Stahlsegmentausbau) war wegen eines Materialfehlers gebrochen. Zirka 100.000 Kubikmeter Schwimmsand und Erdmassen strömten in den zusammengestürzten Schacht. Auch einige Gebäude stürzten mit in die Tiefe. Die Schwimmsande verfüllten den Schacht und das gesamte Grubengebäude der 2. und 3. Sohle bis in die Nähe des Schachtes AV 1. Über Tage entstand ein Einsturztrichter von 120 × 30 m (Abb. A-25).

Abb. A-13: Hier standen einmal das erste Fördergerüst AV 3 und die Schachtgebäude. [1]

Das Unglück forderte fünf Todesopfer und brachte das Projekt der neuen Doppelschachtanlage im Norden des Grubenfeldes zunächst zum Erliegen. Erst 1937, zehn Jahre später, konnte die Förderung auf der neuen Schachtanlage AV 3 aufgenommen werden.

Ein „neuer“ Schacht war ab 1935 an der gleichen Stelle abgeteuft worden und setzte diesen millimetergenau auf den erhalten gebliebenen unteren Schachtteil.

Beim Abräumen der gewaltigen Schwimmsandmengen fand man dann auch die Leichen der fünf 1927 verschütteten Bergleute. Sie wurden auf dem Kommunalfriedhof an der Josefstraße von Marl bestattet.

Im Ruhrgebiet kam es wegen der schwierigen Bodenverhältnisse (u. a. Schwemmsand) zu mehreren Einbrüchen während der Schachtarbeiten. Man verzichtete aus Kostengründen teilweise auf das Gefrierverfahren, weil es die Schachtarbeiten wesentlich verteuerte.

7541014/10787806875Biblio

1.7.5 Besonderheit auf der Zeche Auguste-Victoria Schacht 4

In den Jahren 1928/29 wurde zur Aufschließung des südwestlichen Grubenfeldes der Gewerkschaft Auguste Victoria der Schacht AV 4 mit einer Teufe von 806 m hergestellt. Beim Auffahren der Verbindungsstrecke zur Schachtanlage AV 1/2 traf man 1930 auf eine Erzlagerstätte.

Das hier gefundene Erz enthielt im Durchschnitt 5 % Blei, 7 % Zink und 120 g/t Silber. Diese Lagerstätte ist eine der größten Blei-Zinkerz-Lagerstätten Deutschlands; die Vorräte werden auf 6 Mio. t beziffert.

Von 1936 bis 1962 betrieb man hier einen regen Abbau. Durch den Preisverfall für NE-Metalle auf dem Weltmarkt wurde jedoch der Blei-Zinkerz-Bergbau der Gewerkschaft Auguste Victoria seit dem Jahre 1957 zunehmend unwirtschaftlich.

Deshalb wurde schließlich am 1. Juli 1962 die Förderung im Blei-Zinkerz-Bergbau eingestellt, obwohl noch große Vorräte vorhanden sind. Insgesamt gewann man aus dieser Lagerstätte von Auguste Victoria 160.000 t Blei, 277.000 t Zink und 250.000 kg Silber.

1.7.6 Große Vorräte, hohe Förderpreise

Seit 1800, als erste statistische Daten erhoben wurden, sind im Ruhrrevier rund 10 Mia. t Steinkohle abgebaut worden, und mit der heutigen Technik ließen sich noch etwa 6 Mrd. t gewinnen. Trotz diesen Vorräten und obwohl der Ruhrbergbau in technischer Hinsicht weltweit an der Spitze steht, ist sein Ende bis 2018 voraussichtlich besiegelt.

Seit 1998 sind sämtliche Aktivitäten des heimischen Steinkohlenbergbaus in der RAG Deutsche Steinkohle AG gebündelt. Trotz Anwendung modernster Gewinnungsmethoden (siehe später) sind (einschließlich Saargebiet) nach massenhaften Schließungen nur noch 6 Förderbetriebe (mit in der Regel mehreren Schächten) verblieben.

1.7.7 Anthrazit-Steinkohle in Ibbenbüren

Eine Besonderheit im deutschen Steinkohlenbergbau stellt die Schachtanlage Ibbenbüren dar. Hier wird die seltene Anthrazit-Steinkohle mit einem sehr hohen Heizwert gewonnen. Es handelt sich um die nördlichste Schachtanlage Deutschlands, und der Nordschacht mit 1.545 m ist einer der tiefsten in Europa. Der Grubenbetrieb ist mit fünf Schächten aufgeschlossen. Hauptabnehmer der Förderung von jährlich 1,9 Mio. t hochwertiger Anthrazitkohle ist ein 770 MW-Kraftwerk mit 1,5 Mio. t. Beschäftigt sind 2.500 Mitarbeiter.

- **Historische Entwicklung**

Der Ibbenbürener Bergbau ist seit Mitte des 17. Jahrhunderts dokumentiert. In der Nähe der zu Tage austretenden Kohlenflöze legte man kleine Haspelschächte und Stollen an, um Kohle für die benachbarten Kalkbrennereien und Salinen zu gewinnen.

Nach der Übernahme der Obergrafschaft Lingen durch Erbfolge im Jahre 1702 und dem Kauf der Grafschaft Tecklenburg im Jahre 1707 durch das Königreich Preußen kamen zunächst die Gruben Dickenberg und Buchholz sowie ab 1747 die Grube Schafberg unter die Regie des preußischen Staates. Die besondere Bedeutung des Ibbenbürener Bergbaus wurde 1770 mit der Gründung des Tecklenburg-Lingenschen Bergamtes hervorgehoben.

7541014/10787806875Biblio

Der 1942 in Ibbenbüren entwickelte Kohlenhobel schuf die Grundlage für die Mechanisierung der Kohlengewinnung in geringmächtigen Flözen weltweit. 1979 musste das Westfeld stillgelegt werden. Auf dem Ostfeld wurden ab den 1970er Jahren neue Vorräte von Anthrazitkohlen in 1.100 m bis 1.500 m Teufe aufgeschlossen. In der Vergangenheit waren die Ibbenbürener Steinkohlen insbesondere dem Hausbrand vorbehalten.

Ab 1954 und 1967 kamen als wesentliche Abnehmer zecheneigene Kraftwerke und ab 1987 der vom RWE und von der Preussag errichtete 770-MW-Block für die Stromerzeugung hinzu.

1.8 Bergbaurevier Saarland

Der Steinkohlenbergbau im Saarland ist seit der keltischen Zeit durch Ausgrabungen und seit 1429 auch schriftlich belegt. Planmäßiger Steinkohlenbergbau wird allerdings erst ab Mitte des 18. Jahrhunderts betrieben. Zu Spitzenzeiten arbeiteten über 50.000 Menschen in den Bergwerken. Heute gibt es nur noch ein aktives Steinkohlenbergwerk mit etwa 3.600 Beschäftigten. Weitere 7.000 sind in der Zulieferindustrie vom saarländischen Bergbau abhängig.

1.8.1 Historische Entwicklung

1982 wurde bei einer Ausgrabung eines Hügelgrabes aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. in Rubenheim eine geschnitzte Kohleperle als Grabbeigabe gefunden. Sie konnte durch eine palynologische Untersuchung einem Kännelflöz bei Heinitz zugeordnet werden.

Auch in römischer Zeit wurde im Saarland offenbar oberflächennaher Kohleabbau betrieben: Im Grab der sog. Ursula von Roden aus dem 3. Jahrhundert n. Chr. wurden Gagat-Ringe (aus geschliffener Kännelkohle hergestellte Schmuckringe) gefunden. Schriftlich ist der Abbau seit dem späten Mittelalter belegt: 1371 gewährte Kaiser Karl IV. dem Grafen Johann von Nassau-Saarbrücken das Bergbaurecht. Erst unter der Regierung von Fürst Wilhelm Heinrich von Nassau-Saarbrücken (1718 bis 1768), der die Verstaatlichung der Kohlegruben anordnete, kann man von Planmäßigkeit des Abbaus reden.

1.8.2 Saarbergbau unter französischer Verwaltung 1793 bis 1815

In den 20 Jahren der französischen Verwaltung wurden die Gruben zehn Jahre an die französische Gesellschaft Equer & Co., Paris, verpachtet. Der französische Fiskus trug sich später mit dem Gedanken, die saarländischen Gruben an private Unternehmer zu verkaufen.

Dafür gibt es mehrere Hinweise: Einmal das Kaiserliche Dekret vom 13. August 1808, das den Verkauf der Gruben regeln sollte, was durch den Ausbruch des russischen Krieges jedoch nicht zur Ausführung kam.

Zum anderen wurde die Verwaltung stets als provisorisch bezeichnet; und schließlich war das gesamte Berechtigungsfeld der Saarbrücker Kohlengruben bereits in 60 Grubenfelder (Konzessionen) eingeteilt.

1.8.3 Saarbergbau in preußischer Verwaltung 1815 bis 1919

Ab den 1820er Jahren wurden Dampfmaschinen in den saarländischen Gruben eingeführt.

7541014/10787806875Biblio

1822 wurde der erste senkrechte Schacht in Hostenbach geteuft – bisher wurde die Kohle über Stollen und schräg in die Tiefe vorgetriebene Schächte gefördert. Durch Gründung weiterer Gruben verdreifachte sich die Förderung auf nahezu 700.000 m³. Auch stiegen die Belegschaftszahlen von 1.383 auf 4.580. Der Bergbau erfuhr einen mächtigen Aufschwung durch Eröffnung der Saarbrücker Eisenbahn zu Beginn der 1850er Jahre.

Nun wurden auch Kokereianlagen errichtet. 1860 betrug die Förderung 2 Mio. t, und 11.000 Bergleute arbeiteten nun in den saarländischen Gruben. 1861 wurde das bisherige Bergamt geschlossen, weil es mit der Verwaltung der Gruben überfordert war, und die Königlich-Preußische Bergwerksdirektion in Saarbrücken gegründet, die 1876 bis 1880 den neuen Verwaltungsbau von Martin Gropius bezog.

1866 wurde der Saarkanal eröffnet, der das saarländische Kohlerevier auch über den Wasserweg erreichbar machte. Nach dem Deutsch-Französischen Krieg 1870/71 gab es eine Hausse.

Der Bergarbeiterbedarf war groß, deswegen wurden Bergleute aus dem Hunsrück, der Eifel und der Pfalz angeworben; die Bevölkerungszahlen explodierten in zahlreichen Ortschaften geradezu. Von 1880 bis 1895 stagnierte die weitere Entwicklung.

Um 1900 wurden bestehende Gruben erweitert, die Zahl der Bergleute erhöhte sich auf 41.210, woraufhin auch die Förderzahlen auf 9,4 Mio. t anstiegen. Im Jahre 1900 waren 783 Dampfmaschinen im Einsatz. Im letzten Vorkriegsjahr 1913 wurden etwa 14 Mio. t Kohle gefördert mit einer Belegschaft von 56.903 Bergleuten.

1.8.4 Nach dem Ersten Weltkrieg

Nach dem Ersten Weltkrieg wurde Frankreich das Eigentum an den Saargruben übertragen; Frankreich setzte vermehrt auf Motorkraft beim Abbau. Die Fördermenge stieg zwischen 1920 und 1929 von 9 auf über 13 Mio. t. 1934 taten noch 82 Pferde unter Tage ihren Dienst. Am 1. März 1935 wurde das Saarland dann ins Deutsche Reich eingegliedert.

Der Zweite Weltkrieg setzte der Aufwärtsentwicklung 1939 ein Ende. Während des Zweiten Weltkrieges ging die Förderung nach einer Spitze von 15,3 Mio. t im Jahre 1942 auf 12,4 Mio. t im Jahre 1945 zurück.

Die Belegschaft verringerte sich im gleichen Zeitraum von fast 54.000 auf etwa 34.000 Bergleute und Angestellte.

1.8.5 Nach dem Zweiten Weltkrieg

Nach dem Krieg ging die Kontrolle über die Gruben in die Hand der „Mission Française des Mines de la Sarre“ über. In den darauf folgenden Jahren ging es zunächst darum, die Kriegsschäden zu ersetzen, um eine möglichst hohe Förderung zu erzielen. Zum 1. Januar 1954 wurde die Firma Saarbergwerke gegründet.

Nach der Rückgliederung des Saarlandes war ab 1957 die Bundesrepublik Deutschland mit 74 % der Aktien Hauptanteilseigner, die restlichen Aktien hielt das Land.

7541014/10787806875Biblio

In den 1960er Jahren wurde die Zahl der Gruben von 18 auf sechs reduziert; während der Kohlenkrise sank die jährliche Produktion von 17 auf 10 Mio. t. Der Strukturwandel setzte sich in den folgenden Jahrzehnten fort. 1987 wurde eine weitere, drastische Reduzierung der Fördermengen beschlossen.
Zu Beginn der 1990er Jahre gab es noch 18.000 Beschäftigte im Bergbau. Die jährliche Förderung lag bei etwa 9 Mio. t.

Im November 1990 wurde die Kohleförderung am Standort Camphausen eingestellt und Ende 1994 die Zeche Luisenthal geschlossen. Nach einer Vereinbarung vom März 1997 sollte innerhalb der nächsten acht Jahre die Zahl der Bergleute von 14.400 auf 8.200 sinken.

Im gleichen Jahr verkaufte die saarländische Regierung ihren Anteil an den Saarbergwerken zum symbolischen Preis von einer Mark an die RAG. Die RAG – durch Umbenennung entstanden aus der Ruhrkohle AG – gliederte ihre verlustbringenden Bergbauaktivitäten in die Deutsche Steinkohle AG aus und widmete sich fortan den Geschäftsfeldern Chemie, Energie und Immobilien. Die Grube Göttelborn/Reden wurde zum 1. September 2000 als drittletztes Bergwerk geschlossen.

Ende 2006 war mit Ensdorf noch ein Bergwerk mit rund 4.000 Mitarbeitern in Betrieb, und 3,7 Mio. t Kohle pro Jahr wurden gefördert.

1.8.6 Abbaustopp wegen starker Bergschäden 2008

Da es im Saarland wegen bergbaubedingter Erderschütterungen zu Sachbeschädigungen an Häusern kam, haben sich Bürger in den Abbaugebieten zu Interessengemeinschaften zusammengeschlossen und fordern einen Ausstieg aus dem Bergbau.

Bereits 2001 hatte ein Hausbesitzer, der seine Immobilie durch die vom Bergbau ausgehenden Erschütterungen gefährdet sah, vor dem Verwaltungsgericht einen vorübergehenden Abbaustopp erwirkt.

Am 23. Februar 2008 ereignete sich die stärkste bergbaubedingte Erderschütterung im Saarland.

Laut dem GeoForschungsZentrum Potsdam erreichte das Beben eine Stärke von 4,5 auf der Richterskala mit einer maximalen Schwinggeschwindigkeit von 93,5 mm/s. Das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg ermittelte einen Wert von 4,0 auf der Richterskala.

Ursache für die massiven Erschütterungen sind die geologischen Bedingungen im Abbaugebiet. Die Kohle wird hier unter einer Sandsteinschicht ausgeräumt.
Der Sandstein bildet eine stabile Decke. Durch den fortschreitenden Abbau wird der Hohlraum (Alter Mann) immer größer, bis er über das gesamte Feld in Gänze zusammenbricht.

In anderen Abbaugebieten sind die Bedingungen in den Erdschichten so instabil, dass die Hohlräume bereits kurz nach dem Abbau zusammenstürzen. Die Energie verteilt sich dann auf viele kleinere Erschütterungen. Üblicherweise werden Bergsenkungen nach oben hin, mit abnehmender Tiefe trichterförmig auf eine große Fläche verteilt.
In Sandsteinschichten können sich jedoch keine Trichter bilden, so dass die Amplitude der Senkung an der Erdoberfläche noch recht groß ist.

7541014/10787806875Biblio

Als Lösungsvorschlag bot die RAG nach dem Beben vom 23. Februar 2008 an, die Sandsteinschichten nach dem Abbau der Kohle kontrolliert zu sprengen, damit es nicht zu übergroßen Brüchen kommen kann.
Dieses Verfahren würde jedoch den Preis für die geförderte Tonne Kohle erheblich verteuern. Mit zunehmender Dauer des Abbaustopps droht der Gebirgsdruck die Fördertechnik zu beschädigen.

Der Aufsichtsrat der RAG beschloss im Juni 2008, das Bergwerk Saar zum 31. Juli 2012 zu schließen.

1.9 Abbau von Kaolin

Kaolin, auch als Porzellanerde, Porzellanton, weiße Tonerde, Aluminiumsilikat oder in der Apotheke als Bolus Alba oder Pfeifenerde bezeichnet, ist ein feines, eisenfreies, weißes Gestein, das als Hauptbestandteil Kaolinit, ein Verwitterungsprodukt des Feldspats, enthält. Weitere Bestandteile sind verschiedene andere Tonminerale und unzersetzte Feldspatteilchen.

Kaolin wird hauptsächlich bei der Papierherstellung und Porzellanbereitung verwendet. Daneben wird Bolus Alba unter anderem als Bestandteil mancher Pudergrundlagen verwendet und auch Lebensmitteln zugesetzt. Der Preis für eine t Kaolin lag in den Jahren 2003 bis 2005 um 70 britische Pfund, da der Verbrauch nur wenig geringer ist als die Fördermenge. Im Jahre 2003 wurde ein Verbrauch von 45 Mt durch eine Fördermenge von 45,6 Mt abgedeckt. Hauptabbaugebiete für Kaolin in Deutschland befinden sich bei Hirschau in der Oberpfalz. Das Kaolinrevier in der Hirschau-Schnaittenbacher Senke ist eine der bedeutendsten kontinentalen Kaolin-, Quarzsand- und Feldspatlagerstätten Europas.

Die Amberger Kaolinwerke (gegr. 1901) sind der größte Hersteller des Industrieminerals Kaolin in Deutschland. Die traditionsreiche Firmengruppe Dorfner baut dort im Tagebau die sog. Roherde ab. In Lohrheim im Taunus und auch im Westerwald wird vereinzelt Kaolin abgebaut.

Die Unternehmensgruppe Quarzwerke GmbH Frechen/Amberger Kaolinwerke betreibt neben dem offenen Tagebau in Hirschau-Schnaittenbach den Abbau in Kemmlitz (Kemmlitzer Kaolinwerke) sowie in Königswartha-Caminau (Caminauer Kaolinwerk) in der sächsischen Schweiz.

1.9.1 Verwendung

Besonders in der Porzellanherstellung im 18. Jahrhundert wurden zahlreiche Porzellanfabriken gegründet. Viele davon mussten jedoch an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert ihre Produktion wieder einstellen. Erst gegen Mitte des 19. Jahrhunderts, als bei Selb große Kaolinvorkommen entdeckt wurden, entstanden wieder neue Porzellanfabriken.

Heute liegen die meisten Porzellanmanufakturen entlang der Bayerischen Porzellanstraße, die sich über 550 km von Bayreuth bis nach Bamberg zieht.
Die Zahl der Porzellanfabriken hat sich seit den 1970er Jahren jedoch stark reduziert. Seit längerem steckt die Porzellanindustrie in einer schweren Krise, und Tausende von Arbeitsplätzen gingen im Rahmen einer gewaltigen Umstrukturierung verloren.

7541014/10787806875Biblio

1.9.2 Besonderheit beim Kaolinabbau

Der Monte Kaolino ist ein aufgeschütteter Berg bei Hirschau in der Oberpfalz in Bayern. Er ragt 120 m hoch aus der Umgebung heraus und besteht aus rund 35 Mio. t Quarzsand.

Der Monte Kaolino entstand aus der Aufschüttung von Quarzsand, der ein Abfallprodukt des Abbaus von Kaolin im Raum Hirschau ist. Bei der Gewinnung von Kaolin wird dieses aus dem Sand-Ton-Gemisch ausgeschieden. Ein Teil des verbleibenden Sandes wird für die Glas- und Bauindustrie verwendet. Ein großer Teil wird aber nach wie vor ungenutzt abgelagert. So entstand der Monte Kaolino, der auch heute in der seitlichen Ausdehnung noch immer weiter wächst, da über lange Förderbandstrecken weiterhin Sand am Nordhang des Monte Kaolino deponiert wird.

Abgebaut wird Kaolin heute überwiegend im Tagebau mit modernsten Abbaumaschinen. Besonders reines Kaolin wird teilweise auch im Untertagebau gewonnen.

1.10 Tonbergbau

Ton ist der wichtigste und älteste Rohstoff für die Herstellung von Keramik. Als Bestandteil von Lehm wird er für die Herstellung von Ziegeln benötigt. Daneben wird er zusammen mit Kalkstein zur Produktion von Zement verwendet.

In der Bildenden Kunst dient er der Herstellung von Plastiken. Tonminerale werden als Ionenaustauscher, beispielsweise bei der Säuberung von Trinkwasser, und zum Entfärben von Lösungen eingesetzt.

Insbesondere Montmorillonit wird wegen seiner Wasseraufnahmefähigkeit genutzt, zum Beispiel im Katzenstreu. Kaolinit wird auch in der Papierindustrie als Appreturmittel verwendet, glättet die Oberfläche und nimmt Tinte auf.

Blähton (stark porös gebrannter Ton) dient als isolierender Baustoff und für die Hydrokultur. Andere Tone dienen als Abdichtung in Deponien, sind Füll-, Trenn- und Zuschlagstoffe in Farben, Lebensmitteln und pharmazeutischen Produkten oder werden als Katalysatoren eingesetzt.

1.10.1 Vorkommen

In vielen Bundesländern wird Ton abgebaut. Am bekanntesten sind die beiden Regionen Westerwald („Kannenbäcker Land“) und Lauenburg/Elbe, bekannt durch den Lauenburger Ton. Die Region Westerwald präsentierte sich hier als ökonomisch aufstrebende Region, in der Ton seit Jahrmillionen und Keramik seit Jahrhunderten zu Hause sind.

Die Bedeutung der Keramik als entscheidender regionaler Wirtschaftsfaktor ist immens: Sorgen doch Keramik und Metall in rund 220 Unternehmen für 20.500 Arbeitsplätze.

1.10.2 Tonbergbauregion Westerwald

Schon seit Jahrhunderten wird im Westerwald nach Ton gegraben. Kelten und Römer haben daraus schon Gebrauchs-, Zier- und Kultgegenstände hergestellt. Aufzeichnungen vom Tonabbau gibt es erst seit etwa 400 Jahren, als im 17. Jahrhundert die Gruben von den Landesfürsten steuermäßig erfasst wurden.

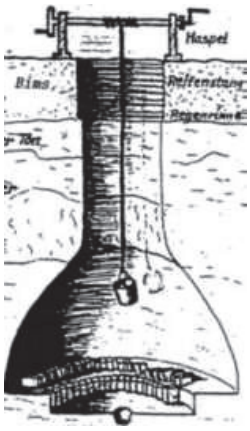
7541014/10787806875Biblio

Abb. A-14: Tonkrüge im Kannenbäcker Land [1]

- **Historische Entwicklung**

Das historische Kannenbäckerland umfasst das Gebiet um Vallendar, Bendorf, Höhr, Grenzhausen, Hillscheid, Hilgert und Baumbach. Dort, wo der Ton oberflächig zu Tage trat, wurde er in Mulden und Kauten abgetragen.

Später wurden Schächte von 1 m bis 1,5 m Durchmesser in den Boden getrieben. Es entstand der Reifenschacht, an dessen Sohle der Schacht glockenartig erweitert wurde (Abb. A-27). Der Glockenschacht war über Jahrhunderte die verbreitetste Art des Tonabbaus.



Den Einsturz der Seitenwände sichert der Tongräber mit der Umreifung von biegsamen Holzstämmen und Ästen. Über dem Schacht wurde eine Seilwinde, die Haspel, angebracht. Mit einem Kübel wurde der Ton nach oben gezogen und am Grubenrand gelagert.

Abb. A-15: Tonbergbau mittels Glockenschacht [1]

Gestochen wurde in Schollen. 1 Scholle wog 20 Pfd. bis 30 Pfd., 5 Schollen = 1 Eimer = 1 Ztr. 10 Eimer = 50 Schollen oder 10 Ztr., füllten einen Wagen oder Karren. Für einen Wagen bekam der Tongräber im 19. Jahrhundert 70 bis 80 Pfennige Lohn.

Bis zur Eröffnung der Westerwälder Eisenbahn 1884 diente das Pferdefuhrwerk zum Transport des Rohtons. Die ersten Schächte wurden so tief gegraben, bis man auf abbauwürdigen Ton stieß.

Mitte des 18. Jahrhunderts begann der Tonexport. Der wichtigste Warenumschlagort im historischen Kannenbäckerland war der Markt- und Hafenort Vallendar. Über spezielle Straßen, die Erdwege, wurde der Ton mit Ochsenkarren und Pferdefuhrwerken von den Gruben in die Rheinhäfen Vallendar und Bendorf transportiert. 300 Karren waren für eine Schiffsladung von ca. 150 t Ton notwendig.

7541014/10787806875Biblio

Auf Rheinschiffe verladen, gelangte der Rohstoff bis nach Frankreich, Belgien, Holland, Schweden, England und Russland.

Mittlerweile waren große Glockenschachtfelder entstanden. Überwiegend in bewaldeten Gebieten wurde nach dem weißen Gold gegraben. Nach neuen Tonfeldern suchend, dehnten die Erdgräber ihre Tätigkeiten weiter in östliche Richtungen aus.
Die Schächte erreichten immer größere Tiefen (bis 24 m, später auch über 30 m). Die Arbeit war sehr gefährlich, durch einstürzende Seitenwände und Bergdruck kamen viele Tongräber ums Leben.

Ab 1828 wurden die Betriebe durch die Bergämter im Herzogtum Nassau erfasst. Über Abbau, Beschäftigte und Ausbeute liegen Zahlen vor. 1828 waren etwa 25 Gruben mit einer Ausbeute von 120.000 Ztr. bis 130.000 Ztr. in Betrieb (davon gingen 30 % bis 50 % in den Export).
1846 waren es 50 Gruben mit 200.000 Ztr., 1860 schon 106 Gruben mit 347.000 Ztr. und 1863 gar 506.840 Ztr., wovon etwa 60 % ins Ausland gingen (Ausland = außerhalb Nassau). Diese Zahlen gelten für die vier Bergämter Diez, Dillenburg, Weilburg und Wiesbaden.

Ab etwa 1860 begann der Tagebau. Weiterhin gab es noch Glockenschächte, Stollenbau und Untertageförderung.

Unter Tage wurden die hochwertigen plastischen Tone bis ins 20. Jahrhundert abgebaut, wie z. B. Gernbacherwies, Frickhofen über Schrägstollen in 40 m Tiefe, Schachttiefbau Grube Richard, Niederahr, 2 Sohlen in 50 m und 60 m Teufe.

1.10.3 Tonbergbauregion Lauenburg

- **Herkunft der Bezeichnung**

Der Lauenburger Ton hat seine Bezeichnung nach der Stadt Lauenburg/Elbe erhalten, die am rechten Ufer der Elbe bei Flusskilometer 570 liegt. Ab Lauenburg gehört das rechte Elbufer zu Schleswig-Holstein. Im Stadtgebiet und in seiner Umgebung gibt es mehrere Vorkommen des Lauenburger Tons.

Eines davon wurde im Zuge des Neubaus des Elbe-Lübeck-Kanals (Eröffnung im Jahre 1900 als Ersatz für den seit 1348 bestehenden Stecknitz-Kanal) angeschnitten. Seitdem wird dieser Ton als Lauenburger Ton bezeichnet. Der Abbau erfolgt ausschließlich im Tagebau.

- **Entstehung des Lauenburger Tons**

Der Lauenburger Ton hat sich am Ende der Elster-Eiszeit in vorher vom Eis aufgeschürften Hohlformen mit dem Schmelzwasser als Beckensediment abgesetzt.

Da sich die feinen Tonpartikelchen im Schmelzwasser länger in der Schwebe hielten als die sandigen Anteile (sie haben eine geringere Sinkgeschwindigkeit), setzte sich zunächst der Beckensand am Grund und besonders in Gletschernähe ab und erst danach der Beckenton. In größerer Entfernung vom Gletscherrand sedimentierte ausschließlich Beckenton.

7541014/10787806875Biblio

- **Nutzung der Lagerstätten des Lauenburger Tons**

Lauenburger Ton wird seit langem von Ziegeleien in z. T. tiefen Gruben abgebaut, weil er hervorragend zur Herstellung von Ziegeln geeignet ist. Wenn der gewonnene Ton besonders rein ist, muss er mit Sand bzw. Geschiebelehm gemagert werden. In den Tongruben ist die Entwässerung oft ein besonderes Problem, da sich der Ton wie beschrieben in Becken gebildet hat.

Während des Abbaus verhindert der Ton im Liegenden den Abfluss des Oberflächenwassers, so dass oft mit Pumpen die Abführung des Wassers sichergestellt werden muss. Erst wenn der Ton vollständig ausgebeutet ist und darunterliegende, wasserdurchlässigere Schichten erreicht sind, kann wieder mit einer Wasserversickerung gerechnet werden. Bleibt aber bei Abbauende noch Ton im Untergrund erhalten oder wurde bereits der Grundwasserstand erreicht oder unterschritten, können sich bleibende Wasserflächen bilden.

1.11 Bentonit-Bergbau

Bentonit, benannt nach der Benton-Formation, Fort Benton Montana, ist ein Gestein, das eine Mischung aus verschiedenen Tonmineralien ist und als wichtigsten Bestandteil Montmorillonit (60 % bis 80 %) enthält, was seine starke Wasseraufnahme- und Quellfähigkeit erklärt.

Weitere Begleitmineralien sind Quarz, Glimmer, Feldspat, Pyrit oder auch Calcit. Es entsteht durch Verwitterung aus vulkanischer Asche.

1.11.1 Eigenschaften

Die innere Oberfläche eines Gramms beträgt 400 m^2 bis 600 m^2 (normaler Ton: 2 m^2). Es bilden deswegen sich besonders wertvolle Ton-Humus-Komplexe, so dass unbelasteter Bentonit auch eine gute Zugabe zum Kompost darstellt.

Wasser, in das Bentonit eingerührt wurde, ist ein Nichtnewtonsches Fluid und weist ein thixotropes Verhalten auf: Es verhält sich wie eine Flüssigkeit, wenn man es schüttelt oder in einem Becherglas umrührt, bildet aber in Ruhe ein festes Gebilde, weswegen es sich u. a. auch gut als Stützflüssigkeit bei der Erstellung von Schlitzwänden eignet.

1.11.2 Vorkommen

Bentonitlagerstätten gibt es immer dort, wo (nicht nur) vulkanische Asche durch hydrothermale Aktivitäten und Säuren verändert wurde.
Eines der größten europäischen Vorkommen befindet sich auf der griechischen Insel Milos. Dort kommen Bentonit, Quarz und Perlit in abbauwürdigen Mengen vor.
Auch damit verbundene Goldvorkommen sind festgestellt worden. Die Abbaumenge liegt bei 400 t jährlich. Die Gewinnung erfolgt im Tagebau.

In Deutschland finden sich abbauwürdige Vorkommen in Niederbayern (Mainburg, Landshut und südlich Landau an der Isar) und im östlichen Oberbayern sowie bei Tannhausen.

7541014/10787806875Biblio

1.11.3 Verwendung

Bentonit findet eine wichtige Anwendung in der Bautechnik, unter anderem bei Bauwerksabdichtungen und im Deichbau.

Es dient als Gleitmittel beim Vortrieb von Tunneln und Rohren sowie Einvibrieren von Schmalwänden. Ferner findet es im Bergbau- und in der Bohrtechnik als Stützflüssigkeit bei ungestützten Bohrungen und Schlitzwänden Anwendung.

1.12 Feldspatabbau

Feldspat wird wegen seiner hochwertigen Einsatzmöglichkeiten bundes- und europaweit vertrieben.

Die Förderzahlen sind mit über 2,9 Mio. t beachtlich. Hauptabnehmer für Feldspat sind die Glasproduzenten. Bei der Nachfrage nach bestimmten Glassorten werden mit moderner Aufbereitungstechnik feldspathaltige Massen eingesetzt. Im Übrigen ist Feldspat ein wichtiger Bestandteil bei der Porzellanherstellung.

Ein Teil dieses Industrieminerals geht auch in die Keramikindustrie, weiterhin wird es verwendet für die Produktion von Glastüren, Schleifscheiben und Elektroden.

Der Hauptanteil der deutschen Feldspatgewinnung liegt in Rheinland-Pfalz und im Saarland. Der Bergbau auf Feldspat und Pegmatitsand erfolgt im Tagebau.

1.13 Klebsandgewinnung

Zu den Industriemineralen in der Gruppe Industriesande gehört auch der Klebsand. Die in der Region Eisenberg/Pfalz anstehenden Klebsande sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung.
Es sind die größten deutschen und europäischen Klebsandvorkommen. Dort wird auch der Großteil der Klebsandmengen gefördert.

Aufgrund ihrer hervorragenden Feuerfesteigenschaften finden sie insbesondere Verwendung bei der Herstellung von Feuerfestprodukten, beim Betrieb von Hochöfen, Stahlwerken und Gießereien, als Isoliermaterial in der Elektronikindustrie und als Abdichtmassen im Deponiesektor, wodurch sie die gewünschte Konsistenz erhalten.

Der Klebsand wird im Tagebau mit großen Radladern abgebaut, zur Vorsieb- und Brechstation transportiert, im Siebwerk abgesiebt, schließlich in die zentrale Mischanlage beziehungsweise Trocknungs- und Mahlanlage weitergeleitet und dort verarbeitet.

1.14 Quarzsand

In der Gruppe der Industrieminerale nimmt Quarzsand als Folge seines vielfältigen Einsatzes einen hohen Stellenwert ein. Der Abbau von Quarzsand zur Herstellung von Glas hat eine lange Tradition und erfolgt im Tagebau.

Unter Quarzsand sind Industriesande zu verstehen, deren Quarzgehalt mindestens 98 % beträgt, was einem SiO_2-Gehalt von über 99 % entspricht. Die Eignung und Verwendung der unterschiedlichen Quarzsande werden unter anderem beeinflusst von den unterschiedlichen Anforderungen an die Korngrößenverteilung, der chemischen Zusammensetzung und den Schwermineralgehalten. Innerhalb der verschiedenen wirt-

7541014/10787806875Biblio

schaftlich genutzten europäischen Quarzsandlagerstätten ist der Frechener Quarzsand besonders bekannt. Die dort anstehenden Quarzsande zeichnen sich durch besondere Reinheit und Gleichmäßigkeit in der Kornverteilung aus. Der Quarzsandabbau erfolgt durch Bagger im Trockenabbau.

1.14.1 Historisches

Bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts brachten einzelne Fuhrwerke den Sand nach Köln. Sie mussten an der Sandgrube für eine hochbeladene Karre 2,00 Mark zahlen.

Der Sand wurde aber auch durch Esel, die mit zwei Säcken beladen waren, zur Stadt getragen. Die Kölner bestreuten mit dem Sand die Fußböden in ihren Häusern, wie allgemein in der dortigen Gegend üblich.

Die Esel waren bekannt als Frechener Sandesel und ihr Treiber als Frechener Sandbauer. Er zog von Haus zu Haus und verkaufte das Körbchen für 8 Pfennige oder in einem schmalen, armdicken Säckchen, Preis je nach Länge. Früher müssen in Frechen viele solcher Esel beheimatet gewesen sein. Wurden doch im Frechener Weistum 1566 besondere Anordnungen getroffen, nach denen die „Ulkengasse an der Eich“ (Grenze–Ende) so breit zu halten war, dass ein Mann mit einem bepackten Esel hindurchgehen konnte.

In dem Frechener Ortsteil Hücheln war die Sitte des Sandstreuens in der Gaststätte Winandshof noch bis 1923 üblich, und der letzte Sandbauer war ein Hüchelner, der den Sand bis 1910 mit der Karre nach Köln fuhr.

Heute erstreckt sich auf etwa 1.300 Metern Länge tief im Westen Deutschlands ein traumhaft weißer Sandstrand. Anstelle des Rauschens der Brandung hört man laut und deutlich das Brummen der Motoren von Schaufelradbaggern, die ihre Schaufeln tief in den Sand graben. Seit 1884 wird hier in Frechen Quarzsand abgebaut.

1.14.2 Verwendung

Die Gleichmäßigkeit der abgelagerten Quarzsande hinsichtlich Reinheit und Kornverteilung reicht in der Regel nicht aus, um die hohen Qualitätsanforderungen der verarbeitenden Industriezweige zu erfüllen.

Deshalb ist eine umfangreiche und hochtechnisierte Aufbereitung des Quarzsands notwendig. Es werden dabei die feuchte und die trockene Produktion von aufbereitetem Quarzsand unterschieden sowie die Vermahlung von aufbereitetem Quarzsand zu Quarzmehl unterschiedlicher Feinheit. Gewaschener und nach Körnungen klassierter Feuchtsand wird an die Flachglasindustrie zum Erschmelzen des Glases, an die Gießereien als Formstoff, an die chemische Industrie und an weitere Industriezweige geliefert.

Quarzsand klassiert getrocknet wird als Trockensand geliefert, unter anderem an die Gießerei- und Hohlglasindustrie. Vermahlene Quarzsande, sogenannte Quarzmehle, werden für die unterschiedlichsten Produkte verwendet. Es sind dies zum Beispiel Scheuer-, Schleif- und Poliermittel.

1.14.3 Quarzabbau im Raum Haltern

Neben dem Trockenabbau in Frechen wird in der Nähe von Haltern/Westf. Quarzsand im Nassabbau gewonnen. Bekannt wurde diese Gewinnung durch den „Silbersee“.

7541014/10787806875Biblio

Genau genommen gibt es in Haltern am See gar nicht „DEN Silbersee“, sondern viele Silberseen, die von den Menschen in der Umgebung als Badeseen genutzt werden.
Offiziell ist das Baden allerdings erst seit 1995 erlaubt, inoffiziell wird allerdings der ein oder andere Gewinnungs- oder Vorratssee seit einer gefühlten Ewigkeit als Badesee in Anspruch genommen.

Egal welcher der Seen – alle sind entstanden durch die Gewinnung des wohl bekanntesten Rohstoffes der Region, dem Halterner Quarzsand.

1.14.4 Historische Entwicklung

Da das Grundwasser in Sythen und Umgebung nur wenige Meter unterhalb der Oberfläche ist, musste schon früh der Sand in der sogenannten Nassgewinnung gewonnen werden.

Um 1800 begannen die ersten Bauern, mit Schaufeln den Sand abzubauen und vor allem als Streusand zu verkaufen. 1890 übernahmen die Rheinischen Sandwerke den Abbau und fingen kurze Zeit später an, den Sand mit Eimerkettenbaggern bis zu sechs Meter unter den Grundwasserspiegel abzubauen.

Als 1924 die Quarzwerke GmbH, ein Familienunternehmen aus Frechen, das bereits seit 1884 Erfahrung mit der Gewinnung und Aufbereitung von Quarzsanden hatte, das Grundstück übernahm, gab es bereits kleine Teiche. Diese lockten an heißen Sommertagen unerlaubt einige Besucher an. Im Jahr 1927 war immerhin der große See schon 18 Meter tief.

Den ehemaligen werksnahen Förderteich konnten ab 1955 die Mitarbeiter nutzen, und hier tauchte dann im Sprachgebrauch der Silbersee oft als Synonym für den Badesee der Region auf. Erstmals aber wurde in den beiden großen Gewinnungsseen tiefer ausgesandet.

1968 konnte der Schwimmbagger mit dem sympathischen Namen „Köln“ den Sand bereits aus 26 m Tiefe herausholen und ihn über schwimmende Rohrleitungen ins Aufbereitungswerk transportieren. „Köln“ wechselte 1976 den Standort, vom Silbersee II zum Silbersee III weiter östlich.

Ab 1995 wird das Baden endlich erlaubt – Silbersee I darf ganz offiziell den Namen Badesee tragen – ein voller Erfolg, der im Sommer Tausende Menschen lockt.
Seit 2005 ist aufgrund der Verlagerung des Quarzsandabbaus das Baden nur noch am Silbersee II erlaubt. An ihm entstand in den vergangenen Jahren ein 1.000 m langer Sandstrand, der an Sommertagen Tausende Besucher anzieht. Andere Flächen wurden renaturiert und mit Biotopen bereichert, die vielen seltenen Pflanzen und Tieren ein Zuhause bieten.

1.15 Kieselerde

Kieselerde ist ein vor etwa 95 Mio. Jahren entstandenes Gemisch aus amorpher und kryptokristalliner Kieselsäure und lamellarem Kaolinit.

In abbauwürdiger Ausbildung kommt es nur bei Neuburg an der Donau in Bayern vor. Kieselerde wird durch große Tieflöffelbagger im Tagebau abgebaut.

7541014/10787806875Biblio

Von anderen Kieselsäurerohstoffen unterscheidet sich die Kieselerde durch ihren außergewöhnlichen Feinheitsgrad. Die Verarbeitung des Industrieminerals Kieselerde beginnt mit nacheinander ablaufenden Trennprozessen.

Von der Qualität der Roherde abhängig sind nur 30 % bis maximal 50 % der Vorkommen für die Mineralgewinnung verwertbar. Nach einem Aufbereitungsprozess wird die Kieselerde, getrennt nach Mineralzusammensetzung und Farbe, in großen Silos gelagert, vermischt und weiterverarbeitet, getrocknet und pulverisiert.

Kieselerdeprodukte mit höchster Feinheit entstehen in einem nachgeordneten physikalischen Deagglomerationsprozess. Sie eignen sich unter anderem für alle Lack-, Elastomer- und Kunststoffanwendungen, die eine große Oberflächengüte aufweisen müssen.

Durch eine gezielte Oberflächenbehandlung lässt sich aus der Neuburger Kieselerde eine Vielzahl wichtiger Spezialfüllstoffe herstellen, welche die Eigenschaftsprofile der jeweiligen Produkte optimieren. Je feiner das Korn, desto hochwertiger sind im Allgemeinen die Anwendungen.

Sowohl in der Gummi- wie in der Kunststoffverarbeitung wird Kieselerde als bedeutender Füllstoff eingesetzt. Dies gilt auch für die verschiedenen Elastomeranwendungen für Produkte der Automobilindustrie, etwa als Füllstoff für Dichtprofile des Bausektors.
Weitere Verwendung findet die Kieselerde zum Beispiel bei Bodenbelägen im Nass- und Trockenbereich, bei Dachbahnen und bei Fensterabdichtungen, oder auch für die Produktion im Kabel- und Elektrobereich, wie bei Kabelmänteln und Kabelisolierungen, desgleichen im Maschinen- und Gerätebau, etwa den Walzenbeschichtungen für die Papierherstellung.

Auch im Bereich der mechanischen Behandlungen haben Kieselerdeprodukte als Abrasiva (Schleifmittel) eine große Verbreitung in Reinigungsmitteln, Polituren und Lacksystemen gefunden.
Dasselbe gilt für den Einsatz bei Lebensmittelbedarfsgegenständen, etwa bei Dichtungen, Gummierungen und Schläuchen im Trinkwasserbereich, in der Lebensmittelherstellung und im Lebensmitteltransport, desgleichen in der Haushaltsartikelindustrie. Die Ausführungen verdeutlichen die große Bedeutung des Industrieminerals Kieselerde für die Industrie und die Volkswirtschaft.

1.16 Quarzit

Die Quarzitlagerstätten sind für bestimmte Regionen von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung, zum Beispiel für die Region Hunsrück. Besonders reine Quarzite werden in der chemischen Industrie verarbeitet und eignen sich auch für den Einsatz in der Feuerfestindustrie, wo sie zu hochfeuerfesten Silikasteinen verarbeitet werden. Im Deckenbau von Straßen werden sie als Aufheller verwendet.

Quarzit ist heute auch ein Rohstoff für die quarzverarbeitende Industrie. Feingemahlen wird er auch für die Herstellung optischer Spezialgläser oder als Füllstoff bei der Herstellung von feuerfestem Material eingesetzt.

Viele Quarzite finden als Natursteine Verwendung, beispielsweise als Bodenbelag oder Küchenarbeitsplatte im Innenbereich und als Platten im Außenbereich.
Überwiegend werden Quarzite als getrocknetes Material im Straßenbau und im Hochbau eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Sie werden mit Löffelbaggern gewonnen, mitunter wird auch Sprengtechnik angewendet. Aufbereitet werden die Rohsteine durch Brechen und Klassieren.

1.17 Schwerspat und Flussspat

Schwer- und Flussspat wird in der Grube Clara bei Oberwolfach (Region Südlicher Oberrhein) im Mittleren Schwarzwald abgebaut. Legt man die bekannten bergmännischen Vorräte der deutschen Spatgruben zugrunde, so wird dieses traditionsreiche Bergwerk in wenigen Jahren die einzige Gewinnungsstelle dieser Rohstoffe in Deutschland sein.

Zugleich wird dort die mehr als 2000-jährige Geschichte des Metallerzbergbaus in Baden-Württemberg fortgeführt; die Grube Clara ist heute die einzige Silbererzgrube in Deutschland.

Bedeutende, derzeit nicht genutzte Vorräte an Flussspat treten auch im Nordschwarzwald auf.
Auf der bei Pforzheim (Region Nordschwarzwald) gelegenen Grube Käfersteige ging bis 1997 Bergbau um; die Verwahrung des Bergwerks erfolgte so, dass eine Wiederaufnahme der Flussspatgewinnung relativ leicht möglich ist.

- **Haupteinsatzbereiche:**

Füllstoffe und Schallschutzmassen (textile Bodenbeläge, Automobilindustrie), Farbenindustrie (stabile Anstrichfarben, Lithopone), chemische und Kunststoffindustrie (nicht brennbare Kunststoffe), Schwerbeton (strahlungsabsorbierend), Spachtelmassen, Dichteregulator für Bohrspülungen (Erdöl-/Erdgasbohrungen), Trinkwasserreinigung (Sulfatreduktion), medizinische Diagnostik (Kontrastmittel).

Schwerspatmehle der Grube Clara (Schwarzwald) werden unter anderem in Korrosionsschutzlacken, in Grundierungen, in der Gummiindustrie sowie bei der Herstellung hochwertiger Fußbodenbeläge, in Kitten und Bremsbelägen eingesetzt.

Einsatz in der Glas-, Keramik- und Metallverarbeitung (Schweißtechnik) und der Erdölchemie, als Zusatzstoff in Zahnpflegemitteln (Fluor).

- **Gewinnung, Aufbereitung und Veredelung:**

Flussspat und der auf gleicher Lagerstätte auftretende Schwerspat werden z. B. auf der Grube Clara im Untertagebergbau (hier: Teilsohlenerweiterungsbau) durch Sprengen gelöst und mit Schaufellader und LKW transportiert.

Das Bergwerk hat bereits eine Tiefe von 700 m erreicht. Die in der Nähe gelegene Aufbereitungsanlage zerkleinert Roherz aus Schwer- und Flussspat, Quarz, Karbonaten und Metallerzen.

Es wird zunächst einer Schweretrennung unterzogen, wodurch Schwer- und Flussspat und die anderen Komponenten voneinander getrennt werden.

Das Flussspatkonzentrat wird dann in einem Trommeltrockner von anhaftendem Wasser befreit und anschließend in Kugelmühlen bis auf ca. 250 µm aufgemahlen; danach erfolgt die Trennung in Flotationsbänken (unter Verwendung von benetzenden Flotationschemikalien) von den noch nicht abgetrennten mineralischen Verunreinigungen.

Durch weltweit gestiegene Nachfrage ist der Marktpreis für Flussspat in 2005 auf 230 US-Dollar/t gestiegen.

7541014/10787806875Biblio

1.18 Schieferbergbau

- **Schieferbergwerk Katzenberg**

Das nach der Produktionsmenge größte Schieferbergwerk in Mitteleuropa ist das Moselschieferbergwerk Katzenberg. Es gehört in Deutschland zu den Schieferbergwerken, die noch einen Untertageabbau betreiben.

Der Beginn des Moselschieferbergwerks Katzenberg geht bis in die Spätantike zurück Die Gewinnung am Katzenberg wird erstmals in Pachtverträgen 1362 bzw. 1408 urkundlich erwähnt. Maschinenbetriebene Schachtförderung wurde 1870 eingeführt.

Ursprünglich handelte es sich um drei getrennte Tiefbaubetriebe (Katzenberg, Reiff und Glückauf), die ab der 4. Tiefbausohle zu einem Verbundbergwerk zusammengeschlossen wurden. Bis 1958 lag der alte Hauptförderschacht am Nordost-Ende des Abbaufeldes.

1.18.1 Ölschiefergewinnung

Zehn Ölschieferwerke wurden im zweiten Weltkrieg ab 1944 zwischen Tübingen und Rottweil von der Deutsche Schieferöl GmbH und anderen Gesellschaften gegründet, um Rohöl zu gewinnen, das gegen Ende des Krieges zur Mangelware wurde.

Bei den Arbeiten kamen 3.480 Menschen zu Tode (überwiegend Strafgefangene, Kriegsgefangene und KZ-Häftlinge). Nur bei 4 von 10 Anlagen konnte Anfang 1945 die Produktion anlaufen. Sie brachte aber keinen Erfolg.

1.18.2 Weitere Schiefertonvorkommen

Sauerländer Schiefer, Hunsrücker Schiefer, Thüringer Schiefer, Siegerländer Schiefer.

1.19 Kies- und Sandgewinnung

Deutschland verfügt über große Mengen an Kies und Sand. Diese Vorkommen liegen überwiegend in der Nähe von Flüssen und insbesondere in den Mündungsbereichen sowie an den Küsten.
Umfangreiche Vorkommen liegen im Rheingraben des Oberrheins. Der Abbau erfolgt teilweise im Trockenverfahren mit Baggern und Schaufelladern bzw. im Nassabbauverfahren mit unterschiedlichen Techniken (Näheres s. „Gewinnung der Rohstoffe“).

Die gesamten Zuschläge für den in Deutschland zu verarbeitenden Beton (Kies, Sand, Zement und evtl. Sonderzuschläge) werden aus deutschen Rohstoffvorkommen zur Verfügung gestellt.

1.20 Sandstein

Sandstein ist ein verbreitetes Baumaterial und wird zum Pflastern oder für Skulpturen verwendet.
Stadtbild prägende Sandsteinbauten findet man beispielsweise in Düsseldorf, Nürnberg oder in Dresden. Auch das Freiburger Münster und das Ulmer Münster sind größtenteils aus Sandstein erbaut.

7541014/10787806875Biblio

In Dresden verwendete man für den dekorativen Innenbereich und Skulpturen einen weichen Tonsandstein, den Cottaer Sandstein, und für tragende bzw. anders belastete Architekturteile einen silikatisch gebundenen Sandstein von der Elbe, wie er heute noch bei Pirna abgebaut wird. Die Farbe von Sandstein kann, genauso wie die von Sand, variieren.

Übliche Farben sind grau (ohne Beimengungen – wie zum Beispiel Ruhrsandstein aus Hohensyburg), gelb (durch enthaltenes Limonit – Ibbenbürener Sandstein), braun, rot (durch Hämatit – wie bei rotem Wesersandstein) und weiß (wie bei grau, nur ist die Oberflächenreflexion eine andere – Beispiel Rackwitzer Sandstein).
Grün ist der früher südlich des westfälischen Soest abgebaute Grünsandstein; der heute bei Anröchte abgebaute glaukonithaltige Kalksandstein fällt hingegen etwas dunkler aus als der seit dem Mittelalter verwendete Grünsandstein.

1.20.1 Verwendung

Die Gesteine des Buntsandsteins, insbesondere die aus der Schicht des Mittleren Buntsandsteins, wurden aufgrund ihrer günstigen Eigenschaften (z. B. leichte Spaltbarkeit) häufig als Baumaterial für Bauwerke verwendet, u. a. für Kirchen, Burgen, Brücken. Das Freiburger und Straßburger Münster, das Heidelberger Schloss, die Kirche des Klosters Alpirsbach und das Schloss Johannisburg in Aschaffenburg sind aus diesem Material errichtet worden.

1.20.2 Bekannte Sandsteinsorten

- Baumberger Sandstein,
- Bentheimer Sandstein, Elbsandstein,
- Anröchter Stein (Grünsandstein),
- Ibbenbürener Sandstein,
- Obernkirchener Sandstein,
- Osning-Sandstein,
- Rorschacher Sandstein,
- Ruhrsandstein,
- Teutoburgerwald-Sandstein,
- Wesersandstein,
- Worzeldorfer Sandstein.

1.21 Kalksteine

Als Kalkstein werden Sedimentgesteine bezeichnet, die überwiegend aus dem Stoff Calciumcarbonat ($CaCO_3$) in Form der Mineralien Calcit und Aragonit bestehen.

Kalkstein ist ein äußerst variables Gestein; das betrifft sowohl seine Entstehung als auch seine Eigenschaften, das Aussehen und die wirtschaftliche Verwendbarkeit.

Der größte Teil aller Kalksteine ist biogener Entstehung (von Lebewesen abgelagert), es gibt aber auch chemisch ausgefällte und klastische Kalksteine.

7541014/10787806875Biblio

Es gibt daher innerhalb der Geologie eine eigene Fachrichtung, die Karbonatsedimentologie, die sich ausschließlich mit der Entstehung und den Eigenschaften der verschiedenen Kalksteintypen befasst.

Kalksteine besitzen eine enorme wirtschaftliche Bedeutung als Rohstoff für die Bauindustrie und als Naturwerkstein. Des Weiteren sind solche Lagerstätten Speichergestein für Erdöl und Erdgas.

1.21.1 Vorkommen

Große Kalksteinvorkommen befinden sich in Mitteleuropa im mittleren über den südlichen Teil Deutschlands verteilt (dort vor allem Kalksteine aus dem Muschelkalk und dem oberen Jura), im Schweizer und Französischen Jura sowie in den nördlichen und südlichen Alpen. Weiterhin sind Kalksteine auch als eiszeitliches Geschiebe in Norddeutschland sehr häufig zu finden.

Zu einer der ältesten Abbaustätten zählt der historische Kalksteinbruch Rüdersdorf in Brandenburg, der auf die Arbeit der Zisterzienser im 13. Jahrhundert zurückgeht. Der Museumspark Rüdersdorf dokumentiert die Geschichte und Verarbeitung.

Großlandschaften, die ganz überwiegend von Kalkstein geprägt werden, sind zum Beispiel die Schwäbische und die Fränkische Alb sowie die nördlichen Kalkalpen.

Das bekannteste Abbaugebiet ist im Altmühltal mit dem Solnhofener Plattenkalk und dem Jurakalkstein.

Bedeutende Travertinvorkommen befinden sich in Deutschland zum Beispiel in Stuttgart-Bad Cannstatt und im Thüringer Becken (Weimar-Ehringsdorf).

Kreide tritt an zahlreichen Standorten entlang des europäischen Kreidegürtels zutage. Der Gürtel reicht von Großbritannien über Frankreich bis in die mittlere Ostsee und wird stellenweise auch abgebaut.

1.22 Basalt

1.22.1 Vorkommen

Der Basalt kommt in vielen Regionen Deutschlands vor. Große Vorkommen findet man z. B. in:

- Baden-Württemberg (Schwäbische Alb),
- Odenwald, Katzenbuckel (dort steht Basanit an),
- Bayern (Gangolfsberg, Kemnather Talkessel, Nördlicher Steinwald),
- Rhön,
- Hessen Vogelsberg; das größte zusammenhängende Basaltmassiv in Mitteleuropa,
- Hoher Meißner,
- Nüsttal in der Vorderrhön,
- Scheibenberg (Westerzgebirge),
- Bärenstein (Westerzgebirge),
- Pöhlberg (Westerzgebirge),
- Geisingberg (Osterzgebirge),

7541014/10787806875Biblio

- Wilisch (Osterzgebirge),
- Burgberg von Stolpen am Elbsandsteingebirge,
- Lausitzer Bergland,
- Löbauer Berg,
- Thüringen.

1.22.2 Verwendung

Basalte werden für Massivbauten, Boden- und Treppenbeläge, Fassadenplatten, Grab- und Denkmäler und in der Steinbildhauerei verwendet. Darüber hinaus findet Basalt als Baustoff aufgrund seines druck- und verschleißfesten, schwer zu bearbeitenden, aber nicht zu spröden Charakters hauptsächlich für den Unterbau von Straßen und Bahngleisen Verwendung.

Bis in die Jahre 1950/1960 wurde es als Mosaik-, Klein- und Großpflaster im Wege- und Straßenbau verarbeitet.
Bis heute wird es im Garten- und Landschaftsbau als Pflaster (neu/gebraucht) immer wieder gern verwendet. Als Beispiel sei der Blau- oder Hartbasalt (Foidit-Lava) genannt.
In der Nähe von Vulkanen werden auch Häuser aus basaltischem Gestein errichtet, was den Dörfern ein dunkles Gepräge gibt, z. B. Ortschaften in der Eifel (Mendig) und um den Ätna auf Sizilien.
Seit Jahrhunderten werden Basaltkreuze an Wegepunkten aufgestellt. Zahlreiche historisch bedeutsame Basaltkreuze befinden sich vor allem im Raum Mayen in der Eifel.

Nahe Graustein förderten Ingenieure des untersuchenden Unternehmens einen Kupferschieferkern aus einer Tiefe von 980 Metern zutage. Die Ergebnisse sind vielversprechend und eröffnen gute Perspektiven für die Lausitz. Das Unternehmen hatte im September 2009 mit den Erkundungsbohrungen begonnen und nach eigenen Angaben insgesamt zehn Millionen Euro investiert.
Die Bergbaufirma will Ende 2011 damit beginnen, im Industriegebiet Spremberg-Ost das erste Kupfererzbergwerk zu errichten. Der Betriebsstart ist für das Jahr 2015 geplant. Bis zu diesem Zeitpunkt will das Unternehmen rund 700 Millionen Euro investieren.

1.23 Erdöl und Erdgas in Deutschland

Erdöl kann in den Hohlräumen der Schieferton-, Sand- und Karbonat-Sedimente nach oben steigen, von wo es unter günstigen Umständen an die Erdoberfläche zutage tritt.
In Deutschland kommt Erdöl zum Beispiel bei Hänigsen zwischen Hannover und Braunschweig vor.

Die großtechnische Ausbeutung der Erdöllagerstätten begann im 19. Jahrhundert. Man wusste bereits, dass bei Bohrungen nach Wasser und Salz gelegentlich Erdöl in die Bohrlöcher einsickerte. Die erste Erdölförderung im Untertagebau fand 1854 in Bóbrka bei Krosno (Polen) statt.

7541014/10787806875Biblio

Erdöl-Gewinnung im Jahre 1556
A. Die bitumenhaltige Quelle B: Der Bottich
C: Das kupferne oder eiserne Gefäß
D: Der Deckel. Aus Agricola.

Auch auf dem Meer wurde schon früh Erdöl (mit Schwämmen und Tüchern) gefördert, das durch Klüfte und Risse seinen Weg an die Oberfläche fand.

Abb. A-16: Ölgewinnung im Mittelalter [V33]

Erdgas ist ein brennbares Naturgas, das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Es tritt häufig zusammen mit Erdöl auf, da es auf ähnliche Weise entsteht. Erdgase bestehen hauptsächlich aus hochentzündlichem Methan, unterscheiden sich aber in ihrer weiteren chemischen Zusammensetzung.

1.24 Torf

In der gemäßigten Klimazone ist das Torfstechen schon seit etwa 3000 v. Chr. nachweisbar. Bevor Torf gestochen werden konnte, musste das Moor durch ein verzweigtes Grabensystem entwässert und durch ein System von Zwischendämmen mit Wegen zwischen Torfstich und Torfdarre erschlossen werden.

1.24.1 Historische Entwicklung

Seit etwa 4.000 Jahren unterliegen Moorflächen in Mitteleuropa einer mehr oder minder intensiven Nutzung.
Bereits seit Beginn der Bronzezeit wurde Brenntorf gewonnen, der in Form luftgetrockneter Soden möglicherweise die Basis der Kupfer- und Zinnschmelze für die Bronzeherstellung bildete.
Aufgrund von frühen Quellen (z. B. Plinius) wissen wir, dass Torf besonders an der Nordseeküste (aufgrund der großen Küstenmoore und mangels geeigneter Alternativen) schon sehr lange als Brennstoff genutzt wird.

Die Wärmeausbeute von Torf ist zwar geringer als jene von Braunkohle, jedoch besser als die von Holz. Wegen seines hohen Brennwertes war der zuunterst liegende Schwarztorf am wertvollsten. Wenn keine ausreichende Moorentwässerung gelang, war sein Abbau aber ausgesprochen schwierig.

Die Torfstecher mussten den Torf in halbflüssigem Zustand aus den bis zu sechs Meter tiefen Torfgruben heben. Auf dem Trockenplatz wurde der schwarze Torfschlamm eben verteilt und durch Trampeln mit den Füßen „gepettet“.

7541014/10787806875Biblio

War das meiste Wasser auf diese Weise herausgepresst, blieb der Schwarztorf zum Trocknen liegen und wurde anschließend in Soden geschnitten. Bei der Anlage eines Torfstichs wurde zunächst mit dem Spaten die Moosnarbe von den Moorbauern entfernt, dann wurde der darunter befindliche Weißtorf mit der Schaufel ausgehoben.
Der tieferliegende Scharztorf wurde mit Stiekern oder Stecheisen in Soden gestochen und nach dem Hauptabnehmer auch „Bäckertorf“ genannt. Dieses Torfstechen war eine körperlich extrem anstrengende Arbeit.
Die Torfsoden wurden auf Torfkarren verladen und meist von Kindern zum Trockenplatz gezogen. Dort wurden sie so aufgestapelt, dass das Regenwasser an den Außenwänden ablaufen konnte.
Der Torf trocknete den ganzen Sommer über, bis zum Spätherbst wurde er nicht nur erheblich leichter, sondern auch sein Volumen schrumpfte stark zusammen.

In größerem Umfang setzte die Torfnutzung erst mit der Holzverknappung ab etwa 1750 ein, bis sie um 1900 allmählich durch die Kohlefeuerung abgelöst wurde.
In den Gebirgsregionen Europas hatte der Torfstich geringere Bedeutung als im Flachland, vermutlich weil durch den Kiefernbestand einfacher zu gewinnendes Brennmaterial in ausreichender Menge existierte. Torf wurde eher als Nebenprodukt bei der Trockenlegung feuchter Wiesen gestochen und in der Landwirtschaft als Streu in den Ställen verwendet; nur in Notzeiten diente er auch als minderwertiger Brennstoff.

1.24.2 Heutige wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung

Teilweise wurde der gestochene Torf auch zu Torfkohle weiterverarbeitet, der Prozess ist der gleiche wie bei der Gewinnung von Holzkohle. Wegen ihres mit Braunkohle vergleichbaren Brennwertes setzte man sie bei Holzkohleknappheit sogar zur Erzverhüttung ein. Nachdem die während der Industrialisierung abgeholzten Wälder wieder aufgeforstet waren, ging der Bedarf nach Torfkohle wieder zurück.

Heute findet in Deutschland nur noch in den nördlichen Regionen Torfabbau statt (z. B. Ostfriesland, am Rande des Naturschutzgebietes „Ewiges Moor“), der aber immer mehr ausläuft.

Torf hat als Brennstoff in trockenem Zustand einen Heizwert von 20 MJ/kg bis 22 MJ/kg. Allerdings hat frischer Torf einen sehr hohen Wassergehalt und muss daher vor der Verbrennung in der Regel aufwändig getrocknet werden.
Zudem hat Torf einen sehr hohen Aschegehalt, einen niedrigen Ascheschmelzpunkt und enthält einige chemische Bestandteile, die sich bei der Verbrennung korrosiv und/oder umweltschädlich verhalten. Für Deutschland ist er als Brennstoff nicht mehr von Bedeutung.

Als Brennstoff für die allgemeine Anwendung wird Torf heute in nennenswerter Menge nur noch in jenen Regionen verwendet, in denen es ausgedehnte Moorlandschaften gibt. In der EU sind dies vor allem Skandinavien (Finnland, Schweden), die britischen Inseln (Irland, Schottland) sowie das Baltikum (Estland, Lettland, Litauen).

Einige moorreiche Länder betreiben auch heute noch Torfkraftwerke, in denen Torf in großem Maßstab als Brennstoff zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Früher wurde der Torf überwiegend in Soden-/Ballenform auf einem Rost verbrannt, heute überwiegend in gemahlener Form in einer Wirbelschicht.

7541014/10787806875Biblio

So betreibt z. B. Finnland 60 Torfkraftwerke und produziert 51 % des Energietorfes der ganzen Welt. Trotzdem exportiert Finnland keinen Torf.
Der finnische Staat ist der Meinung, dass dieser Rohstoff reichlich vorhanden ist und kostengünstig gefördert werden kann. Auf diese Vorzüge sollte man nicht aus ökologischen und umwelttechnischen Gründen verzichten.

Unerlässlich ist der Torf als Brennstoff noch bei der Malzherstellung für viele schottische Whiskysorten, da der Torfrauch erheblich zum Geschmack des Endproduktes beiträgt; außerhalb Schottlands produzierte Whiskies verwenden meist keinen Torfrauch.

Man kann Torf, statt ihn direkt als Brennstoff zu verwenden, auch zu Torfkohle umwandeln, indem man ihn – ähnlich wie bei der Herstellung von Holzkohle – unter geringer Luft- bzw. Sauerstoffzufuhr langsam in einem Kohlenmeiler „verkohlt“. Auf diese Weise gewinnt man einen Brennstoff, der einen wesentlich höheren Heizwert und günstigere Verbrennungseigenschaften aufweist.

Torf wurde regional in großen Mengen in Heizkraftwerken verheizt, um Gärtnereibetriebe mit Wärme für Gewächshäuser zu versorgen. Ein großer Betrieb in Wiesmoor, die Wiesmoor-Gärtnerei, wurde noch im 20. Jahrhundert in der Nachbarschaft eines Torfkraftwerks eröffnet.

Die Regionen Ammerland und Ostfriesland sind für große Vielfalten an Azaleenkulturen bekannt. Der Ursprung der Gewächshauskulturen in den Niederlanden und in Flandern geht auf die Nutzung des Torfs als Heizmaterial und als Substrat zurück.

Die in Deutschland noch reichlich vorhandenen Torfvorkommen werden aus Umweltschutzgründen im Wesentlichen zu Naturschutzgebieten und Biotopen umgewandelt, obwohl alle abgetorften Bereiche mit großem Aufwand in landwirtschaftliche Flächen rekultiviert oder renaturiert werden.

1.25 Kies- und Sandgewinnung

Die Verwendung von Kies und Sand als Rohstoff für vielfältige Produkte des täglichen Lebens wird vom Grundsatz her nicht in Frage gestellt.
Konkrete Abgrabungsvorhaben aber stoßen vor Ort fast immer auf Widerstand. Neben erwarteten Belästigungen durch Lärm oder Staub steht in solchen Fällen meist ein Thema im Vordergrund: die Sorge um Veränderungen der Umwelt, die mit der Sand- und Kiesgewinnung verbunden sind, obwohl nach Beendigung der Gewinnung eine planmäßige Rekultivierung und Renaturierung erfolgt.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der heimischen mineralischen Rohstoffe lässt sich mit wenigen Zahlen verdeutlichen: Statistisch gesehen verbraucht jeder Bundesbürger mehr als 600 t dieser Rohstoffe in seinem Leben, und zwar:

- 324 t Kies und Sand,
- 170 t Hartsteine,
- 99 t Kalkstein,
- 25 t Ton,
- 60 m^3 Beton.

7541014/10787806875Biblio

Das entspricht allein bei Sand und Kies pro Bundesbürger einer Säule mit einem Quadratmeter Grundfläche und fast 200 m Höhe (oder Tiefe). Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle o. g. Rohstoffe aus deutschen Vorkommen gefördert werden.

1.26 Bedeutung der Rohstoffe für Deutschland

Deutschland war vom 15. bis 19. Jahrhundert mit mehreren tausend Bergwerken das Land mit den größten Bergbauaktivitäten in der Welt. Alle lebensnotwendigen Rohstoffe konnten aus eigenen Vorkommen größtenteils bergbautechnisch gewonnen und vielfach auch exportiert werden. Der Bergbau war die Grundlage für den industriellen und wirtschaftlichen Erfolg Deutschlands. Aber auch noch heute können wesentliche Rohstoffe vollkommen oder mindestens teilweise aus eigenen Rohstoffquellen gewonnen werden.

Hierzu gehören u. a.:

Steinkohle	Klebsand	Kieselerde	Basalt
Braunkohle	Ton	Kies + Sand	Sandstein
Steinsalz	Bentonit	Zement	Granit
Kalisalz	Quarzsand	Kalk	Schwerspat
Kaolin	Quarzit	Kalkstein	Flussspat
Erdgas: 20 % des Gesamtverbrauches		Erdöl: 2007 rd. 3,6 Mio. t	

7541014/10787806875Biblio

B Grundlagen der Geologie

Wie die Geschichte aller Völker und Zeiten lehrt, hängen die Entwicklung eines Volkes, sein wirtschaftliches Leben sowie sein geistiger und kultureller Aufstieg weitgehend von der Beschaffenheit des Bodens, insbesondere den Mineralvorkommen und den Energiequellen seines Landes, ab. Auf dem Boden wachsen die für seine Ernährung und das Leben notwendigen land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnisse. Die Gesteinsablagerungen bergen die für die Volkswirtschaft wertvollen mineralischen Rohstoffe wie Brennstoffe, Salze und Erze.

1 Aufbau der Erdkruste

Die Erdkruste selbst baut sich aus verschiedenartigen Gesteinen auf, die Bau- und Industriezwecken dienen. In ihren Schichten fließt das zur Erhaltung des Lebens unentbehrliche Grundwasser. Auch die für die Gesunderhaltung so wichtigen Heilquellen und Mineralwässer entspringen dem Boden. Schon daraus geht hervor, welche Bedeutung eine genaue Kenntnis des Erdbodens besitzt, und zwar seiner äußeren Oberflächenformen, seiner gesteinsmäßigen Zusammensetzung, seines inneren Aufbaus, seiner Mineralvorkommen und seiner Bildungsgeschichte.

Von ganz besonderem Wert sind diese Kenntnisse für den Bauingenieur, dessen Aufgabe es ist, auf bzw. in diesem Boden Gebäude, Verkehrswege (z. B. Gleisanlagen, Straßen, Tunnel) und Versorgungseinrichtungen (z. B. Trink- und Abwasserversorgung, Strom- u. Telefonleitungen) zu planen und zu bauen. Dieses Wissen soll die Geologie, d. h. die Lehre von der stofflichen Zusammensetzung, dem Aufbau und der Entwicklungsgeschichte unserer Erde sowie des Lebens auf der Erde vermitteln. Die Geologie[5)] ist zwar eine beschreibende und erklärende, letzten Endes aber eine „historische“ Wissenschaft.

In engster Verbindung mit der Geologie als Kernwissenschaft steht eine Reihe von Hilfswissenschaften, wie die Mineralogie, als Lehre von den Mineralen, d. h. den einzelnen Bausteinen der festen Erdkruste (Kohlen, Erze, Salze, Edelsteine und Bestandteile der Gesteine).

Weiterhin gehören zur Geologie die Gesteinslehre oder Petrographie[6)] bzw. Petrologie und Petrochemie, d. h. Lehre von den Gesteinen (am Aufbau der Erdkruste beteiligte, aus Mineralen zusammengesetzte Mineralmassen), ferner die Versteinerungslehre oder Paläontologie[7)], d. h. die Lehre von den pflanzlichen und tierischen Lebewesen früherer Zeiträume, und schließlich die Lagerstättenkunde als Lehre von dem Auftreten und den Entstehungsursachen der Anhäufungen nutzbarer Mineralien. Kenntnisse darüber unterstützen nicht zuletzt die richtige Auswahl der Bohrverfahren und Werkzeuge und damit deren Effektivität. Für das Verständnis über Entstehung und Aufbau der Fels- und Bodenformationen ist ein kurzer Einblick in die Geologie unerlässlich.

5) gr. gé = Erde, lógos = Lehre
6) gr. pétros = Stein, gráphein = beschreiben
7) gr. palaiós = alt, ón, óntos = Lebewesen

7541014/10787806875Biblio

Als Baugrund kommt nur ein ganz geringer Teil der bis zu 60 km mächtigen Erdkruste in Frage. Davon sind gerade knapp 10 km durch Bohrungen oder Bergbau erschlossen. Für den Grundbau, und damit den Baugrundaufschluss, sind Tiefen bis zu 100 m möglich. Bedingt durch vulkanische Tätigkeiten, Verwerfungen, Faltungen usw. muss bei den Bohrarbeiten mit den unterschiedlichsten Gesteinsarten gerechnet werden. Die Beschaffenheit der festen Gesteine ist durch unmittelbare Beobachtungen an der Oberfläche und in der Tiefe (Bergbau und Bohrlöcher) bekannt.

Der weitere Aufbau des Erdkörpers, insbesondere des Erdkerns, ist durch seismologische sowie geophysikalische Beobachtungen und Untersuchungen belegt.
Die Erkenntnisse können zum Teil noch als „Hypothese“ gelten. Wir kennen doch nicht einmal 1/1.000 des Abstandes der Erdoberfläche zum Erdmittelpunkt. Fest steht nur, dass die Wärme mit der Tiefe zunimmt, dass das Erdinnere eine hohe Wichte hat und zum Teil glutflüssig ist.

Beweise für die ständige, wenn auch bisweilen unregelmäßige Zunahme der Wärme nach der Tiefe liefern u. a. Beobachtungen in Bohrlöchern, Bergwerken, Tunnels sowie heiße Quellen und Vulkanausbrüche. Entsprechende Messungen in Mitteleuropa ergeben, dass hier im Allgemeinen eine Temperaturerhöhung von 1 °C auf je 30 m Tiefenzunahme (gegenüber um etwa 1 °C auf 50 m bis 120 m Tiefenzunahme z. B. auf dem amerikanischen Kontinent).

Die „geothermische Tiefenstufe“ ist aber durchaus nicht überall gleich. Die erheblichen Schwankungen der Außentemperatur im Sommer und Winter reichen, dass sich in etwa 25 m Teufe um die ganze Erde eine neutrale Zone (mit gleich bleibender Temperatur von ca. +9 °C) hinzieht. Die erheblichen Schwankungen der Außentemperatur im Sommer und Winter reichen nicht bis zu dieser Zone, sondern halten sich im Gleichgewicht. Erst von hier ab kann man von der absoluten Gebirgstemperatur sprechen, die durch die geothermische Tiefenstufe bestimmt wird.

Deutschlands tiefste Bohrung, die sogenannte „Kontinentaltiefbohrung“ in der Oberpfalz, musste bei 9.101 m aufgegeben werden, da die plastische Zone erreicht wurde.
Die tiefste Bohrung ist zurzeit noch eine Ölbohrung in Oklahoma, USA, mit 9.558 m Endtiefe.

Die „Allgemeine Geologie“ untersucht den stofflichen Aufbau und die Struktur der Erde, die geologischen Kräfte, Prozesse und Phänomene sowie die dahinter stehenden Gesetzmäßigkeiten. Sie unterscheidet dabei zwischen exogenen und endogenen Kräften. Mit den Platten und ihren Bewegungen befasst sich die Plattentektonik.

Gewissermaßen als Weiterentwicklung der „theoretischen Geologie“, die sich mit der Entstehung der Erde befasst, hat im Laufe der Zeit die „praktische Geologie“ an Bedeutung zugenommen. Man versteht darunter den Zweig der Geologie, der sich auf die Bedürfnisse des praktischen Lebens erstreckt. Hierzu gehört die Beschaffenheit der Erdkruste für die Sonderzwecke der Technik und Wirtschaft (Lagerstättenkunde, Grundwasserverhältnisse, Bauwesen, Wasserwirtschaft usw.). Sie liefert für den Bereich der Bauindustrie und Bohrtechnik sowie den planenden und berechnenden Ingenieuren die notwendigen Grundlagen und Parameter.

Die Vielfältigkeit der Geologie kann in diesem Buchkapitel nur gestreift werden, da eine umfassende Behandlung schon für sich mehrere Bände füllen würde.

7541014/10787806875Biblio

2 Tektonik

In der Geologie bezeichnet Tektonik die Lehre vom Aufbau der Erdkruste in ihrer Struktur und großräumigen Bewegungen. Auch die Struktur des oberen Teils des Erdmantels (Lithosphäre) ist ein Betrachtungsfeld der Tektonik.

Als Geotektonik werden die eher globalen Aspekte und die Theorien der Erdentwicklung bezeichnet. Aus den im Gelände beobachteten Störungen und Faltungen von Gesteinspaketen sowie den Merkmalen der betroffenen Gesteine, wie Klüftung, Schieferung und Metamorphosegrad, schließt der Geologe auf Richtung, Stärke, Dauer und Zeitpunkt dieser Bewegungen.

Nach den vorherrschenden geologischen Strukturen lassen sich unterscheiden:

2.1 Störungs- oder Bruchtektonik

Nahe der Erdoberfläche führt seitlicher Druck, aber auch Druckentlastung, zum Zerbrechen der Gesteinsschichten und zu Verschiebungen der Gesteinspakete gegeneinander, entlang von teilweise offenen Fugen, Klüften, Spalten und Verwerfungen.

Hierbei kommt es in der Regel nicht zu durchgreifender Faltung der Gesteine. Beispiele sind die Bildung von tektonischen Gräben und Horsten.

Auch an der Einsenkung von Sedimentbecken und der seitlichen Verschiebung von Bereichen der Erdkruste gegeneinander ist Bruchtektonik oft beteiligt. Plötzlicher Spannungsabbau an den beteiligten Störungszonen erzeugt dabei ein Erdbeben.

2.1.1 Faltentektonik

Der genaue Zeitpunkt des Beginns der Faltung hängt von der Beschaffenheit der betroffenen Gesteine ab. Unter bestimmten Bedingungen treten Falten schon in geringer Tiefe unter der Erdoberfläche auf. In den meisten Fällen beginnen sich die Gesteine jedoch in größerer Tiefe, also bei höheren Drücken und Temperaturen, plastisch zu verformen (Duktilität) und werden gefaltet. Die Bildung von offenen Spalten ist nun nicht mehr möglich, und die Bewegung der Gesteinspakete gegeneinander findet nicht mehr nur an Störungen, sondern vor allem durch innere Verformung und Bewegung an regionalen Scherzonen statt. Die Gesteine unterliegen dabei einer Umwandlung, die metamorphe Gesteine erzeugt. Diese Umwandlung kann alle Gesteine einer Region betreffen (Regionalmetamorphose).

2.1.2 Überschiebungstektonik

Bei geeigneten Bedingungen können gefaltete wie ungefaltete Gesteine einander als tektonische Decken überschieben. Dabei werden unter Umständen Gesteinspakete von großem Ausmaß über weite Entfernungen transportiert. Der Bau dieser Überschiebungskörper kann im Einzelnen sehr verwickelt sein.

Man unterscheidet zwei Bewegungsrichtungen: die Dilatation (Dehnung) und die Kompression (Einengung).

Bei der **Dehnung** entstehen Horst- und Grabenbrüche, Staffelbrüche und Abschiebungen.

Bei der **Kompression** werden Schichten verbogen, gefaltet, geschiefert, geklüftet, aufgeschoben, überschoben und parallel verschoben.

7541014/10787806875Biblio

3 Erdgeschichtliche Untergliederung

3.1 Erdaltertum (Paläozoikum)

Vor 530 bis 245 Millionen Jahren.

Untergliederung	Zeitbereich
Kambrium	vor 530 bis 495 Millionen Jahren
Ordovizium	vor 495 bis 420 Millionen Jahren
Silur	vor 420 bis 400 Millionen Jahren
Devon	vor 400 bis 360 Millionen Jahren
Karbon (Steinkohlenzeit)	vor 360 bis 290 Millionen Jahren
Perm	vor 290 bis 245 Millionen Jahren

Abb. B-1: Steinkohlenwald des Karbons [RWE Power]

3.2 Erdmittelalter (Mesozoikum)

Vor 245 bis 65 Millionen Jahren. „Zeitalter der Dinosaurier“

Untergliederung	Zeitbereich
Trias	vor 245 bis 205 Millionen Jahren
Jura	vor 205 bis 130 Millionen Jahren
Kreide	vor 130 bis 65 Millionen Jahren

Abb. B-2: links: Dinosaurier des Erdmittelalters – rechts: Tiere der Eiszeit (Mammut) [6]

7541014/10787806875Biblio

3.3 Erdneuzeit (Känozoikum)

Vor 65 Millionen Jahren bis heute

Zeitbereich	Zeitbereich
Tertiär	vor 65 bis 2,3 Millionen Jahren
Paläozän	vor 65 bis 53 Millionen Jahren
Eozän	vor 53 bis 37 Millionen Jahren
Oligozän	vor 37 bis 23 Millionen Jahren
Miozän	vor 23 bis 5 Millionen Jahren
Pliozän	vor 5 bis 2,3 Millionen Jahren
Quartär	vor 2,3 Millionen Jahren bis heute
Eiszeitalter (Pleistozän)	vor 2,3 Millionen bis 10.300 Jahren vor heute
Heutzeit (Holozän, Jetztzeit):	vor 10.300 Jahren bis heute

7541014/10787806875Biblio

Tafel 1-B: Erdgeschichtliche Untergliederung nach „Dachroth“ Teil 1

Erdzeitalter	Formation (System)	Abteilung	Alter Dauer [10^6 Jahre]	Wichtige tektonische Ären	Faltungs-Gebiete	Wichtige Gesteine (Mitteleuropa)	
						Witterungsempfindlich	Witterungsbeständig
Erdneuzeit (Känozoikum oder Neozoikum)	Quartär	Holozän (Alluvium = geolog. Gegenwart)	0,020	Alpidische Ära	Himalaja	Gehänge-, Geschiebe-, Verwitterungs- und Auelehme, Tone, Torfe, Faulschlamm	Sande, Kiese, Schotter, Gerölle
		Pleistozän (Diluvium)	Eiszeit 1			Geschiebemergel, Lösse, Lösslehme, Bändertone, Torfe, Faulschlamm	Sande, Kiese, Schotter, Gerölle, Travertin
	Tertiär (Braunkohlezeit)	Pliozän, Miozän, Oligozän, Eozän, Paläozän	70		Alpen, Karpaten, Himalaja, Pyrenäen	Tone, Mergel, Lehme, lehmige Sande, Sandsteine, glasreiche Basalte, Sonnenbrennerbasalt, Kieselgur	Sande, Kiese, glasarme Basalte, Phonolithe, Dazite, Andesite
Erdmittelalter (Mesozoikum)	Kreide	Dan, Senon, Emscher, Turon, Cenoman, Gault, Neoaom	140		Anden, NW-D. (Bruchfaltung), Ost-Alpen Sibirien	Mergelsandsteine, (Pläner), Kreidemergel, Schiefertone, Tonmergel	Quadersandsteine, Kreidekalke
	Jura	Malm (weißer) Dogger (brauner) Lias (schwarz.)	180		Sierra Nevada, NW-D. (Bruchfaltung)	Tone, Mergel	Dolomite, reine Kalke, Mamorkalke
	Trias	Keuper			Japanische Inseln	Bunte Letten u. Mergel, Schieferton, Gipsletten u. -mergel, Lettensandstein	Sandsteine, Kalksteine
		Muschel-Kalk				Gips- und salzhaltige Mergel, mergelige Kalke	Dolomite, reine Kalkbänke
		Buntsandstein	225			Mergel, Gipsschiefer, Sandsteinschiefer, Schieferletten, Lettensandstein, Bröckelschiefer	Quarzsteine, Rogensteine

7541014/10787806875Biblio

Tafel 2-B: Erdgeschichtliche Untergliederung nach „Dachroth“ Teil 2

Erdzeitalter	Formation (System)	Abteilung	Alter Dauer [10^6 Jahre]	Wichtige tektonische Ären	Faltungs-Gebiete	Wichtige Gesteine (Mitteleuropa)	
						Witterungsempfindlich	Witterungsbeständig
Erdaltertum (Paläozoikum)	Perm	Zechstein	275	Varistische Ära	Ural	Schiefer u. Salztone, Stinkschiefer, Mergel, Salze, Schiefertone, Gipse, Anhydrit, Gipsletten u. -mergel	Dolomite, Kalke
		Rotliegendes				Tonige Konglomerate und Sandsteine, Schieferletten (Rötelschiefer)	Porphyre, Porphyrite, Melaphyre
	Karbon (Steinkohlezeit)	Oberes Karbon (produktives K.), unteres Karbon	345		Asturien, europäische Mittelgebirge	Schiefertone, Tonschiefer, Alaunschiefer, tonige Sandsteine, tonige Graphitschiefer	Graphit, Diorite, Granodiorite, Syenite, Grauwacken, Gabbros, Konglomerate, Kiesel- u. Dachschiefer
	Devon	oberes, mittleres, unteres Devon	400		Rheinisches Schiefergebirge	Ton- u. Graphitschiefer, Grauwacken, Schalsteine, dolomitische Mergel	Grauwacken, Diabase, Kalke
	Silur		450	Kaledonische Ära	Ardennen, Appalachen, West-Norwegen	Alaunschiefer, Grapholiten- u. Tonschiefer, Graphit- u. Lederschiefer, Ockerkalke	Griffelschiefer, Kalke, Phyllit
	Ordovicium		490				
	Kambrium		580		Hebriden	Alaunschiefer, Tonschiefer, tonschieferreiche Grauwacken, Phyllit	Sandsteine, Grauwacken, Kalke, Phyllit
Erdfrühzeit	Algonkium	Jotnium Karelium	2200	Assyntische Ära	Baltischer, Kanadischer, Sinischer, Afrikanischer Schild		Grauwacken, Glimmerschiefer, Kalksilikatgestein, Quarzite, Mamor, Gneise, Leptite, Amphiolite
Erdurzeit	Archaikum		4500	Lautentische Ära			

7541014/10787806875Biblio

4 Aufbau des Erdkörpers

Aufgrund der vorgenannten Feststellungen und Annahmen kam man zu einer Einteilung des gesamten Erdkörpers in vier Kugelschalenzonen (Abb. B-3).

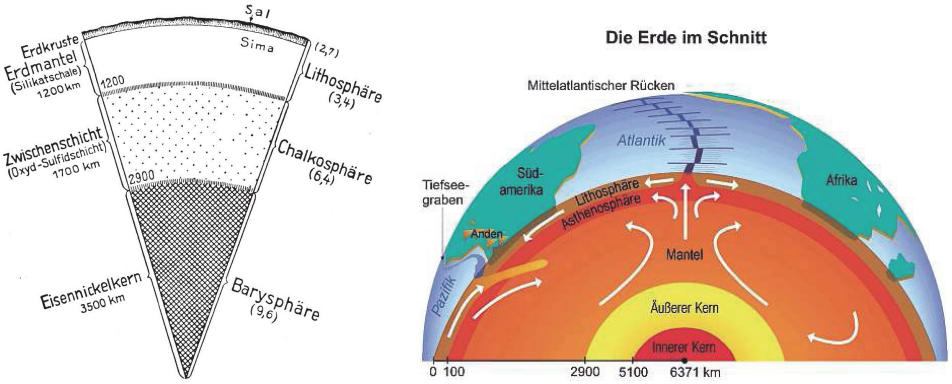


Abb. B-3: links: Kreisausschnitt des Erdkörpers – Klammerwerte = Dichte (t/m³)
rechts: Erdhalbkugel im Schnitt (schematisch) [6]

- Erdkruste, etwa 29 km bis 56 km mächtig, aus sauren und basischen Gesteinen mit einer mittleren Dichte von etwa 2,7 g/cm³.
- Erdmantel, etwa 1.200 km mächtig, aus den kieselsauren Verbindungen der Leicht- und Schwermetalle mit einer mittleren Dichte von etwa 3,4 g/cm³.
- Zwischenschicht (Chalkosphäre[8]), etwa 1.700 km mächtig, aus verschiedenen Eisenverbindungen mit einer mittleren Dichte von ca. 6,4 g/cm³.
- Eisen-Nickel-Kern (Barysphäre[9]), etwa 3.500 km mächtig, vorwiegend aus Eisen (etwa 90 %) sowie Nickel, Platin, Gold und anderen Bestandteilen. Die mittlere Dichte wird mit ca. 9,6 g/cm³ angenommen.

4.1 Erdkruste

Aufbau und Form der Erdkruste werden bestimmt durch exogene (äußere) und endogene (innere) Kräfte.

4.1.1 Exogene (äußere) Kräfte

Exogene Kräfte wirken von außen; dazu gehören Luft (Wind), Wasser, Eis, die Sonneneinstrahlung. Exogene Vorgänge sind u. a. Erosion, Verwitterung und Sedimentation; sie sind maßgebend für die Entstehung der Böden.

Die an einer Freilegung der Festlandsoberfläche durch Verwitterung bzw. flächenhafte Erniedrigung der Geländeformen beteiligten Abtragungskräfte werden unter dem Begriff der **Denudation** zusammengefasst. Ihr Endziel ist die Einebnung von Hochflächen zu Rumpfflächen. Sie erfolgt durch die zwar langsam, aber pausenlos fortschreitende

8) gr. chalkós = Erz
9) gr. barýs = schwer

7541014/10787806875Biblio

Ausräumung und Wegführung des verwitterten Gebirgsschuttes durch Regen, Eis und Wind (Erosion).

Durch die **Erosion** werden Gesteine und Minerale der Erdoberfläche, besonders die durch Verwitterung entstandenen Lockermassen und Böden, abgetragen und in ein tieferes Niveau verfrachtet. Unterschieden wird Erosion durch fließendes Wasser, durch Gletscher (Exaration[10]),durch Wind (Deflation, Ablation) und durch die Brandung an Meeresküsten (Abrasion). Die Erosion hat die Tendenz – im Gegenspiel mit den erdinneren Kräften –, die Relief- und Niveauunterschiede der Erdoberfläche auszugleichen und Gefälle zu verflachen (Abb. B-5).

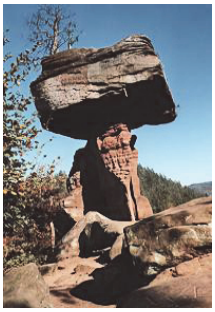
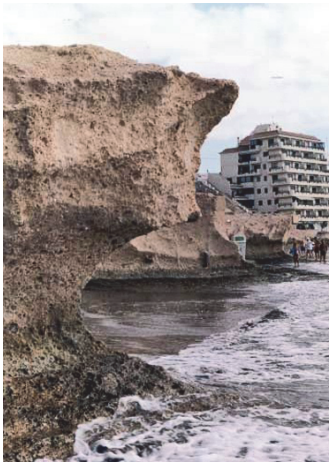


Abb. B-4: Durch Sandschliff (Deflation) entstandene Gesteinsreliefs [6]

Neben der abblasenden und transportierenden Tätigkeit (z. B. Dünen) leistet der Wind auch noch eine ausnagende Arbeit (Deflation, Ablation). Er greift den durch die Wirkung der Sonnenbestrahlung zermürbten Felsen durch den ständigen Anprall der von Wind bewegten Sandkörnchen (gleichsam wie ein Sandstrahlgebläse) mehr oder weniger stark an und schleift ihn dabei ab. Auf diese Weise entstehen ausgeprägte Gesteinsreliefs, besonders, wenn härtere und weichere Gesteinsbänke miteinander wechsellagern.

Abb. B-5: Durch Abrasion (Einfluss der Meeresbrandung) entstandene Gesteinsreliefs [6]



► **Abb. B-6:** Durch Abrasion entstandene Hohlkehle [6]

Die Meeresbrandung (Abrasion) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Küste und anschließender Landgebiete.

10) lat. exarare = durchfluten

7541014/10787806875Biblio

Hierbei wirkt sowohl die Kraft der Meereswogen als auch der Angriff der der Küste vorgelagerten und durch die Wellen bewegten Gesteinstrümmer auf diese ein.

Die Wirkung des Meeres setzt vielfach mit der Herausbildung einer Brandungshohlkehle (Abb. B-6) ein. Je nach der Beschaffenheit des Gesteins kommt es dabei nicht selten zu merkwürdigen Bildungen wie Felsentoren (Abb. B-5), Grotten, Felsnadeln u. a. Im Laufe der Zeit kann die gesamte Steilküste landeinwärts rücken.
Eine gleichzeitige Senkung des Landes unter den Meeresspiegel beschleunigt diese Vorgänge.

Eindrucksvoll ist die Arbeit von fließendem Wasser, die unter anderem zu sonderbaren Erscheinungen führt. So hat das Wasser Am Ritten bei Bozen Erdpfeiler, „Erdpyramiden“, herausgewaschen (Abb. B-7).

Abb. B-7: Erdpyramiden bei Bozen [6]

4.1.2 Endogene (innere) Kräfte

Endogene Kräfte wirken aus dem Erdinneren.

Sie gehen auf thermische Energie zurück, denn die Erde wird durch radioaktiven Zerfall aufgeheizt, und sie enthält Restwärme ihres ehemals glutflüssigen Urzustandes. Wärmeunterschiede bewirken Dichteunterschiede.

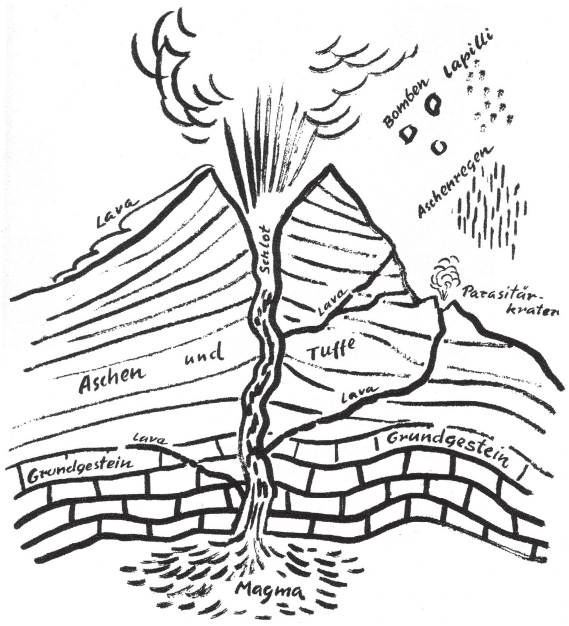


Abb. B-8: Schematische Darstellung eines Vulkans [6]

7541014/10787806875Biblio

Diese versuchen, sich durch Bewegung auszugleichen. Die dadurch hervorgerufenen Kräfte sind für Plattenbewegungen, Vulkanismus und Platonismus, für Erdbeben sowie Hebungen und Senkungen der Erdkruste verantwortlich.

Die Tektonik untersucht speziell die Strukturen, Deformationen und Störungen der Erdkruste (z. B. Schichten, Falten, Verwerfungen). Mit den Platten und ihren Bewegungen befasst sich die Plattentektonik.

Die Vulkane sind eine Landschaftsform, die auf dem Festland oder auf dem Meeresboden durch vulkanische Aktivitäten, insbesondere durch die Förderung von Lava, vulkanischen Lockermassen und Gasen entstanden ist.

Das Magma dringt aus dem Erdinneren durch einen oder mehrere Schlote oder durch Spalten an die Erdoberfläche. Aus der erstarrten Lava und dem vulkanischen Lockermaterial (Vulkanite) baut sich der flache, deckenförmige oder kegelförmige Vulkan auf (Abb. B-10). Je nach der Zusammensetzung der Lava kann diese relativ ruhig ausfließen oder aber explosionsartig ausbrechen. Am Ort der Eruption bildet sich meist ein Krater (Abb. B-8), der vielfach als Kratersee (Maar) ausgebildet ist (Abb. B-9).

Nach Form und Aufbau des Vulkans werden u. a. unterschieden in Schildvulkan, Schichtvulkan und Stratovulkan.
Die Zahl der heute oder in historischer Zeit aktiven Vulkane wird auf etwa 500 geschätzt, wobei untermeerische Vulkane oder gletscherbedeckte Vulkane nicht berücksichtigt sind. Vulkane sind besonders zahlreich an den aktiven Rändern von Platten.

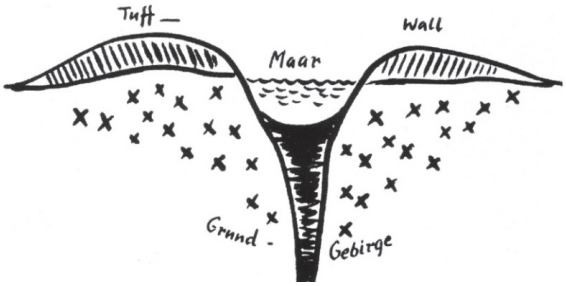


Abb. B-9:
Schematischer Querschnitt durch ein Maar der Eifel [6]

Bei den weiteren Betrachtungen geht es nur um die Erdkruste. Diese besteht aus den zwei Gesteinsarten-Hauptgruppen, und zwar

- Festgesteine und
- Lockergesteine.

5 Festgesteine

Die Festgesteine werden unterteilt in:

- Erstarrungsgesteine oder Eruptivgesteine,
- Kristalline Schiefer oder metamorphe Gesteine,
- Schichtgesteine oder Sedimentgesteine.

7541014/10787806875Biblio

Die Erstarrungsgesteine lassen sich weiter unterteilen in die

- Tiefen- und Ganggesteine (hierzu gehören: Granit, Gabbro, Diorit),
- Ergussgesteine (hierzu gehören: Quarz, Basalt, Diabas),
- Kristalliner Schiefer (hierzu gehören: Gneis, Glimmerschiefer),
- Schichtgesteine.

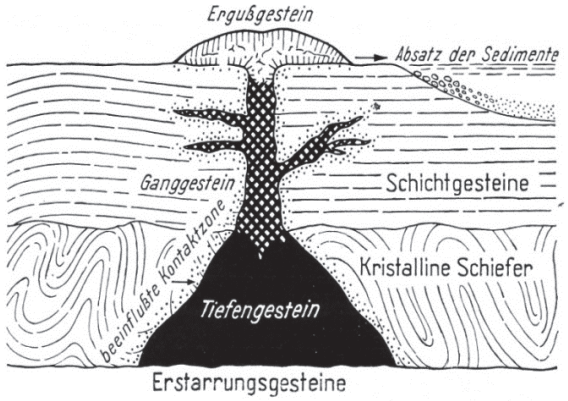


Abb. B-10: Verschiedenartige Gesteinsablagerungen der Erstarrungsgesteine im Hinblick auf ihre Entstehung [6]

5.1 Tiefen- und Ganggesteine

Bei den Tiefen- und Ganggesteinen handelt es sich um Erstarrungsgesteine, die aus der Erdtiefe in Form lavaartiger Gesteinsschmelzen von hoher Temperatur unter Luftabschluss erkaltet und erstarrt sind. Vielfach ist das begrenzende Kontaktgestein durch die Hitzewirkung verändert.

Zu den wichtigsten Vertretern gehören Granit (Abb. B-11), Syenit, Diorit, Gabbro, Diabas, Quarzporphyr und Piridoit.

Hiervon gehört der Granit wohl zu dem bekanntesten und am weitesten verbreiteten Vertreter.
Er hat ein sehr feines Gefüge und besteht vorwiegend aus Feldspat, Quarz und Glimmer. Kennzeichnend für den Granit ist seine besonderen Gesetzen unterworfene Teilbarkeit und Klüftung. Er bildet den Kern vieler deutscher Mittelgebirge und der Alpen.

Abb. B-11: Beispiel für Granit mit deutlich großen Feldspatanteilen [6]

7541014/10787806875Biblio

5.2 Ergussgesteine oder Vulkanite

Die Ergussgesteine stellen aus der Tiefe hochgestiegene und an der Erdoberfläche (bzw. am Meeresboden) schnell ohne Luftabschluss erstarrte Eruptivmassen dar, die meist ausgedehnte Decken bilden. Infolge des stark verminderten Druckes konnten die Gase schneller entweichen, so dass die Ausbildung der Einzelkristalle eine sehr unvollkommene war. Die Gesteine zeigen daher meist eine feste kristalline Grundmasse oder Einzelkristalle als Einsprenglinge.

Bei noch schnellerer Erstarrung wird ihre Beschaffenheit „glasig“ oder „schaumig“. Zu den Ergussgesteinen zählen u. a. Basalt (Abb. B-12 + B-13), Quarz, Trachyt, Diabas, Porphyr, Leparit, Dolerit und Andesit.

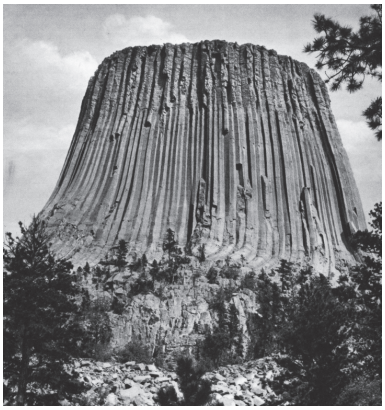


Abb. B-12: Vulkanische Basaltsäule in Wyoming [6]

Abb. B-13: Basaltstirnflächen [6]

Ergussgesteine und Vulkanite sind der beste Baugrund. Sie haben die größte Tragfähigkeit und geben unter den Bauwerkslasten so gut wie nicht nach. Außerdem sind sie hervorragend als Baustoff verwendbar (Straßenbau, Stützmauern usw.).

Zu den Ergussgesteinen zählen ebenfalls die so genannten Tuffe. Diese sind aus lockeren Auswurfmassen (Vulkanasche) entstanden, die nach ihrem Absatz durch plötzliche Entgasung bzw. Quellung wieder zu festen Gesteinen wurden. Je nach Ursprungsgestein werden die Tuffe unterteilt in: Porphyr-, Diabas-, Trachyt-, Phonolith- und Basalttuffe. Große Vorkommen von Tuffen, die ebenfalls größtenteils schichtartig gelagert sind, kann man in der Eifel antreffen.

Abb. B-14: Tuffgestein (Vorkommen in der Eifel) [6]

7541014/10787806875Biblio

5.2.1 Wichtige Vulkangesteine

Granit (Abb. B-11) ist ein fein- bis grobkörniges, kristallinisch gemengtes, magmatisches Gestein mit richtungslos-körniger Struktur.
Es setzt sich aus Feldspat, Quarz und Glimmer sowie kleinen Anteilen weiterer Minerale wie Zirkon, Apatit, Magnetit, Ilmenit und Titanit zusammen.

Er ist hell, meist grau oder leicht rötlich, und mit dunkleren Kristallen gesprenkelt. Granit ist ein Tiefengestein, das in größeren Tiefen der Erdkruste aus einem Magma erstarrt. Vom Magmaherd können Gänge ausstrahlen, in denen sich der grobkörnige Pegmatit bildet. Granit gehört zu den verbreitetsten Gesteinen der Erdkruste.

Die Dichte von Granit beträgt 2,63 bis 2,75 t/m^3. Seine Bruchfestigkeit reicht von 7 bis 30 kN/cm^2. Granit hat eine höhere Festigkeit als Sandstein, Kalkstein und Marmor und ist folglich schwieriger abzubauen.

Da er äußerst widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse ist, dient er als vielseitiges Baumaterial, z. B. für Pflastersteine, Brückenpfeiler o. Ä.
Er kommt hauptsächlich in geologisch älteren Gebirgen vor, z. B. im Schwarzwald oder im Bayerischen Wald, und bildet dort das sogenannte Grundgebirge.

Basalt ist das verbreitetste vulkanische Gestein. Es ist ein feinkörniges, dichtes und dunkles, graues bis schwarzes Gestein. Es enthält Feldspat und Quarz sowie Spuren von Hornblende, Pyroxene, Biotit, Olivin, Magnetit, Ilmenit und Apatit. Basalt sondert oft bei der Erstarrung der Lava schöne polyedrische (vielflächige) Säulen ab (Abb. B-12 + B-13), die senkrecht zur Abkühlungsfläche stehen. Er bildet Kuppen und mächtige Decken und Plateaus.

Basalt ist ein besonders zähes und wetterfestes Gestein; es wird u. a. zu Gleisschotter und Splitt verarbeitet. Basalt kommt in Deutschland u. a. im Siebengebirge, Westerwald, Vogelsberg und in der Rhön vor.

Diorit (Abb. B-15), ein klein- bis mittelkörniges Tiefengestein von meist grauer oder dunkelgrauer Farbe, wird in Form von Nadeln oder Körnern sowie beigemengter Hornblende auch Grünstein genannt. Diorit besteht vorwiegend aus Feldspat, Quarz und geringeren Mengen Hornblende, Augit, Biotit, Titanit, Apatit, Zirkon und Granat.

Porphyr (griechisch porphyros: purpur) ist ein Eruptivgestein, das große, gut ausgebildete, in einer feinkörnigen Masse eingebettete Kristalle besitzt, die in einer dichten, gleichartigen bis glasartigen Grundmasse abgelagert sind. Die feinkörnige Matrix nennt man Grundmasse und die größeren Kristalle Einsprenglinge. Es ist die ursprüngliche Bezeichnung für ein in Ägypten gefundenes Gestein, das markante, in eine rote oder purpurne Matrix eingelagerte Feldspatkristalle besaß.

Syenit (Abb. B-16) ist ein mittel- bis grobkörniges, hell- bis dunkelgraues Tiefengestein und besteht vorwiegend aus Feldspat und Hornblende. Im Unterschied zum ansonsten ähnlichen Granit enthält Syenit keinen oder nur wenig Quarz. Statt Quarz kann Syenit auch geringe Mengen an Feldspatvertretern enthalten. Nebengemengteile sind Magnetit, Apatit, Zirkon. Syenit kommt in Deutschland im Schwarzwald und bei Dresden vor. Diabas ist dem Diorit ähnlich, aber heller. Er besteht hauptsächlich aus Augit und Feldspat.

7541014/10787806875Biblio

Abb. B-15: Quarz-Diorit [6]

Abb. B-16: Beispiel für Syenit [6]

5.3 Schichtgesteine

Die Schichtgesteine umfassen die Absätze zerstörter ehemaliger Ergussgesteine, kristalliner Schiefer oder älterer Sedimente, vorwiegend im Wasser. Sie wurden hauptsächlich im Meerwasser der flachen Kontinentalränder (Schelfgebiete), in der Tiefsee oder in den Sammelmulden vor den Gebirgen durch Flüsse bzw. durch Schmelzwasser abgesetzt.

Das besondere Kennzeichen der Schichtgesteine sind die plattenförmigen Lagen, die wie Blätter eines Buches übereinander liegen. Ungeschichtete Absätze (wie z. B. Geschiebemergel, Terrassenschotter u. a.) gehören zu den Ausnahmen.
Weitere Kennzeichen sind der Mangel an kristalliner Struktur und ihre von den Ergussgesteinen nicht selten abweichende chemische Zusammensetzung.

Entsprechend der Art und Weise ihrer Entstehung können unterschieden werden:

- mechanische Schichtgesteine (Sedimente),
- chemische Schichtgesteine,
- organische Schichtgesteine,
- Umwandlungsgesteine.

5.3.1 Mechanische Schichtgesteine

Die mechanischen Schichtgesteine sind in der Hauptsache aus den durch Verwitterung zerstörten Bruchstücken älterer Gesteine entstanden, die durch Regen, Wind, Eis oder fließendes Wasser weggeführt und abgesetzt wurden (Diagenese genannt). Sie werden auch als Trümmergesteine bezeichnet.

Die wesentlichen mechanischen Schichtgesteine sind: Sandstein, Schiefer, Schieferton bzw. Tonschiefer, Kalkstein, Marmor, Alabaster. Der Sandstein unterscheidet sich durch die Korngröße und (je nach Eisengehalt) nach der Farbe (z. B. roter Sandstein). Auch die anderen Gesteine können je nach Zusammensetzung sehr unterschiedliche Strukturen und Farben zeigen (z. B. der Marmor).

Die durch fließendes Wasser in Küstennähe abgesetzten lockeren Gesteinsbrocken werden je nach ihrem Abstand von der Küste bzw. ihrer Wichte meist immer kleiner und unterliegen einer natürlichen Aufbereitung (Abb. B-17). Die vulkanischen Tuffe können aufgrund ihrer Schichtung auch als Sedimente angesehen werden.

7541014/10787806875Biblio

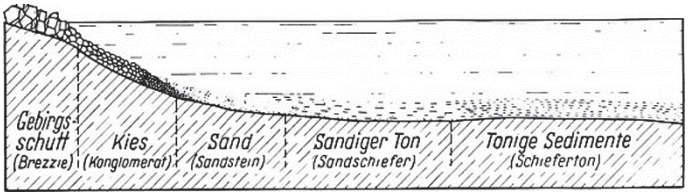


Abb. B-17: Absatz lockerer Schichtgesteine, gesondert nach Wichte und Entfernung von der Küste [6]

Je nachdem, ob die Gesteinsbrocken oder Körner noch nicht miteinander verbunden oder schon wieder verfestigt sind, unterscheidet man zwischen lockeren Trümmergesteinen (die im Allgemeinen als Böden bezeichnet werden) und verfestigten Trümmergesteinen.

5.3.2 Verfestigte Trümmergesteine

Diese sind wiederverfestigte Trümmergesteine und bestehen vorwiegend aus mehr oder weniger abgerundeten Quarzkörnern mit Einzelkorngrößen von

> 2 mm bei grobkörnigen Quarzkörnern (Konglomerate),

2 mm bis 0,02 mm in mittelkörnigen Quarzkörnern (Sandstein, Grauwacke),

< 0,02 mm bei feinkörnigen Quarzkörnern (Schieferton, Tonschiefer).

Sie sind durch ein toniges, dolomitisches, kieseliges oder mehr mergeliges Bindemittel verkittet. Ein von jedem Bohrmeister gefürchteter Vertreter dieser Gesteinsart ist das „Nagelfluhgestein“ der Alpenvorberge.
Auch im Bergbau verursacht dieses Gestein bei Teil- und Vollschnitt-Maschinen einen hohen Verschleiß bei den Schneidwerkzeugen.

Sein Gefüge ähnelt dem des Betons. Bohrtechnisch lässt es sich jedoch wesentlich schlechter beherrschen als der Beton. Breccien sind ebenfalls Konglomerate, jedoch mit nicht abgerundeten, eckig-kantigen Gesteinsbruchstücken.

Ebenso ist die Grauwacke, ein unvollkommen ausgearbeitetes graues Gestein mit eckigen Bruchstücken aus Gesteinen wie Feldspat, Kieselschiefer, Ton und Schiefer, zu den Konglomeraten zu zählen.

Nachfolgend einige Vertreter der verfestigten Trümmergesteine.

Es entstanden aus:

Gebirgsschutt	> Breccien (eckige Körner)
Geröll	> Konglomerat (runde Körner)
Sand	> Sandstein
tonigem Sand	> Sandschiefer
Ton	> Schiefer

Abb. B-18: Beispiel für Breccie (hier bunte Breccie) [6]

7541014/10787806875Biblio

5.3.3 Verschiedene Trümmergesteine

Sandstein (Abb. B-19a) besteht aus Sandkörnchen, die durch nach Art und Menge sehr verschiedene Bindemittel zusammengekittet sind.

Nach der Art der Bindemittel (Quarz, Calciumcarbonat, Eisenoxid) unterscheidet man kieselige oder Quarzsandsteine, kalkige, tonige, mergelige, eisenhaltige u. a. Sandsteine. Die Farbe hängt weitgehend von den Bindemitteln ab. Eisenoxid führt zu einer roten oder rotbraunen, andere Bindestoffe zu einer weißen, gelblichen oder grauen Farbe. Sandstein ist nicht nur ein natürlicher Speicher für Öl- und Erdgasvorkommen, sondern wird auch als Baumaterial verwendet.

Ein besonderes Sandsteinvorkommen befindet sich im Teutoburger Wald, und zwar die Externsteine (Abb. B-19b).
Bei einem Vorkommen von hartem Sandstein wurden weichere Schichten durch Verwitterung und Deflation (Sandschliff) zu einem einmaligen Felsmassiv geformt. Sie sind zu einer großen Touristenattraktion geworden.

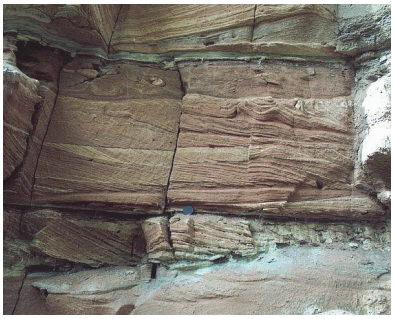


Abb. B-19a: Beispiel für Buntsandstein [6]

Abb. B-19b: Die Externsteine im Teutoburger Wald [6]

Grauwacke (Abb. B-20) ist farblich bunt, vorwiegend dunkelgrau. Die Korngröße schwankt in weiten Grenzen, sodass sie auch als Bindeglied zwischen der Breccie bzw. den Konglomeraten und dem Sandstein angesehen werden kann. Das Bindemittel ist meist kieselig.

Schieferton (Abb. B-21) ist ein Sedimentgestein, das aus verfestigten Tonen entstanden ist, meist grau bis graublau, kann noch mit dem Messer geschnitten werden. Bei Wasseraufnahme quillt er und zerfällt beim Austrocknen blättrig.

Roter, grüner und violetter Schieferton und schwach verfestigter Ton wird Tonstein oder mancherorts Letten genannt; diese Bezeichnung sollte jedoch in der Bodenmechanik nicht verwendet werden. Die Korngrößen liegen unter 0,02 mm. Das Gestein enthält noch Wasser, ist aber im Unterschied zum Ton nicht mehr plastisch verformbar.

Die im Meer sedimentierten Tone werden durch den Druck überlagernder Schichten verfestigt. Dabei wird das in den Poren sitzende Wasser ausgepresst und das Gestein komprimiert. Durch den Druck bilden sich manche Tonminerale um, und es entstehen zum Teil neue Tonminerale.

7541014/10787806875Biblio

Abb. B-20: Beispiel für Grauwacke [6]

Abb. B-21: Beispiel für Schieferton [6]

Tonschiefer entsteht, wenn der Druck weiter ansteigt und die Grenze zur Metamorphose (Umwandlung) erreicht wird. Er nimmt eine Mittelstellung zwischen Schichtgesteinen (Sedimenten) und Umwandlungsgesteinen (Metamorphiten) ein. Durch Verfestigung des Gesteins werden die Tonminerale parallel ausgerichtet. Der Schieferton erhält dadurch seine Prägung – ein paralleles oder plattiges Gefüge, die „Schieferung". Berühmt ist der Schieferton für die gut abgebildeten Fossilien (Versteinerungen von Meerestieren und Pflanzen, z. B. Fische und Muscheln, Farne usw., Abb. B-22).

Tonschiefer (Abb. B-23) ist stärker verfestigt, hart und quillt im Wasser nicht auf, verwittert aber leicht an der Oberfläche. Weitere Druckerhöhung wandelt ihn zu kristallinem Schiefer um. Tonschiefer ist sehr feinkörnig und dicht, meist durch Bitumen oder Graphitschüppchen grau oder schwarz gefärbt, durch eisenhaltige Minerale auch rötlich bis braun.

Neben Tonmineralen enthält Tonschiefer Quarz und Glimmer und vor allem Muskovit, der sich aus Tonmineralen gebildet hat. Das Rheinische Schiefergebirge ist nach den hier weit verbreiteten Tonschiefern benannt. Hier wird auch der sehr gleichmäßig geschieferte, gut spaltende und leicht zu verarbeitende sogenannte Dachschiefer abgebaut, der aus dem Karbon stammt. Man verwendet ihn zum Dachdecken und Verkleiden von Wänden.

Abb. B-22: Fossilien aus dem Schieferton [6]

Abb. B-23: Beispiel für Tonschiefer [6]

7541014/10787806875Biblio

Sandschiefer (streifiger Schieferton) ist eine häufig im Karbongebirge vorkommende Abwandlung des Schiefertons. Er weist eine feine Wechsellagerung von sandigen (hellen) und tonigen (dunklen) Streifen verschiedener Dicke auf. Mal überwiegen die einen, mal die anderen Streifen nach Häufigkeit und Dicke. Man wird sandstreifige Schiefertone bei Überwiegen der sandigen Streifen, tonstreifige Schiefertone bei Überwiegen der tonigen Streifen und einfach streifige Schiefertone bei ungefähr gleichem Verhältnis unterscheiden können.

Je nach der Zusammensetzung verhalten sie sich verschieden gegen Schlagen, Ritzen, Beißen, Tasten usw. Ihre Härte und technischen Eigenschaften wechseln nach dem Vorherrschen der einen oder anderen Komponente.

Abb. B-24:
oben: Sandsteingeröll [Foto: N. Kaiser]
rechts: Rotsandsteinbruch bei Wehlen [6]

Sandstein (Abb. B-24 + 25) entsteht durch die Verkittung (Zementation) von lockerem Sand und hat daher die gleichen Entstehungsbedingungen wie dieser. Er besteht also aus Trümmern verwitterter und abgetragener Gesteine. Da Quarz ein relativ verwitterungsresistentes Mineral ist, welches außerdem in sehr vielen Gesteinen vorkommt, reichert es sich beim Verwitterungs- und Transportprozess stark an, während andere Mineralkörner zerfallen. Deshalb bestehen die Sandsteine ganz überwiegend aus diesem Mineral.

Die wichtigsten Entstehungsräume für Sandsteine sind die Meere, dabei vor allem die küstennahen Flachmeere, die Schelfe.

Abb. B-25:
Durch Erosion entstandene Sandsteinformation (Coyote/Arizona) [6]

7541014/10787806875Biblio

Der Sand stammt aber meist vom Festland und wird durch Flüsse und Meeresströmungen an seinen endgültigen Ablagerungsort transportiert. Es gibt aber auch zahlreiche Sandsteinvorkommen, die auf dem Festland entstanden sind.

Im Meer abgelagerte Sandsteine finden sich in Deutschland zum Beispiel im Elbsandsteingebirge sowie im Zittauer Gebirge. Die in Deutschland weit verbreiteten Sandsteine des Buntsandsteins sind hingegen meist auf dem Festland abgelagert worden. Durch den Auflastdruck der jüngeren, überlagernden Ablagerungen, durch den Druck und die natürlichen Chemikalien des Meer- oder Grundwassers und teilweise auch durch Beimischungen im Sandstein selbst kommt es zur Verfestigung (Diagenese) des Sandes. Dieser Prozess läuft unterschiedlich schnell ab und dauert zwischen wenigen Jahrzehnten und mehreren Millionen Jahren.

5.3.4 Chemische Schichtgesteine

Zu den chemischen Schichtgesteinen gehören Salze und Kalisalze, Gips und Anhydrit, Erze, Mineralien und Kieselsteine. Auch einige Ablagerungen von Kalksteinen und Dolomiten sowie Marmor gehören dazu. Sie entstanden durch chemische Prozesse infolge von Ausfällung leicht löslicher Stoffe an Ort und Stelle aus übersättigten Lösungen bzw. durch natürliche Eindampfung. Chemische Schichtgesteine sind wesentlich seltener als mechanische Sedimente.

5.3.5 Organische Schichtgesteine

Hierzu können gezählt werden: Korallenkalke, Kieselerden, Humusgesteine (Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit), bituminöse Gesteine (Kohlenwasserstoffe, Erdöl), Phosphatgesteine (Phosphorit, Asphalt), Schreibkreide.

Streng genommen sind die organischen Sedimente nicht mehr als eigentliche Absatzgesteine zu bezeichnen, da es sich bei ihnen vornehmlich um Bildungen handelt, die auf Lebenstätigkeit von Organismen zurückzuführen sind, z. B.:

Tiere > Korallen, Erdöl, Ölschiefer

Pflanzen > Braunkohle, Steinkohle, Torf.

Der **Kalkstein**, ein typischer Vertreter der organischen Sedimentgesteine, besteht vorwiegend aus Calcit (Calciumcarbonat, $CaCO_3$). Er entsteht im Meer und in geringem Umfang auch in Seen und an Quellen. Der Kalk fällt entweder direkt aus der Lösung aus oder entstammt den kalkigen Schalen und Skeletten (Abb. B-26 a+b) abgestorbener Muscheln, Schnecken, Korallen, Schwämme oder Algen. Er kann Druckfestigkeiten bis 35 kN/cm^2 aufweisen und ist zum Teil reich an Fossilien.

Abb. B-26a:
Kalkstein mit Fossilien – hier: Fisch

7541014/10787806875Biblio

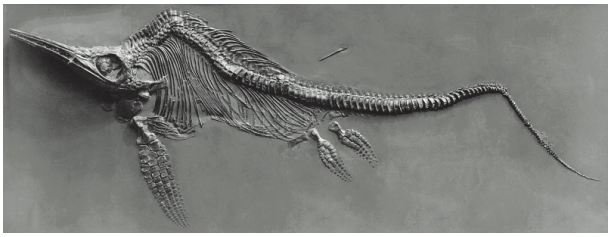


Abb. B-26b:
Kalkstein mit Fossilien – hier: Fischsaurier [6]

5.3.6 Umwandlungsgesteine

Diese metamorphen[11] Gesteine sind Gesteine, die infolge gewaltiger Drücke bei Gebirgsfaltungen oder hohen Temperaturen ihr Gefüge derart verändert haben, dass eine neue Gesteinsart mit kristalliner oder auch schiefriger Textur entstanden ist.
Hierzu gehören auch die Kontaktzonen der Ganggesteine.

Als Beispiel hierfür gilt Augengneis. So ähneln die kristallinen Schiefer den Eruptivgesteinen durch ihre Kristallinität und ihren Mineralbestand, unterscheiden sich aber von ihnen durch ihre gerichtete Textur.
Von den Sedimentgesteinen sind sie durch den meist auftretenden Mangel an gut erhaltenen Versteinerungen verschieden. Die wichtigsten Vertreter der kristallinen Schiefer sind die Gneise, lagenförmige Gemenge kristallinisch-körniger Gesteine, bestehend aus Quarz, Feldspat und Glimmer mit einigermaßen paralleler Textur.

Die wichtigsten Vertreter sind Metagneise (von granitischen Lösungen durchdrungene Sedimente) und Paragneise[12] (frühere Sedimente). Dazu gehören Phyllite, feinschuppige farbige oder dunkle Gesteine mit großem Tongehalt, Glimmerschiefer und andere. In wirtschaftlicher Beziehung stehen die metamorphen Gesteine weit hinter den Eruptiv- und Sedimentgesteinen zurück.

Das Vorkommen der kristallinen Schiefer beschränkt sich aber nicht auf die Gesteine der Urzeit. Gesteine weit jüngerer Formationen können infolge starker metamorpher Veränderung kristalline Struktur zeigen, wie z. B. die fossilführenden Bündner-Schiefer in den zentralen Teilen der Westalpen und anderen Orten.

5.4 Gesteinsbildende Mineralien

Die wichtigsten Mineralien für die Gesteinsbildung sind:

- Feldspat
- Quarz
- Glimmer.

Der **Feldspat** gehört zur Gruppe der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien. Feldspäte sind Mischkristalle im Dreistoffsystem zwischen den Endgliedern Kalifeldspat (Orthoklas[13]), Natronfeldspat (Albit) und Kalkfeldspat (Anorthit). Feldspäte sind Hauptbestandteile vieler magmatischer und metamorpher Gesteine wie Granit, Gneis oder

11) gr. metamórphosís = Umgestaltung
12) gr. pará = neben
13) gr. orthós = richtig, recht

7541014/10787806875Biblio

Basalt. Durch Verwitterung dieser Gesteine und Sedimentation in trockenen Klimaten gelangen sie auch in Sedimente. Feldspäte sind die häufigsten Minerale; sie sind zu etwa zwei Dritteln am Aufbau der kontinentalen Erdkruste beteiligt. Bei einer Härte von 6 bis 6,5 liegt die Dichte zwischen 2,5 und 2,8 g/cm^3. Sie zeigen einen glasigen Glanz und variieren in ihrer Farbe von Weiß oder Farblos bis hin zu verschiedenen rosafarbenen, gelben, grünen und roten Schattierungen.

Feldspäte verwittern leicht; dabei entstehen unter anderem Tone und Kaolinit. Diese Verwitterungsprodukte sind wichtige Komponenten bei der Bodenbildung.

Der **Quarz** (Abb. B-27) ist ebenfalls eine gesteinsbildende Mineralgruppe verschiedener Modifikationen der Kieselsäure oder des Siliciumdioxids, SiO_2. Die wichtigste Modifikation, der sogenannte Tiefquarz, ist nach Feldspat das zweithäufigste Mineral der oberen Erdkruste. Quarz tritt gesteinsbildend in Magmatiten, Sedimentgesteinen und Metamorphiten auf.

Quarz besitzt eine Härte von 7 und eine Dichte von 2,65 g/cm^3. Quarzkristalle können glasig oder speckig glänzen. In reiner Form sind sie farblos und durchsichtig, meist jedoch durch Beimengungen milchig getrübt, weiß oder verschieden gefärbt.

Der Milchquarz etwa verdankt seine milchig-weiße Farbe zahllosen winzigen flüssigen oder gasförmigen Einschlüssen.

Als Sand ist Quarz Ausgangsstoff für die Herstellung von Glas sowie wichtiger Bestandteil von Zement und Mörtel. Gemahlener Quarz dient als Schleifmittel beim Steinschneiden, Sandblasen und Glasschleifen. Pulverisierter Quarz findet in der Herstellung von Porzellan, Scheuerseifen, Schmirgelpapier und Holzfüllern Anwendung.

Der **Glimmer** (Abb. B-28) ist vor allem enthalten in Magmatiten, Metamorphiten und einigen Sedimenten. Er bildet Kristalle im monoklinen System und lässt sich sehr gut in dünne, biegsame und elastische Blättchen spalten. Glimmerminerale sind komplexe Aluminiumsilikate. Ihre Härte liegt zwischen 2 und 3 und das spezifische Gewicht zwischen 2,7 und 3,3 g/cm^3.

Abb. B-27: Reiner Quarz [6]

Abb. B-28: Beispiel für Rubinglimmmer [6]

Insgesamt sind 40 Gesteinsarten bekannt, die hier nicht alle genannt werden konnten. Zudem sind sie für den Bergbau, die Bohrtechnik und das Baugeschehen nicht alle von Bedeutung.

In der Bohrtechnik haben wir es vielfach mit einer Vermischung vieler hier aufgeführten Gesteinsarten zu tun. So können wir in einem Bohrloch Gerölle, Kiese, Sande, Ton, Torf

7541014/10787806875Biblio

und die unterschiedlichsten Arten von Festgesteinen antreffen. Einen sehr einheitlichen Schichtenaufbau findet man dagegen in den deutschen Küstenregionen, wo im Wesentlichen Sande, Tone, Schluffe und Torf anzutreffen sind. Diese Böden sind zwar zum Teil ein schwieriger Baugrund, verursachen aber keine besonderen Probleme hinsichtlich der Bohrtechnik.

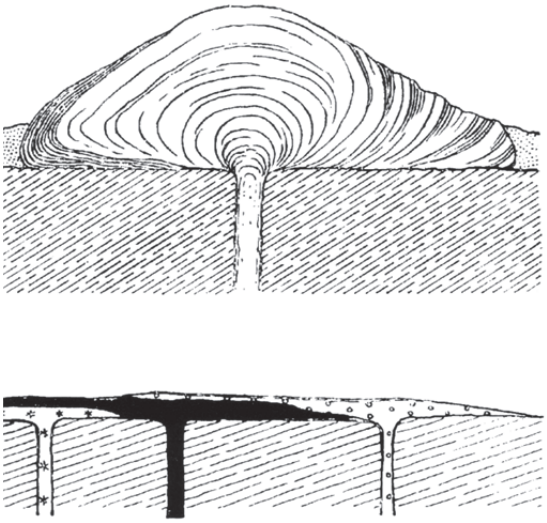


Abb. B-29: Lagerungsformen der Ergussgesteine
oben: Kappen
unten: Decken [6]

5.5 Lagerungsformen der Erstarrungsgesteine

Die Erstarrungsgesteine haben – im Gegensatz zu der bei den Schichtgesteinen vorzugsweise in einer Ebene entwickelten Ausdehnung – vielfach nach allen Richtungen verschiedene Erstreckungen. Handelt es sich doch in den aus der Tiefe in schmelzflüssigem Zustand aufgestiegenen Gesteinsmassen um sogenannte Eindringungskörper und nur ausnahmsweise um Auflagerungsgesteine.

An der Erdoberfläche fallen diese Gesteine zunächst als Vulkanberge ins Auge. Sie bilden bei Dickflüssigkeit des Lavamaterials über der Ausflussöffnung zum Teil gewaltige Kuppen (sogenannte Quellkuppen) oder bei Dünnflüssigkeit des ausfließenden Materials flussartige Lavaströme mit wulstförmigen Erstarrungsformen auf der Ober- und Unterseite sowie teppichartige Decken.

5.6 Lagerungsformen der Schichtgesteine (Tektonik)

Im Gegensatz zu den aus der Tiefe aufgestiegenen Tiefengesteinen haben wir es bei den Schichtgesteinen mit ursprünglich flächenartig abgelagerten Gesteinsbrocken zu tun. Die Mächtigkeit der Schichten kann sehr verschieden sein.

Örtlich zeigen die Schichten erhebliche Abweichungen von der horizontalen Lage. So sieht man nicht selten Gebirgsfaltungen (Abb. B-30) an den zutage tretenden Gesteinsbänken und nahezu steil stehende Schichten. Sie können gleichförmig oder auch ungleichförmig zueinander gelagert sein, das heißt verschiedene Neigungen zeigen. Dabei werden geneigt stehende Schichten teilweise abgetragen und durch horizontale Schichten überlagert.

7541014/10787806875Biblio

Abb. B-30:
Gebirgsfalten auf Kreta [6]

Für das Baugeschehen können solche Ablagerungsformen von großer Bedeutung sein, insbesondere für die Tragfähigkeit und die Gefahr von Rutschungen, sofern die geneigt liegenden Schichten von Bändern aus Schluff oder Ton unterbrochen sind und in Verbindung mit Wasser zu Abschiebungen führen können. Dies ist besonders bei Bauvorhaben in Hanglage zu beachten.

Ihre richtige Kenntnis ist für die Baupraxis bedeutungsvoll, weil durch sie nicht selten an der Oberfläche und den darauf stehenden Gebäuden Schäden entstehen können, für die der Bauherr unter Umständen dann verantwortlich gemacht werden kann.

Auch bohrtechnisch können derartige Lagerungsformen zu großen Schwierigkeiten führen. Es kann unter anderem zu Bohrabweichungen, Kernverlusten und Verklemmen der Futterrohre kommen.

5.6.1 Schichtenbiegungen (Falten)

Falten und **Faltungen** sind durch erdinnere Kräfte hervorgerufene Verbiegungen von geschichteten Gesteinen.

Es handelt sich hierbei um tektonische Einengungs- oder Stauchungsformen. Sie hängen oft mit Gebirgsbildung zusammen (Faltengebirge), bei denen starke horizontale Kräfte wirksam werden. Sie treten hier nicht einzeln auf, sondern meist in sogenannten Faltengemeinschaften. Jede Falte besteht aus einem Scheitel und zwei Flanken, Flügeln oder Schenkeln. Sind die Flügel nach unten geöffnet, spricht man von einem Sattel, bei nach oben geöffneten Flügeln von einer Mulde.

Die gedachte Linie, um die die Falte gebogen ist, heißt Faltenachse (Sattelachse, Muldenachse). Ist die Faltenachse geneigt, so taucht die Falte ab, d. h., sie verschwindet nach einer gewissen Strecke unter einer (gedachten) horizontalen Fläche. Die Ebene, in der alle Faltenachsen liegen, heißt Achsenfläche. Sie kann eben oder gekrümmt sein. Je nach Neigung der Achsenfläche unterscheidet man stehende Falten (mit senkrechter Achsenfläche), mehr oder weniger geneigte Falten (mit entsprechend geneigter Achsenfläche) und liegende Falten (mit stark geneigter oder waagerechter Achsenfläche). Die Achsenfläche kann sogar über die Waagerechte hinaus weiter geneigt werden, dann nennt man die Falte überkippt.

7541014/10787806875Biblio

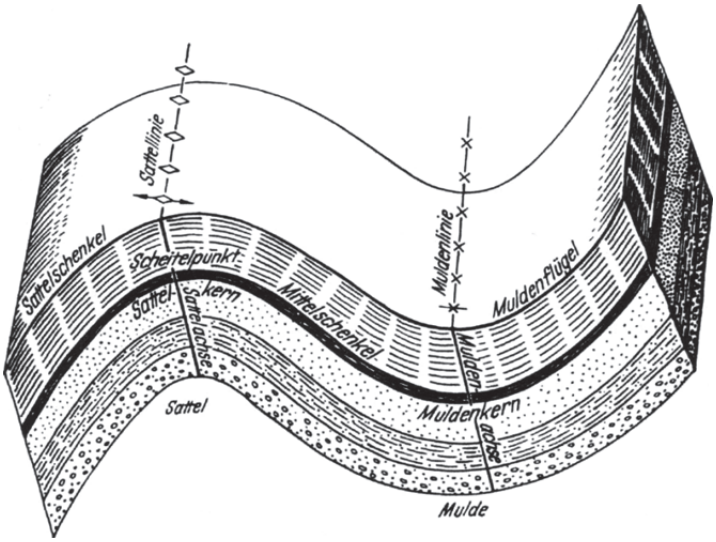


Abb. B-31: Schematische Darstellung der Faltung [6]

Da sich große Gebiete der Erde, besonders ihre Gebirge, aus Faltengebirgen zusammensetzen, gehört die Faltung (Abb. B-31) von Gebirgsschichten zu den bekanntesten, aber auch wichtigsten geologischen Erscheinungen.

5.6.2 Schichtenzerreißungen (Verwerfungen)

Im Gegensatz zu den nur die Lage der Schichten verändernden Faltungen stehen Zerreißungen von Gebirgsschichten längs steil einfallender Klüfte oder Spalten. Derartige Brüche oder Risse (Scherrisse) entstehen, wenn Schichten ihre Zusammensetzungskraft verlieren.

Diese Erscheinungsformen nennt man auch Störungen (bergmännischer Ausdruck).

- **Abschiebungen (Abb. B-32)**

Vergleichbar mit den Verwerfungen sind Abschiebungen oder Sprünge. Unter einer Abschiebung versteht man die abwärts gerichtete Bewegung eines Gebirgsstücks.

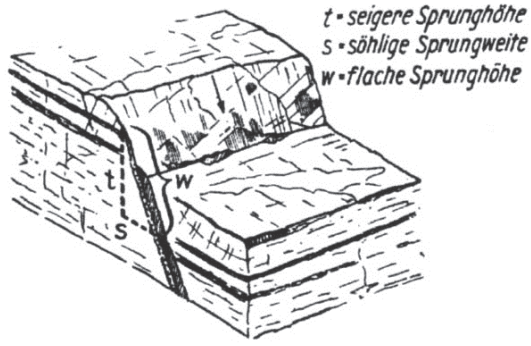


Abb. B-32:
Abschiebung (Schema) [6]

7541014/10787806875Biblio

- **Überschiebungen**

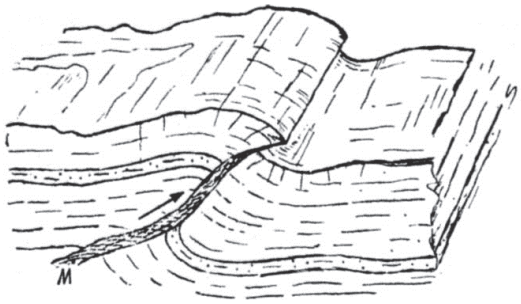


Abb. B-33: Überschiebung [6]

Eine vergleichbare Erscheinungsform sind Überschiebungen. Hierbei können sich ebenfalls durch seitlichen Schub Schichten übereinander schieben, so dass sich eine Schichtenfolge in einer bestimmten Tiefe wiederholen kann (Abb. B-33).

- **Verschiebung**

Unter einer Verschiebung versteht man die horizontale Verschiebung einer Schichtenfolge (Überlagerung). Geneigt stehende Schichtgesteine werden durch Wasser und Wind abgetragen und später durch die gleichen Kräfte wieder von z. T. mächtigen Schichten überlagert (Abb. B-34).

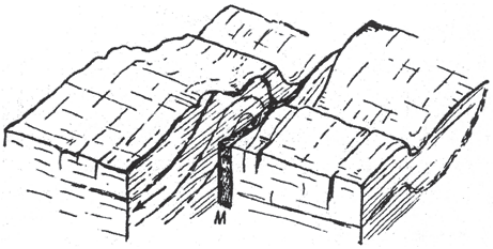


Abb. B-34: Verschiebung (Schema) [6]

- **Überlagerungen**

Bei den Überlagerungen werden steil bzw. geneigt stehende Schichten durch Wasser und Wind abgetragen und später durch die gleichen Kräfte wieder z. T. mächtigen Schichten überlagert (Abb. B-35).

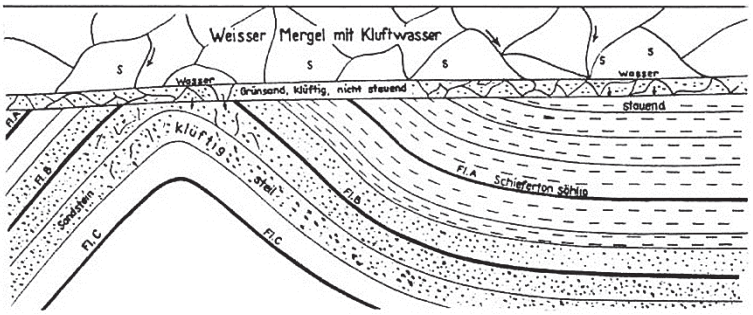


Abb. B-35: Überlagerung [6]

7541014/10787806875Biblio

Gräben und **Horste** sind durch Zerrungen während und nach Gebirgsfaltungen entstanden. Durch das Auseinanderklaffen konnten großflächige Gebirgsteile absacken und so Gräben oder Horste (Abb. B-36) bilden. Diese Erscheinungen dürfen nicht mit den Gräben verwechselt werden, die durch Flüsse eingeschnitten wurden, z. B. Grand Canyon (Arizona, Amerika). Die hier gemeinten Gebirgsformen sind heute jedoch in dieser scharfkantigen Form nicht mehr zu erkennen, sondern sind zum Teil aufgefüllt oder stark abgerundet bzw. abgeflacht (z. B. Rheingraben).

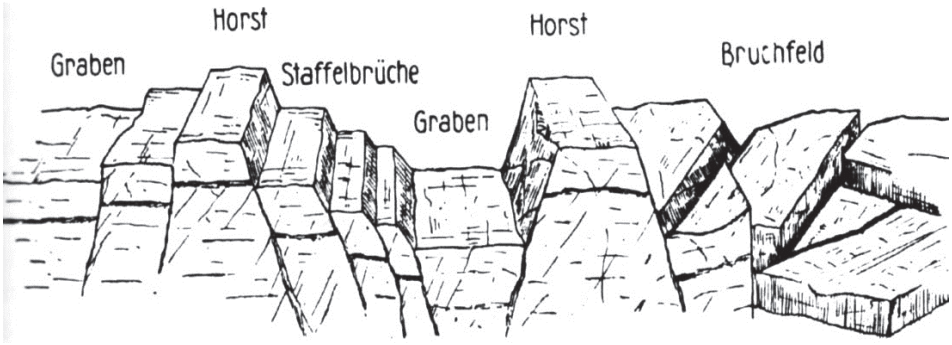


Abb. B-36: Schematische Darstellung von Gräben, Horsten und Brüchen [6]

Die hier gezeigten Beispiele von Ablagerungs- und Schichtenformen stellen nur eine kleine Auswahl dar und erheben damit auf keinen Fall Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Erläuterungen zu diesen geologischen Erscheinungen würden zu weit führen.

6 Böden (Lockergesteine)

6.1 Ursprung

Alle Böden haben ihren Ursprung in den Festgesteinen. Zunächst wurden die Festgesteine durch Sonne, Regen, Schnee, Frost, Wind und die verschiedenartigen Einflüsse der Pflanzen in ihrem Gefüge verändert, gelockert und zerkleinert.

Der Wind trug die Feinstteile fort und lagerte sie irgendwo ab. Den größten Teil allerdings nahmen Gletscher und fließendes Wasser auf und transportierten den Trümmerschutt zum Teil über sehr große Strecken. Dabei erfolgte eine weitere Zerkleinerung und Sortierung.

Wenn die Transportkraft z. B bei abnehmender Fließgeschwindigkeit oder Niedrigwasser nicht mehr ausreichte, erfolgten die Ablagerung und eventuell später auch ein Weitertransport bei höherem Wasserstand oder erneute Überlagerungen. Je weiter der Abstand vom Ursprung, desto feinkörniger wurde das Material bis zur Küste hin. Feinsand, Schluff und Schlick wurden im Küstenbereich abgelagert.

Auf den Gletschern gelangten auch Gerölle und große Findlinge bis in die Norddeutsche Tiefebene, wo sie bei Ausschachtungsarbeiten noch heute gefunden werden.

In **Flussmitte** verblieben im Wesentlichen die Gerölle (vom Transport abgeschliffene und abgerundete Gesteinsbrocken). In den **Flussbiegungen** lagerten sich außen die Feinteilchen und innen die gröberen Materialien ab.

7541014/10787806875Biblio

Schifffahrt, Hochwasser, Veränderungen der Fließgeschwindigkeit durch Begradigungen der Flüsse usw. haben dazu geführt, dass heute fast überall die gesamte Korngrößenpalette anzutreffen ist, insgesamt also der Verwitterungsschutt des vom Fluss bewegten Materials (Gerölle) bzw. die vom Eis (Gletscher) mitgeführten und zum Teil abgeschliffenen Gesteinsbrocken und Moränenschutt. Die Unterteilung erfolgt in den Größenbereichen Schotter, Kies, Sand, Schluff und Ton (siehe unten).

6.2 Einteilung der Böden

Die Böden werden zunächst unterteilt in die Hauptgruppen:

- nichtbindige (rollige) Böden und
- bindige Böden.

Im Wesentlichen haben wir es allerdings mit Mischböden zu tun, die aus sehr unterschiedlichen Korngrößen, Zusammensetzungen und Beimengungen bestehen.

Zu den Ausnahmen gehören u. a. der Fluss- bzw. Meeressand, der aus nahezu gleich großen und dicht gelagerten Quarzkörnern besteht, und Schluffe, die in mächtigen Schichten anzutreffen sind (z. B. Löss). Kiese sind dagegen überwiegend gemischt abgelagert.

Als typische Mischböden, die begrifflich nicht genau festgelegt sind, bezeichnet man:

Lehm ist ein weit verbreitetes Verwitterungsprodukt, das aus Ton, Schluff und Sand besteht.
Da der Anteil der verschiedenen Körnungsklassen sehr verschieden sein kann, präzisiert man ihn durch die Begriffe sandig, tonig und schluffig.

Lehm entsteht durch die Verwitterung der verschiedensten Gesteine und enthält Tonminerale und Eisen. Die Eisenverbindungen sorgen für die gelblich bis braune Farbe. Je nach der Entstehung unterscheidet man Lösslehm, Geschiebelehm, der aus entkalktem Geschiebemergel entstanden ist, und Auelehm, der sich aus den Sedimenten der Flusstäler bildet.

Mergel ist ein sedimentäres Lockergestein, das aus Ton, Kalk und gelegentlich sehr wenig Sand besteht. Die genaue Bezeichnung richtet sich nach dem Verhältnis der Bestandteile: z. B. Tonmergel, Mergelton, sandiger Mergel oder Kalkmergel. Die sogenannten Geschiebemergel der Norddeutschen Tiefebene sind in der Eiszeit entstanden. Sie enthalten abgerundete Gesteinsbrocken, die sogenannten Geschiebe.

Organische Böden bestehen vollständig aus organischen Stoffen (z. B. Torf) oder auch aus einem Gemisch von Feinsanden und Schluffen mit einem hohen Anteil an organischen Stoffen (z. B. Humus, Faulschlamm).

Der **Humus** ist ein im Zersetzungsprozess befindliches organisches Material im Boden, das von toten Tieren und Pflanzen stammt. Im Anfangsstadium der Zersetzung wird ein Teil des Kohlenstoffes, Wasserstoffes, Sauerstoffes und Stickstoffes rasch als Wasser, Kohlendioxid, Methan und Ammoniak abgeleitet.
Die anderen Bestandteile zersetzen sich langsam und bleiben als Humus zurück.

Der **Löss,** ein gelblich braunes Lockersediment, der in Deutschland großflächig in zum Teil mächtigen Schichten auftritt, muss etwas genauer betrachtet werden.

7541014/10787806875Biblio

Er besteht in der Regel aus etwa 10 % bis 25 % Ton (Korndurchmesser < 0,002 mm) und 70 % bis 80 % Schluff (Korndurchmesser 0,002 mm bis 0,063 mm).
Der Rest von ungefähr 10 % bis 15 % ist Fein- (Korndurchmesser 0,063 mm bis 0,2 mm) und Mittelsand (Korndurchmesser 0,2 mm bis 0,63 mm). Die Zusammensetzung variiert je nach Herkunftsgebiet sehr stark. Hauptbestandteil ist immer Quarz (zwischen 60 % und 70 %).
Daneben treten Glimmer, Feldspat und Kalziumkarbonat in wechselnden Anteilen auf.

Löss entstand aus einem vom Wind ausgeblasenen, verfrachteten und abgelagerten Flugstaub aus den vegetationslosen Schotter- und Sandflächen des Pleistozäns (Eiszeitalter). Die Mächtigkeit der Ablagerungen und die Korngrößen nehmen mit der Entfernung zum Liefergebiet ab.

Die Ablagerung erfolgt meistens vor Mittelgebirgsschwellen. So gibt es in Deutschland die mächtigsten Lössschichten nördlich der Mittelgebirge in den sogenannten Börden (Magdeburger Börde, Soester Börde usw.) und im Rheintal.

Die Vorkommen im Voralpenland sind, bedingt durch das Liefergebiet (Kalkalpen), sehr karbonatreich (bis zu 35 %). Die Mächtigkeiten der Lössablagerungen können in Deutschland bis zu 40 Meter (in China zum Teil mehrere hundert Meter) betragen.

Daneben sind auch örtliche Bezeichnungen verschiedener Mischböden bekannt. Dazu gehören Klei, Essener Grünsand, Mudde, Seeton, Keupermergel, Bänderton, Seekreide, Granitzersatz usw., deren Zusammensetzungen sehr unterschiedlich sind.

Diese Böden sind, mit Ausnahme der Gebirgs- und Vorgebirgsgegenden, das wesentliche Betätigungsfeld des Grundbaus. Sie sind es auch, die mit ihren vielen Erscheinungsformen die Probleme bei den Gründungen liefern. An dieser Stelle muss aber der Ansicht widersprochen werden, dass Festgesteine wesentlich problemloser sind. Dies trifft nur zu, wenn es sich um nahezu flache Lagerungen einheitlicher Schichten handelt.
Sobald diese Schichten stark wechseln, geneigt, gestört und von Gleitschichten unterbrochen sind, beginnen die Schwierigkeiten. Diese werden verstärkt, wenn wasserführende Schichten hinzukommen und Hanglagen zu beachten sind. Hier sind zuverlässige Baugrundaufschlüsse unerlässlich, um größere Bauschäden zu vermeiden.

Tafel 2-B: Bezeichnungen und Korngrößen

Gruppe	Hauptbodenart	Untergruppe	Korngrößenbereich in mm
Rollige Böden	Kies	Grobkies	> 20,0 bis 63,0
		Mittelkies	> 6,3 bis 2,0
		Feinkies	> 2,0 bis 6,3
	Sand	Grobsand	> 0,6 bis 2,0
		Mittelsand	> 0,2 bis 0,6
		Feinsand	> 0,06 bis 0,2
Bindige Böden	Schluff	Grobschluff	> 0,02 bis 0,06
		Mittelschluff	> 0,06 bis 0,02
		Feinschluff	< 0,002 bis 0,06
	Ton		< 0,002

7541014/10787806875Biblio

7 Grundwasser und Quellen

7.1 Wasserkreislauf

Auf der Erde gibt es über 1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser, das sich fortwährend im Kreislauf durch Flüsse, Meere, Atmosphäre, Böden und Gesteine befindet.

Gemessen an der Wassermenge, die in jedem Teil des Kreislaufes ist, sind Flüsse nur ein sehr kleiner Teil des Systems. Der weitaus größte Teil des Wassers ist salzig, wobei die Meere 96,5 % des gesamten Wassers der Erde enthalten. Von den übrigen 3,5 %, die Süßwasser sind, ist der größte Teil entweder in den Kälteregionen in polaren Eisdecken, Gletschern und Schnee (69 %) oder unterhalb der Erdoberfläche als Grundwasser (30 %) gebunden.

In Seen befinden sich weitere 0,25 %, während die Atmosphäre 0,04 % enthält. In Flüssen sind nur 0,006 % des gesamten Süßwassers der Erde enthalten. Hier fließt das Wasser unter dem Einfluss der Schwerkraft, wodurch es die Energie erhält, die Landschaft durch Erosion, Transport und Ablagerung von Gesteinen zu gestalten. Der Wasserkreislauf ist eine dynamische, erneuerbare und natürliche Grundlage für menschliches, pflanzliches und tierisches Leben.

Der Wasserkreislauf (Abb. B-37) beginnt, wenn Wasser aus den Meeren verdunstet und dabei in die Atmosphäre gelangt. Das atmosphärische Wasser gelangt als Niederschlag in Form von Hagel oder Schnee auf die Erdoberfläche zurück.

Welche Wassermenge den Boden erreicht, hängt von vielen Faktoren ab. Im Allgemeinen erhalten höhere Lagen mehr Niederschlag als tiefere. Die meisten Flüsse entstehen im Gebirge. Ein Teil des Niederschlages wird von Pflanzen, insbesondere Bäumen, abgefangen und kehrt durch Rückverdunstung direkt in die Atmosphäre zurück, bevor er auch nur den Boden erreicht. Der Wasserverlust durch diesen Vorgang kann beträchtlich sein.

Die Rodung von Bäumen für den Nutzpflanzenanbau (Entwaldung) kann die Menge und Geschwindigkeit des Niederschlags, der den Boden erreicht, bedeutend erhöhen. Örtlich kann es zu einer verstärkten Bodenerosion und zu einem erhöhten Hochwasserrisiko kommen.

Wenn der Niederschlag den Erdboden erreicht, sickert er gewöhnlich in den Boden ein, wo er entweder bis zum Grundwasser vordringt oder langsam als Zwischenabfluss hangabwärts fließt.
Bei schweren Stürmen kann aber dort, wo menschliche Eingriffe zu einer Verdichtung der Bodenoberfläche oder einer Abdeckung mit Beton geführt haben und wo der Boden bereits gesättigt ist, nicht das gesamte Wasser versickern. Das überschüssige Wasser sammelt sich an der Oberfläche, um dann als Oberflächenabfluss hangabwärts zu dem nächstgelegenen Fluss zu fließen. Das Wasser, das den Fluss entweder durch Zwischenabfluss oder Oberflächenabfluss erreicht, wird als Abfluss bezeichnet.

7541014/10787806875Biblio

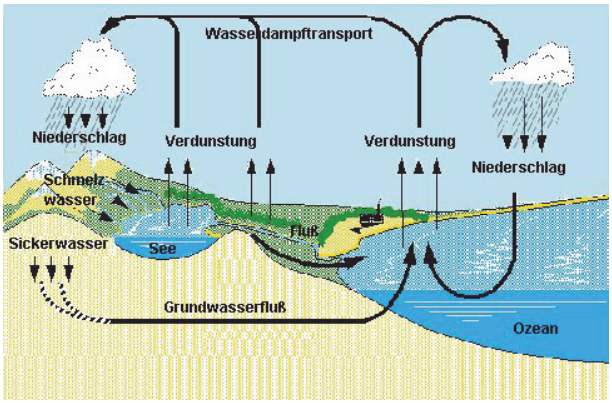


Abb. B-37: Der Wasserkreislauf (schematische Darstellung) [6]

7.2 Grundwasser

Grundwasser ist das im Untergrund frei bewegliche, nur der Schwerkraft unterliegende und alle Poren ausfüllende Wasser. Schichten, die Grundwasser enthalten, nennt man **Grundwasserleiter** oder Grundwasser führende Schichten.

Die untere Grenzfläche ist eine wasserundurchlässige Boden- oder Gesteinsschicht **(Grundwasserstauer).**

Abb. B-38: Der Grundwasserspiegel (schematische Darstellung) [6]

Die **obere Grenzfläche** ist der Grundwasserspiegel (Abb. B-39a), der sich im Brunnen oder in der Bohrung einstellt. Das Grundwasser kann einen **Grundwasserstrom** oder – wenn es ruht – ein **Grundwasserbecken** bilden. Grundwasserarten:

Das **freie, ungespannte Grundwasser** steht nicht unter Überdruck. An seiner Oberfläche sind der Wasser- und Luftdruck gleich groß (Abb. B-39b).

Freies, schwebendes Grundwasser ist vorhanden, wenn unter der Grundwassersohle nochmals eine lufthaltige Zone folgt (Abb. B-39d).

Gespanntes (artesisches) Grundwasser steht unter Überdruck (Abb. B-39c).

7541014/10787806875Biblio

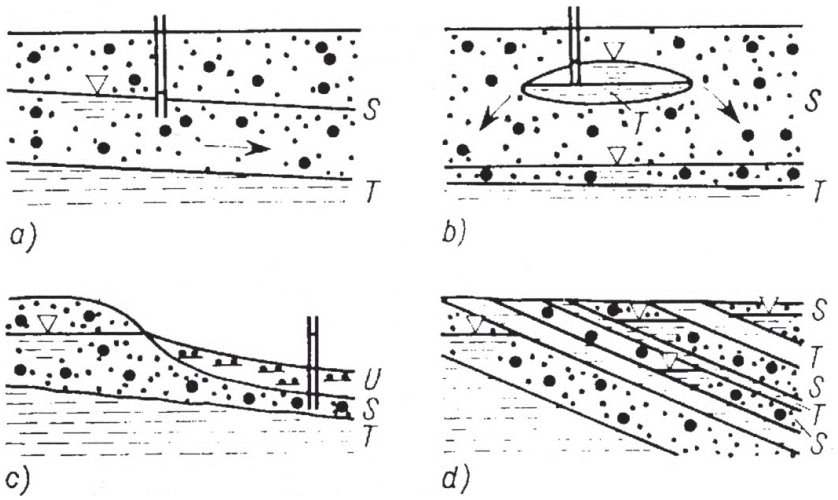


Abb. B-39: Grundwasserarten (schematische Darstellungen) [6]

Wasser oberhalb des Grundwasserspiegels: Durch Oberflächen-, Grenz- oder Kapillarkräfte wird Wasser oberhalb der Grundwasseroberfläche im Boden gehalten; es ist also nicht frei beweglich. Nach der Art der Wasserbindung sind zu unterscheiden:

Hygroskopisches Wasser (Saugwasser) wird von den Oberflächenkräften der Bodenteilchen angesaugt (adsorbiert) und umgibt die Körner mit einer Hülle verdichteten Wassers. Als Folge dieser verdichteten Wasserhüllen werden die Körner nicht wassergesättigter, bindiger Böden durch freie Oberflächenkräfte aneinander gezogen (Kohäsion).

Haftwasser wird durch Grenzflächenkräfte an den Bodenteilchen festgehalten. Das Haftwasser erfährt keine Verdichtung und steht nicht mit dem Grundwasser in Verbindung.

Kapillarwasser (Porensaugwasser) steht dagegen mit dem Grundwasser in Verbindung. Es steigt vom Grundwasserspiegel infolge der Kapillarwirkung in den Haarröhrchen des Bodens auf und wird durch die Oberflächenspannung des Wassers gehalten. In der unmittelbar über dem Grundwasserspiegel liegenden Zone füllt das Kapillarwasser alle Poren (Bereich des geschlossenen Kapillarwassers). In größerer Höhe über dem Grundwasserspiegel sind nur noch einzelne Poren mit Wasser, die restlichen mit Luft gefüllt (Bereich des offenen Kapillarwassers).

Sickerwasser stellt die Verbindung zwischen dem Niederschlags- und dem Grundwasser her und ergänzt den Grundwasserhaushalt.
Unter dem Einfluss der Schwerkraft sickert es zum Grundwasser. Auf dem Weg ergänzt es zunächst das Haft- und Kapillarwasser der durchsickerten Schichten, sodass schließlich nur das überschüssige Wasser zum Grundwasser gelangt.

7.3 Quellen

Der natürliche Austritt des unterirdischen Wassers wird als Quelle bezeichnet. Über Tage liegt diese Stelle im Schnittpunkt des Grundwasserspiegels mit der Tagesoberfläche.

7541014/10787806875Biblio

Unter Tage liegt sie am tiefsten Punkt der durch Bohrungen oder Bergbau angefahrenen, wasserführenden Zonen. Viele dieser Quellen führen Mineralsubstanz. Sie werden als „Heil- und Mineralquellen“ bezeichnet, wenn sie eine entsprechende Menge fester Bestandteile (Schwefel, Salze, Eisen, Sulfat, radioaktive Stoffe usw.) oder freie Kohlensäure besitzen.

Je nach der Tiefe, aus der das Wasser aufsteigt, sind die Mineralquellen „kalt“ (unter 20 °C), „warm“ (über 20 °C) oder „heiß“ (bis etwa 72 °C, z. B. Aachen). Die Wärme entspricht normalerweise der Tiefe, aus der die Quellen stammen.

Die Quellen können

– aufsteigend oder
– absteigend sein.

Zu der zweiten Gruppe gehören die Schichtquellen, Überfallquellen, Stauquellen, Verwerfungsquellen, Kluftquellen und Zapfquellen (Abb. B-40).

Aufsteigende Quellen sind solche, die durch hydrostatischen Druck oder Gasauftrieb bewegt werden. Überwiegend handelt es sich dabei um artesische Brunnen. Die Austrittsstellen von „gespanntem" (artesischem) Wasser bilden sich dort, wo sich infolge Überdeckung durch eine undurchlässige Schicht oder Lagerung zwischen zwei undurchlässigen Schichten ein freier Grundwasserspiegel nicht bilden kann.

Artesische Quellen bzw. Brunnen sind vielfach besonders wasserergiebig, weil das Wasser unter großem Druck austritt.

Dabei ist die Steighöhe dieses Wassers infolge der Reibung etwas geringer als die des freien Grundwasserspiegels bei gespanntem Wasser. Alle Quellwasser enthalten Fremdstoffe, die vorwiegend den durchflossenen Gesteinen entstammen.

Artesisch gespanntes Wasser kann u. a. zu erheblichen Schwierigkeiten bei Gründungsarbeiten führen (Bohrpfähle, Tiefgründungen), wenn das Wasser unerwartet angeschnitten wird (Grundbruchgefahr).

Es ist daher bei den Untersuchungsbohrungen genau zu erfassen, damit bei den Bau- und Bohrarbeiten rechtzeitig Gegenmaßnahmen (z. B. durch Auflast) getroffen werden können.

7541014/10787806875Biblio

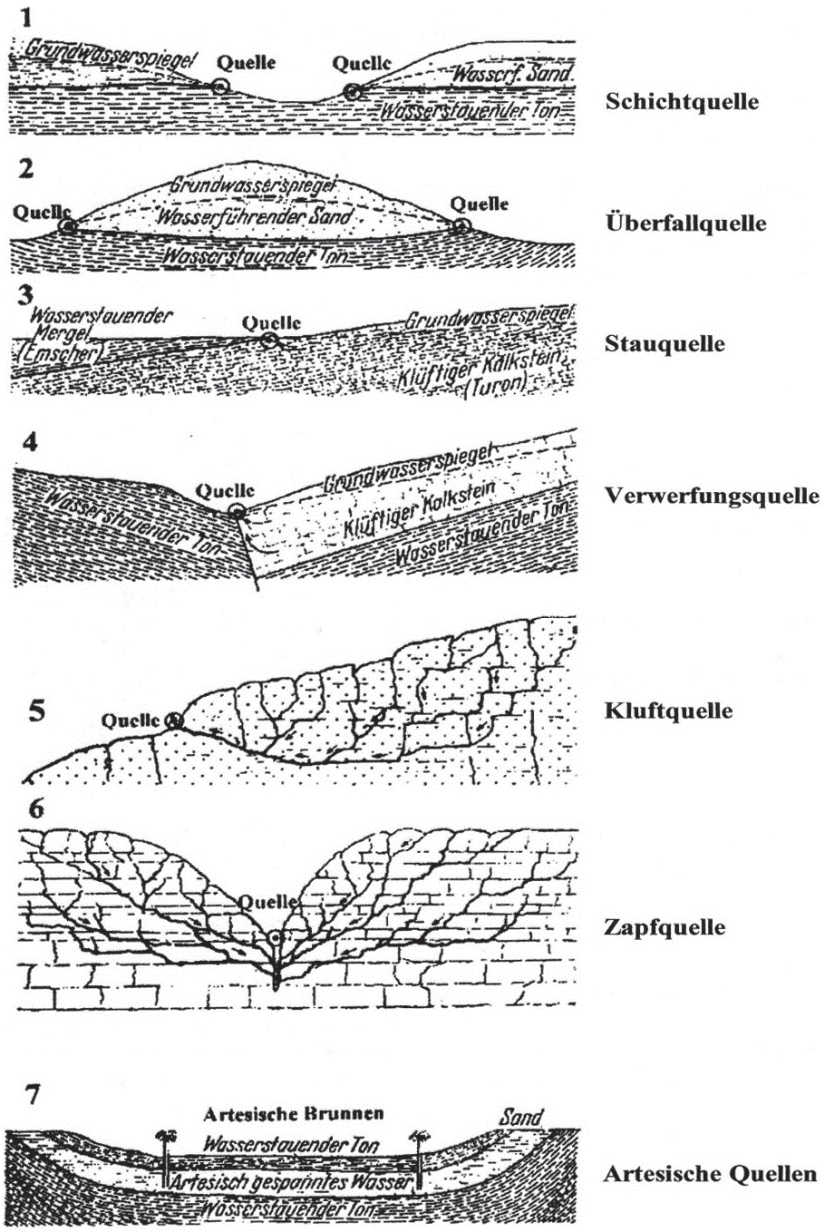


Abb. B-40: Verschiedene Quellenarten [6]

7541014/10787806875Biblio

C Grundlagen der Mineralogie

1 Faszination Mineralien

Die Mineralogie ist die Wissenschaft, die sich mit den Mineralien beschäftigt. Ein Mineral ist ein fester oder auch selten flüssiger Stoff mit bestimmten chemischen und physikalischen Eigenschaften, der in der Erde vorkommt. Im Vergleich dazu sind Gesteine Stoffe, die sehr unterschiedlich sind. Mineralien sind etwas, was den Menschen schon seit Jahrtausenden fasziniert. Es gibt ungefähr 3.000 bekannte Mineralien. Ihr Aussehen ist ausschlaggebend dafür, wie beliebt sie sind. Besonders schöne Mineralien sind sehr oft durchsichtig und haben auch oft eine schöne Farbe oder eine schöne Form. Die Beliebtheit eines Minerals entscheidet darüber, ob er als Edelstein angesehen wird oder nicht.

2 Entstehung

Es gibt drei große Entstehungsprozesse:

- Magmatischer Entstehungsprozess,
- Sedimentärer Entstehungsprozess,
- Metamorpher Entstehungsprozess.

Das **Magma** ist bekannt als der Stoff, der aus Vulkanen strömt und dann Lava genannt wird. Es ist eine Flüssigkeit im Erdinneren, die eine Temperatur von 1.300 °C hat. Wenn das Magma aus dem Erdinneren zur Erdoberfläche drängt, kühlt es langsam ab und kristallisiert. Es bilden sich damit die ersten Mineralien, die jedoch noch recht tief liegen. Auf dem weiteren Weg nach oben wird das Magma immer dünnflüssiger und kristallisiert an verschiedenen Stellen aus. Eine der letzteren Phasen ist die hydrothermale Phase. In dieser Phase entweichen aus dem Magma einige Gase und strömen nach oben.
Oft bilden sie dadurch im bereits vorliegenden Gestein Hohlräume. Diese Hohlräume füllen sich anschließend mit Magma. In dieser Phase entsteht vor allem Quarz (Bergkristall, Amethyst usw.).
Das ist auch der Grund, warum man Quarz oft in solchen Hohlräumen findet, die als Geoden bezeichnet werden. Generell wächst Quarz oft an Spalten im Gestein.

Bei der **sedimentären** Mineralienbildung handelt es sich vor allem um erdnahe Mineralien, die vielen Umweltfaktoren ausgesetzt sind und sich dadurch ständig verändern.
Hohe Temperaturen können beispielsweise neue chemische Verbindungen zur Folge haben. Starker Frost hat z. B. hat auf einige Stoffe eine sprengende Wirkung.

Außerdem sollte man die verschiedenen Säuren und anderen Stoffe, die vom Regen transportiert werden, nicht vernachlässigen. Auch Wasser selbst und der Luftsauerstoff können mit einigen Mineralien reagieren, und dadurch entstehen neue Mineralien. Bei dem **metamorphen** Vorgang wird das Magma an Stellen, wo sich bereits Mineralien gebildet haben, noch einmal durchflossen und somit werden diese Mineralien z. T. stark verändert. Es gibt auch noch spezielle Entstehungsprozesse für organische Mineralien.

7541014/10787806875Biblio

2.1 Physikalische Eigenschaften

Jedes Mineral hat bestimmte chemische und physikalische Eigenschaften. Am einfachsten ist die Zusammensetzung, wenn es sich dabei um Elemente handelt, doch die meisten Mineralien sind Moleküle oder Ionen und damit chemische Verbindungen. Die wichtigsten Mineralien können in neun Mineralklassen eingeordnet werden.

Elemente,
Metalle (z. B. Diamant, Gold, Silber) – Metalloide (z. B. Arsen) – Nichtmetalle (z. B. Schwefel, Graphit),

Sulfide
Kiese (z. B. Schwefelkies) – Glanze (z. B. Bleiglanz) – Blenden (z. B. Zinkblende)

Halogenide (z. B. Fluorit, Steinsalz, Flussspat),

Oxide und Hydroxide (z. B. Korund, Quarz),

Nitrate, Carbonate und **Borate** (z. B. Calcit, Malachit),

Sulfate, Chromate, Molybdate und **Wolframate** (z. B. Alabaster),

Phosphate, Arsenate und **Vanadate** (z. B. Türkis),

Silikate (z. B. Feldspat, Topas),

Organische Verbindungen (z. B. Bernstein).

Die **Form** der meisten Mineralien wird von **Kristallen** gebildet. Kristalle sind gleichartig zusammengesetzte, von ebenen Flächen begrenzte Körper.
Meist treten die Kristalle dicht gedrängt und eng miteinander verwachsen auf. Man nennt es Ganze Kristallgitter. Eine willkürliche Anordnung nennt man amorph.

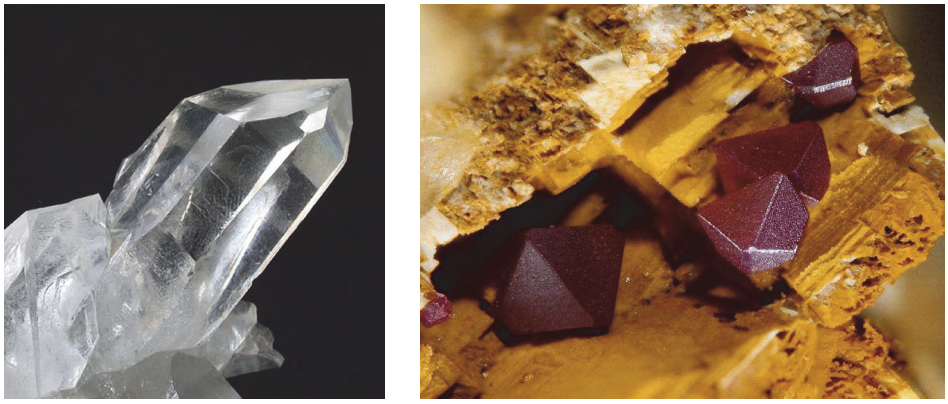


Abb. C-1: Bergkristall (links) – Cuprit-Kristall (rechts) [6]

Für Mineralien gibt es folgende sieben verschiedene Kristallsysteme:

trigonal	rhombisch	hexagonal	monoklin
triklin	tetragonal	kubisch	

7541014/10787806875Biblio

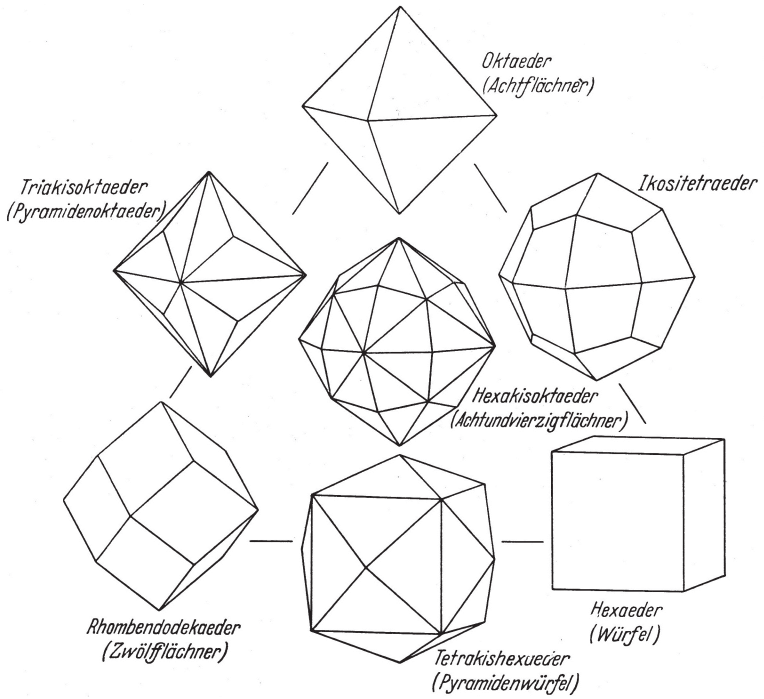


Abb. C-2: Die wichtigsten Kristallformen des regulären Systems [6]

Steinsalz kristallisiert beispielsweise im kubischen System. Da Steinsalz (NaCl) Kochsalz ist, kann man auch im Kochsalz manchmal ganz kleine Würfel erkennen. Bei größeren Brocken ist es noch deutlicher. Mineralien, die also im kubischen System kristallisieren, haben eine Würfelform.

Quarz kristallisiert im trigonalen System wie auch der Korund (Rubin, Saphir). Dadurch, dass z. B. das Material bei der Mineralienentstehung nicht regelmäßig vorkommt, oder auch durch viele andere Einflüsse, kann es zu Verformungen kommen, sodass ein Kristall nicht perfekt ist. Auch Platzmangel oder Fremdstoffe können die Kristallform ändern. Fast nie findet man perfekte Kristalle.

Auch ist das Verhältnis vom Umfang zur Höhe nicht immer dasselbe. Bei Platzmangel kommt es häufig zur Zwillingsbildung. Ein Kristall wächst dabei in den anderen hinein.

Die **Dichte** ist eine weitere Eigenschaft der Mineralien und wird angegeben in Masse pro Volumeneinheit (g/cm³). Wasser hat z. B. eine Dichte von 1 g/cm³. Die meisten Mineralien haben eine höhere Dichte als Wasser und gehen somit in Wasser unter.

7541014/10787806875Biblio

Die Mohr'sche Härteskala

Härte	Material	Allgemeine Kennzeichnung
1	Talk	fettig und milde
2	Gips	gute Spaltbarkeit, bunte Farben auf Bruchflächen
3	Calcit	spaltet nach drei Flächen, bunt schillernd
4	Fluorit	spaltet nach dem Oktaeder
5	Apatit	
6	Feldspat	
7	Quarz	fettiger Glasglanz u. muscheliger Bruch
8	Topas	spaltet gut nach einer Ebene
9	Korund	
10	Diamant	Diamantglanz infolge Dispersion des Lichtes

Die **Härte** ist ein weiteres Merkmal. Sie ist allgemein die Möglichkeit des Eindringens in das Mineral. Nach der Mohr'schen Härteskala – sie reicht von 1 bis 10 – ist ein Mineral mit der Härte 1 ist mit dem Fingernagel ritzbar, während der Diamant mit der Härte 10 nicht mal mehr durch Messer ritzbar ist. Ein Mineral mit einer höheren Härte kann ein Mineral mit einer geringeren Härte ritzen.

Die **Farbe** ist ein weiteres Erkennungsmerkmal.
Es gibt farblose Kristalle, wie z. B. den Bergkristall und den Diamanten. Quarze, z. B. der Amethyst, verdanken ihre Farbe verschiedenen Beimengungen. Sie werden daher als gefärbte Mineralien bezeichnet.

Mineralien, die dank ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften eine Eigenfarbe haben, werden farbige Mineralien genannt.

Um festzustellen, ob ein Mineral gefärbt ist oder farbig ist, kann man damit über eine Oberfläche streichen und sich den Abrieb anschauen. Dies ist der sogenannte Strich (s. Farbtafel).

Farbtafel

Mineral	Mineralfarbe	Strichfarbe
Schwefelkies	speisgelb	grauschwarz
Kupferkies	goldgelb	grünschwarz
Eisenglanz	schwarzrot	rot
Kohleneisenstein	schwarz	braunschwarz
Zinkblende	braun	gelblich
Augit	pech- bis grünschwarz	graugrün

Der **Glanz** eines Minerals ist eine weitere Eigenschaft. Es gibt Diamantglanz, Glasglanz, Fettglanz und Metallglanz.

7541014/10787806875Biblio

Die **Lichtdurchlässigkeit** ist auch sehr wichtig. Besonders saubere Mineralien haben eine hohe Lichtdurchlässigkeit, wobei diese natürlich auch auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Minerals selbst zurückzuführen ist.

Die **Wichte** (g/cm³) ist eines der wichtigsten Merkmale.

Braunkohle	1,25 bis 1,35	Quarz	2,6	Pyrit	5,1	Quecksilber	13,6
Steinkohle	1,3	Kalkspat	2,7	Bleiglanz	7,5	Gold	15,5 bis 19,4
Anthrazit	1,4 bis 1,7	Zinkblende	4,0	Kupfer	8,5 bis 9,0	Platin	21,5
Steinsalz	2,2	Schwerspat	4,3	Silber	10 bis 12	Iridium	22,3

2.2 Magnetische Eigenschaften

Manche Minerale zeigen polaren Magnetismus, d. h., sie ziehen Eisenteilchen wie ein Magnet an, so z. B. Magneteisenstein, oder wirken auf die Magnetnadel ein, z. B. Spateisenstein.

Dagegen besitzen andere Minerale, besonders die eisenhaltigen, einfachen Magnetismus, d. h., sie werden vom Magneten angezogen.
Von der magnetischen Anziehung eisenhaltiger Minerale macht man u. a. bei der Aufbereitung der Erze durch Magnetscheidung ausgiebigen Gebrauch.

2.3 Elektrische Eigenschaften

Die Minerale sind entweder Leiter (metallische Leiter), Nichtleiter der Elektrizität (sog. Isolatoren) oder zeigen Übergänge. Nichtleiter können durch verschiedene Vorgänge, z. B. durch Reibung (wie bei fast allen Mineralen), durch Druck oder durch Erwärmung elektrisch angeregt werden.

2.4 Wichtige Minerale

2.4.1 Metalle

Gold (Au = Aurum), der König der Metalle, kommt in der Natur hauptsächlich gediegen oder legiert mit anderen Metallen vor. Es tritt in Körnern, Flittern, Blättchen, Blechen und Klumpen („Nuggets“ bis 153 kg) auf. Gut ausgebildete (kubische) Kristalle sind selten.

Das natürliche Gold ist niemals chemisch rein. Es enthält noch 0,5 % bis 40 % Silber. Das Gold Siebenbürgens hat sogar einen Silbergehalt von bis zu 40 %. Der Silbergehalt ändert auch die Farbe und die Wichte.

Über nennenswerte Vorkommen verfügen Südafrika, Australien, Kanada (Alaska) und Russland.

7541014/10787806875Biblio

Silber (Ag = Argentum) – gediegen – tritt meistens gestrickt, ästig, blechförmig, plattig, draht- und haarförmig sowie in Klumpen bis zu mehreren 100 kg auf. Es führt vielfach geringe Mengen von Platin und Kupfer. Seine silberweiße Farbe ist in der Natur meist durch Anlauffarben verdeckt.

Der ehemalige Silbererz-Abbau, u. a. im Harz und Erzgebirge, ist sämtlich eingestellt. Über größere Vorkommen verfügen gegenwärtig noch Mexiko, Peru, Kanada, Russland.

Kupfer (Cu = Cuprum) kristallisiert regulär und bildet gern ästige Formen sowie eingesprengte Bleche, Platten und Klumpen. Letztere erreichen z. T. ein Gewicht von 400 kg und mehr.

Größere Lagerstätten befinden sich u. a. in den USA, Kongo, Rhodesien, Chile und Russland.

Quecksilber (Hg = Hydrargyrum) ist das einzige, bei gewöhnlicher Temperatur tropfbar flüssige Metall, das erst bei rd. –30 °C erstarrt. Es ist zinnweiß und hat den bekannten starken Metallglanz und ist giftig. Die Wichte beträgt 13,6 g/cm³. Quecksilber wird durch Rösten und Kondensation der Quecksilberdämpfe gewonnen. Die Vorkommen liegen vornehmlich in China, Spanien, USA und Mexiko.

Eisen (Fe = Ferrum) ist zwar das Hauptelement der Erde, kommt aber als gediegenes Eisen nur selten vor. Das technisch verwendete Eisen, d. h. Roheisen, wird aus Eisenerz gewonnen.

Die Hauptvorräte an Eisenerz verteilen sich auf USA, Russland, Schweden, Frankreich und Indien.

2.4.2 Metalloide und Nichtmetalle

Zu dieser Gruppe gehören:

Diamant (C = Carbonium), Graphit (C), Wismut (BI = Bismutum), Antimon (Sb = Stibium), Schwefel (S = Sulfur).

Diamant entsteht tertiär in den Tiefengesteinen Peridotit und Eklogit. Dort verwandelt sich Graphit (hexagonaler Kohlenstoff) in einer blitzschnellen Metamorphose zu Diamant, wenn ein Schwellenwert von ca. 2.000 °C Hitze und 40.000 Atmosphären Druck überschritten wird.

Der Diamant spielt nicht nur in der Industrie eine bedeutende Rolle, sondern ist auch geologisch sehr wertvoll. Aus Einschlüssen in Diamanten kann auf die Zusammensetzung des Erdinneren in bestimmten Tiefen geschlossen werden.

So wurden Diamanten aus einer Tiefe von über 700 km durch ihre Einschlüsse nachgewiesen. (Bestimmte Gesteine können nur unter diesem Druck und Tiefe entstehen.) Das Gros der Diamanten dürfte in einer Tiefe von 140 km bis 150 km im oberen Erdmantel entstehen.

Vorkommen u. a. Südafrika und Kongogebiet. Dort tritt der Diamant in der Ausfüllungsmasse von kraterartigen Schloten auf, und zwar als Gemengteil eines ultrabasischen, olivinreichen, peridotitähnlichen (tuffartigen) Eruptivgesteins („Kimberlit“), dem sog. „mountain stone“.

7541014/10787806875Biblio

Abb. C-3: Culliman-Diamant, der größte jemals gefundene Diamant der Welt – grob geschliffen [6]

Graphit besteht ebenso wie Diamant aus Kohlenstoff, unterscheidet sich aber von diesem in allen physikalischen Eigenschaften. Er ist stark metallisch glänzend, undurchsichtig, sehr weich, fühlt sich schlüpfrig an und färbt stark ab (sog. „Reißblei"), ist unschmelzbar und wird von Säuren nicht angegriffen.

Vorkommen gibt es u. a. als Flinz- oder Flockengraphit in eisenschwarzen, schuppigen Aggregaten oder in dichten erdigen Massen in den Alpen, bei Passau, in Ceylon, Kanada und Sibirien. Die Verwendung ist je nach seiner Beschaffenheit sehr verschieden.

Die grobschuppigen, kristallinen und reineren Abarten kommen vorwiegend für Schmelztiegel der Edelmetalle in Betracht. Der aufbereitete reine „Pudergraphit" dient als Schmiermittel, für Farbkörper, Elektrodenkohle, insbesondere aber für die Bleistiftfabrikation.

Die unreinen, feinschuppig bis dichten erdigen Abarten werden als Schutzanstrich für Eisen, zu Stahltiegeln, zum Auskleiden der Eisenschmelzformen u. a. m. verwendet.

Wismut/Bismut (metallisches) dient u. a. zur Herstellung leicht schmelzbarer Legierungen, chemischer Präparate und findet in der Röntgentechnik Anwendung. Wichtiges Wismuterz ist: Wismutglanz Bi_2S_2.

Abb. C-4: Bismut [6]

7541014/10787806875Biblio

Antimon (gediegen) ist von grünlich weißer Farbe und leicht schmelzbar. Weltvorkommen befinden sich u. a. in Schweden, China und Mexiko.

Schwefel (gediegen) ist honiggelb bis braun und zeigt nicht selten große rhombische Kristalle auf. Er wird auf Sizilien bergmännisch gewonnen und dann ausgeschmolzen.

In den USA wird er durch Einleiten von überhitztem Dampf in den unterirdischen Lagerstätten erschmolzen, hochgefördert und zum Erstarren gebracht. Schwefel findet u. a. Verwendung zur Herstellung von Schwefelsäure, in der Heilkunde, Erzeugung von Schwarzpulver, Zündhölzerherstellung u. v. m.

Abb. C-5: Schwefel [6]

2.4.3 Sulfide

Sulfide sind sauerstofffreie Verbindungen der Metalle und Nichtmetalle mit Schwefel S, Arsen As, Antimon Sb, Wismut Bi.

Die Sulfide bilden in hüttentechnischer Beziehung bemerkenswerte Mineralklassen, da sie eine große Zahl der wichtigsten Erze umschließen. Man kann die Sulfide in drei Gruppen einteilen:

- Glanze – Metallglanz, graue, dunkel gefärbte Schwefel-Verbindungen, Härte 2 bis 3.
- Blenden – ohne Metallglanz, mit Diamant- bis Fettglanz und S-Verbindungen.
- Kiese – Pyrit (Schwefelkies, Eisenkies), Markasit (Strahlkies), Haarkies (Millerit), Magnetkies (Pyrrhotin), Rotnickelkies, Buntkupferkies

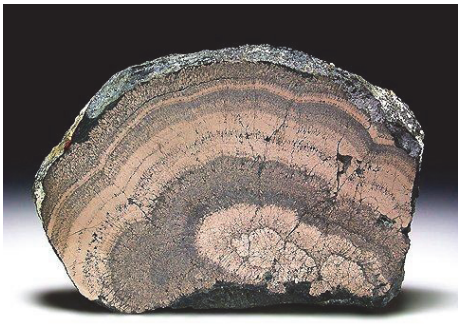


Abb. C-6: Rotnickelkies [6]

Abb. C-7: Bleiglanz [6]

7541014/10787806875Biblio

Beispiele:

Glanze – Fahlerz (Tetraedrit), Bleiganz (Galenit), Antimonglanz (Grauspießglanz), Silberglanz (Argentit), Molybdänglanz, Kupferglanz (Chalkosin).

Blenden – Zinkblende (Sphalerit), Zinnober, Rotgültigerze (Silberblenden)

Abb. C-8: Zinkblende [6]

Quarz – (reines Siliziumoxyd SiO_2) ist nach Feldspat das häufigste und verbreitetste Mineral (sog. „Kieselstein“). Kennzeichnend ist der muschelige und splittrige Bruch.

Kennzeichen: Glas- und Fettglanz auf der Bruchfläche sowie Funkenbildung beim Schlagen mit der Stahlklinge. H. 7, W. 2,65. Quarz ist farblos und mannigfach gefärbt, durchsichtig, trübe bis undurchsichtig. Er ist in Wasser so gut wie unlöslich, aber löslich in Flusssäure. Schmelzpunkt bei 1.700 °C. Viele Vorkommen in den Alpen, Ural, Schottland und Weltlagerstätten in Madagaskar, Brasilien u. a.

Eine deutlich kristallisierte Art und Quarzabart ist der Bergkristall (s. Abb. C-9), ein durchsichtiger, wasserklarer, farbloser Quarz in oft großen Kristallen.

Opal – ist wasserhaltige amorphe Kieselsäure (ehem. Gel). Seine natürliche Oberfläche ist gerundet, traubig oder nierenförmig. Er ist durchsichtig bis undurchsichtig. Vorkommen in Australien, Mexiko, Ungarn u. a. Beliebt als Schmuckstein.

Abb. C-9: Bergkristall [6]

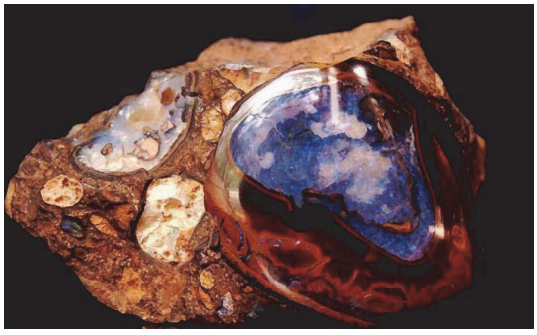


Abb. C-10: Opal [6]

7541014/10787806875Biblio

- **Roteisenerz (Eisenglanz, Hämatit)**

Eigenschaften: Allen Arten des Roteisensteins (Hämatit) gemeinsam ist der kirsch- bis braunrote Strich und die W. 5,2, H. 5,5–6,5. In reinem Zustand enthält er 70 % Eisen und ist daher eines der wichtigsten Eisenerze. Das Erz ist schwach magnetisch. Man unterscheidet derben Roteisenstein (Blutstein) und Eisenglanz.

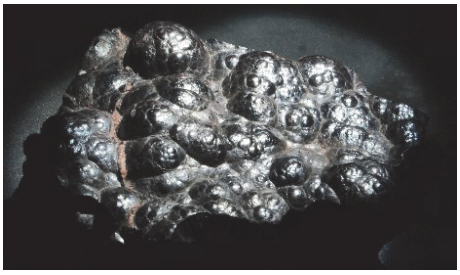


Abb. C-11: Roteisenerz [6]

Als Eisenglanz werden die kristallisierten oder deutlich kristallinen Abarten des Roteisenerzes bezeichnet. Sie haben einen lebhaften Metallglanz und eine dunkle Farbe. Feinschuppig nennt man sie „Eisenglimmer“. Der Entstehung nach handelt es sich meist um magmatische Ausscheidungen von Eisenerz.

Vorkommen: Roteisenerze bzw. Eisenglanze treten besonders in Form von Lagern, aber auch auf Gängen auf. Abbauwürdige Lagerstätten befanden sich in Deutschland an vielen Stellen; so im Gebiet der Lahn und Dill, im Harz bei Elbingerode. Reiche Vorkommen finden sich heute u. a. in Brasilien, in Mittelamerika, in Russland, Schweden und in vielen anderen Ländern.

Verwendung: Die Hauptmenge des Roteisenerzes dient zum Erschmelzen von Eisen.

- **Magneteisenstein (Magnetit)**

Eigenschaften: Mit rd. 72 % Fe ist Magneteisenstein das eisenreichste und damit wertvollste Eisenerz. Er ist grobkörnig bis dicht, undurchsichtig, schwarz und besitzt bei körniger Struktur zuweilen lebhaften und verschiedenen Metallglanz. Kristallisiert vielfach in schönen Oktaedern strichschwarz, H. 5,5, W. 5,2. Ausgezeichnet durch starken Magnetismus. Er verwittert zu Brauneisenstein.

Abb. C-12: Magneteisenstein (Magnetit) [6]

7541014/10787806875Biblio

Vorkommen: In Deutschland kaum noch nennenswert. Zu den größten Vorkommen in Europa zählen die bekannten Lagerstätten im nördlichen Schweden mit einer Förderung von rd. 19 Mio. t (2005) mit einem Fe-Gehalt von 62 % bis 70 % und einem Vorrat von über 1 Mrd. t.

Ferner die Vorkommen in Brasilien mit 196,3 Mio. t und Australien mit 181 Mio. t (2005). Weitere Vorkommen in Finnland und Kanada.

- **Brauneisenerz**

Eigenschaften: Brauneisenerz (Limonit) ist bald derb und fest, bald flockig und erdig, aber nie kristallisiert. Seine Aggregate zeigen vielfach eine nierenförmige, tropfsteinförmige oder röhrenförmige, glänzend schwarze Oberfläche. Brauneisenerz enthält in reinem Zustand rd. 60 % Eisen. Das dichte Material ist mehr oder weniger durch andere Stoffe (Ton, Kalk, Kieselsäure) verunreinigt. H. zwischen 1 und 5,5, W. 3,5–4. Seine Farbe ist braun in allen Tönen, ferner braunrot, schwarz und ockergelb; der Strich braunschwarz.

Vorkommen: Unter den oxydischen Eisenerzen ist der Brauneisenstein am häufigsten. Bildet sich primär u. a. da, wo sich Eisen unter Zutritt von Luft aus wässerigen Lösungen mit oder ohne Zutun von Organismen (Bakterien) niederschlägt oder sekundär dort, wo eisenhaltige Minerale verwittern. Es stellt dann ein ehemaliges Gel dar. Häufig als Verwitterungsprodukt im „eisernen Hut“ von Gängen und Lagern, wie z. B. im Siegerland, ferner im Harz (Elbingerode), in Nassau, im Fichtelgebirge, in Rio Tinto (Spanien) u. v. a. O. Abarten sind: **Olithe –** hirsekorngroße Kügelchen (Ooide, mit konzentrischem, meist kalkigem Schalenbau), die sich in flachem, aber bewegtem Wasser gebildet haben.

Abb. C-13: Brauneisenerz (Limonit) [6]

Minette ist feinoolithisches Brauneisenerz. Größtes Vorkommen in der Welt ist das lothringisch-luxemburgisch-französische „Becken von Briey“ im braunen Jura (mit rd. 30 % Fe und einem Vorrat von 10 Mrd. t kalkiger und kieseliger Erze) in bis zu sieben Flözen mit 2 m bis 10 m Einzelmächtigkeit.

Raseneisenerze sind Ausscheidungen aus eisenhaltigen Gewässern in sumpfigen Gegenden oder auf dem Boden von Seen (mit bis 6 % Phosphorsäure), wie in den Seen Finnlands und Schwedens.

Brauneisenerzkonglomerate sind Brauneisensteingerölle oder Gelber Ocker. Erdige gelbbraune Masse, die als Farbstoff verwandt wird. Findet sich häufig als Ausscheidung in Grubenwässern.

7541014/10787806875Biblio

Rotkupfererz (Abb. C-14) ist mit 89 % Cu das reichste Kupfererz. Das Mineral kristallisiert regulär. Farbe hell- bis dunkelrot, Strich braunrot, stark glänzend. Kristalle sind durchscheinend bis undurchsichtig. H. 3–4, W. 6. Häufig in der Oxydationszone von Kupfererzgängen.

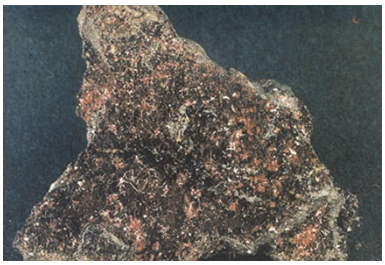


Abb. C-14: Rotkupfererz [6]

- **Zinnstein (Kassiterit)**

Eigenschaften. Zinnstein hat eine nelkenbraun bis schwarz glänzende Farbe. Ist durchscheinend bis undurchsichtig. Unvollkommene Spaltbarkeit, muscheliger Bruch mit Fettglanz bzw. blendeartiger Glanz. H. 6–7, W. 7. Strich hellgelb. Kristallisiert gut, u. a. in quadratischen Säulen, vielfach in Zwillingsform (sog. „Visiergraupen“). Enthält in reinem Zustand rd. 79 % Sn.

Vorkommen: Findet sich entweder „primär“ auf Gängen, als „Bergzinn“ eingewachsen in Form der „Zwitterbänder“ (besonders im Granit bzw. in den Greisen) oder auf „sekundärer“ Lagerstätte lose im Sand. Größter Lieferant von Seifenzinn ist das Gebiet um Sumatra und Borneo, Bolivien, Kongo, Alaska, Nigeria, Rhodesien u. a.

Verwendung: Zinn wird in erster Linie zu Weißblechen, ferner zu Gusswaren, Orgelpfeifen, Stanniol, Tuben, Legierungen, Bronze, Rotguss und Schriftmetall verwandt.

Abb. C-15: Zinnstein (Kassiterit) [6]

Manganerze finden sich bei ziemlich gleicher chemischer Zusammensetzung (mit rd. 62 % Mn) in sehr verschiedenen Ausbildungsformen.

Vorkommen: Deutschland ist verhältnismäßig arm an reinen Manganerzen. Zu den Weltlagerstätten gehören u. a. Ukraine, Afrika, Indien, Brasilien, Spanien.

Verwendung: Mangan dient u. a. zur Darstellung von Chlor (durch Behandlung mit Salzsäure), zur Entschwefelung beim Eisenguss, bei der Herstellung von Vorlegierungen aus Eisen und Mangan (Ferromangan und Spiegeleisen), als Manganbronze (für Schiffsschrauben), zum Entfärben des Glases, für Trockenelemente sowie für chemische und viele andere Zwecke.

7541014/10787806875Biblio

Abb. C-16: Manganerz [6]

Baryt, auch unter seinem Synonym Schwerspat und seiner chemischen Bezeichnung Bariumsulfat bekannt, ist ein häufig vorkommendes Mineral aus der Mineralklasse der wasserfreien Sulfate ohne fremde Anionen. Es kristallisiert im orthorhombischen Kristallsystem mit der chemischen Zusammensetzung $BaSO_4$ und entwickelt meist tafelige oder prismatische Kristalle, aber auch massige Aggregate, die in reiner Form von weißer Farbe sind, durch Fremdbeimengungen aber auch viele andere Farben annehmen können.

Abb. C-17: Baryt oder Schwerspat [6]

► **Abb. C-18:** Flussspat oder Florit [6]

Fluorit, **Flussspat** oder **Calciumfluorid** ist das Calciumsalz der Flusssäure, ein sehr häufig vorkommendes Mineral aus der Mineralklasse der einfachen Halogenide. Es kristallisiert im kubischen Kristallsystem mit der chemischen Zusammensetzung CaF_2 und entwickelt meist kubische Kristalle in Form von Würfeln oder Oktaedern, aber auch körnige, massige Aggregate.

- **Korund**

Eigenschaften: Die Kristalle des Korunds zeigen u. a. säulige (tonnenförmige), prismatisch-pyramidale und flach tafelige, rhomboedrische Formen. H. 9, W. 3,9–4. Sie sind z. T. farblos, häufiger blau, rot, braun, gelb, öfters auch mehrfarbig und vielfach durchsichtig bis trübe.

7541014/10787806875Biblio

Der Gemeine Korund dient vorwiegend als Schleifmittel. Er wird heute meist durch das synthetische Karborundum ersetzt.

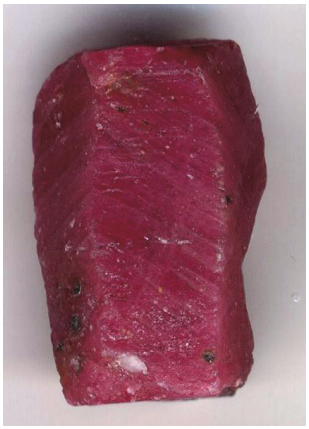


Abb. C-19: Unbearbeiteter Korund-Rubin [6]

Der **Smirgel** ist ein feinkörniges dunkles Gemenge von Korund mit verschiedenen Eisenerzen und Quarzen.

Der **Rubin** ist ein durch Chromoxyd tiefrot gefärbter, reiner, durchsichtiger und **sehr wertvoller Edelstein**. Hauptfundorte: Birma, Thailand und Ceylon.

Der **Saphir** ist ein durch eine Eisen-Titanoxydverbindung kornblumenblau bzw. gelb, auch grün gefärbter, reiner und durchsichtiger, **wertvoller Edelstein**. Hauptfundorte sind: Kaschmir, Oberbirma, Ceylon, Australien und USA. Der orangefarbige Saphir Ceylons heißt „Padparadscha".

Abb. C-20: links: Unbearbeiteter Korund-Saphir; rechts: Bauxit [6]

Bauxit ist ein unscheinbares, erdiges oder toniges, vielfach braunrotes, kolloidales Mineral, besser Gestein, das in reinem Zustand aus Tonerde und Wasser besteht und in der Natur stark durch Eisenoxyd und Kieselsäure verunreinigt ist. Zusammensetzung: 50 bis 70 % AlO_3, 0 bis 25 % Fe_2O_3, 12 bis 40 % H_2O, 2 bis 30 % SiO_2. H. gering, W. 2,5.

7541014/10787806875Biblio

Entstanden ist der Bauxit bei der tropischen Verwitterung tonerdereicher Gesteine. Je nach seiner Entstehung aus dem anstehenden Gestein unterscheidet man „Kalkbauxit“ und „Silikatbauxit“. Vorkommen: Bauxit wurde zuerst bei Les Beaux in Südfrankreich beobachtet und trägt daher seinen Namen. Die wichtigsten Lagerstätten Europas besitzt u. a. Griechenland. Weltvorkommen liegen in UdSSR, in USA, Guayana, Kanada, Guinea, Indien, Australien und Brasilien.

Verwendung: Bauxit ist neben reiner Tonerde das Hauptaluminiumerz, aus dem das metallische Aluminium (heute das wichtigste Leichtmetall) durch Elektrolyse abgeschieden wird.

Uranpecherz (Pechblende) ist das wichtigste Uranerz mit 80 bis 85 % UO_2, es ist ein derbes, dichtes, pech- bis grünschwarzes, glänzendes und undurchsichtiges Mineral mit oft nierenförmiger Oberfläche und muscheligem Bruch. Hohe Wichte 9–10, Härte 4–6.

Vorkommen: Bekannte europäische Fundorte sind St. Joachimsthal (Tschechien), Spanien, Portugal, Frankreich u. a. Genannt seien auch die armen Vorkommen von Annaberg, Oberschlema, Schneeberg u. a. in Deutschland. Weltvorkommen in: Mexiko, Madagaskar, Australien, Russland, Ostindien u. a. Länder.

Verwendung: Ursprünglich als wertlos angesehen, dienen die Uranpechblende und ihre Verwitterungsminerale heute zur Erzeugung des radioaktiven chemischen Elements bzw. Metalls Uran (U). Der Gehalt der hochwertigen Uranpecherze an Uran schwankt etwa zwischen 1 und 5 %.

Abb. C-21: Uranpecherz (Pechblende) [6]

2.4.4 Haloidsalze

Haloidsalze sind Verbindungen von Elementen mit den Halogenen Fluor, Chlor, Brom und Jod. Salze einer Halogenwasserstoffsäure: Fluorwasserstoffsäure, Bromwasserstoffsäure, Chlorwasserstoffsäure und Jodwasserstoffsäure.

Zu dem bekanntesten und wichtigsten Haloidsalz gehört das Steinsalz.

Steinsalz (Kochsalz) kristallisiert fast nur in Würfeln und spaltet nach den Würfelflächen. Es ist meist farblos, aber durch beigemengte Substanzen auch grau, rosa, gelb, grün oder blau gefärbt, durchsichtig oder durchscheinend.

Vorkommen: Steinsalzlagerstätten finden sich in ausgedehnten Lagern in allen geologischen Formationen; doch sind bestimmte Zeitalter durch die Häufigkeit und Mächtigkeit der in ihnen auftretenden Steinsalzlager ausgezeichnet. Bevorzugte Salzformatio-

7541014/10787806875Biblio

nen sind in Europa der Zechstein, dem die meisten Salzlager Mittel- und Norddeutschlands angehören, ferner der Buntsandstein, der Muschelkalk, die Perm-Trias (Salzkammergut), Jura und das Tertiär in Lothringen, Baden, Rumänien und Spanien.

In Mittel- und Norddeutschland, Hessen, Thüringen und am Niederrhein ist das Steinsalz von Kalisalzen, den sog. „Abraumsalzen“, begleitet.

Abb. C-22: Steinsalz [6]

Das Steinsalz wird z. T. bergmännisch gewonnen und bei genügender Reinheit schon in der Grube auf Speisesalz verarbeitet. Früher wurde das nur aus natürlichen Salzquellen stammende Salz aus der beim Salinenbetrieb anfallenden und durch „Gradierwerke“ angereicherten Sole erzeugt.

Heute geschieht die Anreicherung schwacher Solen vorwiegend durch Auflösen bergmännisch gewonnenen Steinsalzes oder durch unterirdische Spülbetriebe.
Die angereicherte Sole wird in Pfannen eingedampft, wobei das Salz in grober oder feiner Form ausfällt und durch Zentrifugieren von der Feuchtigkeit befreit wird.

2.4.5 Salze der sauerstoffhaltigen Säuren

Sauerstoffsalze entstehen durch Verbindungen von Metallen mit Säuren. Die wichtigsten dieser Säuren sind:

Salze der Salpetersäure (Nitrate)
Natronsalpeter, Kalisalpeter.

Salze der Kohlensäure (Karbonate)
Kalkspat, Aragonit, Magnesit, Weißbleierz, Strontianit, Eisenspat, Zinkspat der Galmei, Dolomit, Kupferglasur, Malachit, Manganspat.

Salze der Schwefelsäure (Sulfate)
Gips, Schwerspat, Anhydrit.

Salze der Phosphorsäure (Phosphate)
Apatit.

Salze der Kieselsäure (Silikate)
Feldspat, Glimmer, Granat (z. B. als Granatschmuck), Augit, Hornblende.
Gruppe der Schmuck- u. Edelsteine (Silikate), z. B. Smaragd, Aquamarin, Topas, Turmalin.

7541014/10787806875Biblio

2.4.6 Edelsteine

Wegen der besonderen Stellung der Edelsteine unter den Mineralen soll hier nochmals zusammenfassend darauf eingegangen werden.

Bekanntlich beruht ihre Wertschätzung als edle Steine sowohl auf ihren physikalischen Eigenschaften, und zwar der Durchsichtigkeit, der schönen Farbe, dem Glanz, dem Feuer, der Härte, als auch auf ihrer Seltenheit und Widerstandsfähigkeit sowie auf Modelaune. Nicht zuletzt hängt ihr Wert aber von der Unzerstörbarkeit ihres inneren Wertes ab.

Man unterscheidet vielfach zwischen den wertvollen (selteneren) Edelsteinen und den weniger edlen (häufigeren) Schmucksteinen (Halbedelsteinen), ohne hier scharfe Grenzen ziehen zu können.

Zu den Edelsteinen im engsten Sinne gehören: Diamant, Smaragd, Rubin und Saphir (sog. „Juwelen“). Dazu treten weiter:
Aquamarin, Edelopal, Beryll, Spinell, Alexandrit, Turmalin, Kunzit, Granat, Edeltopas, Zirkon, Hyacinth, Chrysolith, Amazonit, Heliodor u. a.

Abgesehen von den vorgenannten Edelsteinen gibt es noch eine Menge anderer Schmucksteine, die im Handel z. T. mit irreführenden Namen belegt werden, wie Amethyst, Dioptas, Chrysopras, Rosenquarz, Rauchtopas, Olivin, Karneol, Heliotrop, Labrador, Opal, Mondstein, Rhodonit, Türkis, Chalzedon, Achat, Onyx, Citrin, Malachit, Azurit, Jadeit, Nephrit, Jaspis, Lapislazuli, Obsidian und viele andere.

Abb. C-23: Smaragd [6]

Seit einiger Zeit ist es gelungen, fast alle Edelsteine künstlich („synthetisch“) herzustellen, und zwar aus feiner Tonerde (mit färbendem Zusatz) durch die Hitze einer Knallgasflamme oder eines elektrischen Ofens in Form einer sog. „Schmelzbirne“. Diese synthetischen Steine entsprechen bei Rubin, Saphir, Smaragd und gewissen Spinellarten hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, der Farbe, der Härte, des Glanzes und der Lichtbrechung fast den natürlichen echten Steinen. Sie werden aber im Handel als „Kunsterzeugnisse“ bei weitem nicht mit so hohen Preisen angeboten.

Nur dem Fachmann ist es möglich, sie u. a. durch die Form der Einschlüsse (Luftbläschen u. Anwachsstreifen) und das Lumineszenzverhalten als „synthetische“ zu erkennen.

7541014/10787806875Biblio

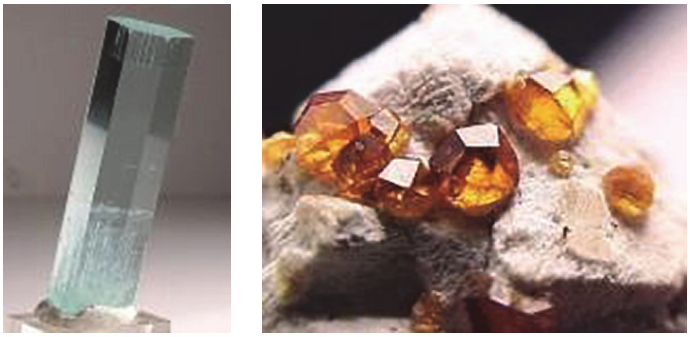


Abb. C-24:
links: Aquamarin –
rechts: Granat [6]

Beim „König der Edelsteine“ – dem Diamant – ist die künstliche Herstellung „größerer“ Steine noch nicht gelungen. Die synthetischen Steine spielen für die feinmechanische Technik (als Lagersteine für Taschenuhren und Präzisionsinstrumente) wie auch für Juweliere (für billigen Schmuck) eine große Rolle.

Abb. C-25: Rohdiamanten

7541014/10787806875Biblio

D Exploration

1 Definitionen

Die Bodenuntersuchung ist eine notwendige Voraussetzung bei der Erkundung von Bodenschätzen. Hier handelt es sich um oberflächennahe (z. B. Torf, Braunkohle, Steine und Erden) und tiefliegende Bodenschätze (Steinkohle, Salz, Erdöl, Erdgas). Bei den Letzteren spricht man von „Exploration".

Für Tunnelprojekte, die überwiegend im Fels aufgefahren werden, sind umfangreiche geotechnische Voruntersuchungen und begleitende Messverfahren durchzuführen.

Während es für die Böden eine große Anzahl von genormten Laborversuchen gibt, sind die Parameter für Fels überwiegend in Feldversuchen zu ermitteln. Hierzu sind u. a. Beobachtungs- bzw. Versuchsbohrungen einzubringen.

Bei der Untersuchung auf oberflächennahe Bodenschätze wird man in der Regel einfache Verfahren anwenden, während bei der Exploration auf Steinkohle, Salze, Erdöl und Erdgas sehr aufwändige Verfahren eingesetzt werden müssen.

2 Aufgaben der Bodenerkundung

Bautechnische Bodenerkundungen sind erforderlich, um Unterlagen für die technisch und wirtschaftlich einwandfreie Planung und Ausführung von Bauwerken bereitzustellen. Eine der wichtigsten Aufgaben ist es, anhand der gewonnenen Bodenproben Parameter für die zulässige Beanspruchung des Bodens zu gewinnen, damit das geplante Bauwerk sicher und ohne schädliche Setzungen gegründet werden kann und die Grundbruchsicherheit gewährleistet ist. Die Erkundungsergebnisse müssen Aufschluss über die Schichtenfolge, Neigung und Mächtigkeit der Schichten sowie die Eigenschaften der einzelnen Bodenschichten geben.

Notwendig ist, dass insbesondere die Schichten erfasst werden, welche Setzungen hervorrufen können und somit die Standsicherheit der Bauwerke (z. B. der Bohrgerüste) beeinflussen.

Zur Baugrunduntersuchung im Felde gehören nicht nur Untersuchungen, die eine Probeentnahme zur Grundlage haben, sondern ebenso verschiedene Messungen, die unmittelbar im Bohrloch vorgenommen werden. Diese Messungen und Untersuchungen lassen sich nicht im Labor anhand von Proben durchführen, da hierzu ein Großfeldversuch erforderlich ist.
Die Versuche werden von speziellen Geotechnischen Ingenieurbüros ausgeführt, die auch den entsprechenden Ausbau der Messstelle überwachen bzw. vornehmen.

Die bautechnischen Bodenuntersuchungen müssen frühzeitig vorliegen, damit Art und Umfang der geplanten Bergbaumaßnahme bzw. Tunnelbauvorhaben ohne Zeitdruck durchgeführt werden können. Ist das nicht der Fall, können oft Sondermaßnahmen wie Baugrubenverbau, Sondergründungen, Grundwasserabsenkung nicht rechtzeitig geplant, ausgeschrieben und berechnet werden. Es kommt nicht selten aus diesen Gründen zu einem Baustopp.

7541014/10787806875Biblio

Da die Kosten für eine sachgemäß ausgeführte Baugrunduntersuchung mit Fachgutachten lediglich ein bis zwei Prozent der Bausumme betragen, ist eine Zurückhaltung bei dieser Entscheidung nicht gerechtfertigt, zumal unter Umständen mit zusätzlichen Kosten gerechnet werden muss (Baustopp, zusätzliche Baustelleneinrichtungen, Bauzeitverlängerung und damit z. B. Mietausfall).

3 Umfang der Bodenuntersuchungen

Anzahl, Anordnung und Tiefe der Erkundungsbohrungen richten sich nach Größe und Form der der Baumaßnahme.

Ausreichende Aufschlüsse über größere Tiefen müssen durch Bohrungen gewonnen werden. Die Bestimmungen und näheren Angaben gelten aber sinngemäß auch für andere Aufschlüsse.

Schürfgruben kommen hierfür jedoch seltener in Betracht, da diese mit vertretbaren Aufwendungen nicht bis zur erforderlichen Tiefe niedergebracht werden können.

Erkundungsbohrungen erschließen den Baugrund über größere Flächen und werden zunächst in großen Abständen durchgeführt.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse und je nach Erfordernis der Planung werden weitere Bohrungen oder Sondierungen zwischengeschaltet. Das gesamte Netz soll so eng sein, dass es über die Lage, Neigung und Mächtigkeit der Baugrundschichten sowie über ihre Beschaffenheit und Gleichmäßigkeit Aufschluss gibt.

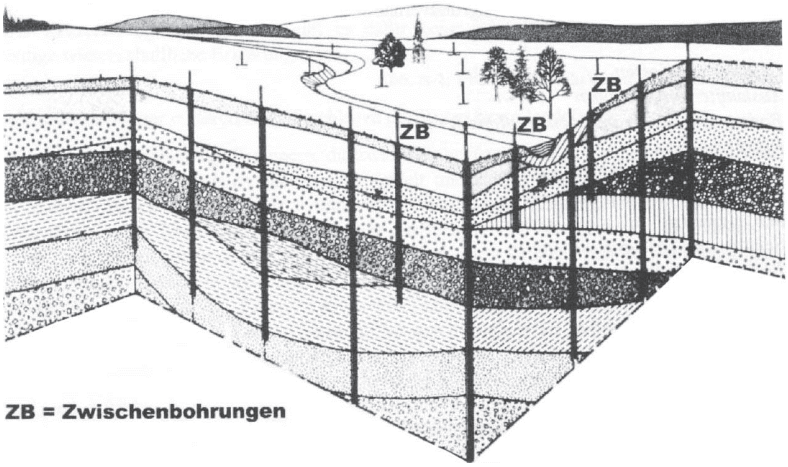


Abb. D-1: Bohrschema für ein großflächiges Bauvorhaben mit Haupt- und Zwischenbohrungen [6]

Wenngleich ausreichende Bodenuntersuchungen in Verbindung mit einem Bodengutachten immer die beste Gewähr gegen Überraschungen bei der Abwicklung eines Bauvorhabens bieten, gibt es dennoch eine Reihe von Voruntersuchungen, die genutzt werden sollten, bevor man mit aufwändigen kostenintensiven Bohrarbeiten beginnt. Erst danach sollte entschieden werden, welche Maßnahmen zur weiteren Bodenerkundung erforderlich sind.

7541014/10787806875Biblio

Bodenerkundungen, die zum Auffinden von oberflächennahen Bodenschätzen dienen, haben in der Regel nicht die hohen Anforderungen, mit denen z. B. die Tragfähigkeit des Bodens festgestellt werden soll, von denen die gesamte Tragwerksplanung abhängen kann. Bei der Erkundung auf abbaubare Mineralien wird es in der Regel auf folgende Erkenntnisse ankommen:

- wo beginnt die nutzbare Lagerstätte,
- wie mächtig ist die Lagerstätte,
- wie ist die Beschaffenheit des Materials,
- in welcher Tiefe steht Grundwasser an,
- wie ist die flächenmäßige Ausdehnung,
- liegen Erkenntnisse benachbarten Gewinnungsstätten vor.

Diese Angaben reichen z. B. für Kies- und Sandlagerstätten und für sonstige Steine und Erden.

4 Einfache Verfahren

4.1 Auskunftsverfahren

Wer ein Baugrundstück erwerben will, um dort zu bauen oder oberflächennahe Steine und Erden (z. B. Sand und Kies, Ton usw.) gewinnen will, muss sich über die Beschaffenheit eingehend Klarheit verschaffen.

Auskünfte über die zu erwartenden Bodenverhältnisse kann man sich mittels folgender Verfahren verschaffen:

- Geologische Karten,
- Auskünfte von Nachbarn,
- Boden- und wasseranzeigende Pflanzen,
- Rutengänger,
- Schürfgruben,
- Handbohrer und Schlitzsonden,
- Leichte Bohrgeräte.

4.2 Geologische Karten

Obwohl der griechische Geograph Strabo bereits eine 17-bändige Enzyklopädie der Geographie Europas erstellte, die für das Militär und die Verwaltung des Römischen Reiches verwendet wurde, begann für Mitteleuropa erst Ende des 18. Jahrhunderts das Sammeln zuverlässiger geologischer Erkenntnisse, die in Karten eingetragen wurden.

Die Eintragungen können aus den unterschiedlichsten Quellen (Schachtungen, Bohrungen, Bergbau, geophysikalische Untersuchungen, Luftaufnahmen usw.) stammen. Besonders interessant sind dabei die regionalen geologischen Aufnahmen. Auf ihnen sind insbesondere großflächige Ablagerungen von Felsformationen, Löss, Kies, Torf usw. sowie die Grundwasserstände ersichtlich. Solche Karten sind besonders wichtig für Baumaßnahmen auf der „grünen Wiese“.

7541014/10787806875Biblio

Ergänzende Auskünfte kann man bei den Wasserbehörden erhalten. Hier werden die Bohrergebnisse der GW-Messstellen-Bohrungen und Beobachtungsergebnisse der aktuellen Wasserstände gesammelt.

Die Kartenwerke können auch behilflich sein, um sich auf die zu erwartenden Bodenformationen bei den Bohrarbeiten einzustellen. Allerdings können trotzdem örtlich erhebliche Abweichungen auftreten.

4.3 Auskünfte von Nachbarn

Gesicherte Erkenntnisse kann man sich auch bei den unmittelbaren Nachbarn beschaffen, die bereits in nächster Nähe gebaut haben, oder auch von älteren Leuten aus der Nachbarschaft. Dazu gehört ebenfalls die Inaugenscheinnahme von laufenden Baugrubenausschachtungen im Umfeld des Grundstückes.

4.4 Boden- und Wasserverhältnisse anzeigende Pflanzen[14)]

Die Beziehungen zwischen der Pflanzenwelt und dem Ingenieurbau bezeichnet man als Ingenieurbiologie.
Obwohl das Schwergewicht dieser Wissenschaft auf den Gebieten der Kulturtechnik und der Landschaftsgestaltung liegt, lassen sich auch für die Bodenerkundung eine ganze Reihe von Erkenntnissen nutzbringend anwenden.

Aus dem Vorkommen bestimmter Pflanzenarten und -gemeinschaften können mehr oder weniger sichere Rückschlüsse auf die am Standort herrschenden Wasser- und Bodenverhältnisse gezogen werden. Je nach der Anpassungsfähigkeit an die Umweltbedingungen sind die einzelnen Arten verschieden zuverlässig für die Beurteilung der Untergrundverhältnisse. Die Kulturpflanzen der Landwirtschaft scheiden aus dem Kreis der Betrachtungen aus, da bei ihnen die Kennzeichen durch Züchtung und Düngung weitgehend verwischt sind.

Ebenso eignen sich Bäume und Sträucher als Leitpflanzen weniger, da ihr Gedeihen nicht unbedingt an eine bestimmte Bodenart oder bestimmte Wasserverhältnisse im Untergrund gebunden ist. Zuverlässige Hinweise liefern nur bestimmte, im natürlichen Verband wachsende Wildpflanzen. Allerdings stellen auch diese Erkenntnisse keinen Ersatz für eingehende Baugrunduntersuchungen dar.

Sie können im Allgemeinen auch nur für Baumaßnahmen auf unberührtem Gelände herangezogen werden, aber hier für gewisse Vorentscheidungen sehr wichtig sein. An dieser Stelle können nur die wichtigsten Erscheinungsformen behandelt werden.

4.4.1 Wasser anzeigende Pflanzen

Zur Feststellung der Wasserverhältnisse im Untergrund kann eine ganze Reihe von Pflanzenarten als zuverlässiger Hinweis dienen. Durch sie lässt sich erkennen, ob und in welcher Tiefe fließendes Sicker- oder Grundwasser auftritt.
Ferner geben sie einen Anhalt dafür, ob im Untergrund stehendes Stauwasser ohne merkbaren Zu- und Abfluss vorhanden ist und welche Bodenarten zu erwarten sind.

14) Siehe hierzu: Krüdener, A. Frhr. von u. Becker, A. „Atlas Standortkennzeichnender Pflanzen“ – [43]

7541014/10787806875Biblio

Bewuchs dieser Arten, der sich oft in flachen Geländesenken oder an Hängen in Richtung des Gefälles hinzieht, deutet auf unterirdische Wasseradern hin. Quer zu den Hängen liegender waagerechter Bewuchs zeigt den Horizont von wasserführenden Schichten auf undurchlässiger Unterlage an. Treten sie neben oder oberhalb von geplanten Baugruben oder Einschnitten auf, so ist mit laufendem Wasserandrang zu rechnen. Bei waagerechten Pflanzenstreifen an Hängen kann der Verdacht auf fallende, wasserführende Schichten auf bindigen, undurchlässigen Gleitschichten mit Rutschungsgefahr bestehen.

Im Allgemeinen kann man annehmen, dass die Wurzeltiefe als untere Grenze für das Vorhandensein von Grundwasser gelten kann. Es ist aber durchaus möglich, dass der eigentliche Wasserhorizont tiefer liegt und die Wurzeln durch die kapillar aufsteigende Feuchtigkeit versorgt werden.
Durch aufmerksame Beobachtung lassen sich somit wertvolle Aufschlüsse gewinnen, ohne dass Schürfungen oder Bohrungen angesetzt werden müssen.

Folgende Pflanzen kennzeichnen zuverlässig fließendes Wasser im Boden:
Rohrschilf, Rohrglanzgras oder Wasserhafer, Waldbinse oder Waldschilf, Pfeifengras, Riesenschachtelhalm, Breitblättriges Kolbenschilf, Sumpfmoos, Gelbe Teichrose.

4.4.2 Pflanzen, die Bodenarten anzeigen

Die Zusammenhänge zwischen Pflanzenart und Bodenart sind bei weitem nicht so eindeutig wie bei den Grundwasserverhältnissen. Immerhin lassen sich aus dem Vorkommen bestimmter Pflanzen für den Grundbau wertvolle Rückschlüsse ziehen.

So werden dem Bauingenieur vornehmlich Anzeiger für lehmige, bindige Böden, reine Sandböden und allenfalls kalkhaltige Böden willkommen sein. Sie können ihm zur Beurteilung ihrer Brauchbarkeit als Dammschüttstoffe oder zur Hinterfüllung dienen.

Folgende Pflanzen deuten auf lehmige oder anlehmige Bodenarten hin:

Huflattich und Maiglöckchen.

Folgende Pflanzen bevorzugen Sandböden:

Heidekraut, Gelbe Lupine, Leberblume.

4.4.3 Bedeutung der Ingenieurbiologie

Wie oben gezeigt, kann die Ingenieurbiologie einen wesentlichen Beitrag zur Kostenminimierung leisten und vor Überraschungen bei der Wahl der Grundstücke schützen. Auch lässt sich besser abschätzen, mit welchen Sondermaßnahmen, z. B. Grundwasserabsenkungen, zu rechnen ist. Die Erkenntnisse lassen sich durch zusätzliche Handbohrungen, Schlitzsonden und Sondierungen sowie geologische Karten mit geringem Kostenaufwand ergänzen. Zusätzlich können Ergebnisse von benachbarten Grundstücken und Anschnitte im Gelände herangezogen werden. Auf jeden Fall sollte sichergestellt sein, dass ein gesicherter Aufschluss erzielt wird.

4.4.4 Rutengänger

Das Aufspüren von Grundwasser, Wasseradern, Leitungen aller Art usw. mit einer Wünschelrute wird von Rutengängern wahrgenommen. Eine Metallgerte (aber auch schon aus Kunststoff), ein gegabelter Zweig (Weide, Nussbaum, Kirsche) oder zwei abgewin-

7541014/10787806875Biblio

kelte Metallstäbe, die von einem hierfür sensiblen Menschen in beiden Händen gehalten werden, erfahren einen gewissen Ausschlag, nach dem Art, Tiefe und Menge des Vorkommens bestimmt werden.

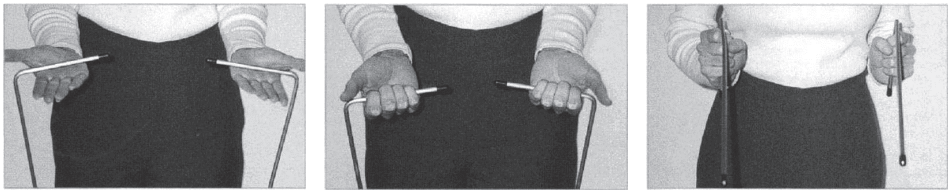


Abb. D-2: Übliche Handhabung der Wünschelrute [6]

4.4.5 Schürfgruben

Eine Schürfgrube gibt auf einfachste und sicherste Art Aufschluss über die Baugrundverhältnisse, ist aber begrenzt auf eine Tiefe von 2 bis 3 m. Schürfgruben sind außerordentlich geeignet, um einwandfreie Befunde aus der vorgenannten Tiefe durch Entnahme ungestörter Proben mittels Stechzylinder zu erhalten.

Steht bereits ein Bagger auf dem Gelände, so können ohne hohe Kosten Schlitze mit einer Tiefe von 2 m bis 3 m oberhalb des Grundwasserspiegels angelegt werden. Findet ein Minibagger Verwendung, so fallen keine erheblichen Transportkosten an.

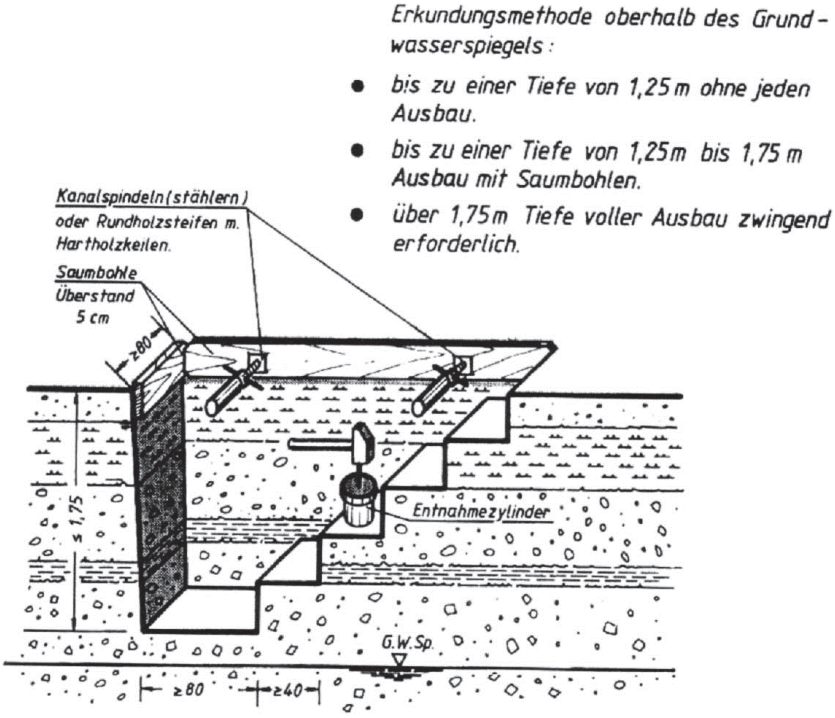


Abb. D-3: Anlegen eine Schürfgrube [6]

7541014/10787806875Biblio

4.4.6 Handbohrer und Schlitzsonden

Für einfache Bodenerkundungen, die auch noch von Laien ausgeführt werden können, verwendet man Handbohrer und Schlitz- oder Peilsonden. Der **Handbohrer** hat einen Bohrdurchmesser von 30 mm bis 100 mm. Er besteht in der Regel aus einem Drehgriff, einer Bohrstange (die gegebenenfalls zu verlängern ist) und dem eigentlichen Bohrwerkzeug (Abb. D-4).

Das können Spiralbohrschnecken oder Schappen sein. Gebohrt wird bei Tiefen von 1 m bis 3 m in der Regel ohne Bohrbock und ohne Verrohrung. Bei größeren Tiefen (max. 5 m) kann ein Bohrbock mit Handwinde und gegebenenfalls eine leichte Verrohrung verwendet werden.
Ohne Verwendung von Hilfsmitteln kann das Herausziehen Probleme bereiten, daher verwendet man vielfach Gestänge-Hebevorrichtungen oder einen Dreibock mit Handwinde.

Bei wasserführenden Sandschichten und Bohrtiefen über 1,5 m kann auf eine Verrohrung nicht verzichtet werden, wenn man verwertbare Ergebnisse erzielen will.

Die **Schlitzsonde** besteht aus einem Schlagkopf mit Drehgriff und der Sondierstange mit einem Durchmesser von etwa 30 mm bis 50 mm. In der Schlitzsonde befindet sich eine Längsnut zur Aufnahme von Bodenproben. Die Sonde wird mit einem schweren Holzhammer (bei großen Geräten maschinell) in den Boden getrieben. Vor dem Herausziehen wird die Sondierstange etwas gedreht, damit die in der Nut befindliche Bodenprobe abgeschert wird (Abb. D-5).

Abb. D-4: Handtellerbohrer [6]

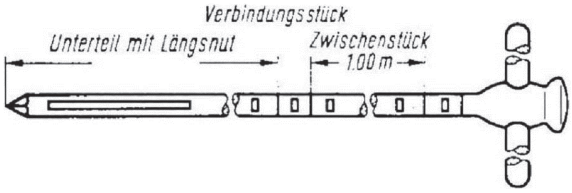


Abb. D-5: Schlitzsonde [6]

Die übliche Tiefe beträgt 1 m bis 2 m; dabei lässt sich die Sonde problemlos herausziehen. Es sind auch Gestängeverlängerungen möglich, dann sind aber Hilfsmittel zum Ziehen der Gestänge nötig.

Der in der Nut vorhandene Boden wird sauber herausgenommen und in beschrifteten Probebehältern aufbewahrt. Eine ergänzende Beurteilung des Bodens ergibt sich aus dem Eindringwiderstand beim Einrammen.

7541014/10787806875Biblio

5 Weiterführende Verfahren

5.1 Bohrungen

5.1.1 Spülbohrungen

Voraussetzung für die routinemäßige Anwendung der Bohrexploration war die Entwicklung geeigneter Bohrtechniken. Traditionell wird eine Bohrung mit einem rotierenden Bohrstrang abgeteuft.
Ein entsprechender Bohrkopf (Meißel) schneidet in das Gestein und das gewonnene Bohrklein wird durch den Spülungsumlauf zu Tage gefördert.

Gewonnen wird hier letztlich nur das Bohrklein (Cuttings), das aus der Spülung ausgesiebt wird und dann für Untersuchungen zur Verfügung steht. Die Aussagekraft dieser Untersuchungen ist beschränkt. Insbesondere lassen sich strukturelle Untersuchungen, also z. B. die Aufnahme von Störungen, kaum durchführen, da der natürliche Verband nicht mehr nachvollziehbar ist.

5.1.2 Kernbohrungen

Eine wesentliche Weiterentwicklung ist das Kernbohren, bei dem nur ein Kreisring in das Gestein geschnitten wird und beim Tieferbohren ein Bohrkern in das Bohrgestänge hinein„wächst“. Dieser bricht dann nach einigen Metern ab und kann durch Ziehen des Gestänges gefördert werden. Dazu muss das gesamte Gestänge ausgebaut und zum Weiterbohren wieder eingebaut werden. Dies ist zum Gewinn weniger Kerne eine probate Methode, zur Gewinnung eines kontinuierlichen Kerns jedoch wirtschaftlich nicht akzeptabel. Es gibt auch Kernrohre, mit denen ebenfalls Bohrkerne in lockeren und rolligen Böden möglich sind (siehe hierzu Literaturverzeichnis [3] und [6].

5.1.3 Seilkernbohrtechnik

Eine Alternative zur traditionellen Kernbohrtechnik ist das Bohren mit „Seilkernbohrtechnik“. Hier wächst der Kern nicht in das Bohrgestänge selbst hinein, sondern in ein zusätzliches Innenrohr.
Ist der Bohrkern abgerissen, kann das Innenrohr einschließlich des Kerns mit einer an einem Stahlseil in das Bohrloch abgelassenen Fangvorrichtung geborgen werden. Hierbei ist kein Gestängeausbau mehr nötig.

Bei mehreren Projekten ist es gelungen, dieses „Seilkernverfahren“, das ursprünglich nur bei Flachbohrungen angewendet wurde, technisch zu verbessern.

Heute können routinemäßig die Lagerungsschichten für Steinkohle, Braukohle, Salz, Erdöl und Erdgas vollständig „gekernt“ werden. Bohrtiefen von 1.500 m sind dabei üblich bzw. möglich.

7541014/10787806875Biblio

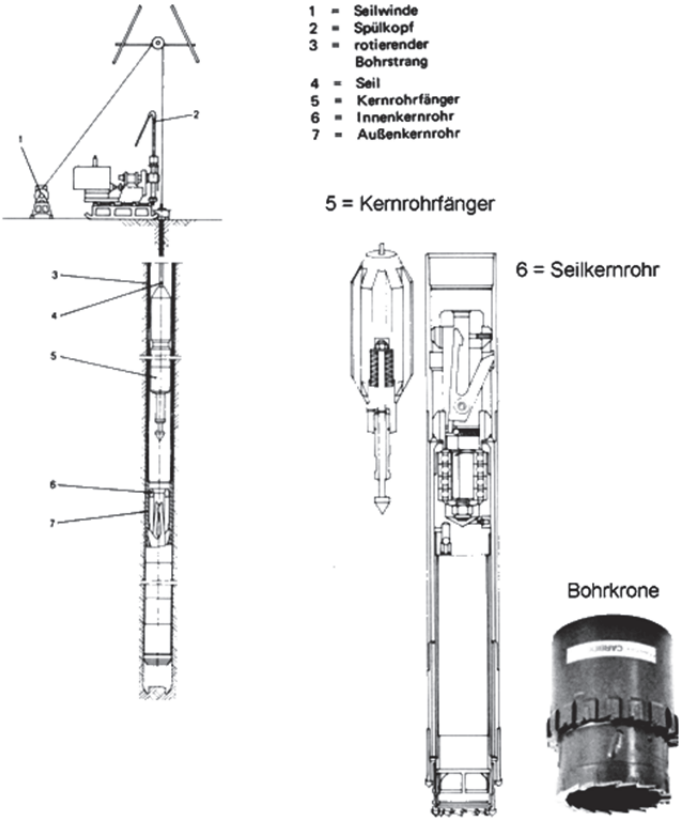


Abb. D-6
Seilkernrohrsystem [6]

5.1.4 Bohrverfahren

Bei entsprechender Ausrüstung sind u. a. folgenden Bohrverfahren möglich:

- Schnecken- und Schappenbohrverfahren,
- Kernbohrungen,
- Seilkernbohrungen,
- Tieflochhammerbohrungen,
- Spülbohrungen,
- Rollenmeißelbohrungen.

Bei Kernbohrungen lassen die gewonnenen Bohrkerne (Abb. D-7) eine sehr gute Bodenansprache zu und ermöglichen auch weiterführende Laboruntersuchungen.

Allerdings ist eine zusammenhängende Kerngewinnung in den Überlagerungsschichten sehr schwierig, da es sich in der Regel um Mischböden (Schluff, Sand, Kies, Geröll, Felseinlagerungen, Hindernisse aus Holzresten usw.) handelt. Als Ergebnisse liegen dann vielfach teilweise gestörte Proben vor.

Es müssen daher unterschiedlich Bohrwerkzeuge in Anpassung an die zu erwartenden Böden eingesetzt werden. Vielfach kommen für die wechselschichtigen Überlagerungen sogenannte Rammkernrohre oder Probeentnahmegeräte zum Einsatz.

7541014/10787806875Biblio

Es würde den Rahmen des Buches sprengen, die Funktionen der verschiedenen Geräte zu beschreiben.

Bei sehr hindernisreichen Böden (z. B. Deponien, Gerölle) können mit Seilbaggern im Greiferbohrverfahren Aufschlussbohrungen ausgeführt werden, die mit Verrohrungsmaschinen Tiefen bis 100 m bei einem Durchmesser bis 3.000 mm erreichen können. Das Gleiche gilt für Großdrehbohrgeräte. Sie können allerdings nur gestörte Bodenproben liefern, was in der Regel für den Aufschluss der Tiefenlage, der Schichtstärke und Materialansprache (z. B. bei Sand und Kies) durchaus genügt. Besonders bei hindernisreichen Bodenverhältnissen kann dieses Verfahren von Vorteil sein.

5.2 Bohrgeräte

Bei Erkundungstiefen bis 100 m und mehr (die Grenzen sind nicht vorgegeben und hängen vom Einzelfall ab) wird man spezielle Bohr- und Sondiergeräte einsetzen.

Diese sind für eine Vielzahl von Verfahren und unterschiedliche Untersuchungstiefen ausgerüstet. Sie sind in der Lage, eine Verrohrung mitzuführen. Die Geräte sind auf straßenzulässige Fahrgestelle oder auf Raupenfahrwerke aufgebaut.

Abb. D-7: Bohrkerne aus einem Seilkernrohr [6]

7541014/10787806875Biblio

Abb. D-8: rechts: Bohrgerät Geotec Rotomax XL GTC mit Bohrgestängemagazin – links: Nordmeyer-Bohrgerät Typ DSB 2 auf Lkw-Fahrgestell [V17] [V24]

Abb. D-9: Sennebogen-Seilbagger Typ 630 R mit Greifer und Leffer-Verrohrungsmaschine bei Untersuchungsbohrungen [V28]

Das Verfahren wird angewandt bei hindernisreichen Böden (z. B. Gerölle)

In bestimmten Abschnitten (z. B. 0,2, 0,5, 1,0 m) werden aus den Bohrwerkzeugen Bodenproben entnommen und mit Tiefenmarkierung ausgelegt. Nach Beendigung der Bohrung werden die Ergebnisse nach DIN-Regeln in Schichtenverzeichnisse mit sonstigen Angaben (z. B. Wasserstand, Bohrhindernisse usw.) eingetragen.

7541014/10787806875Biblio

Für zusätzliche Untersuchungen werden die Proben in verschließbare Plastikbehälter eingefüllt und beschriftet, mit Datum, Nr. der Bohrung, Tiefe von – bis (Abb. D-10).

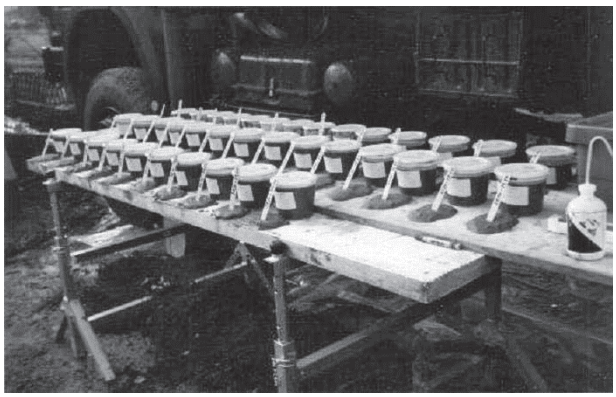


Abb. D-10: Vorbildliche Registrierung von gestörten Bodenproben [6]

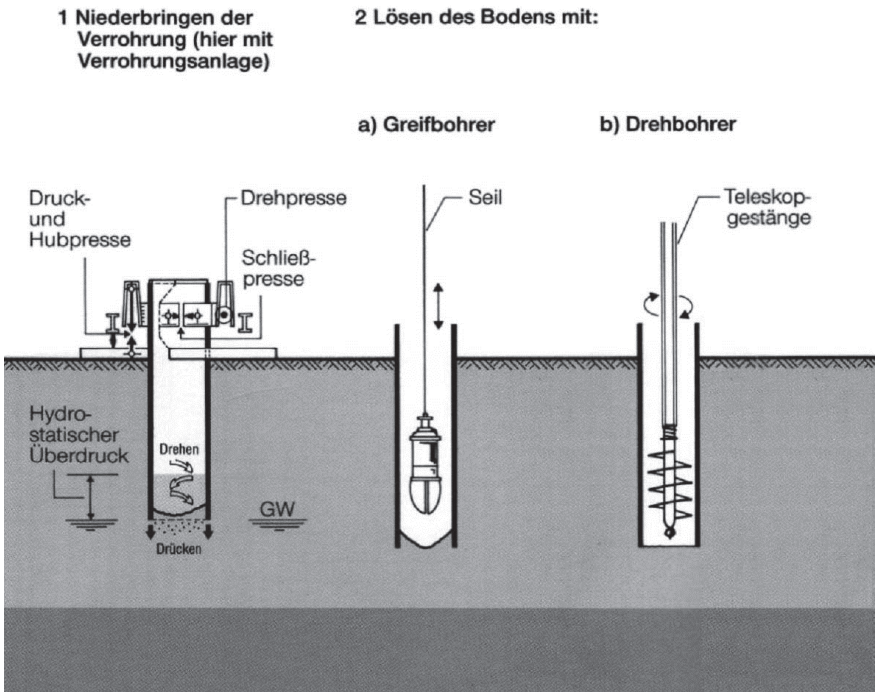


Abb. D-11: Schematische Darstellung des Schlag- und Drehbohrverfahrens [6]

7541014/10787806875Biblio

6 Sondierungen

Durch eine Sondierung gibt der Eindringwiderstand Aufschluss über die Lagerungsdichte bzw. Festigkeit des anstehenden Bodens, ohne dass eine Probenentnahme erfolgt. Dabei wird eine Stahlstange mit genormter Spitze, die zum Abbau der Reibung gegenüber dem Gestänge leicht vergrößert ist, in den Boden geschlagen (gerammt) oder gedrückt.

Man unterscheidet:

- Rammsondierungen und
- Drucksondierungen.

Eine Sondierung in unmittelbare Entfernung zu einer Aufschlussbohrung lässt einen Vergleich zwischen Schlagzahl bzw. Druck und dem Bodenprofil zu. Auf diese Weise lässt sich die Anzahl von wesentlichen teureren Aufschlussbohrungen verringern.

6.1 Rammsondierungen

Eine Rammsondierung ist das Rammen einer Sonde in den Untergrund durch einen Rammbären (Fallgewicht) bei gleichbleibender Fallhöhe, wobei die Schlagzahl für eine definierte Eindringtiefe festgehalten wird.

Man unterscheidet:

- Leichte Rammsonden,
- Mittelschwere Rammsonden,
- Schwere Rammsonden.

Bei der Durchführung von Rammsondierungen mit automatischen mittelschweren und schweren Rammsonden (Rammbärgewichte von 30 kg oder 50 kg) können die Fallhöhe und Schlagzahl eingestellt und jeweils mit wenigen Handgriffen schnell variiert werden. Dabei wird eine Stahlstange mit genormter Spitze, die zum Abbau der Reibung gegenüber dem Gestänge leicht vergrößert ist, in den Boden geschlagen (gerammt) oder gedrückt.

Eine Sondierung in unmittelbarer Entfernung zu einer Aufschlussbohrung lässt einen Vergleich zwischen Schlagzahl bzw. Druck und dem Bodenprofil zu. Somit lässt sich die Anzahl von wesentlichen teureren Aufschlussbohrungen verringern.

7541014/10787806875Biblio

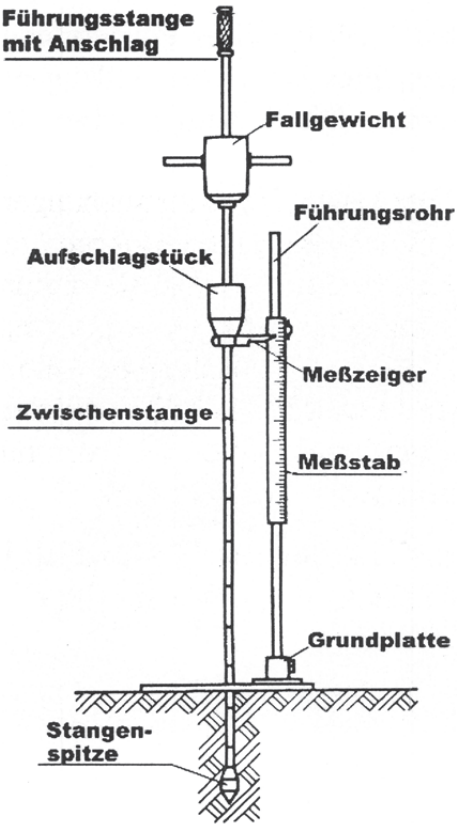


Abb. D-12: links: Leichte, handbetriebene Schlagsondiereinrichtung – oben: Mittelschweres, motorgetriebenes Sondiergerät [3] [6]

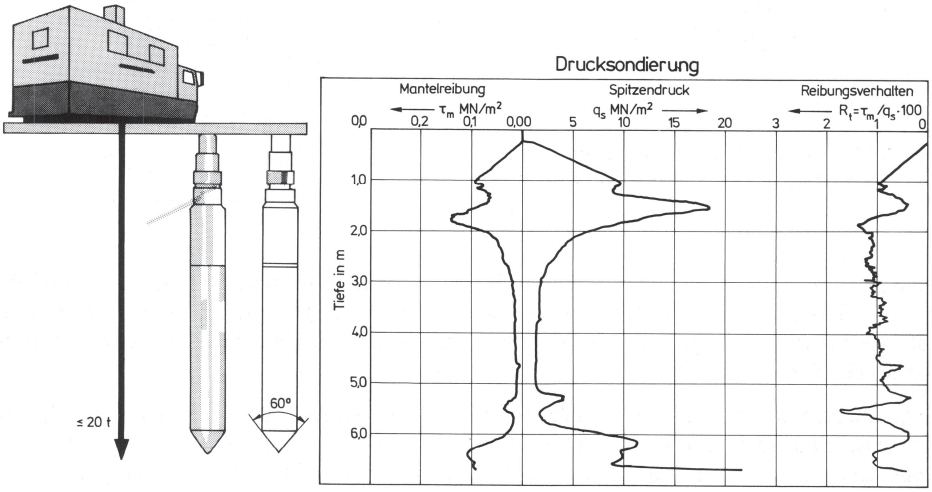
6.2 Drucksondierungen

Eine Drucksondierung ist das Eindrücken einer Sonde in den Untergrund. Der Sondierwiderstand ist die Summe aus Spitzenwiderstand und Mantelreibung. Des Weiteren können direkt abgelesen bzw. ermittelt werden: Reibungskraft und Spitzenwiderstand.

Im Allgemeinen reicht zur Überwindung des Gesamtwiderstands ein Gegengewicht von 100 kN aus, das bei selbstfahrenden Sondiergeräten durch deren Eigengewicht vorhanden ist. Bei leichten Sondieranhängern wird dies durch eine Verankerung erreicht. In Böden mit erheblichen Grobkiesanteilen, Geröll und Steinen ist der Einsatz nur in Ausnahmen möglich.

7541014/1078780687 5Biblio

Abb. D-13: Mobiles Drucksondiergerät der Fa. Franki-Grundbau mit einem Einsatzgewicht bis 20 Tonnen.
In dem Fahrzeug sind alle erforderlichen Einrichtungen (einschl. PC mit Drucker zur Aufzeichnung der Ergebnisse) installiert.
unten:
Systemdarstellung und Auswertung als Diagramm für Reibung und Spitzenwiderstand [Quelle: Franki]



7 Explorationsbohrungen

Für die Vorkommen an Braunkohle sind die Lagerstätten weitgehend erschlossen. Außerdem kann man die Braunkohle noch zu den oberflächennahen Bodenschätzen zählen.

Explorationsbohrungen sind tiefgeführte Untersuchungsbohrungen für das Auffinden von Salzstöcken, Steinkohle, Erdöl und Erdgas. Ferner werden sie eingesetzt, um Möglichkeiten für die Anlage von Erdöl- und Erdgas-Speicher zu erkunden.

Die in Deutschland übliche Bohrungsklassifikation unterscheidet seit dem 1.1.1981 Explorationsbohrungen, die der Untersuchung des Untergrundes auf wirtschaftlich förderbare Vorkommen dienen, und Feldentwicklungsbohrungen, mit denen Lagerstätten erschlossen werden.

7541014/10787806875Biblio

7.1 Klassifikation der Erdöl- und Erdgasbohrungen

Für die in Deutschland abgeteuften Bohrungen gilt seit 1.1.1981 verbindlich die folgende, von Bergbehörden, Geologischem Dienst und der Erdölindustrie gemeinsam erarbeitete Bohrungsklassifikation:

A Explorationsbohrung

Sie hat die Aufgabe, den Untergrund auf Akkumulation bzw. Vorkommen zu untersuchen. Sie erfüllt alle Voraussetzungen, um den Aufschlussverpflichtungen der Erdölgesellschaften zur Suche nach Kohlenwasserstoffen in den ihnen verliehenen Gebieten zu genügen.

A1 Untersuchungsbohrung

Sie dient der geologischen Vorerkundung. Es handelt sich meist um eine Bohrung geringerer Teufe, die zur Klärung tektonischer, fazieller, geochemischer etc. Fragen abgeteuft wird. Im Allgemeinen hat sie nicht die Aufgabe, Erdöl- oder Erdgasansammlungen zu suchen. Ihre Nummerierung erfolgt vierstellig, beginnend mit 1001.

A2 Basisbohrung

Sie erkundet in großen Teufen solche Schichtfolgen, über die bisher nur geringe Kenntnisse vorliegen, mit dem Ziel, Muttergesteine und/oder Speichergesteine nachzuweisen. Da sie ohne genaue Kenntnis der erdölgeologischen Verhältnisse abgeteuft wird, hat sie nicht die unmittelbare Aufgabe, eine Erdöl- oder Erdgaslagerstätte zu suchen.

A3 Aufschlussbohrung

Sie hat die Aufgabe, ein neues Erdöl- oder Erdgasfeld zu suchen. Sie sucht entweder ein von produzierenden Flächen abgetrenntes Teilfeld in demselben produktiven Horizont, wobei sie in der Regel nicht weiter als 5 km von einem bereits erschlossenen Feld entfernt steht, oder einen neuen Erdöl oder Erdgas führenden Horizont unterhalb oder oberhalb einer erschlossenen Lagerstätte. Dieser neue Horizont gehört in der Regel einer anderen stratigraphischen Stufe (z. B. Mittlerer Buntsandstein, Unterer Keuper, Rotliegend) an als die Lagerstätte.

A5 Wiedererschließungsbohrung

Sie dient der Untersuchung aufgelassener Lagerstätten im Hinblick auf die Beurteilung und Erprobung neuer Fördermethoden zur evtl. Wiedererschließung. Ihre Nummerierung erfolgt vierstellig, beginnend mit 2001.

B Feldentwicklungsbohrung

B1 Erweiterungsbohrung

Sie verfolgt einen bereits produzierenden Horizont entweder im Anschluss an eine fündige Bohrung oder im Gebiet eines Erdöl- oder Erdgasfeldes bei Kenntnis unkomplizierter Lagerungsverhältnisse. Die Entfernung beträgt ein Mehrfaches des für Produktionsbohrungen angemessenen Abstandes.

7541014/10787806875Biblio

B2 Produktionsbohrung

Sie wird innerhalb eines Erdöl- und Erdgasfeldes niedergebracht, um einen oder mehrere bekannte erdöl-/erdgasführende Horizonte flächenhaft zu erschließen und in Förderung zu nehmen.

B3 Hilfsbohrung

Die Hilfsbohrung trägt als Einpressbohrung (zur Druckerhaltung oder zur Erhöhung des Ausbeutegrades), Beobachtungsbohrung, Schluckbohrung etc. indirekt zur Förderung des Erdöls oder des Erdgases bei. Fündige Hilfsbohrungen werden in Produktionsbohrungen umklassifiziert.

7.2 Bohraktivitäten

Um die in Deutschland auf dem Festland und dem vorgelagerten Wattenmeer noch vorhandenen Erdöl- und Erdgasvorkommen zu erforschen, sind Explorationsbohrungen in großem Umfange erforderlich. Das gilt ebenfalls für die Erforschung von Möglichkeiten zur Speicherherstellung für Erdgas.

Nach dem historischen Tiefstand im Jahre 2003 haben sich die Bohraktivitäten in der Folgezeit, unterstützt durch den Ölpreis, wieder erholt.

8 Geowissenschaftliche Untersuchungen

Die Suche nach Erdgas- und Erdöllagerstätten ist mit außerordentlich hohen Kosten und wirtschaftlichen Risiken verbunden. Deshalb kommt es darauf an, die Gebiete einzugrenzen, in denen gute Erfolgschancen für die Aufsuchung von Lagerstätten bestehen.

Geowissenschaftliche Untersuchungen gehen daher der Bohrtätigkeit voraus und sollen die Erfolgschancen einer Bohrung verbessern. Das mit Abstand wichtigste geophysikalische Verfahren ist die 3D-Seismik, die es ermöglicht, den Aufbau des Untergrundes bis in Tiefen von 5.000 bis 6.000 m in einer hohen Genauigkeit dreidimensional zu erkunden.

8.1 Seismische Untersuchungen

Das Verfahren beruht wie beim Echo auf dem Prinzip der reflektierten Schallwellen.
Bei den Messungen werden durch kleine Sprengungen in flachen Bohrlöchern, durch Vibratoren entlang von Wegen oder durch Luftpulser im Wasser künstlich Schwingungen ausgelöst, die von den verschiedenen Gesteinsschichten im Untergrund an die Oberfläche zurückgeworfen werden. Dort werden die zurückkehrenden Schallwellen mit ihren gesteinsspezifischen Informationen von hochempfindlichen Geophonen (Erdmikrophonen – Abb. D-14) registriert, in elektrische Impulse umgewandelt und in einer zentralen Messeinrichtung digital aufgezeichnet.

7541014/10787806875Biblio

Abb. D-14: Geophone (Erdmikrophone) werden in der Suche nach Erdöl und Erdgas eingesetzt, sie nehmen die erzeugten Schallwellen auf. [24]

Bei der früher ausschließlich und heute nur noch vereinzelt angewendeten 2D-Seismik werden die Schusspunkte und Geophone in einer geraden Linie angeordnet. Die Auswertung erbringt ein zweidimensionales, vertikales Schnittbild der Erdschichten nur unterhalb dieser Linie, das oftmals nicht alle interessierenden geologischen Aspekte erfassen kann.

Zu aussagefähigeren Ergebnissen führt dagegen die 3D-Seismik. Hierbei werden mehrere Linien von Schallquellen und Geophonen netzförmig angeordnet.

Die Messpunkte befinden sich in Abständen von in der Regel 50 m und werden aus verschiedenen Richtungen vielfach beschallt.
Dadurch wird eine so hohe Informationsdichte erreicht, dass sich die Sicherheit der Vorhersage gegenüber der 2D-Seismik praktisch verdoppelt.

Zur Vermeidung von Schäden werden die für das Bohren eingesetzten Fahrzeuge dem jeweiligen Gelände entsprechend ausgerüstet, z. B. mit Niederdruckreifen, um Flur- und Wegeschäden so gering wie möglich zu halten. Darüber hinaus wird darauf geachtet, dass sich die eingesetzten Fahrzeuge soweit wie möglich auf Wegen oder Straßen bewegen.

Schäden an Gebäuden und Einrichtungen werden durch die Einhaltung von Mindestabständen der Schallquelle vermieden. Die Mindestabstände sind in der DIN-Vorschrift 4150 bzw. durch bergamtliche Vorgaben geregelt.
Im Zuge seismischer Messungen aufgetretene Flur-, Wege- und sonstige Schäden werden unmittelbar nach Beendigung der Arbeiten aufgenommen und einvernehmlich geregelt.

Wegen ihrer verbesserten Aussagekraft hat die 3D-Seismik in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Um die mit dieser Messmethode verbundenen Beeinträchtigungen für Mensch und Natur zu begrenzen, werden die Arbeiten sorgfältig vorbereitet.

Bei der Auswahl der Schallquellen wird die örtliche Beschaffenheit des Geländes berücksichtigt. Mit den zuständigen Behörden wird abgestimmt, in welchen Gebieten besondere Schutzmaßnahmen anzuwenden sind.

7541014/10787806875Biblio

Zwar müssen die Geophone und Bohrlöcher rasterförmig im Untersuchungsgebiet angeordnet sein, doch können durch Verlegung von Bohrlöchern z. B. Gebäude oder Biotope ausgespart werden. Bei kleineren empfindlichen Flächen ist eine solche Verlegung in der Regel problemlos und gehört zur Routine.
Bei der Zeit- und Ablaufplanung wird in Abstimmung mit den Naturschutzbehörden auf spezielle Belange des Natur- und Umweltschutzes Rücksicht genommen.

Abb. D-15: 6–30 m sind die Löcher, in denen mittels Explosivladungen Schallwellen erzeugt werden. [24]

8.2 Erdmagnetische Messungen

Jeder magnetisierbare oder magnetische Gesteinskörper lenkt das natürliche, zwischen magnetischem Nord- und Südpol verlaufende Magnetfeld in seiner Umgebung ab. Den so beeinflussten Verlauf der magnetischen Kräfte kann man mit empfindlichen Geräten messen. Das wird heute meist von Flugzeugen aus gemacht.

Die Auswertung solcher Messungen erlaubt in gewissen Grenzen Aussagen über Form und Tiefenlage magnetischer Gesteine. Sie erfordert den Einsatz moderner Rechenanlagen.

8.3 Gravimetrische Verfahren (Schweremessungen)

Jeder Körper übt in Abhängigkeit von seinem spezifischen Gewicht eine gewisse Anziehung auf andere Körper aus. Unterschiede der Erdanziehung – der Schwerkraft an der Erdoberfläche – hängen mit der unterschiedlichen Verteilung verschieden schwerer Gesteine in der Erdkruste zusammen.

Mit einer besonderen, hochempfindlichen Waage, dem Gravimeter (Abb. D-16a), kann man sehr kleine Schwerkraftunterschiede messen. So können beispielsweise die Lage und Umgrenzung eines Salzstocks ermittelt werden, da Salz ein verhältnismäßig geringes spezifisches Gewicht hat.

Die Auswertung dieser Schweremessung hat durch den Fortschritt der Computertechnik erheblich an Exaktheit und damit an Bedeutung gewonnen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. D-16a: Gravimeter [V38]

Abb. D-16b: Spezialfahrzeuge für seismische Vorerkundung [V38]

8.4 Geologische Auswertung

Jede Bohrung wird geologisch sorgfältig ausgewertet. Das erfordert eine Reihe verschiedener Beobachtungen, Messungen und Untersuchungen. Die mit der Spülung ausgetragenen Gesteinsbröckchen und die mit ringförmigen Spezialmeißeln erbohrten Gesteinskerne erlauben es dem Geologen in Verbindung mit physikalischen Messungen und Laboranalysen, Aufschlüsse über die durchbohrte Schichtenfolge, die Gesteinsart sowie Inhalt und Eigenschaften des Gesteins zu gewinnen.

Um die Fündigkeit einer Bohrung beurteilen zu können, sind viele Informationen erforderlich über Porosität, Wasser- oder Kohlenwasserstoff-Sättigung, Permeabilität (Durchlässigkeit), Temperatur, Druck, Verlauf der Formationen und die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins. Zur Ermittlung dieser Daten dienen Sonden, die am Kabel in das Bohrloch eingefahren werden und die benötigten physikalischen Parameter messen.

Die durch das Kabel übertragenen Daten werden auf einem Diagramm (in der Fachsprache „Log“) und gleichzeitig auf elektronischem Datenträger aufgezeichnet.
Fachleute werten diese Informationen entweder gleich an der Bohrung oder später im Rechenzentrum aus und vergleichen sie mit vorhandenen Daten.
Erdgas- oder erdölführende Formationen lassen sich dann mit großer Wahrscheinlichkeit erkennen. Die genaue Gliederung der erbohrten Trägerformationen erlaubt eine Bewertung des neuen Fundes.

Im langjährigen Durchschnitt ist in Deutschland nur etwa jede sechste Aufschlussbohrung wirtschaftlich fündig. Dies verdeutlicht das erhebliche Risiko und den hohen Kapitalbedarf bei der Suche nach Erdgas und Erdöl.

8.5 Auswertungen der Messergebnisse

Mit der Feldvermessung ist erst die Basisarbeit getan. Danach folgt im Rechenzentrum eine aufwändige Datenverarbeitung. Die Fortschritte in der Computer-Technologie haben die Einführung der 3D-Seismik überhaupt erst möglich gemacht.

Nur mit leistungsfähigen Rechnern können die riesigen Datenmengen in einer vertretbaren Zeit verarbeitet werden. Das Endergebnis der Verarbeitung sind Datensätze, mit denen die seismischen Informationen ortsgetreu den Untergrundpunkten zugeordnet

7541014/10787806875Biblio

werden. Die ermittelten Daten stehen für die Auswertung durch ein Team von Geologen, Geophysikern, Petrophysikern und Lagerstätten-Ingenieuren zur Verfügung.

Mit einer leistungsfähigen Software können die Eigenschaften der untersuchten unterirdischen Horizonte einzeln oder kombiniert zu Karten und Profilen aufbereitet werden. Auf den Karten des Untergrundes wird der Verlauf der Gesteinsschichten räumlich sichtbar. Damit lassen sich die Bereiche erkennen, in denen gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Suche nach Erdgas oder Erdöl bestehen. Innerhalb eines Bereichs können die Fachleute sogar die Zonen umreißen, in denen stärkere Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen zu erwarten sind. Die Ergebnisse der Seismik werden häufig in 3D-Räumen visualisiert. Die Experten sind mit dieser Technik in der Lage, sich im virtuellen dreidimensionalen Untergrund frei zu bewegen und den optimalen Bohrungsverlauf festzulegen.

Die entscheidende Frage, ob im Untergrund tatsächlich eine wirtschaftlich verwertbare Ansammlung von Erdgas oder Erdöl vorhanden ist, lässt sich selbst nach der gründlichsten geophysikalischen Vorarbeit nicht sicher beantworten. Endgültige Klarheit hierüber kann nur eine Bohrung bringen.

Trotz dieses enormen Aufwands ist es gelungen, die Kosten für das Auffinden von Öl- und Gaslagerstätten enorm zu senken. Der technische Fortschritt auf allen Gebieten, insbesondere die Computertechnik, hat die Anzahl der Bohrungen zum Auffinden von Lagerstätten von 10 auf 2 verringert. Das spart nicht nur Kosten für vergebliche Bohrungen, sondern schont zugleich auch die Umwelt.

8.6 Folgerungen bezüglich der Gasart

Von **Süßgas** spricht man, wenn im Erdgas kein Schwefelwasserstoff enthalten ist und der Kohlendioxidanteil unter zwei Prozent liegt.

Sauergas dagegen enthält Schwefel, das in besonders korrosionsgeschützten Rohren transportiert nach einem aufwändigen Verfahren gereinigt werden muss. Das Sauergas kann so wie es gewonnen wird nicht in normalen Stahlrohren transportiert werden. Die Rohre würden nach kurzer Zeit korrodieren und das umweltverschmutzende Sauergas an Korrosionsstellen austreten.

Die Verwendung von Edelstahlrohren ist sehr teuer und erfolgt daher selten. Es werden meist stahlrohrummantelte Kunststoffrohre verwendet, vorzugsweise aus Polyethylen oder vernetztem Polyethylen hergestellte Rohre, welche in bereits verlegte Stahlrohre eingezogen werden.

Diese haben bei der Verlegung einen Außendurchmesser, der kleiner als der Innendurchmesser des Stahlrohres ist. Sie weiten sich im Betrieb so auf, dass sie mit ihrer Außenfläche an der Innenfläche des Stahlrohres anliegen.

Aber auch hier treten an der Innenfläche des Stahlrohres Korrosionserscheinungen auf, die darauf zurückzuführen sind, dass Schwefeldioxid und Feuchte durch das Kunststoffrohr permeieren (lat. permeare = durchdringen) und dann besagte Korrosionserscheinungen am Stahlrohr, wenn auch nicht so schnell, hervorrufen. Daher sind auch solche Leitungssysteme von Zeit zu Zeit auszuwechseln.

7541014/10787806875Biblio

9 Exploration in den Steinkohlenlagerstätten

Die Steinkohlenlagerstätten in der EU weisen sowohl in ihrer geografischen Lage und Ausdehnung als auch in der jeweiligen geologischen Ausbildung und ihrem Vorrat wesentliche Unterschiede auf.

Die naturgegebenen Bedingungen, wie Mächtigkeit der Kohlenflöze, Einfallen, Teufe, Standfestigkeit des Nebengesteins und der Kohle, Härte der Kohle und des Nebengesteins, sind für ein Bergwerk von entscheidender Bedeutung. Für den Zuschnitt und die Wahl des Abbauverfahrens sind ferner zu berücksichtigen: die Bergschädensempfindlichkeit, die Häufigkeit von geologischen Störungen sowie der Gasgehalt der Kohle.

Heute stammt die Steinkohle fast ausschließlich aus der flachen bis schwach geneigten Lagerung, der Anteil beträgt über 90 %. Nur noch einzelne Bergwerke, z. B. in Spanien, fördern aus halbsteil und steil stehenden Flözen. Die mittlere abgebaute Mächtigkeit in Europa beträgt etwa 1,60 m und ist bis heute nur auf etwa 1,80 m gestiegen, da in der Auswahl der abzubauenden Flöze vorrangig die Kohlenart und deren Qualität beachten muss. Je nach Lagerstätte variieren die bauwürdigen Flözmächtigkeiten zwischen 0,80 m bis über 4 m.

9.1 Lagerstättenkenntnis

Für die Planung und Ausführung von Bergbauaktivitäten ist eine möglichst genaue Kenntnis der Lagerstätte von besonderem Interesse. Nur wenn diese gut bekannt ist, kann der Bergbau im Detail geplant und wirtschaftlich beurteilt werden.
Auch bei Sicherheitsfragen hat sich gezeigt, dass diese nur bei genauer Kenntnis der Lagerstätten beantwortet werden können.

Diese Erkenntnisse gelten grundsätzlich für alle Lagerstätten und für alle Bergbauzweige, besondere Bedeutung haben diese jedoch im Steinkohlentiefbau.

Moderne Explorationsmethoden wie die Bohrexploration oder auch zerstörungsfreie Verfahren wie die Seismik sind häufig im Steinkohlenbergbau erstmals oder zumindest frühzeitig angewendet worden.
Zu ihrer heutigen Reife wurden sie jedoch vorwiegend im bohrlochorientierten Bergbau auf Öl und Gas entwickelt. Dies mag in erster Linie darauf zurückzuführen sein, dass in diesen Bergbauzweigen ungleich große finanzielle Mittel für die Forschung und zur Entwicklung zur Verfügung stehen.

Zu unterscheiden sind „beprobende“ Verfahren, also der Bohrexploraton und „zerstörungsfreien“ Verfahren, im Wesentlichen der Seismik. Diese Verfahren wurden bereits ausführlich behandelt.

9.2 Exploration über Tage

Bei noch unbekannten, neuen Lagerstätten, aber auch bei Lagerstätten, bei denen kein ausreichendes befahrbares Grubengebäude besteht, kann die Exploration nur von der Erdoberfläche aus, also von über Tage erfolgen.
Andere Bergbauzweige, wie der Erdöl-/Erdgasbergbau kennen naturgemäß nur diese Form der Exploration. Auch im Steinkohlenbergbau spielt die Exploration von über Tage die größere Rolle.

7541014/10787806875Biblio

Sie wird eingesetzt beim Aufschließen neuer Lagerstätten und neuer Lagerstättenteile. Ein Beispiel hierzu ist die „Nordwanderung“ des Bergbaus in Deutschland. Verglichen mit der Exploration unter Tage hat die Exploration von der Erdoberfläche aus den Nachteil, einen größeren Abstand zu den zu untersuchenden Lagerstättenteilen zu haben. Die Bohrungen haben größere Tiefen, sind somit teurer und nur mit einem weniger dichten Bohrraster zu realisieren. Zerstörungsfreie Methoden sind wegen der großen Abstände ungenauer und haben eine geringere Auflösung.

Die klassische Exploration ist die Exploration durch Beprobung, wobei oberflächennah neben Bohrungen auch Schürfe eine Rolle spielen. Bei üblichen Teufen insbesondere des Tiefbaus, aber meist auch des Tagebaus in der Europäischen Union spielen allerdings aus Kostengründen Schürfe keine Rolle.

Sowohl für Tagebaubetriebe als auch für Tiefbaubetriebe wurden in entsprechenden Projekten moderne Methoden der Bohrexploration entwickelt und weiterentwickelt. Sie sind inzwischen zur Routine geworden. Allein im Ruhrgebiet wurden in der Nachkriegszeit mehr als 1.000 Explorationsbohrungen abgeteuft.

9.3 Exploration unter Tage

Der Steinkohlentiefbau eröffnet durch die Nutzung des vorhandenen Grubengebäudes den Einsatz von Explorationstechniken, wie sie der bohrlochorientierte Bergbau auf Öl und Gas nicht kennt. Dabei bringt die größere Nähe zum untersuchten Objekt zwar eine Verbesserung der Auflösung und der Aussagesicherheit, die geometrischen Beschränkungen aber auch Nachteile in der kompletten Erfassung eines untersuchten Volumens.

9.3.1 Sondervermessungen

Messungen, die über Tage selbstverständlich sind, bedürfen oft unter Tage besonderer Anstrengungen und besonderer Entwicklungen. Dies gilt häufig schon wegen des Bedarfs speziell zugelassener explosionsgeschützter Geräte.

Beispiele hierfür sind die Vermessungen der geometrischen Gegebenheiten und der genauen Lokation der Messwerterfassung bei Explorationsmaßnahmen.

9.3.2 Stereo-Photogrammetrie

Die terrestrische Stereo-Photogrammetrie mit schlagwettersicheren Messgeräten ist ein weiteres Beispiel für eine Sonderentwicklung im Bergbau und deren anschließenden Export in andere Anwendungen.

Die Bohraktivitäten haben sich in vielen Bergbaugebieten von über nach unter Tage verlagert, insbesondere, weil sich so mit geringeren Bohrlochlängen die Zielvolumina erreichen lassen. Hierzu waren geeignete Bohrgeräte zu entwickeln, die im beschränkten Raum ein wirtschaftliches Bohren in der angestrebten Qualität zulassen.

9.4 Bohrtechniken unter Tage

Ähnlich wie beim Bohren über Tage war auch hier die Einführung des Seilkernes der entscheidende Schritt.

Diese Technik wurde so weiterentwickelt, dass sie das Bohren in alle Richtungen, insbesondere aber auch ins Hangende gestattet. Fragen der Spülungszusammensetzung,

7541014/10787806875Biblio

aber auch des Spülungsumlaufs waren zu lösende Probleme. Heute werden die meisten Explorationsbohrungen unter Tage durchgeführt. Sie erreichen dieselbe Qualität und denselben Kerngewinn wie Bohrungen über Tage.

9.4.1 Horizontalbohrtechnik im Gestein

Genau wie bei Ablenkungen aus übertägigen Bohrungen sind auch unter Tage lange Horizontalbohrungen im Gestein von Interesse.

Häufig lässt sich nur mit ihnen das Vorfeld eines Betriebes aufklären. Das Halten von Bohrungen in der Horizontalen über weite Entfernungen ist auch heute noch ein Problem und somit ein Forschungsgegenstand.

9.4.2 Horizontalbohrtechniken in der Kohle

Horizontalbohrungen in der Kohle, oder besser flözgängige Bohrungen sind eine Sonderaufgabe und mit Bohrungen im Gestein nicht zu vergleichen. Hier haben sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Varianten eingespielt:

Das Führen einer Bohrung im Flöz mit geeigneten Sensoren (z. B. Gamma-Messung) oder das Bohren mit einer (weichen) Schnecke und einem geeigneten Meißel, der dafür sorgt, dass die Bohrung nicht ins Nebengestein abweichen kann.

Beide Methoden wurden in Forschungsprojekten verfeinert. Ihre Anwendbarkeit richtet sich nach den Gesteinseigenschaften von Kohle und Nebengestein.

9.4.3 Vertikalbohrtechnik

Während es bei Explorationsbohrungen oft nicht so ganz genau darauf ankommt, wie die Bohrung verläuft, sind vielfach zu anderen Zwecken Bohrungen mit exakt vertikalem Verlauf nötig.

Hierzu wurden spezielle Techniken entwickelt, bei denen der rotierende Bohrkopf in einer Art Käfig geführt wird, der sich hydraulisch an der Bohrlochwand abstützt und über geeignete Sensoren den Bohrkopf in die gewünschte (meist vertikale) Richtung steuert (Zielbohrtechnik).

9.4.4 Seismik

Auch in der untertägigen Anwendung ist die Seismik das bei weitem wichtigste und erfolgreichste zerstörungsfreie Verfahren. Um es überhaupt anwenden zu können, mussten geeignete Messgeräte entwickelt werden, die den Bestimmungen für unter Tage genügen und die für diesen Einsatz ausreichend robust sind.

Diese Messgeräte wurden nicht nur an die allgemeinen Fortschritte der Elektronik angepasst, sondern sie waren in vielen Punkten auch Vorreiter für die allgemeine Entwicklung seismischer Messtechnik.

9.4.5 Flözwellenseismik

Die Seismik mit im Flöz geführten Wellen ist die Königsdisziplin der untertägigen seismischen Verfahren.

Da die Geschwindigkeit, mit der sich seismische Wellen ausbreiten, in Kohle sehr viel geringer ist als im Nebengestein, werden seismische Wellen, die im Flöz erzeugt wur-

7541014/10787806875Biblio

den, in diesem gefangen und weitergeleitet. Dies ist physikalisch dasselbe wie die Lichtleitung in einer Glasfaser.

Die Ausbreitung dieser Wellen wird durch tektonische Störungen gestört. Die Wellen werden an einer solchen Störung reflektiert. Die Registrierung und Auswertung gestatten, die Kartierung der Störungen und anderen z. B. syngenetischen Anomalien. Bei geeigneten Streckengeometrien werden heutzutage sogar tomographische Aufnahmen der Flözsituation erfolgreich durchgeführt.

Die Flözwellenseismik wurde nach anfänglich erheblichen Problemen zu einer anerkannten Routinemethode im Vereinigten Königreich und in Deutschland. Der wirtschaftliche Wert der Vorabkenntnis von Störungen kann nicht hoch genug eingeschätzt werden.

9.5 Bedeutung der Exploration

Die Exploration für die Steinkohlenerkundung ist aufwändiger als in den übrigen Bereichen der Gewinnung. Von der Erkundung und Auswertung der Ergebnisse hängt die gesamte Planung eines neuen Steinkohlenbergwerkes bzw. der Erweiterung eines bestehenden ab.
Dazu gehören die Planungen für die Standpunkte der Förder-, Material- und Wetterschächte, die Aus- und Vorrichtung, Anlage der Richtstrecken und Querschläge sowie der Flözstrecken.

Die Ergebnisse geben Auskunft über die Lage der Flöze und deren Flözstärken und Neigungen. Die Aus- und Vorrichtung wird auf die abbauwürdigen Flöze abgestimmt.
Nicht zuletzt lassen die Angaben über die Art der Nebengesteine die Möglichkeit von Bergsenkungen und damit die Gefahr von Bergschäden erkennen.

10 Bohrtechnik

Bohrungen dienen sehr unterschiedlichen Zwecken. Eine Definition nach Bohrtiefen ist wenig sinnvoll.

Andererseits sind die allgemein verwendeten Begriffe wie Flachbohrungen, Trockenbohrungen, Schürfbohrungen, Tiefbohrungen, Großlochbohrungen sehr verwirrend und zum Teil unzutreffend beschrieben.

So wird der Begriff „Trockenbohrung“ so definiert: „Wird das Bohrgut periodisch in einem Bohrwerkzeug gefördert, spricht man vom Trockenbohren.“
Dabei ist unerheblich, ob die Bohrarbeit über oder unter dem Grundwasserspiegel erfolgt. Bei einer Kernbohrung mit Wasserspülung wird das Bohrgut bzw. der Bohrkern ebenfalls periodisch gefördert; trotzdem gilt dieses Verfahren nicht als Trockenbohrung.

Auch für den Begriff „Flachbohrung“ variieren die Teufenangaben in der Literatur von 300 m bis 1.500 m.
In der Erdölbohrtechnik bezeichnet man z. B. Bohrungen bis 500 m Teufe als Flachbohrungen und solche über 500 m bis 5.000 m Teufe als Tiefbohrungen. Alle tieferen Bohrungen (über 5.000 m Teufe) gelten als übertiefe Bohrungen. Ebenso ungeklärt ist die Definition der Großlochbohrungen und Bohrungen mit kleinen Durchmessern.

7541014/10787806875Biblio

Vorschläge gehen dahin, jede Bohrung, die drehend nach dem direkten oder indirekten Spülverfahren und nicht mehr mit einem handelsüblichen Dreikegelrollenmeißel, also größer als 26 Zoll Ø (600 mm) niedergebracht wird, als Großlochbohrung zu bezeichnen.

Die moderne Bohrtechnik hat heute umfangreiche Aufgaben in vielen Wirtschaftsbereichen zu erfüllen, entsprechend haben die Arten von Bohrungen zugenommen. Die wichtigsten Bohrungsarten, branchen- und einsatzbezogen geordnet, werden nachstehend angesprochen.

Nicht enthalten sind Bohrungen, die mit gestängelos arbeitenden Ausrüstungen niedergebracht bzw. vorgetrieben werden.

Bohrungsbezeichnungen in englischer Sprache, für die auch im jeweiligen Fachbereich keine deutschen Ausdrücke benutzt werden, wurden englisch belassen, zum Teil übersetzt oder nur umschrieben. Bohrungsbezeichnungen, die in anderen Abschnitten dieses Buches im Zusammenhang genauer erläutert wurden, haben einen entsprechenden Hinweis und werden nur kurz beschrieben.

10.1 Bohrungsarten

10.1.1 Bohrungen auf Erdöl und Erdgas

Aufschlussbohrungen sind Bohrungen in geologisch nicht oder gering bekannten Gebieten, die entweder Aufschluss über fehlende geologische Kenntnisse erbringen oder den Nachweis förderungswürdiger Kohlenwasserstoffe liefern sollen. Eine Besonderheit bilden Tiefenaufschlüsse für Forschungszwecke.

Fundbohrung ist eine Bohrung, die Erdöl- oder Erdgaslagerstätten aufgeschlossen hat und zur Förderbohrung ausgebaut werden kann.

Durch **Erweiterungsbohrungen** werden die Ausdehnungen durch Aufschlussbohrungen gefundener Erdöl- und Erdgasproduktionsfelder ermittelt.

Produktions- oder **Förderbohrungen** sind Bohrungen in bekannten Feldteilen, die mit ziemlicher Sicherheit fündig werden sollten, in der Regel in einem Raster gesetzt.

Re-entry Well ist eine Bohrung in einem Erdöl-Altfeld, die aus einer vorhandenen vertikalen, verrohrten Bohrung heraus durch ein Fenster der Verrohrung abgelenkt wird. Die Neigung der Bohrung wird bis zur Horizontalen bzw. bis zum Einfallen der Lagerstätte aufgebaut.

Wasser- und **Laugenlösungsbohrungen** dienen der Vorentwässerung von Abbaugebieten oder als Sicherungsmaßnahmen bei der Entspannung von Laugennestern im Kali- und Salzbergbau.

Gaslösungsbohrungen sind fächerförmig angesetzte, abgedichtete Bohrungen, vornehmlich im Steinkohlenbergbau, um Methangase vor Abbaumaßnahmen abzusaugen.

Sie können flözgängig (mittl. Länge ca. 50 m) oder bankschräg (bis über 200 m) vorgetrieben werden.

Ankerbohrlöcher dienen zur Aufnahme von Gesteinsankern zur Festigung des Gesteinsverbandes und damit zur Sicherung untertägiger Hohlräume im Bergbau, Stollen- und Tunnelbau.

7541014/10787806875Biblio

10.1.2 Bohrungen im Bergbau, Tunnel- und Stollenbau

Aufschlussbohrungen werden überwiegend als Kernbohrung mit großer Teufe bzw. Länge ausgeführt.

Sie werden sowohl senkrecht auf- und abwärts, horizontal oder geneigt gebohrt. Im Erz, in der Kohle überwiegend konventionell, im Salz auch nach dem Counterflush-Verfahren.

Sprenglochbohrungen sind kleinkalibrige Gesteinsbohrlöcher zur Aufnahme von Sprengladungen z. B. beim Strecken-(Tunnel-)vortrieb und beim Abbau von Salzen u. Ä.

Einbruchbohrung sind Großlochbohrungen von 200 m bis 500 mm Durchmesser. Sie werden aus wirtschaftlichen Gründen wie Erhöhung der Abschlaglängen, Verringerung der Sprengbohrlochanzahl und des Sprengstoffverbrauches angewendet (Abb. D-17).

Abb. D-17: Herstellen von Großlochbohrungen mit einem modernen, ferngesteuerten Bohrgerät zur Erhöhung der Abschlaglänge im Salzbergbau [27]

Strossenbohrungen sind Sprenglochbohrungen für den treppenartigen Abbau (Strossenbau) von Erz- oder Salzlagerstätten unter Tage und über Tage.

Rolllochbohrungen sind großkalibrige Bohrungen für die Abwärtsförderung von Erzen, Salzen oder Versatzbergen unter Ausnutzung der Schwerkraft des Minerals.

Wetterbohrlöcher sind Großbohrlöcher für die Wetterführung, z. B. zwischen zwei Sohlen, zwischen Grubenbauen und Tagesoberfläche oder bei der Herstellung von Aufbrüchen oder Gesenken.

Die **Pilotbohrung** ist das Bohrloch des kleinsten Schneiddurchmessers eines Stufenbohrwerkzeuges.

Zielbohrung ist die richtungsgenaue Vorbohrung eines Großbohrloches oder Bohrschachts.

Gefrierbohrungen sind Hilfsbohrungen für das Abteufen von Schächten im wasserführenden Deckgebirge. Die Bohrungen werden auf einem Lochkreis um eine projektierte Schachtscheibe angesetzt.

Die **verrohrten Bohrungen** dienen dazu, einen Kälteträger (Kühlflüssigkeit) zirkulieren zu lassen, der dem Gebirge Wärme entziehen und eine ringförmige, unten geschlossene Frostmauer bilden soll. Im Schutze dieser Frostmauer werden die Abteufarbeiten vorgenommen.

7541014/10787806875Biblio

Eine **Rettungsbohrung** wird niedergebracht zur Rettung unter Tage eingeschlossener Bergleute, Stollen- oder Tunnelbauer.

Bergungsbohrungen können sowohl von über Tage aus niedergebracht werden als auch von unter Tage aus. Bergungsbohrungen müssen einen lichten Enddurchmesser von mindestens 500 mm haben, um das Passieren sogenannter Rettungsbomben zur Bergung der Eingeschlossenen zu ermöglichen.
Die Bohrungen sollten bis in die Nähe des eingeschlossenen Baues verrohrt sein, um Unfälle bei der Rettung zu vermeiden. Der Durchschlag wird oft vom gesümpften Loch aus nach einem Trockenbohrverfahren durchgeführt.

Schachtvorbohrlöcher sind vorwiegend Kernbohrungen, die der Erkundung der Deckgebirgsverhältnisse wie Gesteinsausbildung, Lagerung und Wasserführung für den geplanten Schacht dienen.
Sie werden überwiegend bis über die geplante Schachtendteufe hinaus geführt. Die Ansatzpunkte werden so gewählt, dass die Bohrungen später, während der Gefrier- und Teufphase, als Mittelloch oder Temperaturmessloch genutzt werden können.

Das **Mittelloch** wird während der Gefrierphase für Messungen und Beobachtungen genutzt. Beobachtet werden:

- Das Schließen des Frostmantels,
- Die Gebirgswasserverdrängung bei der Bildung des Frostmantels,
- Die Temperaturen im Bohrloch während der Vorgefrierzeit.

Über das **Temperaturmessloch** werden während der Frostmantelbildung Temperaturmessungen innerhalb und außerhalb des Frostmantels vorgenommen. Sie dienen u. a. der Überwachung der Temperaturentwicklung im Gebirge.

Seismische Schussbohrungen werden in der Reflexionsseismik benötigt. Sie haben Durchmesser von ca. 3 Zoll bis 6 Zoll und erreichen je nach Erfordernis Teufen von 5 m bis 150 m. Nach dem Bohren werden die Löcher mit Sprengstoff besetzt.
Durch die Detonation der Sprengladung werden Erschütterungswellen erzeugt, die an den Grenzflächen der unterschiedlichen Boden- und Gesteinsschichten reflektiert werden. Die Laufzeiten der Wellen werden von Geophonen aufgenommen und von Seismographen registriert. Aus den Ergebnissen werden geologische Profile entwickelt.

Wasserbohrungen werden geteuft, um Süßwasser für den Betrieb der Fördereinrichtungen (Betriebsanlagen) zu gewinnen.
In den Trockengebieten der Erde müssen sehr oft Wasserbohrungen für die Sicherstellung der Durchführung von Tiefbohrungen mit Spülung vorher geteuft werden.

10.1.3 Bohrungen für Bergbau, Kalk- und Zementindustrie

Aufschlussbohrungen werden ausgeführt für die Erkundung und Erschließung von Kohle, Salz, Erz und anderen Mineralen.

Gewinnungsbohrungen werden ausgeführt als Sprenglochbohrungen, dienen zur Gewinnung von Erzen in Tagebauen und dem Massenabbau von Gesteinen.

Mit Hilfe von **Förderbohrungen** wird natürliche Sole aus Salzlagerstätten für die Gewinnung von Salz oder für Kurzwecke (Solbäder) gewonnen. In vielen Fällen wird Süßwasser über dieselben Bohrungen zur Anreicherung in die Salzlagerstätten geleitet.

7541014/10787806875Biblio

Grundwasserabsenkungsbohrungen haben im Braunkohlen-Tagebau die Aufgabe, den Abbaubereich trocken zu halten und Sohlenaufbrüche zu verhindern. Es handelt sich um großkalibrige Bohrungen, die als Bohrbrunnen ausgebaut werden. Für die Überwachung der natürlichen und abgesenkten Grundwasserspiegel dienen Pegel- und Beobachtungsbohrungen.

Schachtbohrungen sind mit Hilfe des Lufthebebohrverfahrens niedergebrachte Großbohrlöcher, die unmittelbar nach den Bohrarbeiten ausgebaut (verrohrt) werden. Sie können später als Wetter-, Versorgungs- oder Fahrschächte dienen (Abb. D-18).

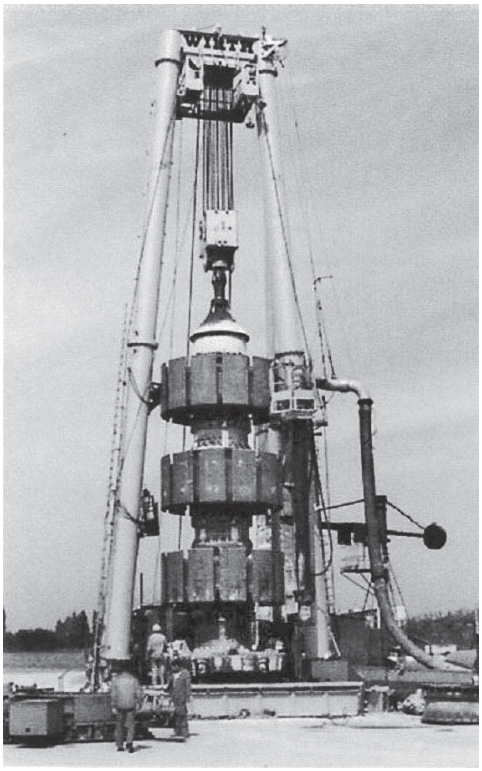


Abb. D-18: Wirth-Raise-Schachtbohranlage für einen Durchmesser bis 7,00 m [2]

Einpressbohrungen sind Bohrungen für Sekundär- und Tertiärfördermaßnahmen. In der Hauptsache zum Einpressen von Salzwasser, Gas, Polymeren oder Heißdampf, um die durch laufende Produktion verloren gehenden Formationsdrücke z. T. zu ersetzen oder (und) einen besseren Entölungsgrad zu erreichen.

Schluckbohrungen dienen überwiegend zur Beseitigung des mitgeförderten und abgeschiedenen Salzwassers, soweit es nicht für Sekundärmaßnahmen eingesetzt wird. Die Einpresshorizonte befinden sich im abgedichteten Teil des Deckgebirges der Ölfelder.

Speicherbohrungen

Kavernenspeicherbohrungen sind großkalibrige Bohrungen, die durch das Deckgebirge bis in einen Salzstock oder eine Salzlagerstätte geführt werden. Sie dienen nacheinander dem Solprozess, der Befüllung mit Gas, Erdöl oder Destillaten, der Entnahme bzw. weiteren Füll- und Entnahmevorgängen.

7541014/10787806875Biblio

Eine Besonderheit bilden Druckluftspeicher, die in Verbindung mit Gasspeichern zur Spitzenstromerzeugung vorgehalten werden. Porenspeicherbohrung und Aquiferspeicherbohrung dienen der Anlage von Gasspeichern im Untergrund.

Geothermische Bohrungen werden in Gebieten geothermischer Anomalien niedergebracht. Die Energie wird entweder bei Vorhandensein von heißen Gesteinen durch Umzirkulieren und Erhitzen von Wasser durch das Bohrloch zu Tage gebracht oder bei anstehendem Wasser in Poren, Rissen oder Klüften in Form von Heißwasser oder Dampf gefördert.

Der Anwendungsbereich von **Stabilisierungsbohrungen** erstreckt sich von der Sicherung von Baugrubenauskleidungen, über Kaimauern, Talsperren, Brückenpfeilern bis zur Sicherung von schweren, ortsfesten Offshore-Plattformen. Beim Pipelinebau auf Felsuntergrund unter Wasser werden Unterwasser-Ankerbohrgeräte für die Befestigung der Leitungsrohre eingesetzt.

Sprenglochbohrungen mit kleinem Durchmesser dienen u. a. beim Verkehrswegebau und ähnlichen Arbeiten im felsigen Untergrund für die Beseitigung von Hindernissen im Sprengverfahren.

10.1.4 Bohrungen für die Wasserversorgung, Brunnenbau

Brunnen können nach allen üblichen Trockenbohrverfahren wie Schlämmen, Stoßen, Schlagen, Drehen sowie nach normalen Rotary-Bohrverfahren mit Spülung, Wasser oder Luft als Zirkulationsmedium oder nach Gegenspülverfahren niedergebracht werden.

Kombinationen aller zuvor beschriebenen Bohrverfahren sind möglich. Das Grundwasser aus Bohrbrunnen wird normalerweise durch Tiefpumpen, z. B. Unterwassertauchpumpen, Unterwasserwellenpumpen, Gestängekolbenpumpen oder Mammutpumpen, gefördert.

Neben Brunnenbohrungen für Trinkwasser- und Industriewassergewinnung werden auch Bohrungen für die Gewinnung von Mineralwässern wie eisenhaltige, arsenhaltige, jodhaltige, schwefelhaltige, radioaktive und radiumhaltige Wässer sowie Kohlensäure-Wässer und Sole geteuft.

Durchmesser der Bohrungen, Teufen und Ausbau der Brunnen richten sich nach der Art des Fördermediums, seiner Lage und Ergiebigkeit der Wasserhorizonte.
In ariden Zonen können Brunnenbohrungen über 500 m tief sein; sehr oft wird dann auch fossiles, d. h. nicht erneuerbares Wasser gefördert.

In Gebieten mit kurzzeitigem hohem Regenanfall (z. B. in Monsun-Regionen), der eine ausreichende Versickerung und Speicherung des Wassers nicht zulässt, werden Sickerbrunnen bis in die zur Förderung genutzten Wasserhorizonte gebohrt, um einen Teil des abfließenden Wassers zu speichern.

Für die Absenkbrunnen im Braunkohlentagebau wird überwiegend das Rotarybohrverfahren eingesetzt, mit dem höhere Leistungen erzielt werden als mit dem Lufthebeverfahren (Abb. D-20).

7541014/10787806875Biblio

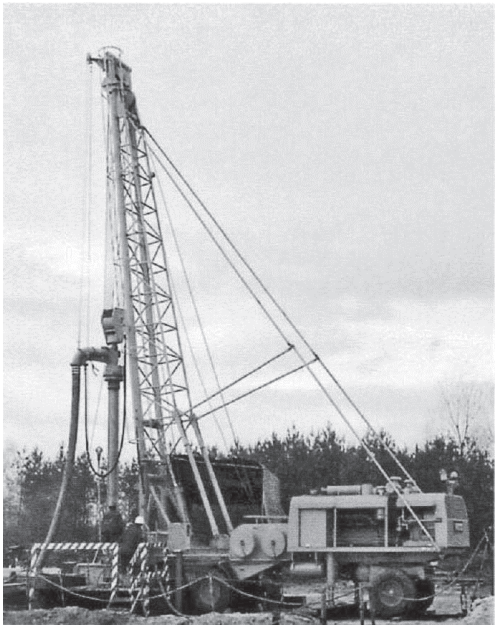


Abb. D-19: Brunnenbohrung mit einer mobilen Wirth-Lufthebe-Bohranlage [2]

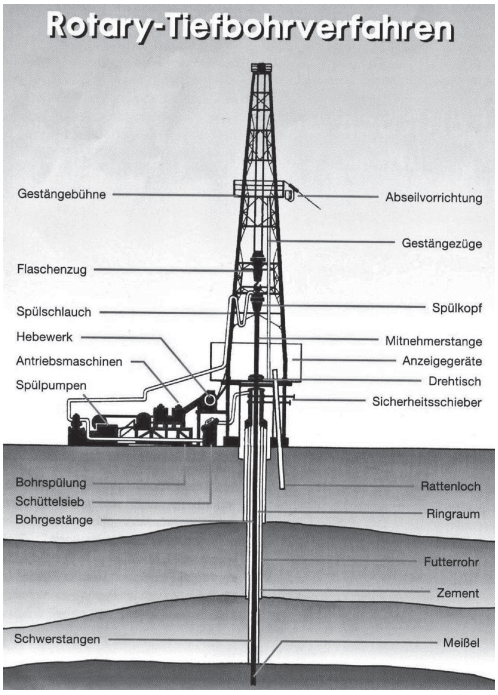


Abb. D-20: Hauptgerätekomponenten einer Rotarybohranlage [2]

7541014/10787806875Biblio

E Grundlagen der Sprengtechnik[15)]

1 Heutige Bedeutung

Der Begriff „Schießarbeit“ für Sprengtechnik wird im Folgenden nicht verwendet. Es heißt ja auch Sprengstoff, Sprengpulver, Gesteinssprengstoff, Sprengkapsel usw., so dass bei nicht Untertagebergleuten der Begriff „Schießmeister“ statt Sprengmeister etwas zur Verwirrung führt. Im Salzbergbau verwendet man schon lange den Begriff „Schießen“ für Sprengen nicht mehr. Das Gleiche gilt für den gesamten Bergtagebau.

Sprengarbeiten unter Tage sind Sprengarbeiten zur untertägigen Mineralgewinnung (z. B. Salz) sowie zur Durchführung von Untertagebauarbeiten, insbesondere Arbeiten zur Herstellung von Richtstrecken, Querschlägen, Flözstrecken, Stollen und Schächten. Es ist dabei Folgendes besonders zu berücksichtigen: Bei der detonativen Umsetzung von Sprengstoffen entstehen gasförmige Produkte, die man als Sprengschwaden bezeichnet (dies trifft auch für Sprengungen über Tage zu). Neben ungiftigen Bestandteilen wie Wasserdampf, Kohlendioxid und Stickstoff treten auch immer gesundheitsschädliche Gase auf. Diese können sein: Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid. Die Gefahr für den Menschen hängt davon ab, wie hoch die Konzentration ist.

Der heutige Bergbau beruht insbesondere beim Auffahren der Rechtstrecken, Querschläge und Flözstrecken zum großen Teil auf der Bohr- und Sprengarbeit, das heißt auf der Verwendung von Sprengstoffen. So findet im gesamten Erzbergbau, im Steinsalz- und Kalibergbau die Hereingewinnung durch Sprengen statt. Zunehmend werden jedoch in Gesteinsbetrieben (Strecken bzw. Stollen) sowie im Salzbergbau Continuous Miner (z. B. bei der Südsalz AG in Heilbronn) und Teilschnittmaschinen eingesetzt.
Durch den Einsatz von Walzenschrämladern und Kohlenhobeln wird der größte Teil der Steinkohle hereingewonnen, so dass hier kaum noch Sprengarbeit zur Anwendung kommt.

Im Bergbau auf Steine und Erden ist sie von erheblicher Bedeutung. Selbst die Erdölgewinnung kann den Sprengstoff nicht gänzlich entbehren. Er wird hier zuweilen zur Ingangsetzung der Förderung der Bohrlöcher benutzt.

Aus den genannten Gründen beziehen sich die nachfolgenden Beschreibungen vorwiegend auf die Anwendung in Schächten und Streckenvortrieben im Untertagebergbau.

Hinweis: Im Tagebau (z. B. Steinbrüche) und im Salzbergbau sind z. T. firmenbezogene Sprengstoffbezeichnungen üblich bzw. möglich. Auch die Handhabung unterscheidet sich teilweise. Es sind z. B. größere Patronenlängen- und -durchmesser üblich.

Größere Mengen können in speziellen Silofahrzeugen transportiert und in die Sprenglöcher gepumpt werden. Näheres zu Sprengarbeiten siehe in den Kapiteln „Bergbau auf Salz“ und „Bergbau auf Festgestein“.

15) Grundlage dieses Kap. ist u. a. der Sprengmeisterlehrgang während des Studiums.

7541014/10787806875Biblio

2 Sprengtechnische Grundbegriffe

Bergbausprengstoffe sind handhabungssichere, chemische Stoffgemische, die durch Zündung an einer einzigen Stelle (Zündherd) zu einer raschen chemischen Umsetzung mit starker Gas- und Wärmeentwicklung gebracht werden können.
Die Umsetzung breitet sich hierbei von dem Zündherd sofort über die gesamte, beliebig große Sprengstoffmenge aus.

Die Spannkraft der so plötzlich entstehenden hocherhitzten Gase ist die Ursache für das plötzliche Auseinandertreiben, d. h. für die Sprengung, und muss der geforderten Sprengwirkung genügen. Entsprechend der Begriffsbestimmung des VDI nennt man eine solche auf dem Ausdehnungsbestreben von Gasen und Dämpfen beruhende, plötzlich verlaufende Kraftäußerung allgemein auch Explosion.

Die gewerblichen Sprengstoffe bestehen aus brennbaren, hauptsächlich kohlenstoff- und wasserstoffhaltigen Bestandteilen, die entweder durch chemische Koppelung oder durch einfache Zumischung von Sauerstoff abgebenden Bestandteilen zu dieser plötzlichen Umsetzung unter Freiwerden von Wärme und Gas befähigt sind.

2.1 Deflagration und Detonation

Die **Deflagration** ist eine explosive Reaktion von Sprengstoffen, bei der die Beteiligung von Luftsauerstoff ausgeschlossen ist. Die ungerichtete Reaktion pflanzt sich durch den Sprengstoff mit nicht konstanter Geschwindigkeit in einer oder mehreren breiten Flammenzonen fort. Zur Aufrechterhaltung der Reaktion ist der Wärmeübergang von der Reaktionszone in den Sprengstoff Voraussetzung. Die Umsetzungsgeschwindigkeit kann dabei beträchtliche Werte annehmen, ist aber stets kleiner als die Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Sprengstoff.

Die Heftigkeit der deflagrativen Umsetzung der Sprengstoffe hängt in entscheidender Weise von den Umgebungsbedingungen ab. So bewirken eine hohe Umgebungstemperatur und ein hoher Umgebungsdruck eine beträchtliche Zunahme der Deflagrationsgeschwindigkeit. Da aber die Umsetzung der Sprengstoffe in einer Deflagration nicht vollständig verläuft, ist ihre Wirkung geringer als die einer Detonation.

Die **Detonation** der Sprengstoffe ist deren vollständige Umsetzung in einer explosiven Reaktion, die stets mit Überschallgeschwindigkeit unter Freisetzung sehr großer Energiemengen in extrem kurzen Zeiträumen abläuft. Die Detonation spielt sich in einer eng begrenzten Reaktionszone ab, in der große Gas- und Wärmemengen entwickelt werden, die wegen der sehr hohen Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht an die Umgebung abgeführt werden können. Dadurch entstehen in der Detonationszone Drücke von mehr als 200 bar (20 GPa) und Temperaturen von mehreren Tausend Kelvin.

2.2 Empfindlichkeit von Sprengstoffen

Als Empfindlichkeit der Sprengstoffe wird die Fähigkeit der explosiven Stoffe bezeichnet, sich bei Energiezufuhr durch äußere Beanspruchung explosionsartig umzusetzen.

Unter dem Begriff **Entzündlichkeit** wird die thermische Empfindlichkeit der Sprengstoffe bezeichnet.

7541014/10787806875Biblio

Die **Schlagempfindlichkeit** und die **Stoßbeanspruchung** sind wesentliche Eigenschaften der Sprengstoffe, da hierdurch immer wieder unerwartete Explosionen entstehen. Hier sind in erster Linie Erdarbeiten (Baggertätigkeit), Ladearbeiten, Handhabung mit Drucklufthämmern, Fallgewichte, aber auch einfache Handarbeit, z. B. mit der Hacke, zu nennen.

3 Sprengstoffe

3.1 Einteilung der Sprengstoffe

Gemäß der amtlichen Liste der für den Bergbau geeigneten Sprengmittel kommen für den Bergbau nachstehend angeführte Sprengstoffe vornehmlich in Betracht:

A. Gesteinssprengstoffe

1. Pulversprengstoffe (Sprengpulver, Sprengsalpeter) haben eine niedrige Dichte von 0,8–1,0 g/cm³ und sind nicht wasserfest,
2. Gelatinöse Sprengstoffe haben eine hohe Dichte von ca. 1,5–1,6 g/cm³, gute Wasserfestigkeit und brisante Wirkung,
3. Emulsionssprengstoffe haben gegenüber gelatinösen Sprengstoffen eine etwas geringere Dichte von ca. 1,2 g/cm³, haben aber auch eine brisante Wirkung.

Übliche Sprengstoffe:

4. Dynamit 1,
5. Ammonsalpetersprengstoffe (Ammon-Gelit 1, 2 und 3),
6. Ammonsalpetersprengstoffe mit Nitroglyzerinzusatz (Donarit),
7. Chloratsprengstoffe (Chloratit 1).

B. Wettersprengstoffe

1. Wettersprengstoffe der Klasse I,
2. Gelatinöse Wettersprengstoffe,
3. Ammonsalpeter-Wettersprengstoffe,
4. Wettersprengstoffe der Klasse II,
5. Wettersprengstoffe der Klasse III.

3.2 Pulversprengstoffe

Die Pulversprengstoffe haben im Bergbau nur noch untergeordnete Bedeutung. Das Sprengpulver, das alte Schwarzpulver, ist ein inniges Gemisch aus 63 % bis 77 % Kalisalpeter mit Holzkohle und Schwefel.

Der Kalisalpeter gibt den zur Verbrennung der Holzkohle und des Schwefels nötigen Sauerstoff her. Der Zusatz von Schwefel erleichtert die Zündung und ist für die Gleichmäßigkeit der Verbrennung und ihre Geschwindigkeit notwendig.

Im Sprengsalpeter ist der Kalisalpeter ganz oder teilweise durch Natronsalpeter ersetzt. Der billigere Sprengsalpeter wird komprimiert vereinzelt noch im Salzbergbau verwendet.

7541014/10787806875Biblio

3.3 Brisante Gesteinssprengstoffe

Die brisanten Gesteinssprengstoffe dürfen nur in rotem Patronenpapier an den Bergbau abgegeben werden. Auch die Sprengstoffpakete müssen in rotes Papier eingeschlagen sein. Der Durchmesser der Patronen beträgt in der Regel 25 mm bis 30 mm. Ihr Gewicht beläuft sich meist auf 100 g bis 125 g, entsprechend einer Länge von 12,5 cm. Zwecks Einsparung von Zeit beim Laden der Bohrungen wird auch von 25 cm oder noch längeren Patronen Gebrauch gemacht. Für Großbohrlochsprengungen sind Patronen von 50 mm Durchmesser und 1,25 kg Gewicht sowie von 65 mm oder 80 mm Durchmesser und 2,5 kg Gewicht üblich. Überwiegend wird heute bei Großbohrlochsprengungen loser Sprengstoff mittels spezieller Sprengstoff-Fahrzeuge eingeblasen. Es können auch spezielle Patronen für nasse Bohrlöcher in Kunststoffschläuche verpackt geliefert werden.

Bevor die Sprengstoffe selbst beschrieben werden, sei kurz auf das Sprengöl und die Kollodiumwolle eingegangen, die beim Aufbau der Sprengstoffe von großer Bedeutung sind.

Sprengöl ist der Hauptbestandteil der Dynamite und der gelatinösen Ammonsalpetersprengstoffe. Es ist zumeist ein Gemisch aus Nitroglyzerin und Nitroglykol; Nitroglyzerin allein wird wegen seiner leichten Gefrierbarkeit selten verwandt. Das Sprengöl ist fast unlöslich in Wasser. Es ist gegen Schlag, Stoß und Reibung sehr empfindlich und kommt dabei leicht zur Explosion. Es gehört zu den Sprengstoffen mit geringem Sauerstoffüberschuss in den Nachschwaden.

Die Nachteile des Nitroglyzerins, die in seiner leichten Gefrierbarkeit bei +8 °C sowie in den Gefahren der Handhabung hartgefrorener Patronen und deren Auftauen bestehen, sind durch ein Gemisch aus Nitroglyzerin und Nitroglykol überwunden. Das gemischte Sprengöl gefriert auch bei stärkstem Frost nicht.

Kollodiumwolle ist ein Zellulosenitrat (Nitrozellulose). Sie entsteht bei der Einwirkung von Salpetersäure auf Baumwolle oder Holzzellstoff. Sie quillt in Sprengöl auf und bildet mit ihm schließlich ein beständiges gallertartiges Sprengöl, welches kein Sprengöl austreten lässt.

Dynamit 1 besteht aus 65 % gelatiniertem Sprengöl; der Rest ist ein aus Natronsalpeter und Holzmehl bestehendes Zumischpulver.
Mit einer Dichte von 1,53 g/cm³, einer Detonationsgeschwindigkeit von 6.350 m/s und einer spezifischen Energie von 96 mt/kg kommt Dynamit 1 dem Ammon-Gelit 3 in seiner Wirkung sehr nahe. Dynamit 1 ist nicht zum Stückgutversand zugelassen.

- **Gelatinöse Ammonsalpetersprengstoffe, Ammon-Gelite 1, 2, 3**

Bei den **gelatinösen Ammonsalpetersprengstoffen** ist dem Ammonsalpeter gelatiniertes Sprengöl und ein hauptsächlich aus Natronsalpeter, Holzmehl und Nitroprodukten des Toluols bestehendes Zumischpulver zugesetzt.

In gelatiniertem Sprengöl enthält Ammon-Gelit 1 40 %, Ammon-Gelit 2 30 % und Ammon-Gelit 3 23 % Sprengöl. Diese Sprengstoffe ähneln in ihrer äußeren Erscheinung dem gewöhnlichen Brotteig. Mit abnehmendem Gehalt an gelatiniertem Sprengöl nimmt die Empfindlichkeit gegen Wasser und Feuchtigkeit zu, jedoch sind die schwächsten noch in nassen Bohrlöchern anwendbar. Ihre Dichte ist etwa 1,6. Die Ammon-Gelite sind wegen ihrer gegenüber Dynamit 1 besseren Handhabungssicherheit zum Stückgutversand zugelassen.

7541014/10787806875Biblio

Pulverförmige Ammonsalpetersprengstoffe mit und ohne Nitroglyzerin bestehen zu etwa 80 % aus Ammonsalpeter, der Rest sind brennbare und explosible Bestandteile. Außerdem enthalten sie 4 % bis 6 % Sprengöl zwecks Verbesserung der Detonationsfähigkeit.

3.4 Wettersprengstoffe

Im Steinkohlenbergbau müssen beim Sprengen zwei Gefahrenquellen besonders beachtet werden:

- das Auftreten von flugfähigem Kohlenstaub
- die Methanausgasung.

Würde in diesen Betrieben mit Sprengstoffen der bisher beschriebenen Art gesprengt werden, so bestünde die Möglichkeit des Zündens etwa vorhandener Schlagwettergemische, durch die im weiteren Verlaufe eine Kohlenstaubexplosion ausgelöst werden könnte. Es genügen Bruchteile eines Grammes Schwarzpulver und wenige Gramm Dynamit, wenn sie unbesetzt im Bohrloch oder gar freiliegend detonieren, um Zündungen herbeizuführen. Auch Kohlenstaubaufwirbelungen ohne Schlagwetterbeimengungen werden in den Versuchsstrecken bei unbesetzten Sprenglöchern durch Ladungen von 40 g bis 80 g Schwarzpulver oder Dynamit mit Sicherheit gezündet. Es war daher notwendig, eine neue Gruppe von Sprengstoffen zu schaffen, die auf Grund ihrer Zusammensetzung einen möglichst hohen Grad von Sicherheit gegen Kohlenstaub und Methangemische bieten. Man nennt diese Wettersprengstoffe.

3.4.1 Begriffsbestimmung

Eine bestimmte Umgrenzung des Begriffs „Wettersprengstoff“ kann es nicht geben, da die einzelnen Wettersprengstoffarten eine unterschiedliche Sicherheit gegenüber Schlagwetter und Kohlenstaub bieten. Jedenfalls müssen sie eine wesentlich höhere Sicherheit gegenüber der Schlagwetter- und Kohlenstaubgefahr besitzen als die Gesteinssprengstoffe.

Wo man die Grenze zu ziehen hat, ist jedoch zu verschiedenen Zeiten und in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich gehandhabt worden. In Deutschland sind die Prüfung und das Verhalten der Sprengstoffe beim Sprengen unter scharfen Bedingungen in einer Versuchsstrecke zur Grundlage ihrer Beurteilung gemacht worden.

Mit zunehmender Sicherheit gegen Schlagwetter werden die Wettersprengstoffe in die Klassen I, II und III eingeteilt:

- Wettersprengstoffe der Klasse I (Umhüllung gelblich weiß).
- Wettersprengstoffe der Klasse II (Umhüllung gelblich weiß mit grünen Streifen).
- Wettersprengstoffe der Klasse III (Umhüllung grün).

Die Farbunterschiede in der Umhüllung dienen zur guten Kenntlichmachung der einzelnen Sprengstoffarten und sind sowohl für das Einschlagpapier der Sprengstoffpakete als auch für das Patronenpapier vorgeschrieben.

Der Aufdruck auf den Paketen soll den Namen und die Art des Sprengstoffes angeben. Der Patronendurchmesser beträgt bei Klassen I und III 30 und 32 mm; bei Klasse II 32 mm.

7541014/10787806875Biblio

Die Patronen wiegen 100 g bis 125 g. Je nach der Art des Sprengstoffs schwankt die Patronenlänge zwischen 10 cm und 13 cm oder beträgt ein Mehrfaches dieser Werte. Die Patronen können zum Schutz gegen Nässe in Kunststoffschläuchen geliefert werden.

3.4.2 Ursachen der Schlagwetter- und Kohlenstaubzündung

Die Zündung der schlagenden Wetter im Gefolge der Sprengarbeit kann durch eine Reihe von Ursachen ausgelöst oder beeinflusst werden. Von erheblichem Einfluss ist in Verbindung mit der Einwirkungszeit die Temperatur in der Detonationszone oder der Schwaden. Je niedriger die Temperatur der Umsetzungserzeugnisse und je kürzer deren Einwirkungsdauer ist, umso mehr sinkt die Gefahr.

Weiter kann die Zündung durch adiabatische Kompression der Schlagwetter oder durch die Einwirkung einer Stoßwelle ausgelöst werden. Die Gefahr dieser Zündursachen nimmt mit der Brisanz und mit der Sprengleistung zu und ist bei einer unverdämmten Ladung oder Kantensprengung wesentlich größer als bei einer gut verdämmten Sprengung, bei der die Druckstöße und die Spannkraft der Gase durch Arbeitsleistung an der Vorgabe wesentlich herabgemindert worden sind.

Eine große Rolle spielt auch die Detonationsübertragungsfähigkeit, die möglichst gut sein soll. Lässt sie zu wünschen übrig, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass in mehr oder weniger großer Menge undetonierte Sprengstoffteilchen übrigbleiben, die bei unbesetzten oder freigelegten Ladungen deflagrierend, d. h. brennend, die Schwadenwolke durchbrechen und explosible Gase zünden können.

Ist die Schwadenwolke groß, so ist es leichter möglich, dass diese Teilchen eingehüllt bleiben und vor der Berührung mit Schlagwettern geschützt werden. Bei kleiner Schwadenwolke ist dieses nicht so leicht der Fall.

Durch seltene Nebenumstände kann die Detonation in einem Bohrloch zum Stillstand kommen. Der übriggebliebene Ladungsrest wird dann entweder im Haufwerk oder in der Bohrlochpfeife aufgefunden. In einigen wenigen Fällen sind solche Patronen zu einer langsamen Nachreaktion (Deflagration) oder gar zu einer Nachdetonation gekommen.

Zur Herabsetzung der Umsetzungstemperatur, der Länge der Explosionsflamme und ihrer Dauer – womit allerdings auch eine empfindliche Verringerung der Brisanz und Sprengkraft verbunden ist – dient seit vielen Jahren der Zusatz inerter Stoffe, von denen sich am besten das Kochsalz bewährt hat. Hiervon macht man auch heute noch bei den Wettersprengstoffen der Klasse I Gebrauch.

In den letzten Jahren ist es gelungen, die Sicherheit noch wesentlich durch den sogenannten Ionentausch zu erhöhen. Diese neuen Sprengstoffe – sie gehören den Klassen II und III an – enthalten nicht Ammonsalpeter und Kochsalz, sondern Ammonchlorid und Natron- oder Kalisalpeter. Das flammenkühlend wirkende Kochsalz ist also nicht von vornherein in freiem Zustand vorhanden. Vielmehr bildet es sich bei diesen Sprengstoffen erst während der Detonation und ist infolgedessen ungleich wirksamer.

Weiterhin macht man bei ihnen von dem die Sicherheit erhöhenden Einfluss einer genauen Einstellung der Korngrößen sowie von einer zusätzlichen Oberflächenbehandlung der Kornteilchen Gebrauch.

7541014/10787806875Biblio

Die anfängliche Feuchtigkeitsempfindlichkeit dieser Sprengstoffe konnte inzwischen so herabgedrückt werden, dass die Patronen auch in wassergefüllten Bohrlöchern ihre Detonationsfähigkeit behalten.

- **Wettersprengstoffe der Klasse I**

In Deutschland werden zwei Sprengstoffgruppen dieser Klasse benutzt:

a) Die gelatinöse Gruppe mit den Sprengstoffen Wetter-Nobelit B und Wetter-Wasagit B. Sie leiten sich von den Ammongeliten ab.

Hinweis: Die Markenbezeichnungen können sich inzwischen geändert haben.

b) Die Ammonsalpeter-Gruppe mit den Sprengstoffen Wetter-Detonit A und Wetter-Westfalit A. Sie leiten sich von den Donariten ab.

Wetter-Nobelit B und Wetter-Wasagit B werden am meisten gebraucht. Es sind dies Sprengstoffe, die außer Ammonsalpeter und Kochsalz 30 % gelatiniertes Sprengöl enthalten.

Wegen ihres hohen Gehaltes an gelatiniertem Sprengöl sind sie plastisch und weitgehend unempfindlich gegen Feuchtigkeit. Ihre Dichte ist mit 1,69 g/cm³ hoch, Wetter-Detonit A und Wetter-Westfalit A enthalten nur bis zu 6 % Sprengöl, etwa 72 % Ammonsalpeter, einige Prozente Kohlenwasserstoffe und als inerten Zusatz bis zu 18 % Kochsalz.

- **Wettersprengstoffe der Klasse II**

Die Wettersprengstoffe der Klasse II heißen Wetter-Energit und Wetter-Roburit A. Sie bestehen zu rd. 85 % aus einem molekularen Gemisch von Ammonchlorid und Natronsalpeter mit Zusatz von 11 % Sprengöl.

- **Wettersprengstoffe der Klasse III**

Die Wettersprengstoffe der Klasse III enthalten rd. 90 % Ammonchlorid und Kalisalpeter mit einem Sprengölzusatz von nur etwa 9 %. Ihre Sprengkraft erreicht etwa die der früheren ummantelten Sprengstoffe der Klasse II.

Dafür sind sie nicht nur gegen Kohlenstaub sicher – das gilt auch für die Sprengstoffe der Klassen I und II, vielmehr dürfte mit ihnen auch eine absolute Sicherheit gegen Schlagwetter erreicht worden sein. Sie sind unter den Namen Wetter-Carbonit B und Wetter-Sekurit B zugelassen.

Die auch zur Klasse III gehörigen Sprengstoffe Wetter-Astralit A und Wetter-Bikarbit A werden praktisch nicht mehr benutzt. Sie dienten beim kombinierten Schießen als „Übertragungssprengstoff“. Auch war der Mantel der früheren ummantelten Patronen der Klasse II aus ihnen zusammengesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Tabelle der üblichen Sprengstoffe

Sprengstoff	Dichte g/cm³	Detonationsgeschwindigkeit m/sek	Expl.-Temp. °C	Spezifische Energie mt/kg	Bleiblockausbauchg. cm³	Stoßdruck 1000 at
Ammon-Gelit 1 . . .	1,47	6800	3375	113,7	450	135
Ammon-Gelit 3 . . .	1,53	6150	3050	101,3	380	112
Donarit 1	1,00	4850	2710	101,3	375	57,5
Wetter-Nobelit B . .	1,69	5650	2080	44,5	190	92,5
Wetter-Energit A . .	1,23	1900	1715	43,8	110	10
Wetter-Carbonit B .	1,20	1500	1385	33,0	75	6

Die Tabelle lässt die große Verschiedenartigkeit der Sprengstoffe erkennen. Es ist die Aufgabe des Sprengingenieurs, unter Beachtung der bergbehördlichen Vorschriften den für den jeweiligen praktischen Fall günstigsten Sprengstoff zu wählen und entsprechend einzusetzen.

3.4.3 Wichtige Vorgaben für die Sprengarbeit

Um für Hartgestein den erforderlichen Sprengerfolg zu erzielen, ist ein Sprengstoff mit der nötigen Brisanz einzusetzen. Geeignet sind gelatinöse Sprengstoffe und Emulsionssprengstoffe.

Die eingesetzten Sprengstoffe sollen eine **Vorgabe** werfen. Die Vorgabe ist dabei die kürzeste Entfernung zwischen der Ladung und der nächstgelegenen freien Fläche. Die Größe der Vorgabe hängt entscheidend ab von

- der Sprengbarkeit des Gesteins,
- der Art (Dichte) und Menge des Sprengstoffs, die man im Laderaum (Bohrloch) unterbringt.

Wichtig ist eine gute Ausnutzung des Bohrlochvolumens. Hierdurch kann Bohrarbeit eingespart werden.

Die sog. **Verspannung** ist bei der Sprengarbeit unter Tage sehr wichtig. Sie ist bei Übertagesprengungen wesentlich geringer, da zwei freie Flächen zur Verfügung stehen, während unter Tage meist nur eine freie Fläche vorhanden ist. Die zweite Fläche muss zunächst durch den Einbruch geschaffen werden, der die Verspannung löst.

Die Emulsionssprengstoffe haben in sicherheitstechnischer Hinsicht eindeutige Vorteile gegenüber gelatinösen Sprengstoffen, da

- Emulsionen kein Sprengöl enthalten und somit keine Kopfschmerzen beim Ladevorgang auftreten können.
- In den Schwaden sind deutlich weniger Schadstoffe enthalten. Dadurch kann u. a. die erforderliche Wartezeit verkürzt werden und die Bewetterungsleistung geringer sein.

7541014/10787806875Biblio

3.4.4 Sicherheitsrelevante Hinweise

Für Sprengungen unter Tage sind spezielle Regelungen und Vorschriften der Bergbehörden und Tiefbauberufsgenossenschaften (z. B. BG Bau 160 – Absatz 17: Sprengarbeiten) zu beachten. Diese enthalten bezüglich der schädlichen Einwirkungen von Sprengschwaden folgende Hinweise:

- Sprengschwaden enthalten immer gesundheitsgefährdende Anteile an tödlichen Gasen! Kurz nach der Sprengung sind sie vor Ort unverdünnt.
- Warten, bis die Schwaden durch die Belüftung aus dem Ort abgeführt sind.
- Wasser- oder Pastenbesatz vermindert die Schadstoffe um bis zu 25 %.
- Auf eine gute Wetterführung achten, vor allem auf intakte Lutten.
- Nur so viel Sprengstoff einsetzen, wie er zum einwandfreien Sprengen eines Abschlags unbedingt notwendig ist.
- Auf ein gutes Verhältnis zwischen Bohrloch- und Patronendurchmesser (max. 1:1,3) achten.
- Emulsionssprengstoffe einsetzen.
- Schwadencontainer einsetzen und benutzen.
- Sprengungen nach Möglichkeit am Schichtende durchführen. (Dies wird im Salzbergbau schon seit langem praktiziert.)

4 Zündmittel

4.1 Sprengkapseln

Sprengpulver und Sprengsalpeter können unmittelbar durch eine Stichflamme zur Explosion gebracht werden. Bei den brisanten Sprengstoffen genügt die einfache Flamme nicht.

Es muss eine plötzliche Druckwirkung als Anstoß der Explosion hinzukommen. Hierfür bedient man sich der von Alfred Nobel erfundenen Sprengkapsel.
Diese wird durch den Feuerstrahl der Zündschnur oder des elektrischen Zünders zur Explosion gebracht und bewirkt dadurch die sichere Auslösung der Detonation des Sprengstoffes.

4.2 Aufbau der Sprengkapseln

Die heute gebräuchlichen Sprengkapseln enthalten zwei Ladungen (Abb. E-1). Die Sekundär- oder Bodenladung besteht aus einem hochverdichteten, brisanten Sprengstoff, meist Tetryl, Nitropenta oder Hexogen. Auf diese Sekundärladung ist die Primärladung aus einem hochempfindlichen Initialsprengstoff gepresst, die durch ein Innenhütchen mit Loch eingeschlossen und geschützt ist. Der Sprühstrahl der Zündschnur oder des elektrischen Zünders wirkt durch das Loch auf den Initialsprengstoff der Primärladung. Dessen Zündung ergreift den hochbrisanten Sprengstoff der Sekundärladung, wodurch ein starker Detonationsstoß erzeugt wird, der alsdann die Detonation der Sprengladung auslöst.

7541014/10787806875Biblio

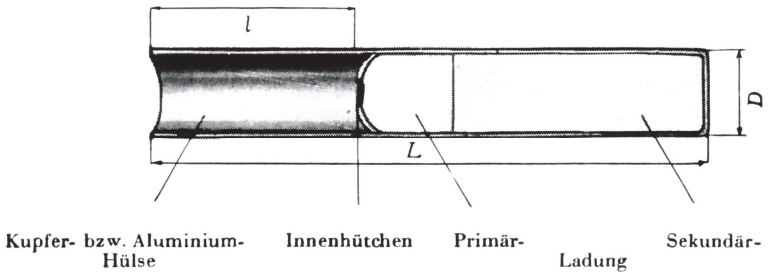


Abb. E-1: Schnitt durch eine Sprengkapsel [1]

Die Kapselhülsen werden aus Kupfer oder Aluminium hergestellt. Die Kupferkapseln enthalten als Primärladung Knallquecksilber.

Aluminiumkapseln sind dagegen für Knallquecksilber nicht geeignet, weil das Aluminium Umsetzungen mit dem Knallquecksilber eingeht, die eine allmähliche Zerstörung der Hülse zur Folge haben. Die Aluminiumkapseln enthalten als Primärladung daher ein Gemisch aus Bleiazid und Bleitrinitroresorzinat, das den Vorzug einer hohen Anzündempfindlichkeit und einer geringen Feuchtigkeitsempfindlichkeit hat.

Es auch für offene Kupfersprengkapseln zu verwenden, ist deshalb unmöglich, da Bleiazid unter Einwirkung feuchter, kohlensäurehaltiger Luft mit Kupfer ein sehr reibungsempfindliches Kupferazid bildet, wodurch die Handhabung solcher Kapseln sehr gefährlich würde. In den elektrischen Spreng- und Sprengzeitzündern kann dagegen Bleiazid in Kupfersprengkapseln benutzt werden, da diese Zünder luftdicht abgeschlossen sind.

Die Sprengkapseln werden in verschiedenen Abmessungen mit den Nr. 6, 7 und 8 hergestellt. Am gebräuchlichsten ist Nr. 8. Sie ist 45 mm lang und hat einen Durchmesser von 6,85 mm.

4.3 Handhabungssicherheit der Sprengkapseln

Wegen der großen Empfindlichkeit des Knallsatzes (gleichgültig, ob er aus Knallquecksilber oder Bleiazid besteht) gegen Stoß, Schlag und Reibung müssen die Sprengkapseln vor allen derartigen Beanspruchungen bewahrt bleiben. Eine Gefahr für den Knallsatz liegt hauptsächlich bei unvorsichtigem Anwürgen der Kapsel an die Zündschnur vor. Um dieser Gefahr zu begegnen, ist für alle Kapseln, die im Bergbau Verwendung finden sollen, vorgeschrieben, dass der Leerraum der Kapseln über dem Knallsatz eine Höhe von mindestens 15 mm hat.

4.3.1 Vergleich zwischen Kupfer- und Aluminiumkapseln

In ihrer Zündwirkung auf die Sprengstoffladung sind die Kupferkapseln mit Knallquecksilberfüllung und die Aluminiumkapseln mit einer Ladung aus Bleiazid und Bleitrinitroresorzinat einander gleichwertig.

Wegen ihrer Billigkeit und Lagerbeständigkeit ist die Aluminiumkapsel weit verbreitet. In Schlagwettergruben ist sie jedoch nicht zugelassen und die ausschließliche Verwendung von Kupferkapseln vorgeschrieben, da die von kleinen Sprengladungen (z. B. von Knappschüssen) entwickelte Wärmemenge nicht ausreicht, sämtliche Splitter der Aluminiumhülse schon im Bohrloch völlig zu verbrennen. Infolgedessen können weißglühende Aluminiumteilchen aus dem Bohrloch geschleudert werden und Schlagwetter

7541014/10787806875Biblio

entzünden. Bei Kupferhülsen liegt diese Gefahr nicht vor, da Kupfer viel schwerer brennbar ist und etwa glühend aus dem Bohrloch herausgeschleuderte Teilchen auf ihrem Wege durch die Luft nicht verbrennen, sich vielmehr schnell abkühlen.

4.3.2 Zündschnur und Sprengschnur

Bei den Pulversprengstoffen, die schon durch eine Flamme gezündet werden können, genügt die Zündung durch die Zündschnur.
Zur Auslösung der Detonation eines brisanten Sprengstoffes ist dagegen die Detonation einer Sprengkapsel oder die einer Sprengschnur erforderlich. Auch die Sprengschnur bedarf der Detonation einer Sprengkapsel zur Auslösung der eigenen.

Nur die Detonation der Sprengkapsel wird durch eine Flamme ausgelöst, die entweder von einer Zündschnur – Zündschnurzündung – oder von einem elektrischen Zünder – elektrische Zündung – geliefert wird.

Die Zündschnurzündung ist im Erz- und Salzbergbau verbreitet, während im Steinkohlenbergbau die elektrische Zündung durchaus vorherrscht und hier auf Schlagwettergruben als alleinige Zündart vorgeschrieben ist.
In Steinbrüchen ist die Zündung mit Sprengschnur oder elektrischen Zündern üblich (siehe hierzu Kap. Bergbau auf Festgestein).

- **Zündschnur**

Jede Zündschnur besteht aus einer Pulverseele, dem Pulverschlauch und der Umspinnung. Die Pulverseele ist ein langsam abbrennender Pulversatz, der sich in einem Pulverschlauch aus Jute oder einem ähnlichen Stoff befindet. Um den Pulverschlauch sind spiralig von Lage zu Lage in wechselndem Umdrehungssinn die einzelnen Umspinnungen aus Jute oder Baumwolle gewickelt. Die Umspinnungen können noch einen oder mehrere Überzüge haben. Es ist bisher nicht gelungen, eine unter allen Umständen schlagwettersichere Zündschnur herzustellen, was zu ihrem Verbot für schlagwettergefährdete Gruben geführt hat.

Die billigen und für gewöhnliche Verhältnisse geeigneten weißen Zündschnüre müssen mindestens zwei Umspinnungen haben. Der oberste Überzug besteht meist aus einem Gemisch aus Kreide und Leim. Besser und auch an mäßig feuchten Arbeitspunkten verwendbar sind geteerte Zündschnüre, die neben einer zweifachen Umspinnung außen mit Teer oder Bitumen überzogen sind. Blanke, wasserdichte Zündschnüre sind meist mit Mipolam umhüllt. Ist die Mipolamhülle zum Schutz gegen mechanische Beschädigung mit einer weiteren Umspinnung versehen, so spricht man von einer geschützten, wasserdichten Zündschnur.

Die Pulverseele muss eine mittlere Brenndauer haben, die nicht weniger als 115 und nicht mehr als 125 s/m beträgt. Die Ermittlung der Brenndauer findet sofort nach der Anlieferung statt sowie nach zwei- und vierwöchiger Lagerung, und zwar bei Zimmertemperatur, ferner nach Warm- und Feuchtlagerung.

Schwankungen der Brenndauer in gewissen Grenzen sind unvermeidlich, da die Dicke und die Dichte der Pulverseele nie völlig gleichmäßig sind. Jedoch darf die Brenndauer der einzelnen Zündschnurstücke von der mittleren Brenndauer um nicht mehr als + 10 s für 1 m abweichen. Eine gewünschte Sprengfolge kann durch verschiedene Zündschnurlängen herbeigeführt werden.

7541014/10787806875Biblio

Stärkere Verlangsamungen der Brenngeschwindigkeit sind dadurch zu erklären, dass die Pulverseele auf eine kürzere oder längere Strecke unterbrochen ist. Eine solche Unterbrechung kann bei Mehrfachzündung durch das Sprengstück einer vorher gekommenen Zündung verursacht werden.

Die Schnur kann langsam in sich weiterglimmen, bis der Funke wieder die Pulverseele erreicht und mit der ordnungsmäßigen Geschwindigkeit weiterläuft.
Steigerungen der normalen Brenngeschwindigkeit werden im Allgemeinen dadurch verursacht, dass die Pulvergase aus der Schnur nicht genügend entweichen können und daher das Pulver unter hohen Gasdruck setzen. Erhöhter Gasdruck hat aber eine größere Brenngeschwindigkeit zur Folge. Es ist möglich, dass ein sehr festgestampfter, langer Besatz Veranlassung zu einer gesteigerten Brenngeschwindigkeit der Zündschnur ist. Bei Sprengungen in tiefem Wasser kann schon der Druck der Wassersäule eine erhöhte Brenngeschwindigkeit bewirken.

4.3.3 Verbindung mit der Sprengkapsel

Zur Initiierung des Sprengstoffes ist bei der gewöhnlichen Zündschnur eine Sprengkapsel erforderlich, deren Initiierwirkung mindestens so groß sein muss wie die der Normalkapsel Nr. 8.

Vor dem Einführen der Zündschnur muss das im Leerraum etwa befindliche Sägemehl durch Ausklopfen entfernt werden, da Sprengkapseln mit Sägemehlresten Zündversager verursachen. Die Zündschnur muss gerade, d. h. senkrecht zur Pulverseele abgeschnitten werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Pulverseele nicht ausrieselt. Die Zündschnur muss bis zur Zündfläche der Sprengkapsel eingeführt werden, wobei jede drehende Bewegung zu vermeiden ist. Die Befestigung der Sprengkapsel auf der Zündschnur wird in der Regel mit der Anwürgezange vorgenommen und die Kapsel in die Sprengpatrone versenkt.

Das Ankneifen mit den Zähnen ist lebensgefährlich und gibt zudem keine feste und dichte Verbindung. Eine Weiterbildung der Anwürgezange ist der zündungsfeste Anwürgeapparat, dessen Verwendung sich für Großverbraucher empfiehlt.

4.3.4 Anzünden der Zündschnur

In schlagwetterfreien Gruben verwendet man an wenig feuchten Betriebspunkten und besonders bei Zündung bis zu vier Ladungen zum Anzünden der Schnur die kräftig eingestellte Flamme der Azetylenlampe. Das Zündschnurende wird zweckmäßig parallel der Längsachse etwas aufgeschnitten, um die Pulverseele freizulegen.

Ist der Betriebspunkt feucht, so bestreicht man die Schnurenden mit hochbrennbarer Zündpaste, um die Sicherheit der Zündung zu vergrößern.

In Betrieben, in denen mehr als vier Ladungen in einem Zündgang gezündet werden, empfiehlt es sich, statt der Lampe Zündschnuranzünder oder Zündlichter zu verwenden.

Zündlichter bestehen aus Papierhülsen, die mit einem Brennsatz gefüllt und am unteren Ende mit einem Pappstöpsel verschlossen sind. Am oberen Ende befindet sich ein Zündkopf, mit dem man das Zündlicht nach Art eines Streichholzes an einer Reibfläche entflammen kann. Zündlichter ohne Zündkopf können an der Karbidlampe entzündet werden.

7541014/10787806875Biblio

Die Brenndauer des Zündlichtes muss zwischen 54 und 66 s liegen und entspricht somit der Brenndauer einer Zündschnur von 112 m Länge. Als Neuerung ist das in das Zündlicht eingebaute Warnlicht zu erwähnen. Es besteht darin, dass sich die Flammenfärbung nach Ablauf einer gewissen Zeit ändert und dadurch anzeigt, dass das Zündlicht nur noch eine gewisse Zeitspanne brennt.

Schließlich sei der **Reißzünder** (Abb. E-2) erwähnt. Er besteht aus der Papphülse **a**, deren eines Ende zusammengepresst und durch eine Haltevorrichtung **b** verstärkt ist. Sie verhindert ein Herausgleiten der Zündschnur aus der Papphülse durch den Gasdruck.

Durch ein gelochtes Zündhütchen **c** ist ein Draht **d** geführt, der an einem Ende der Hülse herausragt.

Durch rasches Herausziehen des Drahtes wird im Zündhütchen Reibungswärme erzeugt, die den darin enthaltenen Zündsatz entflammt und damit die Zündschnurzündung einleitet. Die Reißzünder sind allerdings heute durch Zündlichter und die Anzündlitze weitgehend verdrängt worden.

Soll eine Vielzahl von Zündungen mit Zündschnurzündung gleichzeitig abgetan werden, so empfiehlt sich die Verwendung der **Anzündlitze**. Das ist eine Zündschnur mit einer Brenndauer von 6–10 s/m, in deren Pulverseele ein dünner Metalldraht zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit liegt. Die Anzündlitze brennt im Gegensatz zur normalen Zündschnur mit offener Flamme. Beim Sprengen mit der Anzündlitze wird die Sprengkapsel jeder Ladung nur mit einem kurzen Stück normaler Zündschnur versehen.

Die Enden dieser Zündschnüre werden über die durchgehende Anzündlitze in der Reihenfolge, wie die Ladungen kommen sollen, miteinander verbunden (Abb. E-3).

Zur Verbindung dienen Aluminiumhülsen, die auf einem Drittel ihrer Länge einen Wulst besitzen. Der längere Teil nimmt das glatt abgeschnittene Zündschnurende auf, während in den kürzeren Teil zwei kurze Anzündlitzenenden eingepresst sind.

◄ **Abb. E-2:** Reißzünder [1]

7541014/10787806875Biblio

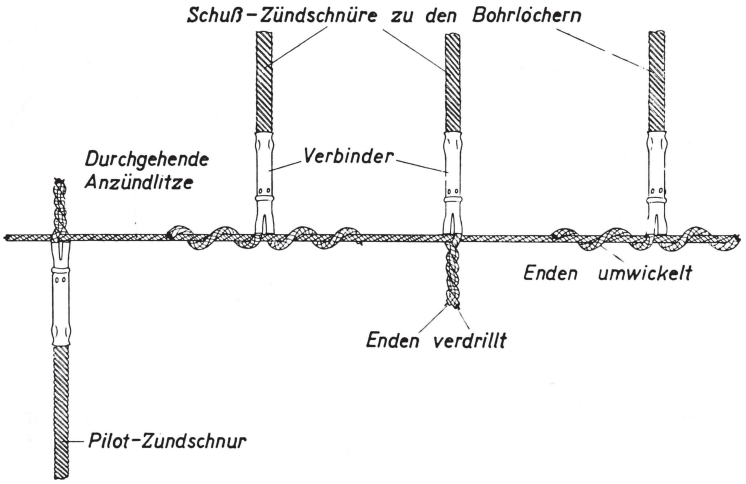


Abb. E-3: Anzündlitze [1]

Der Wulst des Verbinders trägt zur besseren Flammenübertragung eine kleine Pulverladung. Die Anzündlitzenenden werden entweder um die durchgehende Anzündlitze herumgewickelt oder über dieser verdrillt. Zum Abtun des ganzen Abschlages braucht nur die Leit- oder Pilotzündschnur in Brand gesetzt zu werden, die an der durchgehenden Anzündlitze ebenfalls mittels Verbinderhülse angeschlossen wird.

Die **Sprengschnur** besitzt einen der gewöhnlichen Zündschnur ähnlichen Aufbau. Statt der Pulverseele enthält sie jedoch einen brisanten Sprengstoff mit einer Detonationsgeschwindigkeit, von mehreren tausend m/s. Die Sprengstoffseele ist von einer Zellophanhülle umgeben, die wiederum in mehrfachen Lagen mit Hanf- und Baumwollgarn umsponnen und mit Mipolam umpresst ist. Die Sprengschnur bringt ohne Zwischenschaltung einer Sprengkapsel jeden gewerblichen Sprengstoff zur Detonation.

Sie benötigt jedoch zur eigenen Zündung den Initialstoß einer Sprengkapsel. Zu diesem Zweck wird eine mit gewöhnlicher Zündschnur zündbare Sprengkapsel oder ein scharfer elektrischer Momentzünder an der Schnur mit Isolierband oder Draht befestigt. Der Sprengboden soll dabei in Richtung des Detonationsverlaufes zeigen. Zur Zündung des Sprengstoffes durch die Sprengschnur genügt es, diese an der Schlagpatrone zu befestigen. In gleicher Weise lassen sich Abzweigungsschnüre zur Zündung beliebig vieler Schüsse initiieren (Abb. E-4).

Abb. E-4: Sprengschnur [1]

Bei der Anwendung von Sprengschnur für Sprengarbeiten unter Wasser müssen die Abzweigungen mit Hilfe von besonderen Übertragungskapseln hergestellt werden.

Die Möglichkeit, eine große Anzahl von Ladungen in einem Zündgange abzutun, ist ein besonderer Vorteil der Sprengschnur.

7541014/10787806875Biblio

Das sehr gute Initiiervermögen der Sprengschnur macht sie besonders geeignet für Kammerminen- und Unterwassersprengungen sowie für die Durchführung von Tiefbohrsprengungen.

Zum Abtun mehrerer Zünderreihen mit zeitlicher Verzögerung ist von der Dynamit AG., Troisdorf, der Detonationsverzögerer entwickelt worden. Er besteht aus einer Aluminiumhülse, in der ein Aluminiumröhrchen mit eingepresstem Verzögerungssatz und beiderseitiger Initialladung eingebaut ist. Diese stellt die Verbindung zwischen dem Zündstoss der Sprengschnur und dem Verzögerungssatz her. Die Enden benachbarter Sprengschnüre werden von beiden Seiten in die Hülse eingeführt und mit der Anwürgezange befestigt.

Durch Einbau eines solchen Verzögerers in die Sprengschnur wird deren Detonation unterbrochen und erst nach Ablauf der Brenndauer des Verzögerungssatzes, etwa 40 ms, weitergeleitet.

4.4 Elektrische Zünder

Beim elektrischen Zünder erzeugt das Abbrennen eines chemischen Zündsatzes die zur Zündung der Sprengkapsel erforderliche Flamme. Der chemische Zündsatz wird wiederum durch elektrisch erzeugte Wärme entflammt.
Die hierzu erforderliche elektrische Energie wird entweder in einer Zündmaschine erzeugt oder einer anderen Stromquelle (Netz, Batterie) entnommen. Durch die Sprengleitung wird diese Energie dem Zünder zugeführt.

Man unterscheidet zwischen nichtscharfen Zündern – das sind solche ohne „scharfe“ Sprengkapsel – und scharfen Zündern mit fest eingebauter Sprengkapsel.

Sind zwischen dem Zündsatz und der Sprengkapsel noch Verzögerungssätze eingebaut, so entstehen die Zeitzünder. Zünder ohne Verzögerung werden als Momentzünder bezeichnet.

Es ergibt sich somit folgende Einteilung:

I. Nichtscharfe Zünder (ohne Sprengkapsel)

1. Offene Momentzünder,
2. Zündschnurzeitzünder.

II. Scharfe Zünder (mit Sprengkapsel)

1. Scharfe Momentzünder,
2. Scharfe Zeitzünder,
   a) Halbsekundenzünder,
   b) Millisekundenzünder.

Nichtscharfe Zünder werden nur noch in geringem Umfange verwendet, weil der Zusammenbau mit der Sprengkapsel am Verwendungsort zeitraubend ist und dabei auch leicht Fehler begangen werden können, die zu Versagern führen.

Dagegen haben scharfe Zünder den Vorteil, dass Versager wegen mangelhafter Verbindung zwischen Sprengkapsel und Zünder nicht auftreten können und dass sie gegen Eindringen von Feuchtigkeit geschützt sind. Nachteilig ist, dass die scharfen Zünder wie Sprengkapseln zu behandeln sind und in Sprengstofflagern aufbewahrt werden müssen.

7541014/10787806875Biblio

4.4.1 Zündsatz

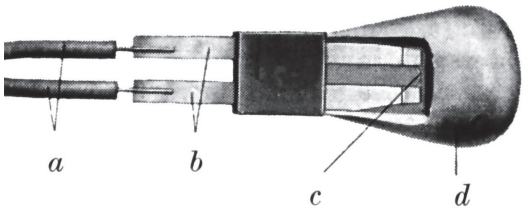
Die heute meist verwandten Sätze haben als Hauptbestandteil eine leicht entflammbare Substanz, wie Bleipikrat, Acetylenkupfer, zur Flammenbildung vermischt mit Oxydationsmitteln und brennbaren Metallpulvern.

Sie sind in Gestalt einer Zündpille auf das elektrische Heizelement aufgetragen und durch einen Lacküberzug gegen Feuchtigkeit sowie gegen mechanische und elektrische Beanspruchung von außen geschützt.

4.4.2 Brückenzünder

Beim Brückenzünder ist der Zündsatz an einem Polkörper angebracht, der aus zwei schmalen, nebeneinanderliegenden Kontaktlamellen aus kohlenstoffarmem Eisen besteht, die durch eine Kunststoffisolation in ihrer Lage gehalten werden (s. Abb. E-5). An dem einen Ende der Lamellen sind die Zünderdrähte angeschweißt, an dem anderen Ende befinden sich ein oder zwei dünne Metalldrähtchen, die die beiden Kontaktlamellen überbrücken und durch den Zündsatz hindurchführen.

Diese Drähtchen sind 0,02 mm bis 0,04 mm stark, 1 mm bis 3 mm lang und bestehen aus Chrom-Nickel-Draht, der durch den elektrischen Strom zum Erglühen gebracht wird.



a Zünderdrähte; *b* Kontaktlamellen; *c* Glühbrücke; *d* Zündsatz

Abb. E-5: Aufbau eines Brückenzünders [1]

4.4.3 Nichtscharfe Zünder

Die offenen Momentzünder bestehen aus einer Zünderhülse, siehe **c** in Abb. E-6, aus Metall oder Pappe, in der durch eine Vergussmasse oder einen Kunststoffstopfen **a** die Enden der Zuführungsleitungen (Zünderdrähte) im Zündkopf mit der Zündpille **b** festgelegt sind. Das offene Ende der Zünderhülse ist leicht konisch ausgebildet, damit die Sprengkapsel leicht eingeschoben werden kann und doch gut abgedichtet sitzt.

Bei den Zündschnurzeitzündern, die in vollkommen wasserdichter Ausführung herstellbar sind, ist in die aus Messing bestehende Zünderhülse ein Stück Zündschnur eingepresst, an deren Ende die Sprengkapsel durch Ankneifen befestigt wird (Abb. E-7).

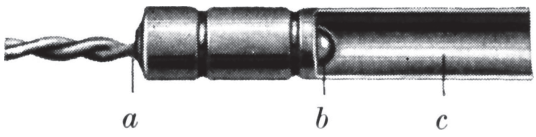
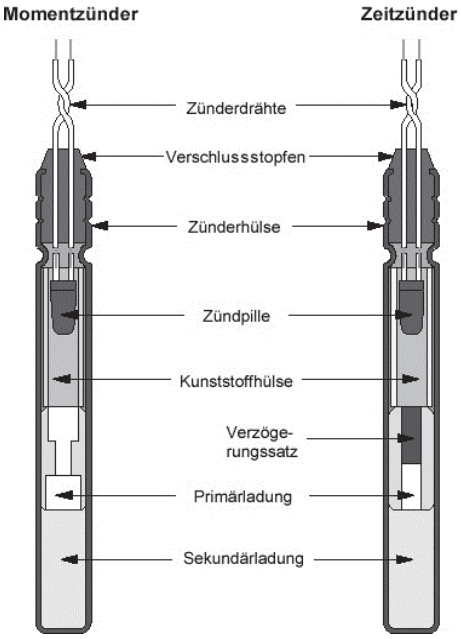


Abb. E-6: Schnitt durch einen offenen Momentzünder.
a Vergussmasse; b Zündpille; c Zünderhülse [1]

Die freien Enden der Zündschnur sind mit wasserfester Masse abgedichtet, damit keine Feuchtigkeit eindringen kann.

7541014/10787806875Biblio



Vor dem Aufstecken der Sprengkapsel muss ein Stückchen der Zündschnur abgeschnitten werden, um die Pulverseele freizulegen. Auch kann auf das Ende der Zündschnur ein Zündstoff zur Verstärkung des Zündstrahls aufgetragen sein. Zündschnurzeitzünder gibt es bis zu 20 Zeitstufen. Dabei werden zur Herbeiführung der Zündverzögerung Zündschnurstücke von 5 cm bis 30 cm Länge verwendet.

◄ **Abb. E-7:** links: scharfer Momentzünder rechts: scharfer Zeitzünder [1]

4.4.4 Scharfe Momentzünder

Die Abb. E-8 zeigt Momentzünder und Zeitzünder. Beim scharfen Momentzünder sind die Zünderteile fabrikmäßig so in den Leerraum einer Sprengkapsel eingebaut, dass sie ohne Hilfsmittel nicht entfernt werden können. Die Zünderstopfen werden durch die festgelegten Zünderdrähte festgehalten.

Der Mipolamstopfen verschließt wasserdicht und unverrückbar die Sprengkapselhülse. Primär- und Sekundärladung sind wie bei einer Sprengkapsel ausgeführt.

4.4.5 Halbsekundenzünder

Die Halbsekundenzünder, früher Schnellzeitzünder genannt, enthalten, wie Abb. E-8 zeigt, ein Verzögerungselement (Verzögerungsröhrchen) zwischen Zündpille und Sprengkapselladung. Dieses Verzögerungsröhrchen enthält einen fast ohne Gasentwicklung abbrennenden Verzögerungssatz aus feinverteilten Metallen und Sauerstoffträgern, der mit entsprechender Zeitverschleppung die Zündung von der Pille zum Initialsatz überträgt.

4.4.6 Millisekundenzünder

Die Millisekundenzünder für nichtschlagwettergefährdete Betriebspunkte entsprechen in ihrem Aufbau den Halbsekundenzündern. Durch eine besondere chemische Zusammensetzung des von der Dynamit AG, Troisdorf, entwickelten Verzögerungssatzes wird der Brennzeitenabstand auf 30 ms herabgesetzt.

Bei 1–18 Zeitstufen ergibt sich so eine Gesamtbrennzeit von 540 ms. Für Schlagwettergruben wird eine Sonderausführung geliefert (Abb. E-9), bei der durch besondere Form des Verzögerungsröhrchens, durch Hereinnahme der Initialladung in diese Röhrchen

7541014/10787806875Biblio

sowie durch eine Verstärkung der Kapselhülse die erforderliche Schlagwettersicherheit erreicht worden ist. Schlagwettersichere Millisekundenzünder werden mit den Zeitstufen 1–16 geliefert.

Der Erfolg und die zunehmende Verbreitung der Millisekundenzünder beruhen auf der stärker zertrümmernden Wirkung der durch sie gezündeten Ladungen auf das Gestein, wodurch eine bessere Kleinstückigkeit des Haufwerks erreicht wird. Ein beachtlicher Vorteil der Millisekundenzünder ist auch, dass infolge der sehr kurzen Intervalle die Gefahr des Abschlagens der benachbarten Ladung durch die vorhergehenden gemildert ist und auch Kantenschüsse ausgeschlossen sind.

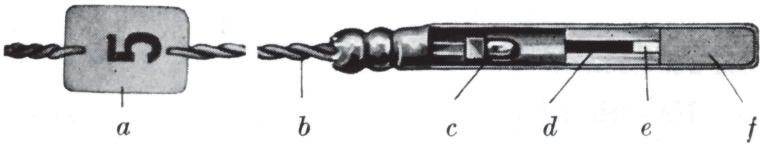


Abb. E-8: Schnitt durch einen schlagwettersicheren Millisekundenzünder.
a Zeitstufe; b Zünderdrähte; c Zündpille; d Verzögerungsröhrchen; e Primärladung; f Sekundärladung [1]

Im Steinkohlenbergbau können in dem vorgeschriebenen Zeitraum von 5 s wesentlich mehr Zeitstufen verwendet werden, was bei Auffahrungen großen Querschnitts von Bedeutung sein kann.

Bemerkenswert ist bei der Millisekundenzündung schließlich, dass sich die Schwingungen bei den kurz aufeinander folgenden Detonationen überlagern und gegenseitig schwächen, so dass geringere Gebirgserschütterungen und schwächere Luftstöße als bei gewöhnlichen Zeitzündungen auftreten.

4.4.7 Zünderdrähte

Die Zünderdrähte müssen so lang sein, dass sie von der Sprengladung bis vor die Bohrlochmündung reichen und hier eine bequeme Verbindung untereinander oder mit den Drähten der Sprengleitung gestatten. Damit nicht zu kurze Drähte verwandt werden, ist für Zünderdrähte eine Mindestlänge von 2 m vorgeschrieben. Die Drähte bestehen aus verzinntem Eisen- oder aus Kupferdraht von 0,6 mm Durchmesser. Eiserne Drähte sind billiger, haben aber einen 7½-mal höheren Widerstand als Kupferdrähte. Der Gesamtwiderstand der Zünder mit Eisendrähten ist also viel höher als bei Zündern mit Kupferdrähten, doch kann dieser Nachteil durch Verwendung stärkerer Zündmaschinen ausgeglichen werden. Für große Sprengreihen und lange Zünderdrähte empfiehlt es sich jedoch, Kupferdrähte zu benutzen.

Zur Isolation der Zünderdrähte dient eine durch Umspritzen hergestellte Umhüllung aus dem Kunststoff Mipolam (MP-Masse). Sie hat eine hohe Durchschlagfestigkeit und ist gegen häufiges Biegen äußerst widerstandsfähig.

Auch ist sie unbrennbar, beständig gegen Feuchtigkeit sowie chemische Einwirkungen und zur Kennzeichnung der einzelnen Zünderarten in verschiedenen Farben herstellbar.

7541014/10787806875Biblio

Die beiden Zünderdrähte haben folgende Farben:

– Momentzünder und Zündschnurzeitzünder	weiß/weiß
– Millisekundenzünder, Zeitstufen 1–3	grün/weiß
– Millisekundenzünder, Zeitstufen 4 und höher	grün/rot
– Halbsekundenzünder	rot/gelb
– Verlängerungsdrähte	weiß.

4.5 Elektrische Zündanlagen

Sollen mehrere Ladungen in einem Zündgang abgetan, d. h. gleichzeitig gezündet werden, so müssen die Zünder zunächst zu einer Zünderkette zusammengeschaltet werden. Diese Zünderkette wird alsdann über eine Sprengleitung mit einer Stromquelle verbunden. Der auf diese Weise gebildete Stromkreis heißt Zündstromkreis oder Zündanlage.

4.5.1 Nebenschlüsse und Streuströme

Elektrische Zündanlagen bieten ein Höchstmaß an Sicherheit. Sie sind jedoch empfindlich gegen Nebenschlüsse und Streuströme, die zu Zündversagern und Frühzündungen führen können. Hiergegen sind daher geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Zündungsversager treten bei Nebenschlüssen auf, wenn ein zu großer Teil des Zündstromes über einen Nebenschluss abgeführt wird und dem eigentlichen Zündvorgang verlorengeht, dass der zum Zünden notwendige Stromstoß nicht mehr ausreicht. Das ist der Fall, wenn der Zündstrom unter 0,8 A absinkt. Auch Kurzschlüsse führen zu Versagern.

Die Ursache von Nebenschlüssen ist zumeist darin zu sehen, dass eine nicht oder nur ungenügend isolierte Leitung des Zündstromkreises über einen feuchten Streckenstoß oder gar durch salzhaltige Grubenwässer geführt wird.
Die Gefahr, dass hierbei der Zündstrom unter die notwendige Stärke absinkt, ist umso größer, je höher der Gesamtwiderstand der Zündanlage und je kleiner der Widerstand des auftretenden Nebenschlusses ist.
Der über den Nebenschluss abgeführte Strom und der für den Zündvorgang verbleibende sind nämlich den Widerständen umgekehrt proportional.

Da die Enden der Zünderdrähte zum Verbinden der einzelnen Zünder blank gemacht werden müssen, lassen sich beim Vorhandensein salzhaltiger Wässer Nebenschlüsse nicht vermeiden. Gerade in solchen Fällen aber führen sie häufig zu Schussversagern, denn der Widerstand von Sole ist sehr gering. Man kann sich hier nur so helfen, dass man den Widerstand der Zündanlage noch weit geringer macht. Das ist durch Parallelschaltung der Zünder in jedem Fall möglich.

Streuströme, auch Kriech- und Schleichströme genannt, treten auf, wenn beim Vorhandensein von Starkstromanlagen in den Grubenbauen durch Isolationsfehler Ströme entstehen, die sich durch leitende Teile im Grubengebäude fortpflanzen.

Insbesondere kann bei Fahrdrahtlokomotivbetrieb die Sprengarbeit durch frühzeitiges Zünden der Ladungen gefährdet werden, wenn z. B. blanke Teile der Zündanlage mit streustromführenden Metallteilen oder dem Gebirge in Verbindung kommen.

7541014/10787806875Biblio

Durch eine gute Schienenrückleitung lassen sich die Streuströme, die in ungünstigen Fällen eine Spannung bis 15 Volt erreichen können, sehr verringern.

4.5.2 Schaltungsweisen

Sollen mehrere Ladungen gleichzeitig gezündet werden, kann die Bildung der Zünderkette und ihre Verbindung mit der Stromquelle über die Sprengleitung auf verschiedene Weise vorgenommen werden.

Man unterscheidet die Hintereinanderschaltung, auch Reihen- oder Serienschaltung genannt, die Parallelschaltung und die gruppenweise Parallelschaltung. Im Bergbau ist fast allgemein die **Hintereinanderschaltung** (Abb. E-9a) gebräuchlich, die am einfachsten auszuführen ist und auch am wenigsten zu Irrtümern Anlass gibt.

Die Zünder werden in beliebiger Reihenfolge untereinander verbunden und die beiden letzten Drähte an die Pole der Sprengleitung angeschlossen. Bei der Reihenschaltung addieren sich die Einzelwiderstände der Zünder, so dass der Gesamtwiderstand der Zünderkette mit der Anzahl der Zünder proportional wächst. Daher führt die durch einen relativ hohen Gesamtwiderstand gekennzeichnete Reihenschaltung in nebenschlussgefährdeten Betrieben leicht zu Zündversagern.

Bei der **Parallelschaltung** (Abb. E-9b) ist jeder Zünder mit seinen Drähten an einen Pol der Sprengleitung angeschlossen. Diese Schaltungsart lässt sich weniger leicht ausführen, da sie nicht so übersichtlich ist. Ihr Vorteil liegt darin, dass sich der Gesamtwiderstand der Zünderkette mit der Anzahl der Zünder verringert. Daher sind selbst in besonders nebenschlussgefährdeten Betrieben Schussversager durch Nebenschlüsse nicht zu befürchten.

Die **gruppenweise Parallelschaltung** ist eine Verbindung der Hintereinander- und der Parallelschaltung. Die Abb. E-9c zeigt diese Schaltungsweise für zwei Gruppen. Man wendet die gruppenweise Parallelschaltung dann an, wenn die Leistungsfähigkeit einer Zündmaschine nicht für die vorgesehene Sprengzahl bei reiner Parallelschaltung ausreicht.

Um einen zweiten Zündgang zu vermeiden, kann in Gruppen geschaltet werden, wodurch der Widerstand der Zündanlage verringert wird. Die Handhabung dieser Schaltung ist schwierig und erfordert geübte Sprengmeister.

Beim Abteufen von Schächten großen Durchmessers sind je Abschlag häufig mehr als 80 Einzelladungen abzutun.

Bei beträchtlichen Teufen würde das gleichzeitige Abtun eines solchen Abschlags bei reiner Parallelschaltung infolge der großen notwendigen Zündenergie einen großen Querschnitt der Sprengleitung erfordern, was sie anfälliger gegen Beschädigungen macht und ihre Handhabung erschwert. Deshalb wird in solchen Fällen die gruppenweise Parallelschaltung nach dem **Dreiring-Sprengverfahren** mit der Kondensatorzündmaschine bevorzugt.

7541014/10787806875Biblio

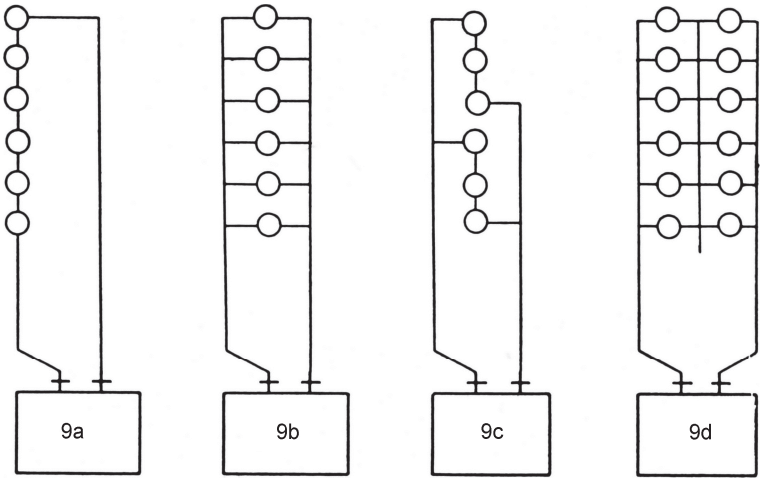


Abb. E-9: Schaltungsmöglichkeiten 9a: Hintereinanderschaltung – 9b: Parallelschaltung – 9c: Gruppenweise Parallelschaltung – 9d: Dreiring-Zündverfahren [1]

Die Abb. E-9d zeigt dieses Schaltungsschema. Die Zünder eines Abschlages werden je zur Hälfte parallel geschaltet und die so entstandenen beiden Zündergruppen über die mittlere Verbindungsleitung hintereinandergeschaltet. Dadurch bleibt der Vorteil der Parallelschaltung, nämlich Versagerfreiheit bei Nebenschlüssen, gewahrt. Im Vergleich zur reinen Parallelschaltung wird jedoch der Widerstand der Summe der Zünder wesentlich erhöht.

Da sich die von der Zündmaschine abgegebene Spannung auf Sprengkabel und Zünderkreis im Verhältnis ihrer Widerstände aufteilt, reicht bei diesem Schaltschema die auf die Zünder entfallende elektrische Energie auch bei verhältnismäßig großer Ladungszahl und bei den üblichen Sprengkabeln zur sicheren Zündung aus.

Um die nicht einfache Schaltung schnell und fehlerlos ausführen zu können, empfiehlt es sich, auf der Schachtsohle einige Holzpflöcke *a* im Kreise anzuordnen (Abb. E-10). Um diese Holzpflöcke werden drei in sich kurz geschlossene Leitungen aus Kupferdraht von 1 mm^2 Querschnitt geschlungen, eine große kreisförmige Leitung *a* knapp über der Schachtsohle und je eine kleinere halbkreisförmige *b* und *c* in jeder Schachthälfte etwa 30 cm darüber. Die so entstandenen drei Ringleitungen geben dem Schaltschema den Namen. Jeder Zünder des Abschlags ist mit einem seiner Zuleitungsdrähte an der unteren Ringleitung angeschlossen.

Der andere Zuleitungsdraht wird je nach der Schachthälfte, in der sich der zugehörige Zünder befindet, mit der entsprechenden oberen Ringleitung verbunden. Zum Schluss verbindet man die oberen Ringleitungen mit je einer Ader des Schießkabels *d*.

7541014/10787806875Biblio

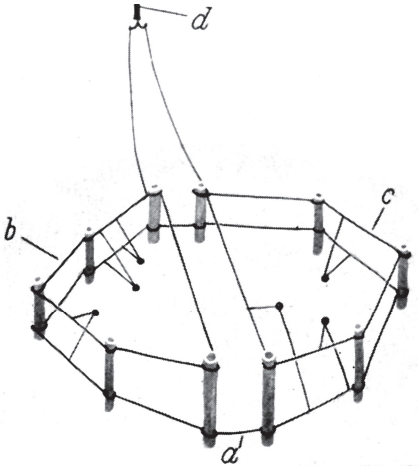


Abb. E-10: Dreiring-Sprengverfahren [1]

4.5.3 Sprengleitungen

Als Zündleitungen werden Leiter aus Kupfer oder Eisen verwendet, und zwar in Form von Einfachleitungen oder von verseilten Leitungen. Letztere bestehen aus zwei miteinander verseilten Einfachleitungen, von denen eine für die Hinleitung und die andere für die Rückleitung des Zündstromes dient.

Beide Leitungen dürfen jedoch nicht in einer gemeinsamen Umhüllung liegen. Die einzelnen Leiter selbst werden mehrdrähtig ausgeführt, um sie biegsamer zu machen.

In der Regel werden im Bergbau Zündleitungen aus verzinntem Eisen verwendet. Lediglich bei Benutzung der Kondensatorzündmaschine sind zur Verringerung des Leitungswiderstandes Kupferdrähte vorzuziehen.

Der Widerstand einer Einfachzündleitung und eines jeden Leiters einer verseilten Leitung darf für 100 m Länge höchstens 12 Ohm betragen. Der Widerstand der Leitungen fällt umso mehr ins Gewicht, je niedriger die Widerstände der Zünder sind. Bei Brückenzündanlagen soll der Widerstand der Leitungen etwa 10 Ohm nicht übersteigen.

4.5.3.1 Ausführung und Verlegung der Leitungen

Für Sprengleitungen wird eine Isolierung gefordert. Blanke Leitungen sind bei der Schießarbeit unter Tage nicht mehr zulässig, da sie nie in der nötigen Weise überwacht werden können und leicht zu Kurz- und Nebenschlüssen Anlass geben. Für die Isolation der Schießleitungen wird ausschließlich die Kunstmasse Mipolam (MP-Masse) verwendet.

Die Sprengleitungen müssen genügend fest und so biegsam sein, dass sie sich leicht auf Kabeltrommeln auf- und abwickeln sowie ohne Schwierigkeit verlegen lassen. Meist werden die Leitungen aufgehängt, um jede Beschädigung ihrer Isolation zu vermeiden.

4.5.3.2 Verbindung der Leitungen

Die einzelnen Leitungen müssen untereinander sowie mit der Maschine umso sorgfältiger verbunden werden, je niedriger gespannt der zur Verwendung kommende elektrische Strom ist. Die Zündleitungen sollen möglichst wenige Verbindungsstellen haben.

7541014/10787806875Biblio

Auch dürfen die Drähte nicht lose ineinander gehakt, vielmehr müssen sie sorgfältig miteinander verdrillt werden (Abb. E-11). Ein vorheriges Blankkratzen der Drahtenden von der Isolation oder etwaigen Oxydationshäutchen ist unbedingt erforderlich. Die Leitungen legt man nach dem Zusammendrehen so weit auseinander, dass sie sich nicht berühren können. Ein Verlegen der Leitungen auf metallische Gegenstände oder feuchte Unterlagen ist wegen Streustrom- und Nebenschlussgefahr zu vermeiden.

Die Gefahr von Zündversagern auf Grund von Übergangswiderständen und Nebenschlüssen und auch der Frühzündung durch Streustrom kann durch isolierende Schnellverbinder herabgemindert werden.

Besonders in feuchten oder gar nassen Betrieben ist es notwendig, die Verbindungsstellen der Zünderdrähte untereinander und mit der Sprengleitung durch Übersteckhülsen zu isolieren. Eine solche Isolation ermöglicht der Schnellverbinder (Abb. E-12).

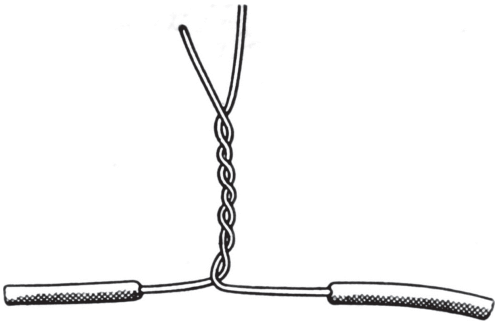
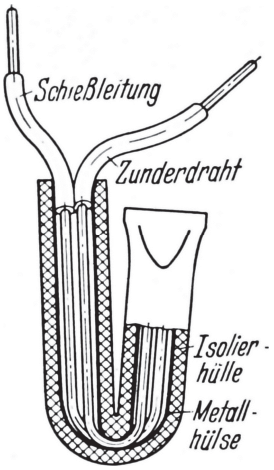


Abb. E-11: Richtige Leitungsverbindung [1]



► **Abb. E-12:** Isolierender Schnellverbinder [1]

Er besteht aus einem unten geschlossenen Metallröhrchen, in das die zu verbindenden Drähte gesteckt werden. Durch einfaches Umknicken des Röhrchens mit den Drähten werden diese fest und leitend miteinander verbunden.
Für nasse Betriebe werden die Schnellverbinder mit einer zusätzlichen Isoliermasse geliefert.

Bei ordnungsgemäßer Ausführung der so hergestellten Leitungsverbindungen ergeben sich nur vernachlässigbar kleine Übergangswiderstände und ebenso kleine Nebenschlüsse selbst bei stark salzhaltigem Wasser.

Um die Sprengleitungen vor Beschädigungen durch Sprengstücke zu schützen, führt man sie meist nicht bis an die Arbeitsstelle heran.

Für die Verbindung der Zünderkette mit der eigentlichen Schießleitung empfehlen sich Verlängerungsdrähte aus 0,6 mm starkem Eisen- oder Kupferdraht, die in gleicher Weise wie Schießleitung und Zünderdrähte isoliert sind.

Diese Verbindungsleitungen sind je nach den örtlichen Verhältnissen und Erfahrungen etwa 5 m bis 30 m lang. Da die Leitungen fast bei jedem Abschlag zerrissen werden, muss man sie oft erneuern, was aber bei dem geringen Preis der Leitungen ohne weiteres möglich ist.

7541014/10787806875Biblio

4.5.3.3 Stromquellen

- **Die Energie von Zündmaschinen**

Zur Zündung elektrischer Sprenganlagen werden Zündmaschinen benutzt. Man unterscheidet dynamoelektrische Zündmaschinen und **Kondensatorzündmaschinen.** Außerdem ist die Verwendung von Starkstrom möglich. Dieses Verfahren wird vor allem in langen Strecken, Stollen und Tunneln angewendet.

Die elektrische Energie oder Arbeit, die von der Zündmaschine aufgebracht werden muss, um jedem Zünder einer Zündanlage den vorgeschriebenen Zündimpuls von mindestens 4 mWs/Ω zu erteilen, richtet sich nach dem elektrischen Gesamtwiderstand des Zündstromkreises.
Er setzt sich zusammen aus dem Widerstand der Zünderkette, der von der Anzahl der Zünder und ihrer Schaltungsart abhängt, und dem Widerstand der Sprengleitung.

Als Beispiel sei eine Zündanlage mit 80 hintereinandergeschalteten und eine andere mit 80 parallel geschalteten Brückenzündern betrachtet. Die Zünder sollen mit den Zünderdrähten einen Widerstand von je 59 Ω haben.

Bei der **Hintereinanderschaltung** addieren sich die Einzelwiderstände der Zünder, so dass die 80 Zünder einen Widerstand von 80 × 59 = 400 Ω besitzen. Die Sprengleitung bestehe aus 50 m Hin- und Rückleitung mit einem Widerstand von 109 Ω.

Der Gesamtwiderstand beträgt dann 410 Ω und die von der Zündmaschine abzugebende Zündenergie bei einem vorgeschriebenen Zündimpuls von 4 mWs/Ω ergibt 410 Ω × 4 mWs/Ω = 1.640 mWs. Für die Erzeugung dieser oder auch kleinerer Energien, etwa 240 mWs bei 10 Ladungen, 440 mWs bei 20 Ladungen und 1.040 mWs bei 50 Ladungen, eignen sich am besten Zündmaschinen, die nach dem dynamoelektrischen Prinzip arbeiten.

Auch für Zünderketten mit 100, 150 und 200 Zündern entsprechend Zündenergien von 2.040, 3.040 und 4.040 mWs lassen sich dynamoelektrische Zündmaschinen bauen. Sie werden jedoch sehr schwer und damit besonders für die Verwendung im Untertagebetrieb zu unhandlich.

Bei der Reihenschaltung von Brückenzündern sind Zündmaschinen für 10, 20, 50, 80, 100, 150 und 200 Ladungen zugelassen.

Bei der **Parallelschaltung** addieren sich die reziproken Einzelwiderstände der Zünder. So ergibt sich für 80 Zünder ein Widerstand von 5 Ω: 80 = 0,0625. Bei Parallelschaltung ist der höchstzulässige Widerstand der Zündanlage zu 49 vorgeschrieben, so dass also die Sprengleitung einen Widerstand von 3,93759 oder fast 4 Ω haben darf. Nun kann man die 80 parallel geschalteten Zündern einerseits und die Sprengleitung andererseits als die Hintereinanderschaltung zweier Widerstände betrachten, von denen der Widerstand der Sprengleitung als Vorschaltwiderstand fungiert.

Da sich die von der Zündmaschine aufgebrachte Energie in Verhältnis der beiden hintereinandergeschalteten Widerstände aufteilt, werden 98,5 % der Energie in der Sprengleitung verbraucht, d. h. in ihr in Wärme umgesetzt, und nur 1,5 % stehen für den eigentlichen Zündvorgang zur Verfügung.

7541014/10787806875Biblio

Diese Zündenergie muss, da die 80 Zünder für sich einen Widerstand von 400 Ω darstellen und der Zündimpuls zu 4 mWs/Ω vorgeschrieben ist, 400 Ω × 4 mWs/Ω 1.600 mWs betragen. Damit ergibt sich die an den Klemmen der Zündmaschine zu erzeugende Energie zu

(98,5 + 1,5) : 1,5 × 1.600 mWs = 10.6667 mWs.

Für die Erzeugung solcher Energien lassen sich dynamoelektrische Zündmaschinen nicht mehr in handlicher, tragbarer Form bauen. Es verbleibt hier lediglich der Ausweg, die Speicherwirkung von Kondensatoren zu Hilfe zu nehmen und **Kondensatorzündmaschinen** zu benutzen.

Bei der Parallelschaltung von Brückenzündern sind Zündmaschinen für 80 und 150 Ladungen zugelassen.

- **Dynamoelektrische Zündmaschinen**

Es ist zwischen Zündmaschinen für schlagwettergefährdete und schlagwetterfreie Gruben zu unterscheiden.

Zündmaschinen für Schlagwettergruben müssen druckfest gekapselt sein, d. h., ihr Gehäuse muss so stark sein, dass es ohne Beschädigung den Druck einer in seinem Innern auftretenden Schlagwetterexplosion aushalten kann.

Solche Explosionen sind deshalb nicht ausgeschlossen, weil die Gehäuse nicht völlig gasdicht sind und in ihrem Innern am Kollektor betriebsmäßig Funken auftreten. Auch ist dafür zu sorgen, dass die Explosionsgase auf ihrem Weg nach außen sich so weit abkühlen, dass sie Schlagwetter nicht mehr zu zünden vermögen.

Schließlich müssen alle Zündmaschinen so gebaut sein, dass eine missbräuchliche Benutzung verhindert werden kann. Meist geschieht dieses dadurch, dass der Betätigungsgriff abnehmbar ist.

- **Bauart der dynamoelektrischen Zündmaschinen**

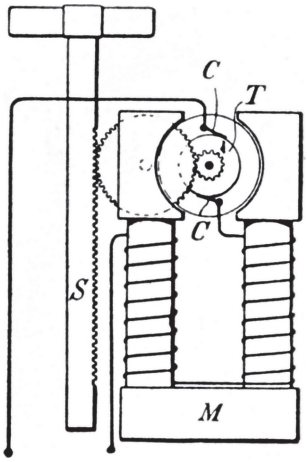
Die dynamoelektrischen Maschinen (Abb. E-13) beruhen auf dem Gedanken der SIEMEN'SCHEN Dynamomaschine.

Ein mit Drahtwicklung versehener doppel-T-förmiger Anker *T*, an dessen Stelle auch ein Trommelanker treten kann, wird zwischen den Polen eines Elektromagneten *M*, beispielsweise durch eine Zahnstange *S*, in Umdrehung versetzt.

Die in den Ankerwicklungen induzierten Wechselströme werden auf einem Kollektor *C* gleichgerichtet. Der Strom durchfließt entweder im Haupt- oder im Nebenschluss die Wicklungen des Elektromagneten und verstärkt so den Magnetismus und damit wiederum die Stromstärke. Der von Doppel-T-Ankern ausgehende Stromstoß ist sehr stark und bietet daher eine hohe Zündzuverlässigkeit.

Außer diesen Unterschieden in der Ankerwicklung besitzen die einzelnen Zündmaschinenarten Unterschiede in der Schaltung des Magnetfeldes zum Anker.

7541014/10787806875Biblio



Man unterscheidet Hauptschluss-, Nebenschluss- und Verbundmaschinen, von denen die beiden letztgenannten am meisten Verwendung finden.

Um mit diesen kleinen Maschinen mit Sicherheit die vorgesehene Höchstzahl von Ladungen gleichzeitig zünden zu können, ist es notwendig, den Strom erst, wenn er eine bestimmte Leistungsfähigkeit erreicht hat, in die Sprengleitung zu schicken.

Abb. E-13: Schema der Stromerzeugung einer dynamoelektrischen Zahnstangenmaschine [1]

Es geschieht dies durch Anbringung eines selbsttätigen Endkontaktes, der erst den äußeren Stromkreis schließt, wenn der Anker eine Anzahl von Umdrehungen gemacht hat und eine gewisse Geschwindigkeit besitzt. Außerdem muss die Vorschrift erfüllt sein, dass bei Maschinen für Brückenzünder der Strom innerhalb einer Millisekunde nach Ansprechen des Endkontaktes eine Stärke von mindestens 1 Amp. besitzt. Für Maschinen in Schlagwettergruben darf die Zündstromdauer nicht mehr als 4 ms betragen. Dadurch soll verhindert werden, dass bei einer Berührung blanker Drahtstellen beim Abtun der Sprengungen zündfähige Funken entstehen, die Schlagwetter zünden würden. Zu dieser Begrenzung der Zündstromdauer dient ein zweiter Endkontakt.

- **Federzugmaschinen**

Bei den Federzugmaschinen wird die benötigte Bewegungsenergie durch eine Antriebsfeder aufgebracht. Sie setzt bei Auslösung der Zündmaschine den Anker in sehr schnelle, drehende Bewegung. Federzugmaschinen besitzen eine Auslösesperre. Sie verhindert, dass das Auslösen bei einer nur halb aufgezogenen Feder Versager infolge eines zu niedrigen Stromstoßes ergibt.

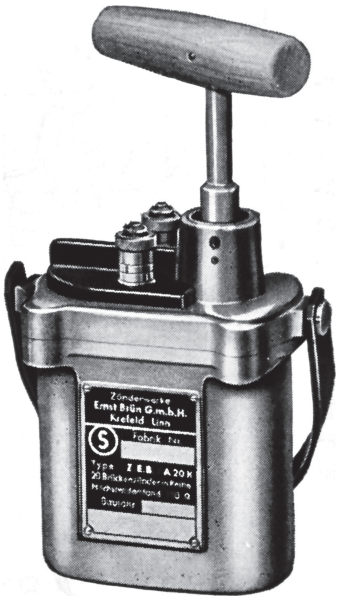
Benutzt man eine Federzugmaschine, so ist man unabhängig davon, ob die die Zündmaschine bedienende Person in der Bedienung von Zündmaschinen geübt ist oder nicht. Federzugmaschinen haben im Vergleich zu anderen Zündmaschinen gleicher Leistungsfähigkeit ein geringeres Gewicht.

Erfahrungsgemäß halten die Antriebsfedern mehr als 1.500 Betätigungen aus. Die Antriebsfedern können mit wenigen Handgriffen ausgewechselt werden.

Federzugmaschinen werden für Leistungen in einer Zünderkette bis zu 80 Zündern, für Sonderaufgaben im Erzbergbau und in Steinbrüchen bis über 100 Zündern gebaut.

7541014/10787806875Biblio

- **Maschinen mit Handantrieb**



Die Maschinen mit Handantrieb werden unterteilt in Maschinen mit Zahnstangenantrieb für größere Leistungen und Maschinen mit Drehgriffantrieb für kleinere Leistungen.

Bei den Maschinen mit **Drehgriffantrieb** (Abb. E-14) sitzt auf der zu betätigenden Achse ein Zahnradsektor, der sich um etwa ein Drittel einer Kreisbewegung vorwärts und rückwärts drehen kann Der Zahnradsektor greift in das Ritzel eines Übersetzungszahnrades ein. Dieses bewirkt die Kraftübertragung auf ein Ritzel, das mit der Ankerwelle fest verbunden ist. Die Rückwärtsstellung der verschiedenen Räder in die Ruhestellung geschieht ohne Mitnahme des Ankers.

Abb. E-14: Zündmaschine mit Drehgriffantrieb [1]

Für größere Leistungen werden die Zahnstangenmaschinen gebraucht (s. Abb. E-13). Die Betätigung geschieht in der Weise, dass man die Zahnstange mittels des Griffes so weit als möglich herauszieht, um sie alsdann kräftig nach unten zu stoßen. Durch eine besondere Vorrichtung wird ähnlich wie bei den Drehgriffmaschinen erreicht, dass sich der Anker nur beim Niederstoßen der Zahnstange bewegt und die Zahnstange ohne Mitnahme des Ankers nach oben gezogen werden kann.

- **Kondensatorzündmaschine**

Im Gegensatz zu den dynamoelektrischen Zündmaschinen wird bei der von den Zünderwerken Ernst Brüll GmbH, Krefeld-Linn, gebauten Kondensatorzündmaschine ZEB A 80 K/C die Zündenergie durch den Entladestrom eines Kondensators geliefert. Die Maschine wird durch einen Generator mit Trommelanker aufgeladen. Wie Abb. E-15 zeigt, besteht die Maschine aus dem Generator- und dem dahinter angeordneten Kondensatorgehäuse. Die Betätigung der Maschine erfolgt durch Ziehen eines Perlongurtes mittels eines abnehmbaren Handgriffes.

Kurz vor dem Ende der Zugbewegung werden die Kondensatoren von dem Generator abgeschaltet und für eine Zeit von etwa 4 ms mit dem Zündstromkreis verbunden. Hierdurch werden die angeschlossenen Zünder zur Detonation gebracht. Die Kondensatoren werden anschließend über einen Widerstand kurzgeschlossen, um die verbliebene Restladung zu vernichten.

Die auch für Schlagwettergruben zugelassene Kondensatorzündmaschine ist eigens für das Abtun von 80 parallel geschalteten Ladungen entwickelt worden, um auch in sehr nebenschlussgefährdeten Betriebspunkten versagerfrei schießen zu können.

7541014/10787806875Biblio

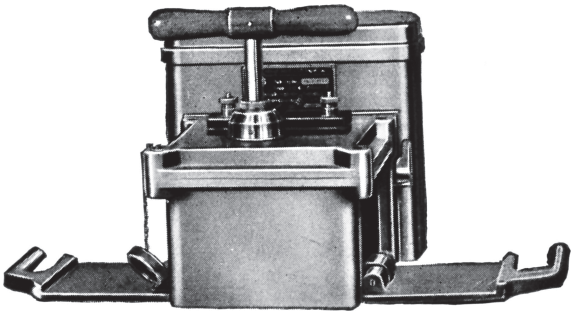


Abb. E-15: Kondensatorzündmaschine der Zünderwerke E. Brün [BRÜN]

Die Kondensatormaschine eignet sich jedoch auch zum Abtun größerer Sprengreihen (s. Abb. E-16b), wenn die Gesamtzünderzahl hierbei in mehrere Zünderketten aufgeteilt wird, wobei innerhalb der Ketten die Zünder hintereinander, die Zünderketten selbst parallel geschaltet werden.

Bei überwiegender Reihenschaltung gestaltet sich das Verhältnis von der in der Leitung verbrauchten Leistung zu der von den Zündern benötigten Leistung wesentlich günstiger als bei reiner Parallelschaltung.

Durch das hohe Gewicht der Kondensatorzündmaschine von rd. 35 kg bis 60 kg ist ihr Anwendungsgebiet vorerst auf besonders nebenschlussgefährdete Betriebspunkte beschränkt.

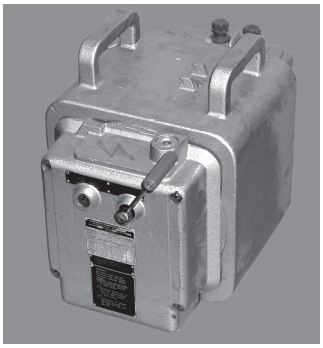


Abb. E-16a:
Eine der größten schlagwettergeschützten Kondensatorzündmaschinen Typ 888/2500/2, Spannung 2.500 V, Gewicht 60 kg für bis zu 600 Ladungen – Gerät der Zünderwerke E. Brün [BRÜN]

Abb. E-16b:
Kondensatorzündmaschinen der Fa. Brün – rechts für kleinere Sprengaufgaben – alle Geräte sind schlagwettergeschützt [BRÜN]

- **Das Zünden aus dem Starkstromnetz**

Beim Zünden aus dem Starkstromnetz bedient man sich des technischen Wechselstroms von 220 V und 50 Hz oder eines gleichgerichteten Wechselstroms der gleichen Spannung.

7541014/10787806875Biblio

Die Verwendung von Wechselstrom ist bei Parallelschaltung der Zünder unbedenklich. Bei der Hintereinanderschaltung können dagegen Strommangelversager auftreten, wenn im Augenblick des Nulldurchgangs der Wechselstromkurve eingeschaltet wird.

Dann erhält nur der empfindlichste Zünder einen zur Zündung ausreichenden Stromimpuls und verhindert nach der Zerstörung seiner Glühbrücke den weiteren Stromdurchgang. Das Zünden mit Gleichstrom wird vorgezogen, weil man bei ihm in der Wahl der Zündschaltung freie Hand hat.

Das Zünden aus dem Starkstromnetz ist im deutschen Steinkohlenbergbau aus Gründen der Schlagwettergefahr verboten. In anderen Bergbauzweigen wird es nur selten angewendet.

Auf Kalisalzgruben des Werragebietes wird wegen der Möglichkeit von Kohlensäureausbrüchen während des Schichtwechsels gesprengt.

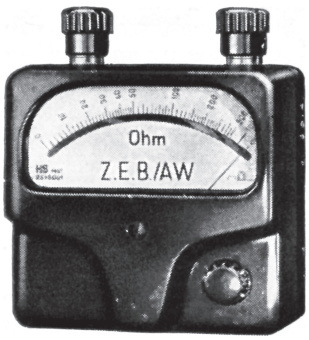
In anderen Betrieben, werden dagegen alle Sprengserien in den gefährdeten Betrieben am Schichtende von einer gasdichten Sprengkammer in Schachtnähe aus dem Starkstromnetz ferngezündet. In solchen Abteilungen, in denen Kohlensäureausbrüche nicht zu befürchten sind, können die Sprengungen auch mit Hilfe eines Sprengschalters in Abbaunähe abgetan werden.

4.5.3.4 Prüfgeräte für elektrische Zündanlagen

- **Leitungsprüfer und Ohmmeter**

Leitungsprüfer oder Minenprüfer erlauben lediglich die Feststellung, ob der Stromkreis einer Zündanlage geschlossen ist. Bei Anlegen einer Spannung von 1,5 Volt an eine Zündanlage zeigt ein elektromagnetisches Schauzeichen das Fließen eines Stromes an.

Den einfachen Leitungsprüfern vorzuziehen sind die Ohmmeter (Abb. E-17), die nicht allein das Fließen des Stromes, sondern auch den jeweiligen Widerstand des Stromkreises anzeigen. Wegen ihrer Zuverlässigkeit und guten Handhabung werden sie fast ausschließlich verwendet. Als Stromquelle dient auch hierbei eine Trockenbatterie von 1,5 V, die in das Messgerät auswechselbar eingebaut ist. Vor der Messung ist die Zeigerstellung mit einer Stellschraube so zu berichtigen, dass der Wert ∞ angezeigt wird.



Dann wird das Gerät an den Anschlussklemmen kurzgeschlossen. Durch Betätigen des Bändelknopfes muss die Spannung so ausgeglichen werden, dass der Nullpunkt eingehalten wird. So lassen sich Spannungsunterschiede bis zu 10 % ausgleichen.

Abb. E-17: Ohmmeter [1]

Wird bei Durchführung einer Messung ein Widerstand angeschlossen, so fließt ein Strom, der nach dem Ohm'schen Gesetz umso kleiner wird, je größer der Widerstand ist. Aus Gründen der Sicherheit darf der Messstrom des Ohmmeters nur 25 mA betragen.

7541014/10787806875Biblio

Der Zeiger zeigt auf der Skala den in der Anlage vorhandenen Widerstand an. Ist der Widerstand, etwa bei geöffnetem Stromkreis, unendlich groß (∞), so fließt kein Strom und der Zeiger schlägt nicht aus.

- **Beispiel einer Widerstandsmessung**

Für das Schachtabteufen ist es besonders wünschenswert, die Widerstandsverhältnisse der fertigen Zündanlage genau nachprüfen zu können, da gerade hier infolge Versagens einzelner Ladungen leicht große Zeitverluste entstehen und Unglücksfälle die Folge sein können.

Die Einführung einer regelmäßigen Prüfung der Zündanlage leitet außerdem die Sprengmannschaft zur Achtsamkeit an und erleichtert die Überwachung.

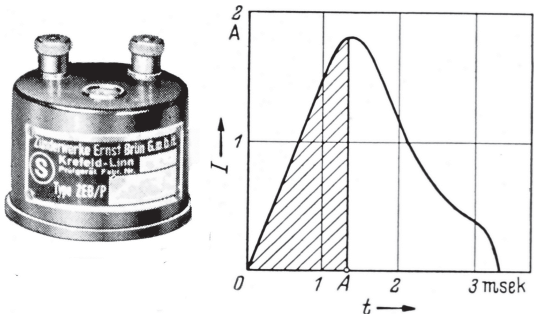


Abb. E-18: links: Zündmaschinenprüfgerät – rechts: Oszillogramm eine Zündmaschine [1]

Bei einem Abbaustreckenvortrieb kann der Widerstand der Leitungen je 10 Ohm und derjenige der 15 hintereinandergeschalteten Brückenzünder 75 Ohm betragen. Das Ohmmeter muss insgesamt 95 Ohm Widerstand anzeigen. Zeigt es etwa 115 Ohm an, so ist die Verbindung der Zünder unter sich oder mit der Leitung schlecht. Bei nur 60 Ohm Widerstand liegt wahrscheinlich Kurzschluss am Ende der Leitung und bei weniger als 20 Ohm ein solcher in der Leitung selbst vor.

Es ist allerdings möglich, dass gleichzeitig Übergangswiderstände und Nebenschlüsse vorhanden sind, die sich in ihrer Wirkung auf das Ohmmeter aufheben. Zeigt also das Ohmmeter den erwarteten Widerstand, so kann daraus noch nicht unbedingt geschlossen werden, dass die Zündanlage fehlerfrei ist. Wird jedoch eine Abweichung festgestellt, so darf keinesfalls gezündet werden.

Eine genaue Prüfung der Zündmaschinen, insbesondere hinsichtlich der Stärke des Stromimpulses nach Ansprechen des Endkontaktes sowie des ganzen zeitlichen Verlaufes des Stromflusses, kann nur durch Aufnahme von Oszillogrammen mit Hilfe eines Oszillographen erfolgen. Abb. E-18 gibt das Oszillogramm einer Zündmaschine wieder, die allen amtlichen Anforderungen genügt.

5 Lagern und Bewirtschaften von Sprengmitteln

Die Hersteller der Sprengstoffe pflegen in jedem Bergbaubezirk oberirdische Sprengstofflager mit großen Beständen zu unterhalten.

Auch die Gruben müssen naturgemäß Lager besitzen, die sich über oder unter Tage befinden können. Tatsächlich herrscht die Lagerung unter Tage weitaus vor. Auf die Lage-

7541014/10787806875Biblio

rung wird hier nicht näher eingegangen. Sie richtet sich ausschließlich nach den geltenden polizeilichen und bergbaulichen Vorschriften. Ausführliches dazu siehe später.

6 Ausführung der Sprengarbeit

6.1 Patronen

Die **Patrone**, in welche der elektrische Zünder oder die Sprengkapsel eingeführt wird, heißt **Schlagpatrone**.

Nach vorherigem Auffalten der Stirnseite der Patronenumhüllung drückt man mit Hilfe eines Dornes aus Holz, Messing oder Kunststoff eine Vertiefung in Richtung der Längsachse und führt den Zünder oder die Sprengkapsel so ein, dass deren Rand mit dem Rand der Patrone abschließt.

Gewöhnlich wird die Schlagpatrone als zweitletzte Patrone eingeführt, und zwar so, dass der Boden der Sprengkapsel zum Bohrlochtiefsten zeigt.
Dies geschieht, um nicht das erste Andrücken des eingebrachten Besatzes unmittelbar über der Sprengkapsel vornehmen zu müssen.

Auch bei der Beseitigung von Sprengversagern, z. B. durch Ausblasen des Besatzes, trifft man nicht unmittelbar auf die Patrone mit der empfindlichen Sprengkapsel. Bei gut detonierenden Sprengstoffen hängt die Sprengwirkung nur unwesentlich davon ab, an welcher Stelle der Ladesäule die Schlagpatrone eingebracht wird. Pulversprengstoffe werden dagegen meist in der Mitte der Ladung gezündet. Eine Zündung von vorn birgt nämlich die Gefahr in sich, dass der Besatz wegen der geringen Explosionsgeschwindigkeit der Pulversprengstoffe aus dem Bohrloch geschleudert wird, ehe die ganze Ladung zur Umsetzung gekommen ist. Auch bei Sprengstoffen, deren Detonationsfähigkeit in längeren Ladesäulen gering ist, z. B. bei Chlorat-Sprengstoffen, empfiehlt es sich, um den Weg der Detonationswelle zu verkürzen, die Schlagpatrone in der Mitte der Ladesäule anzuordnen. Besteht die Gefahr, dass eine Ladung durch die Nachbarladung teilweise weggerissen wird, ist es zweckmäßig, die Schlagpatrone noch tiefer in das Bohrloch einzuführen.
Dadurch soll die Gefahr, dass nicht detonierte Patronen im Haufwerk oder in Bohrlochpfeifen verbleiben oder frei detonieren, vermieden werden. Die Schlagpatrone als zweitletzte Patrone ist im westdeutschen Steinkohlenbergbau vorgeschrieben.

Zum Laden der Bohrlöcher werden Ladestöcke aus Holz oder Kunststoff benutzt. Metallene Ladestöcke sind wegen der Gefahr der Funkenbildung bergbehördlich verboten. Beim Einbringen der Patronen muss jede Gewaltanwendung vermieden werden.
Dies gilt besonders für die Schlagpatrone, da starke Stoß- und Druckwirkungen die Sprengkapsel oder den Sprengstoff zur Detonation bringen können.

6.2 Besetzen

Der **Besatz** hat die Aufgabe, das Bohrloch so lange verschlossen zu halten, bis die Umsetzung des Sprengstoffes vollzogen ist.

Er bewirkt dadurch eine bestmögliche Ausnutzung der Sprengkraft. Bei der Verwendung von Pulversprengstoffen ist es besonders wichtig, einen guten und ausreichenden Besatz einzubringen.

7541014/10787806875Biblio

Bei zu sparsamem Verbrauch würde der sich entwickelnde Gasdruck den Besatz aus dem Bohrloch herausdrücken, bevor die vom Sprengstoff zu leistende Arbeit verrichtet worden ist. Pulversprengstoffe setzen sich überhaupt nur bei vollständigem Einschluss unter Sprengwirkung um.

Brisante Sprengstoffe kommen ohne Besatz zur Detonation. Ein Besatz ist aber auch bei ihnen in jedem Falle angebracht, um die Wirkung des Detonationsstoßes zu unterstützen.

Außerdem ist der Besatz ein ganz wesentliches Mittel zur Verhütung von Schlagwetter- und Kohlenstaubexplosionen infolge einer aus dem Bohrloch austretenden Sprengflamme. Die sichernde Wirkung des Besatzes ist umso größer, je länger er ist. Auf Schlagwettergruben ist daher vorgeschrieben, dass die Länge des Besatzes bei Bohrlöchern bis zu 0,6 m Tiefe mindestens 0,2 m, über 0,6 m bis 1,5 m Tiefe mindestens 1/3 der Bohrlochlänge und über 1,5 m Tiefe mindestens 0,5 m betragen muss.

Wegen ihrer plastischen Beschaffenheit sind Letten und Lehm die verbreitetsten **Besatzstoffe** im Bergbau. Zum einwandfreien Einbringen des Besatzes in die Bohrlöcher wird das Material geknetet und zu Nudeln geformt. Oft stellt der Bergmann die Nudeln selbst her, was wegen der umständlichen und zeitraubenden Arbeit häufig die Ursache für eine zu sparsame Verwendung von Besatz ist. Viele Gruben fertigen daher durch maschinell angetriebene Besatznudelpressen die Lettennudeln über oder unter Tage an. Die Leistung einer solchen Presse beträgt bis 2.000 Stück je Stunde.

Als Besatzstoffe waren früher Mischungen von Letten und Sand, ferner bei abwärtsgerichteten Bohrlöchern loser Sand in Gebrauch. Wegen seiner Silikosegefährlichkeit ist Sand im deutschen Steinkohlenbergbau nicht mehr für Besatzzwecke zugelassen. Auch feingemahlener Tonschiefer, der in feuchtem Zustand plastische Eigenschaften aufweist, ist als Besatz nicht mehr erlaubt.

Im französischen Bergbau dagegen wird in Papierschläuche gefüllter Sand oder auch feingemahlene Kesselasche in großem Umfang verwendet. Es liegt nahe, den Besatz in loser Form mechanisch einzubringen, um Zeit zu sparen und den gesamten Querschnitt des Bohrloches voll auszufüllen.

Erwähnenswert sind hier neuere Versuche mit mechanischen Besatzgeräten, die mittels Druckluft eine Mischung von Wasser und Kalkstaub in die Bohrlöcher einblasen. So konnten Abschläge von etwa 40 Bohrlöchern in rd. 5 min besetzt werden. Die endgültige Bewährung dieses Verfahrens bleibt jedoch abzuwarten.

Wasser ist, da es sich nicht zusammendrücken lässt, ein vorzüglicher Besatz. Es füllt den Besatzraum vollkommen aus und trägt dazu bei, einen großen Teil der Schussschwaden und des Staubes unmittelbar nach dem Abtun niederzuschlagen. In Belgien, neuerdings auch in Deutschland und England, wird Wasser in Kunststoffschläuchen als Besatz verwendet. Diese Wasserampullen, die an beiden Enden wasserdampfdicht verschweißt sind, haben eine Länge von 30 cm.

Im Salzbergbau wird vielfach das angefallene Bohrmehl zum Besetzen der einzelnen Schüsse benutzt. Zum schnelleren Einbringen in die Bohrlöcher wird es zweckmäßig in Papier- oder Kunststoffhülsen gefüllt. Der Zeitersparnis wegen verzichtet man im Salzbergbau häufig auf den Besatz.

7541014/10787806875Biblio

6.3 Vorgabe und Lademenge

Unter Vorgabe versteht man denjenigen Gebirgsteil, der durch die Sprengladung gelöst und geworfen werden soll, oder auch die kürzeste Entfernung zwischen Bohrlochtiefstem und der nächstliegenden freien Fläche.

Die Größe der Vorgabe ist von der Gesteinsstruktur sowie der Größe und Art der Ladung abhängig. Absonderungsflächen und Klüfte stören den Zusammenhang des Gesteins, wodurch die missbildende Wirkung des Detonationsstoßes beeinträchtigt wird.

In stark klüftigem Gebirge können die Sprenggase in die Klüfte eindringen, wodurch die Auswurfkraft geringer wird. Bei sehr starker Kluftbildung haben die Sprengkräfte keine Gelegenheit, das Gestein zu zerkleinern, so dass auf den Gleitflächen größere Stücke herausgeschleudert werden. Auch Streichen und Einfallen ist für die Form des Ausbruches von Bedeutung. Der kleinste Wurftrichter ergibt sich bei einem Streichen parallel zur Stoßlinie und einem Einfallen von 90°.

Die Größe der Ladung ist insofern wesentlich, als von ihr in stärkstem Maße die Form des Auswurftrichters abhängt. Unterladene Sprengungen haben eine geringe Wirkung. Überladene Sprengungen sind wegen des unnötigen Sprengstoffmehrverbrauches und der zu starken Schleuderwirkung nicht zu rechtfertigen. Je nach der Größe des Verhältnisses der Länge h zum Durchmesser d der Ladesäule werden drei **Ladungsarten** unterschieden:

- die geballte Ladung, wenn das Verhältnis kleiner als 2 ist,
- die geballt-gestreckte Ladung bei einer Größe des Verhältnisses zwischen 2 und 4 und
- die gestreckte Ladung, wenn das Verhältnis größer als 4 ist.

Für grobstückiges Haufwerk, wie z. B. zuweilen in Steinbrüchen, kommen nur geballte und geballt-gestreckte Ladungen in Betracht. Für feinstückiges Gut ist eine gestreckte Ladung am geeignetsten, so dass im Untertagebergbau diese Ladungsart fast ausschließlich angewendet wird. Auch im Tagebau herrscht sie vor.

Eine Berechnung von Lademengen ist immer wieder versucht, bisher aber nur unvollkommen erreicht worden. Bekannt ist seit langem, dass die Vorgabe im quadratischen Verhältnis zur Lagemenge steht.
Nachteilig bei jeglicher Berechnung ist die Einbeziehung von Faktoren, die die Eigenschaften des Gesteins, der Ladung und des Sprengstoffes berücksichtigen sollen.

Die gebräuchlichste Sprengformel ist die von „LARES“. Sie lautet $L = m \cdot \omega^2 \cdot q$. Hierbei ist L die Lademenge in kg, m ein Multiplikator mit der Dimension m, ω die Vorgabe in m und q der spezifische Aufwand des Sprengstoffes in kg/m³ Wurftrichter. Der Faktor q, der die Gesteins- und Sprengstoffverhältnisse einschließt, setzt sich wiederum aus mehreren Faktoren zusammen. Seine Bestimmung ist sehr schwierig.

- **Beispiele für die Lademengenberechnung**

Bei einem gleichmäßigen Festgestein lässt sich die erforderliche Lagemenge (Sprengstoffbedarf für einen Abschlag) über eine Massenberechnungsformel ermitteln. Die allgemein angewendete Formel lautet:

$$M_L = V_A \cdot q \text{ [kg]}$$

7541014/1078780687 5Biblio

Dabei ist:

M_L die erforderliche Lademenge in kg

V_A das Ausbruchsvolumen in m³

q der spezifische Sprengstoffaufwand kg/m³

Der spezifische Sprengstoffaufwand ist abhängig von der Gesteins- und Lagerungsartart, z. B.:

0,175–0,200 kg/m³ für dünnbankigen Kalkstein

0,200–0,280 kg/m³ für dickbankigen Kalkstein

0,230–0,260 kg/m³ für dünnbankiges Hartgestein

0,260–0,280 kg/m³ für dickbankiges Hartgestein

0,300–0,350 kg/m³ für massiges Hartgestein

0,300–0,450 kg/m³ für Säulenhartgestein.

Da im Steinkohlenbergbau sehr wechselnde Gesteinsarten (Sandschiefer, Schieferton, Sandstein, Steinkohle) mit unterschiedlicher Lagerung (wechselnd, Einfallen, Lösen, Störungen, Klüfte usw.) anstehen, liegt man mit einem ca. Mittelwert von 0,31 kg/m³ auf der sicheren Seite.

Für die freie Fläche setzt man z. B. noch einen Beiwert E ein. Dieser liegt beträgt bei

- einer freien Fläche 1,0
- zwei freien Flächen 0,8
- drei freien Flächen 0,65
- Auflockerungen 0,4–0,6.

Da im Untertagebergbau i. d. R. nur eine freie Fläche vorhanden ist, kann hier der Wert 1 angenommen werden d. h., er wird in die Formel hier nicht eingesetzt werden.

Beispiel 1 für eine Richtstrecke im Steinkohlenbergbau:

Ausbruchfläche: 36 m², Abschlagtiefe: 4,0 m

Ausbruchsvolumen: $V_A = 36 \cdot 4 = 144$ m³

Spezifischer Sprengstoffaufwand: 0,31 kg/m³

Freie Fläche: $E = 1$

Gebirge: 60 % Sandschiefer, 40 % Steinkohle

Sprengstoff: Wetter-Nobelit B, Patronenlänge: 25 cm, Gewicht 0,25 kg

Anzahl der Bohrlöcher: 25 (siehe Abb. E-26)

$M_L = 144 \cdot 0{,}31 = 44{,}64$ kg

Lademenge je Bohrloch: 44,64/24 ~ 1,86 **kg** je Bohrloch

Anzahl der Patronen je Bohrloch: $1{,}86/0{,}25 = 7{,}44$ (gewählt: 8 Patronen)

Ladelänge: $8 \cdot 0{,}25 = 2{,}0$ m – Zwischenbesatz o. Ä. vorsehen – Besatz: min. 0,75 m

7541014/10787806875Biblio

Beispiel 2 für eine Steinbruchsprengung – Großlochsprengung:

Länge der Wand: 200 m, Höhe: 8 m, Vorgabe 2,5 m

Ausbruchsvolumen: $V_A = 4.000$ m³

Spezifischer Sprengstoffaufwand: 0,28 kg/m³ (dickbankiger Kalkstein)

Freie Fläche: $E = 0{,}8$

Sprengstoff: Loser ANC Sprengstoff (ANFO)

Anzahl der Bohrlöcher: 24 St. ∅ 100 mm

$M_L = 4.000 \cdot 0{,}28 \cdot 0{,}8 = 1.120$ kg

Lademenge je Bohrloch: 1120/24 = 46,7 kg je Bohrloch

6.4 Hohlraumsprengen

Zur Einsparung an Sprengstoff wird des Öfteren im Kali-, Salz- und Erzbergbau bei kleinkalibrigen Sprenglöchern von mehr als 2,5 m Länge das Hohlraumsprengen angewendet. Die Anforderung an die Sprengkraft des Sprengstoffes ist in den einzelnen Abschnitten des Loches verschieden. Die größte Arbeitsleistung wird vom Sprengstoff im Bohrlochtiefsten verlangt.

Außer dem Werfen der Vorgabe muss hier auch noch der Zusammenhang der Vorgabe mit dem dahinter liegenden Gebirge gelöst werden, während in dem übrigen Teil des Bohrloches lediglich die Vorgabe zu werfen und das Gestein im Bereich der Vorgabe zu zerkleinern ist. Auf einigen Gruben wird daher im Bohrlochtiefsten ein wirksamerer Sprengstoff als im übrigen Teil des Bohrloches verwendet.

Es ist auch möglich, im Bohrlochtiefsten Patronen mit etwas größerem Durchmesser als im vorderen Teil des Bohrloches einzuführen. Will man jedoch aus arbeitstechnischen Gründen nur eine Sorte von Sprengstoff mit gleicher Patronierung einsetzen, so ist es zur Einsparung von Sprengstoff zweckmäßig, im vorderen Teil des Bohrloches die Sprengstoffpatronen in einem gewissen Abstand voneinander (Hohlraumschießen) anzuordnen. Hierdurch wird die spezifische Sprengkraft je Meter Bohrloch den Anforderungen an die Sprengleistung in den einzelnen Abschnitten des Bohrloches angepasst.

Nach den Erfahrungen im Kalibergbau ist das Bohrlochtiefste mit 5 bis 7 Patronen von 26 cm voll zu laden. Danach werden im Allgemeinen Patronen von 26 cm Länge mit Zwischenräumen von 30 cm eingebracht. Die letzte Patrone sollte nicht weiter als 75 cm hinter dem Bohrlochmund liegen, um Brillenbildung zu vermeiden.
Diese Regeln werden kaum noch angewandt, da zum größten Teil mit Pumpsprengstoff gearbeitet wird.

Je nach Sprengstoffart und Gesteinscharakter sind die Hohlraumlängen und die Zahl der einzelnen Patronen den Erfordernissen anzupassen. Beim Hohlraumschießen ist die Einsparung an Sprengstoff umso größer und der Sprengstoffverbrauch je Tonne freigeschossenen Haufwerks umso kleiner, je länger die Bohrlöcher werden. In den Firstenkammer- und Strossenbauen des Kalibergbaus werden die Sprenglöcher 5 m bis 10 m und in einigen Betrieben 20 m lang.

7541014/10787806875Biblio

Die Abschlaglängen von Strecken, die nach dem Kanonensprengverfahren mit parallelen Löchern aufgefahren werden, betragen 4,50 m bis 7,50 m. Voraussetzung für die Wirksamkeit des Hohlraumschießens ist ein dichtes und nicht angerissenes Gestein.
Die Detonationswelle und der Detonationsdruck müssen im Hohlraumteil des Bohrloches fortschreiten und voll die nächsten Patronen treffen, damit diese sicher detonieren.

Zur richtigen Bemessung der Hohlräume, deren Länge u. a. von der Art des Sprengstoffs und der Beschaffenheit des Minerals abhängt, dienen Holzstäbe oder Pappröhrchen. Bei horizontalen Löchern kann die Länge der Hohlräume auch mit Hilfe des Ladestockes abgegriffen werden.

Hinweis: Im Bergbau auf Salz und Erz sowie im Tunnelbau und in den Steinbrüchen wird heute überwiegend mit losem Sprengstoff gearbeitet, der in Spezialfahrzeugen angeliefert und pneumatisch in die Bohrungen gepumpt wird.

6.5 Kombiniertes Sprengen

Unter kombiniertem Sprengen versteht man die Anwendung von zwei Sprengstoffarten im gleichen Bohrloch. Der stärkere Sprengstoff muss hierbei grundsätzlich in das Bohrlochtiefste geladen werden. In Kali- und Eisenerzgruben wird das kombinierte Sprengen zuweilen angewandt, um Einsparungen an teurem brisantem Sprengstoff vorzunehmen und gleichzeitig ein genügend kleinstückiges Haufwerk zu gewinnen. Auf Erzgruben haben sich Kombinationen von 50 Gew.-% Chloratit 1 und 50 Gew.-% Dynamit 1 sowie 30 Gew.-% Ammon-Gelit 3 und 70 Gew.-% Donarit 1 gut bewährt.

6.6 Sprengarbeit beim Auffahren von Strecken

Bei der Sprengarbeit im Gesteinstreckenvortrieb sind außer dem Ortsstoß keine freien Flächen vorhanden, nach denen die Ladungen wirken können.
Da die Wirkung der Sprengladung umso besser ist, je mehr freie Flächen vorhanden sind, ist es eine wichtige Aufgabe, solche Flächen zu schaffen. Daher sind das richtige Ansetzen und der Verlauf der Bohrlöcher sowie die Zündfolge von großer Bedeutung für den Erfolg des Abschlages.

Man unterscheidet zwischen dem Sprengen aus dem Vollen und dem Sprengen mit Einbruch. Das Sprengen aus dem Vollen ist dadurch gekennzeichnet, dass man parallele Bohrlöcher in der Ortsbrust verteilt und sie in einem Zündgang abtut.

Das heute hauptsächlich benutzte Sprengverfahren ist das Sprengen mit Einbruch. Der Einbruch dient dazu, aus dem vollen Gebirge zunächst ein Stück herauszusprengen und dadurch weitere freie Flächen zu schaffen. Durch entsprechende Anordnung der Bohrlöcher und durch zeitlichen Abstand der Zündung wird jeder folgenden Sprengung eine eigene freie Fläche verschafft.

Die nicht zum Einbruch gehörenden Ladungen haben die Aufgabe, den Querschnitt auf das erforderliche Maß zu erweitern. Die Art und das Gelingen des Einbruches sind daher für die Länge des jeweils zu sprengenden Abschlages ausschlaggebend.

7541014/10787806875Biblio

6.6.1 Grundformen der Einbrüche

Die Vielzahl der verschiedenen Einbruchsarten lässt sich auf fünf Grundformen zurückführen. Es sind dies der Kegel-, der Keil-, der Dreiecks- der Großbohrloch- und der Brennereinbruch.

Beim **Kegeleinbruch** (Abb. E-19) werden vier oder mehr Löcher so aufeinander zulaufend gebohrt, dass er sich nach Abtun der Ladungen kegelförmig aus der Mitte des Ortsstoßes heraushebt. Entgegen einer weitverbreiteten Meinung dürfen die Enden der Bohrlöcher nicht auseinanderliegen, vielmehr müssen sie möglichst in einem Punkt zusammenlaufen. Die vereinten Ladungen der Einbruchschüsse wirken im Tiefsten als geballte Ladung und werfen das Gestein sicher aus. Anderenfalls sind Bohrlochpfeifen die Folge.

Der Kegeleinbruch ist übersichtlich, leicht zu bohren und benötigt nur wenige Löcher.
Er hat jedoch den Nachteil, dass jedes Loch einen neuen Maschinenstandort verlangt. Außerdem sind mit ihm nur geringe Abschlaglängen möglich, und zwar im Allgemeinen von nicht mehr als 50 % der Streckenbreite. Im Streckenvortrieb wird er daher nur wenig angewendet, dagegen fast immer beim Schachtabteufen.

Beim **Keileinbruch** wird der Einbruch durch in senkrechten oder waagerechten Reihen angeordnete Schüsse keilförmig herausgesprengt (Abb. E-20). Die Bohrlöcher werden zweckmäßig unter einem Winkel von etwa 50° zur Ortsbrust angesetzt, wobei die symmetrischen Löcher in der Mitte aufeinanderstoßen sollen.

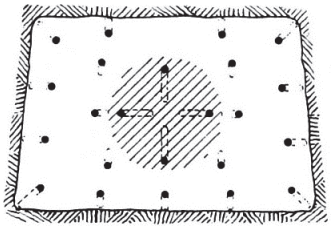
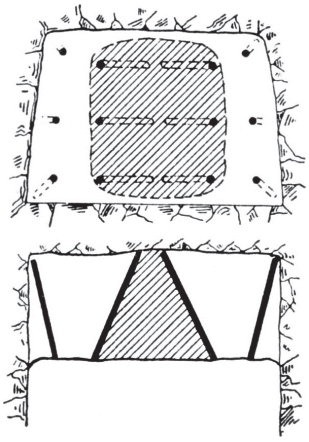


Abb. E-19: Kegeleinbruch [1]



► **Abb. E-20:** Keileinbruch [1]

Ein Verlängern des Keils durch Ansetzen der Bohrlöcher unter größerem Winkel ist zwecklos, weil dann der im Bohrlochtiefsten sitzende Teil der Sprengladung gegen das feste Gebirge gerichtet und somit wirkungslos ist.

Die Vorteile des Keileinbruches sind seine Übersichtlichkeit und Einfachheit sowie die geringe Bohrlochzahl. Durch die symmetrische Anordnung können zwei Mann gleichzeitig bohren. Mit ihm sind Abschlaglängen möglich, die etwa 65 % der Streckenbreite betragen.

Der **Dreieckseinbruch** liegt nicht in der Mitte des Ortsstoßes, sondern entweder mehr zur Firste oder Sohle oder mehr zu einem der beiden Stöße hin.

7541014/10787806875Biblio

Der Einbruch wird durch eine senkrechte oder waagerechte Reihe schräger Bohrungen dreieckig herausgeschossen.
Die Bohrlöcher sind dabei so gegen die Ortsbrust gerichtet, dass die Sprengladungen nach der freien Fläche hin wirken können (Abb. E-21). Um die Vorgabe zu vergrößern, können mehrere Ladungen hintereinandergeschaltet werden.

Beim Dreieckseinbruch sind die notwendigen Bohrmeter und der Sprengstoffverbrauch je m³ Gestein gering. Auch können alle Löcher von einem Maschinenstandort aus gebohrt werden. Die erreichbare Einbruchtiefe ist aber noch geringer als beim Kegel- und Keileinbruch und beträgt im Allgemeinen nur 40 % der Streckenbreite.

Der **Brennereinbruch** wird meist in der Mitte des Ortsstoßes angesetzt und durch vier bis neun parallele Löcher, von denen einige nicht geladen sind, röhrenförmig herausgesprengt (Abb. E-22). In dem abgebildeten Beispiel wird das mittlere Loch nicht geladen. Die für die einzelnen Gesteinsarten geeignetsten Formen des Brennereinbruchs müssen durch Versuche ermittelt werden.

Das Verfahren des Brennersprengens ist im Salzbergbau schon länger bekannt und wird hier als Kanonenschießen bezeichnet.

Die zur besseren Zertrümmerung notwendigen Entlastungslöcher müssen hierbei mit größerem Durchmesser gebohrt werden. Wichtig beim Brennereinbruch ist, dass alle Löcher genau parallel zur Vortriebsrichtung verlaufen. Sie müssen so nahe beieinanderliegen, dass die zwischen ihnen stehenbleibenden Gesteinsrippen zertrümmert werden.

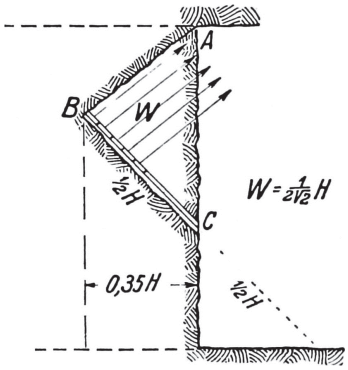


Abb. E-21: Dreieckseinbruch [1]

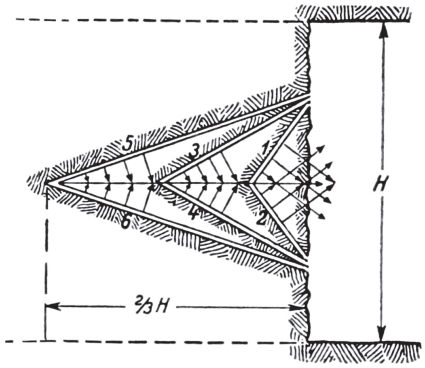


Abb. E -22: Brennereinbruch [1]

Die Einbruchlänge ist von der Streckenbreite unabhängig. Es sind im Salzbergbau schon Einbruchtiefen bis 4,80 m erreicht worden. Vorteilhaft ist auch, dass sich diese Einbruchsart mit ihren dicht beieinanderliegenden parallelen Bohrlöchern vorzüglich für den Einsatz von Bohrwagen eignet. Sofern nicht eine Mindestlänge des Abschlages, und zwar etwa 3 m, überschritten wird, ist er teurer als alle anderen Einbrucharten.

Der Brennereinbruch hat sich in stark wechselndem und im klüftigen Gestein nicht bewährt. Er wird daher im westdeutschen Steinkohlenbergbau nicht mehr angewendet. Verschiedentlich sind beim Vortrieb von Gesteinsstrecken auch Versuche mit einem Großbohrloch als Einbruch unternommen worden.

7541014/10787806875Biblio

Zwar konnte dadurch gegenüber den üblichen Einbrüchen die Abschlaglänge erhöht und die Zahl der Bohrlöcher verringert werden, so dass sich eine Beschleunigung bei der Streckenauffahrung ergab, doch hat wohl wegen der zusätzlichen Kosten für die Herstellung des Großbohrlochs namentlich in hartem Gestein dieses Verfahren keine nennenswerte Verbreitung mehr.
Beim Blindschachtabteufen im Steinkohlenbergbau und beim Streckenauffahren im Kalisalzbergbau wird es dagegen mit Erfolg angewendet.

6.6.2 Abarten dieser Einbrüche

Aus den vier Grundformen haben sich zahlreiche Abarten entwickelt. Sie erlauben, eine größere Abschlagstiefe zu erreichen oder besondere Eigenschaften des Gebirges auszunützen oder auch Bohrlöcher, und damit Sprengstoff einzusparen.

Zur Erzielung eines tieferen Einbruches werden beim Kegel- und Keileinbruch häufig immer spitzer werdende Einbrüche hintereinander gebohrt, wie es Abb. E-23 am Beispiel eines mehrfachen Keileinbruches zeigt. Der ursprüngliche Einbruch heißt kleiner Einbruch, während die Erweiterung als großer Einbruch bezeichnet wird. Mit dem mehrfachen Kegel-und Keileinbruch sind Abschlaglängen von 70 % bis 80 % der Streckenbreite erreichbar.

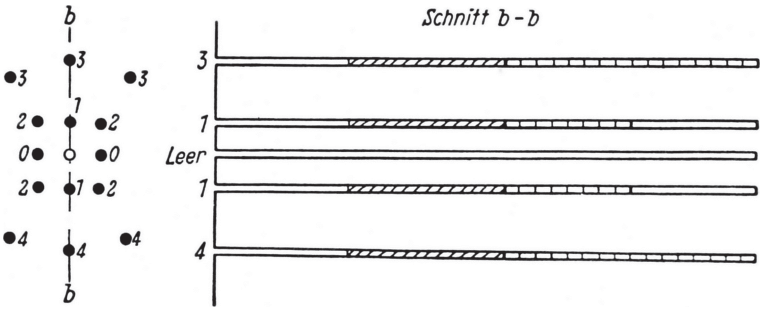


Abb. E-23: Hintereinander folgende Keileinbrüche [1]

- **Fächereinbruch**

Ein **mehrfacher Dreieckseinbruch** ist der Fächereinbruch. Er wird durch fächerförmig angeordnete Sprengreihen zum Stoß, zur Firste oder zur Sohle hin herausgesprengt.

7541014/10787806875Biblio

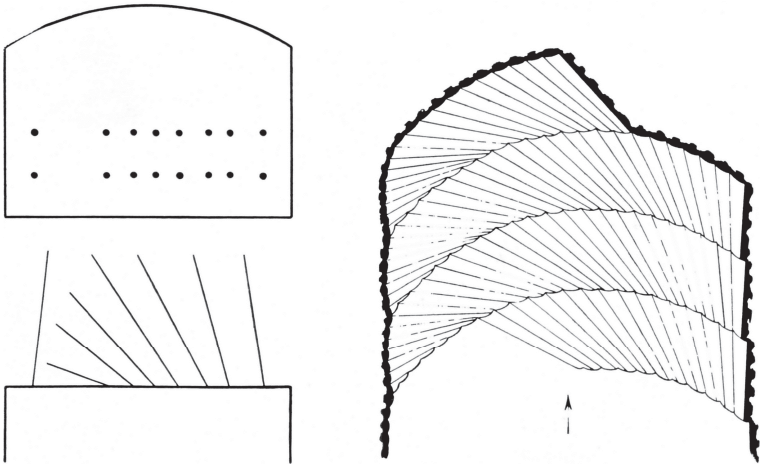


Abb. E-24: links Fächereinbruch – rechts: Stoßeinbruch im Örterbau des Salzabbaus des Werragebietes [1]

Gewöhnlich werden die Bohrlöcher in waagerechten Reihen angesetzt, wie es Abb. E-24 darstellt. Beim Fächereinbruch sind die notwendige Bohrmeterzahl und der Sprengstoffverbrauch gering, da jedes Loch seine Vorgabe hat. Diese Einbruchsart ist für den Einsatz von Bohrwagen mit mehreren Bohrlafetten sehr geeignet. Bei geringen Ausbruchsquerschnitten ist es allerdings schwierig oder sogar unmöglich, lange Bohrstangen in die richtige Lage zu bringen.

Im Kalisalzbergbau des Werragebietes wird in den dort üblichen breiten Örtern der gesamte Abschlag unter Anwendung des Stoßeinbruchs durch Fächer hereingeschossen. Der eine Stoß bleibt dabei um etwa eine Abschlaglänge zurück (Abb. E-25). Im Streckenvortrieb ist ein ähnliches Verfahren verbreitet, dessen Schema Abb. E-26 wiedergibt. Die unterste zuletzt kommende Sprengung der Sprengreihe 9 wirft das gesamte Haufwerk zum anderen Stoß hinüber und macht die linke Seite der Strecke für den Beginn der neuen Bohrarbeiten frei.

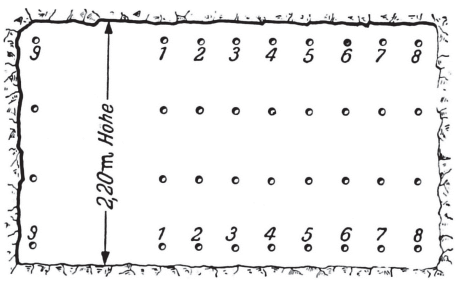


Abb. E-25: Sprenganordnung beim Streckenvortrieb auf Kalisalzgruben [1]

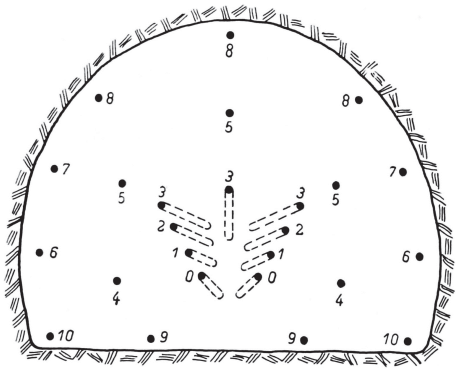


Abb. E-26: Vereinigter Keil- und Dreieckseinbruch [1]

7541014/10787806875Biblio

Hinweis: Vorwiegend wird im Salzbergbau jedoch die Bohr- und Sprengtechnik mit dem Großlochbohrverfahren angewendet, da sich im Salz Großbohrlöcher einfacher herstellen lassen. Außerdem erleichtert dieses Verfahren den wirtschaftlichen Einsatz von programmierten Bohrwagen, da alle Bohrungen parallel verlaufen.

Bemerkt sei, dass zu jeder Sprengreihe – im Kalisalzbergbau „Gang“ genannt – je nach Streckenhöhe 3 bis 4 übereinanderliegende, parallel verlaufende Löcher gehören. Die an der Firste gelegenen werden „Firstlöcher“, die an der Sohle gelegenen „Kraucher“ genannt.

Beim **vereinigten Keil- und Dreieckseinbruch** werden die inneren Bohrlöcher meist V-förmig als Dreieckseinbruch angeordnet, während der äußere Einbruch keilförmig gebohrt wird (Abb. E-26). Bei vollmechanisierten Gesteinsstreckenvortrieben wird er immer mehr angewandt.

Sein Vorteil ist eine große Abschlaglänge bei geringem Bohrmeter- und Sprengstoffaufwand. Er ist auch für sehr festes Gestein sowie für kleinere Ausbruchsquerschnitte geeignet.

- **Einbrüche auf Lösen**

Das Einbruchsprengen wird sehr erleichtert, wenn das Gebirge deutlich ausgeprägte Schichtflächen oder Ablösungen aufweist. Durch geschickte Ausnutzung dieser Lösen kann der Bohrmeter- und Sprengstoffaufwand erheblich eingeschränkt werden.

Bei ausgeprägtem Lösen kommt für streichende und querschlägige Vortriebsrichtung der Löseneinbruch in Betracht. Bei flacher Lagerung bis etwa 10° ist der Sohl- oder Firstlöseneinbruch anwendbar.

Bei ihm wird nach Art des Fächereinbruches mit Hilfe der Lösen der Einbruch dreieckförmig herausgesprengt. Dabei kann der Einbruch je nach dem Schichteneinfallen an der Sohle oder an der Firste liegen. Die Einbruchslöcher sollen hierbei möglichst steil auf das Lösen auftreffen.

Bei einem Einfallen von 10 bis 65° ist für querschlägige Vortriebsrichtung der Schräglöseneinbruch anzuwenden (Abb. E-27). Hierbei wird der Einbruch nach Art des Fächereinbruches auf einer ausgeprägten Schichtfläche herausgesprengt. Fallen die Lösen in die Ortsbrust, so liegt der Einbruch unten, im anderen Falle oben.

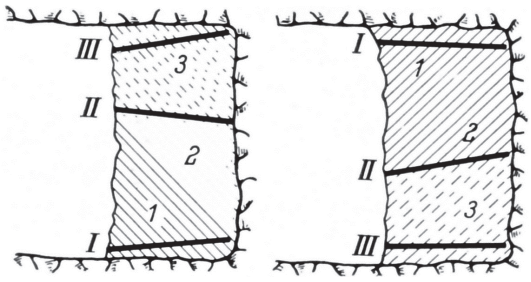


Abb. E-27:
Schräglöseneinbruch [1]

Bei steilem Einfallen über 65° hat sich der Stoßlöseneinbruch bewährt. Der Einbruch liegt dann an einem der beiden Stöße. Die Einbrüche auf Lösen setzen eine große Erfahrung und Anpassungsfähigkeit der Bohrleute voraus. Infolge falscher Einschätzung der Ablösungsflächen sind leicht Fehlschläge möglich, so dass trotz ihres höheren Spreng-

7541014/10787806875Biblio

stoffaufwandes besonders beim beschleunigten Vortrieb von Gesteinsstrecken die beschriebenen Formen der Einbrüche oder ihre Abarten bevorzugt werden.

- **Besonderheiten beim Einbruchsprengen**

Gelegentlich ist es erforderlich, die Schleuderwirkung der Einbruchsprengungen abzuschwächen, z. B. um den Ausbau nicht zu gefährden. Nach Abb. E-28 ist dies dadurch möglich, dass die Sprengungen eines kleinen Einbruches zugleich mit den Ladungen der vom vorhergehenden Abschlag zurückstehenden Sohle abgetan werden. Das aus dem Einbruch in die Strecken geschleuderte Gestein wird auf diese Weise von dem Haufwerk der Sohlenladungen getroffen und gegen die Firste abgelenkt.

In Streckenkurven muss auf den Ausbau besondere Rücksicht genommen werden. Verbleibt nämlich der Einbruch in der Mitte und behält der Ortsstoß seine rechtwinkelige Stellung zur Kurvenachse bei, so wird das herausgesprengte Gestein auf kurze Entfernung gegen den Stoß und gegen den Ausbau geschleudert. Wird dagegen der Ortsstoß schräg zur Kurvenachse gestellt, so ist es möglich, den Ausbau durch die günstigere Wurfrichtung des Haufwerks zu schonen. Dieses Verfahren nutzt die Wirkung des Sprengens mit Millisekundenzünder in Verbindung mit parallel angeordneten Bohrlöchern aus.

Es besteht nach den bisherigen Erfahrungen darin, dass bei der Detonation einer Ladung das benachbarte Gebirge zunächst durch die Stoßwelle kurzfristig in Schwingungen versetzt und anschließend infolge der Wirkung des hohen Druckes der Sprenggase unter Spannung gehalten wird.

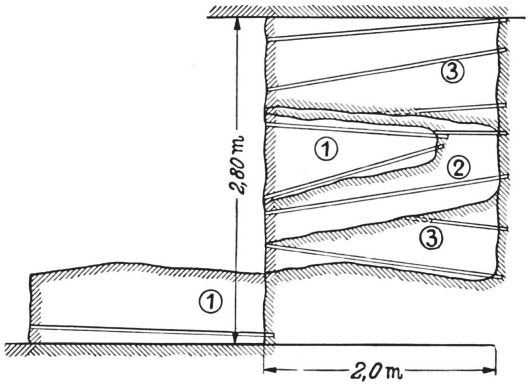


Abb. E-28: Streckenvortrieb mit zurückstehender Sohle [1]

- **Sprengen ohne Einbruch nach dem Parallelbohrloch-Verfahren**

Die folgende Ladung detoniert sehr kurze Zeit darauf zu einem Zeitpunkt, in dem die Umgebung der vorhergehenden Sprengung sich noch in Spannung befindet. Die Stoßwelle dieser Sprengung dringt wenige Millisekunden nach ihrer Entstehung in die gespannten, im Wirkbereich der vorhergehenden Sprengung liegenden Gesteinszonen ein. Innerhalb des wirksamen Schwingungsbereiches wird die Elastizitätsgrenze des Gesteins überschritten und dadurch seine Zerstörung erreicht.

Nach Morhenn sind außer diesem Millisekundeneffekt noch zwei weitere Vorgänge für einen guten und sicheren Sprengerfolg wesentlich. Einmal wird die vorhergehende Sprengung die Umgebung des benachbarten Bohrloches für sehr kurze Zeit unter Span-

7541014/10787806875Biblio

nung setzen und die Ladung so unter Einschluss halten, dass in einem derart fest umschlossenen Bohrlochraum der Detonationsablauf in der Ladesäule und die Umsetzung des Sprengstoffes wesentlich besser und einwandfreier zustande kommen als in einem Bohrloch, das im normal anstehenden, spannungsfreien Gebirge liegt.

Als zweiter wichtiger Einfluss kommt hinzu, dass die höchste Wirkung durch schnell aufeinander folgende Detonationen der gestreckten Ladesäulen dann erreicht wird, wenn alle Bohrlöcher mit ihren Ladungen möglichst parallel verlaufen.
Dadurch wird erreicht, dass die konzentrisch von den Bohrlöchern nach allen Seiten ausgehenden, zylinderförmig um die Bohrlöcher verlaufenden Schwingungs- und Spannungszonen ebenfalls parallel und so zueinander liegen, dass sie sich geradlinig schneiden. Hierbei ist es unwesentlich, wenn die Sohlen-, Stoß- und Firstbohrlöcher so stark nach außen zeigen, dass der erforderliche Streckenquerschnitt erhalten bleibt.

Auch müssen alle Bohrlöcher mit ihrem Ende in einer Ebene liegen und die in Streckenmitte liegenden Ladungen mit den Zeitstufen 0–3 symmetrisch um eine Mittelachse angeordnet sein (Abb. E-29).
Die entsprechend gleichliegenden Bohrlöcher sind mit gleichen Lademengen und die Ladungen des gesamten Abschlages mit einer ununterbrochenen Reihenfolge von Millisekundenzündern so zu versehen, dass benachbarte Ladungen nicht mehr als eine Zeitstufe Unterschied haben.

Alsdann können sich die hin- und herwechselnden Komponenten aufeinander folgender Detonationen in Abständen treffen, die örtlich und zeitlich so günstig liegen, dass innerhalb der kurzfristigen Detonationsabläufe und solange die hochgespannten Schwaden anstehen, gegenseitige Unterstützungen günstig zustande kommen.

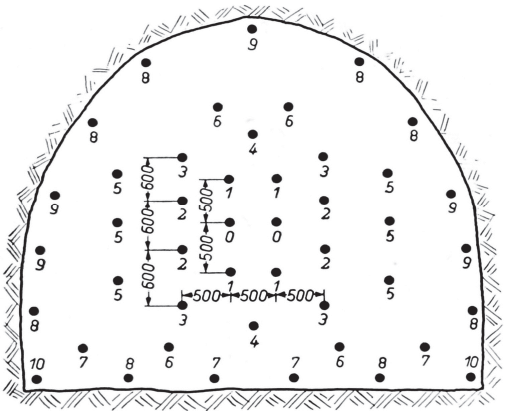


Abb. E-29: Parallelbohrloch-Verfahren mit Zündstufen [1]

Der einmal erprobte Bohr- und Sprengplan bleibt dann bei allen späteren Abschlägen in der betreffenden Strecke im Großen und Ganzen gleich, ebenso die Lademengen je Bohrloch, was den Einsatz von programmierten Bohrsystemen begünstigt und vereinfacht.

Die Fortpflanzung der Schwingungs- und Spannungszonen ist naturgemäß von der Gesteinsart und -beschaffenheit abhängig, so dass der Abstand der Bohrlöcher in verschiedenen Gesteinen verschieden sein muss, um die günstigste Sprengwirkung zu erreichen.

Es hat sich im praktischen Betrieb wiederholt gezeigt, dass es für eine bestimmte Abschlaglänge nicht so sehr darauf ankommt, die Lademenge je Bohrloch zu erhöhen, als

7541014/10787806875Biblio

vielmehr darauf, den Abstand der Bohrlöcher zu verringern und dadurch die Zahl der Bohrlöcher zu erhöhen.

- **Abschlagtiefe**

Das Ausmaß des mit der Sprengarbeit verbundenen abschnittsweisen Vorrückens des Ortsstoßes beim Streckenvortrieb und Aufbruch oder der Schachtsohle beim Abteufen wird Abschlaglänge genannt. Da selten aus dem Vollen gesprengt wird, setzt der Abschlag sich im Allgemeinen aus Einbruch und Kranz zusammen. Die Länge des Abschlags hängt von der Tiefe des Einbruches ab. Die Kranzschüsse dürfen höchstens 10 cm bis 15 cm tiefer gebohrt werden als der Einbruch, da andernfalls die Sprengungen keine freie Fläche haben und infolgedessen unter Stehenlassen von Bohrlochpfeifen den Sprengstoff verpuffen lassen.

Um den Wechsel der Arbeitsvorgänge geringer und damit die Zeitausnützung günstiger zu gestalten, sollte man stets einen möglichst langen Abschlag anstreben. Wie bereits angeführt wurde, ist die Länge des Einbruches von der Einbruchsart, vom Gestein sowie von der Größe des Querschnittes abhängig. Vielfach ist es jedoch nicht möglich, die sprengtechnisch günstigste Abschlaglänge auszunutzen. Es ist dies z. B. dann der Fall, wenn nur ein etwas kürzerer Abschlag in einer Schicht hereingewonnen und weggefüllt werden kann.

Außerdem ist in diesem Zusammenhang der Sprengstoffbedarf und damit die Höchstlademenge je Abschlag zu berücksichtigen, die bei Gesteinssprengstoffen 50 kg beträgt. Bei Wettersprengstoffen ist außerdem noch die zulässige Höchstlademenge je Ladung vorgeschrieben. Diese beträgt z. B. im OBA-Bezirk Bonn 8 Patronen = 800 g bei Wettersprengstoffen der Klasse I und 10 Patronen = 1.250 g bei Wettersprengstoffen der Klasse II und 2.500 g bei den Wettersprengstoffen der Klasse III. Bei Verwendung von Wasserbesatz oder doppelt langen Patronen darf die Höchstlademenge verdoppelt werden.

Als grober Richtwert (bei Kreisquerschnitten) sind folgende Abschlagtiefen zu empfehlen:

– bei kleinen Profilen etwa die Hälfte des Profil-∅,
– bei größeren Profilen ein Viertel des Profil-∅,
– beim Paralleleinbruch etwa bis ein Drittel des Profil-∅.

Die größte Abschlagtiefe sollte 4,5 m nicht überschreiten. Größere Abschlagtiefen scheitern zumeist an der zu großen Verspannung des Gebirges.

Grundsätzlich ist die Bestimmung einer genauen Abschlagtiefe aufgrund vieler Faktoren nicht möglich. Hierzu sind mehrere Versuchs- bzw. Restsprengungen für den jeweiligen Betriebspunkt zu empfehlen.

- **Die Sprengtabelle**

Im deutschen Steinkohlenbergbau sind Vorschriften über die Regelung der Sprengarbeit erlassen, die eine vorsorgliche Sicherung gegen Schlagwetter- und Kohlenstaubexplosionen bezwecken.

Die Anwendbarkeit des Sprengverfahrens wird in den einzelnen Betriebspunkten durch eine Sprengtabelle abgegrenzt, wobei hinsichtlich Grubengasentwicklung und Kohlenstaub zwischen ungefährlichen und gefährlichen Gruben und Feldteilen unterschieden wird. Im Oberbergamtsbezirk Dortmund besteht erhöhte Gasgefahr in allen Betrieben,

7541014/10787806875Biblio

in denen ein Grubengasgehalt von 0,5 % oder mehr vorhanden ist beim Durchfahren eines bekannten Gasbringers u. dgl. Die Verwendung der einzelnen Zünder und Sprengstoffe wird durch die Sprengtabelle erläutert.

	Betriebspunkt	Grenze für CH_4-Gehalt v. H.	ohne Erlaubnis	mit Erlaubnis	mit Erlaubnis für Gruben- u. Feldesteile, die nach der bisherigen Schießtafel I schießen dürfen
1	2	3	4	5	6
a	Reine Gesteinsbetriebe mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,5	ms_3 W I	ms / hs G	ms / hs G
		unter 1,0	ms_3 W III	ms W I	
b	Gesteinsbetriebe mit Kohlenstreifen bis 20 cm Mächtigkeit mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,5	ms_3 W II	ms W I	ms W I
		unter 1,0	ms_3 W III	ms W II	
c	Gesteinsbetriebe mit anstehender Kohle über 20 cm Mächtigkeit mit Ausnahme der Aufbrüche	bis 0,5	ms_3 W III	ms W II	ms W II
		unter 1,0	ms_3 W III	ms W III	
d	Flözstrecken, Abbaustrecken, Abhauen	unter 1,0	ms_3 W III	ms W III	ms W II
e	Aufhauen	bis 0,5	—	ms_6 W III	ms_6 W II
f	Abbaufront	unter 1,0	ms_3 W III	ms W III	ms W II
g	Nebengestein im Strebraum	unter 1,0	ms_3 W III	ms_6 W III	ms_6 W II
h	Blindörter	bis 0,5	—	ms_3 W III	ms_3 W II
i	Aufbrüche einschließlich Seilkanäle und Haspelkammern über Blindschächten sowie Bunker bis zu 30 m Höhe	bis 0,5	ms_3 W III	ms_{10} W II	ms W II
j	Aufbrüche über 30 m Höhe	bis 0,5	—	ms_{10} W II	ms W II

G = Gesteinssprengstoff
W I = Wettersprengstoff Klasse I
W II = Wettersprengstoff Klasse II
W III = Wettersprengstoff Klasse III
hs = Halbsekundenzünder
ms = Momentzünder und Millisekundenzünder
ms_{10} = Momentzünder und Millisekundenzünder der Zeitstufen 1–10
ms_6 = Momentzünder und Millisekundenzünder der Zeitstufen 1–6
ms_3 = Momentzünder und Millisekundenzünder der Zeitstufen 1–3

7541014/10787806875Biblio

- **Zündfolge**

Die Zündfolge ist bei Zeitzündung für das Werfen des Abschlages von großer Bedeutung. Sie soll ein gutes „Kommen“ des Abschlages bewirken und das Haufwerk ladegerecht werfen, ohne den Ausbau zu gefährden. Die Reihenfolge der Zündungen muss derart sein, dass jede Sprengladung der nachfolgenden eine oder mehrere freie Flächen schaffen kann. Eine feste Regel für die Zündfolge ist wegen der Verschiedenartigkeit des Gebirges nicht aufzustellen. Da der Einbruch die ersten freien Flächen liefert, muss er mit Momentzündung oder den niedrigsten Nummern der Zeitzünder abgetan werden. Es folgen die Kranz- oder Nachreißsprengungen, wobei die Zündernummern mit wachsendem Abstand vom Einbruch steigen. Als letzte Ladungen werden daher meist die äußersten Kranzladungen gezündet. Die begrenzte Anzahl der Zünderstufen macht es notwendig, jeweils mehrere Ladungen zu einer Zündstufe zusammenzufassen.

Zur Einsparung von Sprengstoff und Bohrarbeit kann im Gesteinsstreckenvortrieb der Abschlag in mehreren Zündgängen gesprengt werden. Hierbei wird erst der Einbruch gesprengt. Die übrigen Bohrlöcher werden gebohrt und abgetan, nachdem man die Wirkung des Einbruches vor Augen hat. Vielfach werden die oben erwähnten Einsparungen jedoch übertroffen durch die Verlustzeiten infolge der häufigen Arbeitsunterbrechungen. Man zieht es daher vor, den ganzen Ortsstoß in einem Arbeitsgang abzubohren und alle Ladungen in einem Zündgang abzutun. Im vollmechanisierten Gesteinsstreckenvortrieb ohne anstehende Kohle ist dies heute die Regel.

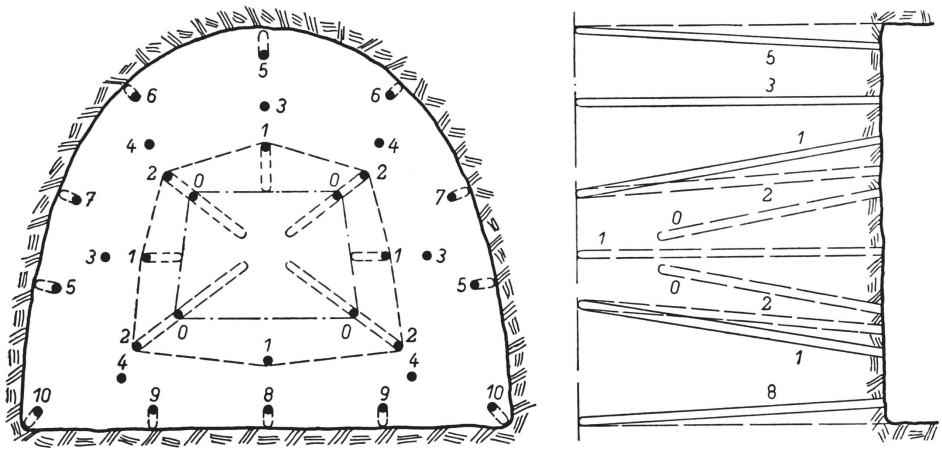


Abb. E-30: Zündfolge bei Anwendung eines doppelten Kegeleinbruchs [1]

Die Zündfolge bei Anwendung eines doppelten Kegeleinbruches veranschaulicht Abb. E-30. Er setzt sich aus dem kleinen und dem großen Einbruch zusammen. Die zusammenlaufenden Ladungen jedes Kegels werden gleichzeitig gezündet.

Auf den kleinen folgt der große Einbruch unter Verwendung der niedrigsten Zündernummern, anschließend die übrigen Ladungen, die kranzartig um den Einbruch herum angeordnet sind. Zumeist werden zwei Sprengkränze benötigt, deren äußerer den Streckenquerschnitt umreißt und im unteren Teil durch die Sohlensprengungen geschlossen wird.

7541014/10787806875Biblio

Die Ladungen des inneren Kranzes können in der gleichen Zeitstufe abgetan werden, während der äußere Kranz wegen der großen Zahl der hierzu gehörenden Ladungen abgestuft gesprengt wird. Für die Sohlenladungen müssen die letzten Zündstufen verwendet werden, wobei die äußeren Sohlensprengungen ganz am Ende der Zündfolge stehen. Dadurch wird das Haufwerk zur besseren Ladefähigkeit nochmals zerkleinert, gelockert und in der Streckenmitte angehäuft (Abb. E-30).

Ist bei Keil- oder Kegeleinbrüchen das Herausschleudern eines allzu wuchtigen Gesteinskerns zu befürchten, so bohrt man diesen vorher durch ein kurzes Bohrloch an und zündet den sogenannten „Pius“ als ersten Ladung.

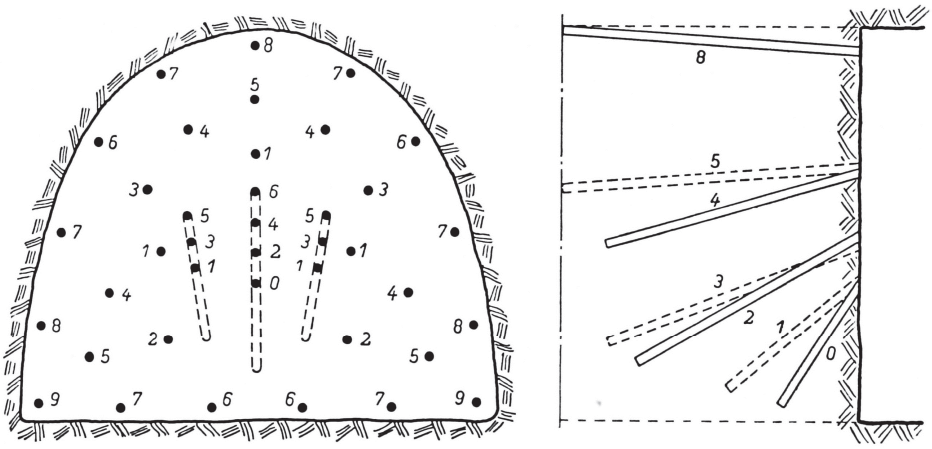


Abb. E-31: Zündfolge bei Fächereinbruch [1]

Abb. E-31 zeigt das Zündschema bei einem Gesteinsstreckenvortrieb von 14 m² Ausbruchquerschnitt im Sandschiefer bei Anwendung eines Fächereinbruches. Die besondere Art des Einbruches empfiehlt an Stelle von Momentzündern ein abgestuftes Sprengen durch Halb- oder Millisekundenzünder.

- **Sprengarbeit beim Auffahren von Abbaustrecken**

Die Sprengarbeit beim Auffahren von Abbaustrecken (Feldortstrecken u. dgl.) im Erzbergbau unterscheidet sich von der geschilderten Sprengarbeit in Gesteinsstrecken nur durch den Umstand, dass es sich im Erzbergbau vielfach um Strecken geringeren Querschnittes handelt.

Anders ist es beim Abbaustreckenvortrieb im Steinkohlenbergbau, da hier ein Teil des Streckenquerschnitts teilweise durch die leichter zu gewinnende Kohle gebildet wird. Von den verschiedenen Einbrucharten ist der Keileinbruch am meisten verbreitet.

Während früher nur bis 5 Ladungen in einem Zündgang abgetan werden durften, so dass mehrere Zündgänge nicht zu vermeiden waren, darf nunmehr neben Momentzündern eine beliebig große Zahl von Millisekundenzündern in einem Zündgang verwendet werden.
Man kann in solchen Fällen auch ohne Einbruch nach dem Parallelbohrloch-Verfahren sprengen.

7541014/10787806875Biblio

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Anwendung dieses Verfahrens in Abbau- und Gesteinstrecken besteht nicht, so dass auf die Ausführungen verwiesen werden kann.

Durch das Hereinsprengen eines Abschlags in einem Zündgang wird der Vortrieb beschleunigt. Von Nachteil ist, dass Kohle und Nebengestein gemeinsam anfallen, so dass die Aufbereitung stärker belastet wird, oder aber die Kohle verlorengeht.

Hinweis: Da heute der Vortrieb von Flözstrecken überwiegend mit Teilschnittmaschinen oder Continuous Miner erfolgt, erübrigen sich weitere Ausführungen. Der Anteil der Berge (Gestein) ist durch die hohe Leistung bei der Kohlegewinnung sehr gering.

- **Maßnahmen zur Beschleunigung der Sprengarbeit**

Der Zeitaufwand der Sprengarbeit beim Streckenvortrieb kann durch verschiedene Maßnahmen verkürzt werden. So können die Bohrlöcher bereits während des Bohrens ausgeblasen werden.

Das Sprengen hinter Sprengdämmen, ein früher hauptsächlich im Saargebiet geübtes Verfahren, ist durch die Entwicklung der neuen schlagwettersicheren Wettersprengstoffe der Klassen II und III gegenstandslos.

Sehr zeitraubend ist das Laden der Bohrlöcher, da es sich nicht mechanisieren lässt und im westdeutschen Bergbau im Allgemeinen nur von einem Sprengmeister vorgenommen werden darf. Es wird daher in manchen Fällen zweckmäßig sein, eine bergbehördliche Genehmigung für den Einsatz eines zweiten Sprengberechtigten zu erwirken.

Eine Verkürzung der Ladearbeit ist weiter erreichbar durch die Verwendung von Patronen mit der etwa drei- bis vierfachen Länge der Normalpatronen. Allerdings sind sie nicht ausschließlich verwendbar, da Normalpatronen bei fast jeder Ladesäule zur genauen Bemessung der Lademenge zusätzlich notwendig sind. Auch können im rückwärtigen Teil der Strecke schon während des Bohrens die Ladesäulen für die vorgesehenen Löcher einschließlich der Schlagpatronen in Kunststoffschläuchen fertiggestellt und alsdann vor Ort gebracht werden.

Was das Besetzen anbetrifft, so ist die zeitraubende Herstellung der Besatznudeln an der Arbeitsstelle selbst zu vermeiden und mit geeigneten Maschinen über Tage oder an zentraler Stelle unter Tage vorzunehmen. Auch kann sich beim Besetzen durch die Verwendung mechanischer Besatzgeräte eine bedeutsame Zeitersparnis ergeben. Die Verkürzung der Wartezeit nach dem Abtun der Sprengladungen lässt sich durch die Anwendung des Nebelwandsprengens erreichen, bei dem das Ort schon nach kurzer Zeit von Schießschwaden freigewaschen ist.

- **Sprengen im Kohlenabbau**

Die Gewinnung der Kohle im Streb erfolgt heute ausschließlich mit modernsten Gewinnungsmaschinen (Einfach- und Zweifach-Walzenschrämlader oder Kohlenhobel in Verbindung mit Stegförderer und selbstschreitendem Ausbau.

Für Einzelfälle reichen die bisherigen Ausführungen.

Bezüglich weiterer Ausführungen zu Sprengarbeiten (z. B. im Salz- und Kalisalzbergbau) wird auf das folgende Kapitel „Rohstoffgewinnung“ verwiesen.

7541014/10787806875Biblio

6.7 Sprengstofftransport

Mobile Transport- und Ladegeräte werden für den Salzbergbau, Erzbergbau und im Tunnelbau eingesetzt. Der Aufbau besteht aus Ladeeinrichtungen, Sprengmittelbehälter, Kompressor. Die Behältergrößen liegen zwischen 80 und 1.200 l. Um Bohrlöcher in größeren Höhen laden zu können, gibt es Ladefahrzeuge mit angebauten Bühnen. Auf dem Fahrzeug befindet sich ebenfalls ein Behälter für die Zünder.

In der Regel werden die Sprengstoffe in mehreren Behältern (bzw. Behältern mit mehreren Kammern) transportiert und vor Ort vor dem Einbringen gemischt (scharf gemacht – Mischladefahrzeuge).

Ein Beispiel zeigt Abb. E-32a. Näheres zu Sprengstofftransport- und Ladegeräten siehe Kap. Fs – Bergbau auf Salz und Fg – Bergbau auf Festgestein.

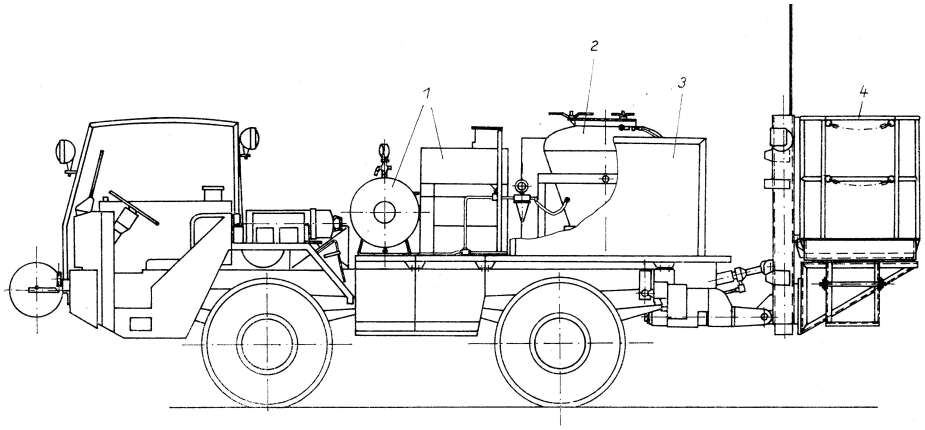


Abb. E-32a: Sprengstofftransport- und Ladegerät Typ SLF-345-D
(aus dem ehemaligen DDR-Bergbau) – 1 Verdichter und Druck; 2 Druckbehälter für Sprengstoff; 3 Sprengmittelbehälter; Arbeitsbühne [51]

Um Bohrlöcher in größeren Höhen bis zu 5 m laden zu können, gibt es auch Ladefahrzeuge mit angebauten Bühnen, deren maximale Hubhöhe 3,2 m beträgt.

6.8 Sprengmittellagerung

6.8.1 Übertagelagerung

Sprengmittellager über Tage sind nach Möglichkeit in Felsböschungen oder standfesten Böden anzulegen. Müssen Sprengmittellager freistehend errichtet werden, so sind sie mit steinfreien Massen allseitig mindestens 1 m zu überschütten. Vor der Eingangstür ist ein Querwall anzuordnen.

Im Abb. E-32b ist ein Übertagelager schematisch dargestellt. Wenn möglich, sollen natürliche Anhöhen, Geländesenken, Einschnitte o. Ä. genutzt werden.

7541014/10787806875Biblio

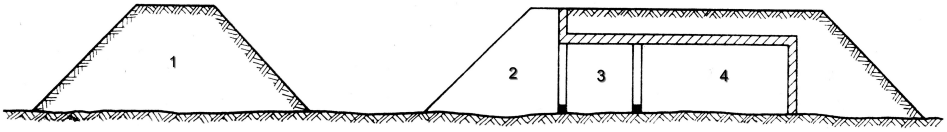


Abb. E-32b: Übertage-Sprengmittellager mit Überschüttung und Wall
1 Sprengmittellagerkammer; 2 Vorraum; 3 Erdüberschüttung; 4 Querwall vor dem Lagereingang [1]

Auch dichter Baumbestand dämpft die Luftdruckwelle und schränkt die Splitterwirkung ein. Als Abstand zwischen Sprengmittellager und bewohnten Gebäuden, Verkehrswegen, Produktionsstätten u. a. sind vorgeschriebene Mindestentfernungen einzuhalten, die je nach der Lagermenge (25 kg bis 250.000 kg) und der Art des zu schätzenden Objektes von 35 m bis 2.000 m gestaffelt sind.

6.8.2 Untertagelagerung

Für das Anlegen dieser Lager sind in Abhängigkeit von der Höchstlagermenge bestimmte Mindestabstände zur Tagesoberfläche, zu Schächten und Sicherheitspfeilern sowie zu anderen untertägigen Grubenbauen einzuhalten. Sprengmittellager werden je nach der einzulagernden Höchstlagermenge als Einkammer- oder Mehrkammerlager eingerichtet. In einer Kammer eines Sprengmittellagers unter Tage dürfen maximal 10 t Sprengstoff lagern. Für Untertagelager mit Lagerkammern für 5.000 kg Sprengstoff muss die Pfeilerdicke zwischen den einzelnen Lagerkammern mindestens 5 m, bei Lagerkammern für 10.000 kg Sprengstoff mindestens 8 m betragen. Um die Wirkung einer evtl. Detonation zu dämpfen, ist es wichtig, 0,5 m bzw. 1,0 m breite Luftzwischenräume zwischen Sprengstoffstapeln und Wänden zu belassen. Deshalb darf in der Regel auch eine Belegungsdichte von 100 kg Sprengstoff je Kubikmeter Lagerraum nicht überschritten werden.

Zur Dämpfung der Luftdruckwellen und Begrenzung der Splitterwirkung werden unter Tage die Zugangsstrecken zu den Sprengmittellagerkammern mehrfach rechtwinklig abgeknickt und zusätzlich Pufferräume angeordnet. Den gleichen Zweck können Druckausgleichskammern (Profilerweiterungen) erfüllen (Abb. E-32c). Unter Tage ist der Abwetterstrom aus dem Sprengmittellager unmittelbar in den Ausziehstrom zu leiten, damit die bei einer Detonation in einer Sprengmittellagerkammer entstehenden erheblichen Sprengschwadenmengen nicht noch an weit entfernten Stellen befindliche Personen gefährden.

7541014/10787806875Biblio

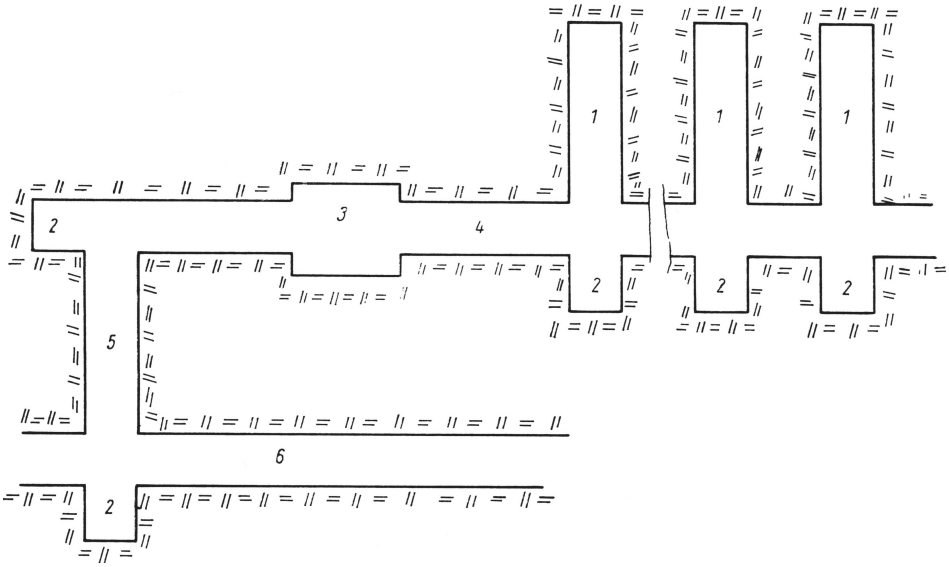


Abb. E-32c: Sprengmittellager unter Tage: 1 Sprengmittellagerkammern; 2 Pufferkammern; 3 Druckausgleichskammer; 4 Sprengmittellagerstrecke; 5 Zugangsstrecke zum Sprengmittellager; 6 Förderstrecke [1]

Die erhöhten Gefahren beim Umgang mit Sprengmitteln stellen zur Sicherung und Einrichtung der Sprengmittellager besondere Anforderungen an Türen und Verschlüsse, Regale, Beleuchtung, Ausmaße der Lagerräume und den evtl. Ausbau der Lager. Zur Sicherung gegen Brandgefahren müssen ebenfalls bestimmte Bedingungen erfüllt werden. Insbesondere sind bei der Lagerung von Pulversprengstoffen und von verschiedenen Sprengstoffarten die entsprechenden Bestimmungen zu beachten.

6.9 Sprengarbeit im Kali- und Steinsalzabbau

Die eigentliche Gewinnung des nutzbaren Materials findet im Untertagebergbau im Abbau statt. In Abhängigkeit von der Lagerstättenform und -größe sowie den vorhandenen Gebirgsverhältnissen werden dafür verschiedene Abbauverfahren angewandt, die sich voneinander durch die Abbauform, die Dachbehandlung und die Abbauweise unterscheiden. Dementsprechend müssen sich die Sprengverfahren den Abbauverfahren anpassen, aber auch umgekehrt beeinflussen die Sprengverfahren die Abbauverfahren.

Für die Sprengverfahren gilt grundsätzlich die Anlage von möglichst langen und zu einer zweiten freien Fläche parallelen Bohrlöchern, um eine hohe Effektivität zu erreichen. Bohrlochdurchmesser, Vorgaben und Bohrlochabstände richten sich nach den jeweiligen Bedingungen und sind entsprechend festzulegen.

Erst durch die Möglichkeit, lange Bohrlöcher zu bohren und mit geeigneten Sprengstoffen Langlochverfahren zu entwickeln, können großräumige bzw. großblockige Abbauverfahren angewandt werden, z. B. der Blockbruchbau.

Das Sprengen im Abbau hat sich vor allem im Erz, aber auch noch im Kali- und Steinsalzbergbau gehalten, während im Steinkohlenbergbau fast nur noch maschinelle Gewinnung betrieben wird.

7541014/10787806875Biblio

6.9.1 Sprengverfahren in kammerartigen Abbauräumen

Bei den Abbauverfahren mit kammerartigen Abbauräumen können deren Ausmaße sehr unterschiedlich sein und Querschnittsgrößen von 10 m² bis zu 1.000 m² erreichen. Für die Art des Hereingewinnens des anstehenden Gesteins mit Hilfe der Bohr- und Sprengarbeit ist neben den einzusetzenden Geräten auch die Standfestigkeit des Gebirges mitbestimmend. Es kann der gesamte Querschnitt im Vollausbruch oder zuerst Abbauvortrieb bzw. Bohrstrecken aufgefahren und danach der gesamte Querschnitt durch Strossen, Drücken der Firste oder fächerartig angesetzte Bohrlöcher gesprengt werden.

6.9.2 Kali- und Steinsalzbergbau

Im Kali- und Steinsalzbergbau gleicht die Gewinnung im Kammerbau mit kleinen Querschnitten bzw. Abbauhöhen bis zu 4 m einem Streckenvortrieb, wobei alle Einbrucharten wie dort angewandt werden. Auch größere Querschnitte, sofern geeignete Bohrgeräte vorhanden sind, lassen eine Gewinnung in Vollausbruch mit hohen Leistungen und günstigen Bedingungen zu.

Bei der Gewinnung in Teilquerschnitten wird im Salzbergbau der Abbauvortrieb am Liegenden, Hangenden oder in der Mitte des Lagers aufgefahren. Nach der Unterfahrung kann die Firste mit etwa 60° bis 65° ansteigenden oder horizontal angesetzten Bohrlöchern gedrückt werden. Mit schräg ansteigenden Sprengbohrlöchern lassen sich Mächtigkeiten der Firste bis zu 8 m hereingewinnen.

Für das Bohren dieser schrägen Bohrlöcher sind Spezialbohrwagen mit kurzer Lafette und verlängerbarem Gestänge erforderlich. Durch das schräge Anbohren der Firste und die Wirkung der Sprengung erfolgt eine die Standfestigkeit beeinträchtigende Erschütterung des im Hangenden anstehenden Gesteins, besonders bei dünnbankiger Ablagerung. Daher ist dieses Verfahren von der Leistung her zwar sehr günstig, ist aber aus Sicherheitsgründen nicht immer anwendbar. Als Vorgaben und Bohrlochabstände sind entsprechende optimale Werte zu wählen, wobei darauf zu achten ist, dass die Stückgröße des Haufwerks förderfähig anfällt. Die bei diesem Verfahren erreichbaren Leistungen sind beträchtlich und können im Salzbergbau bis zu 150 t Hauerleistung und mehr in einer Schicht betragen.

Für sehr große Lagermächtigkeiten, etwa über 12 m, eignen sich das Überfahren mit einem Vortrieb am Hangenden und das nachträgliche Hereingewinnen der Strosse. Dieser Vortrieb kann auch mit Hilfe von Vortriebsmaschinen, z. B. im Steinsalzbergbau, zur Erschütterung führen und schonende Behandlung des Daches erfordern. Wird der Vortrieb mit Bohren und Sprengen durchgeführt, ist eine Nachbehandlung der Firste durch schonendes Sprengen und Handberaubung notwendig.

Zur Gewinnung der Strosse sind in einem Winkel von 60° bis 70° Großbohrlöcher anzusetzen und um 5 % bis 10 % zu überbohren, um eine gute Ausbildung der Sohle für die Abförderung zu erhalten.

7541014/10787806875Biblio

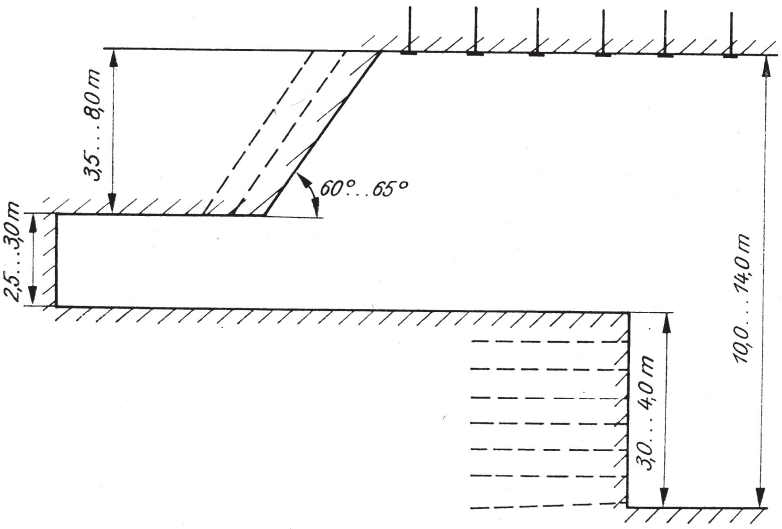


Abb. E-32d: Bohrschema für das Hereingewinnen der Firste mit schräg ansteigenden Bohrlöchern und Strossen durch horizontale Bohrlöcher im Salzbergbau [1]

Je nach der zu gewinnenden Höhe und Breite der Strosse werden die Bohrlochdurchmesser, Vorgaben und Bohrlochabstände festgelegt, wobei die Vorgaben an den Kammerstößen kleiner zu wählen sind, um diese durch schonendes Sprengen zu sichern und Sohle für die Abförderung zu erhalten. Besser ist es, die Sohle durch einen Schram, der vor der Sprengung einzubringen ist, eben zu gestalten. Je nach der zu gewinnenden Höhe und Breite der Strosse werden die Bohrlochdurchmesser, Vorgaben und Bohrlochabstände festgelegt, wobei die Vorgaben an den Kammerstößen kleiner zu wählen sind, um diese durch schonendes Sprengen zu sichern.

Beim Teilsohlenkammerbau in der steilen Lagerung des Kalibergbaus gewinnt man von den Teilsohlen aus sowohl Firste als auch Strosse mit etwa je 20 m in langen Bohrlöchern herein. Hohe Leistungen bei größtmöglicher Sicherheit sind die Vorzüge dieses Verfahrens.

6.9.3 Anwendungsbeispiel für den Erzbergbau

Auch im Erzbergbau können bei großer Standfestigkeit des Gebirges im Kammerbau ähnliche Sprengverfahren angewandt werden. Als Beispiele für diese Verfahren im Erzbergbau seien der Kammerbau und der Teilsohlenkammerbau mit breiten Abbaustrecken oder mit Bohrstrecken angeführt. In Abb. E-32e ist eine Kammer mit Teilsohlen- und Strossenbohrlöchern dargestellt.

Da heute die Gewinnung der Steinkohle fast ausschließlich maschinell erfolgt, kommt der Sprengarbeit nur noch geringe Bedeutung zu.

7541014/10787806875Biblio

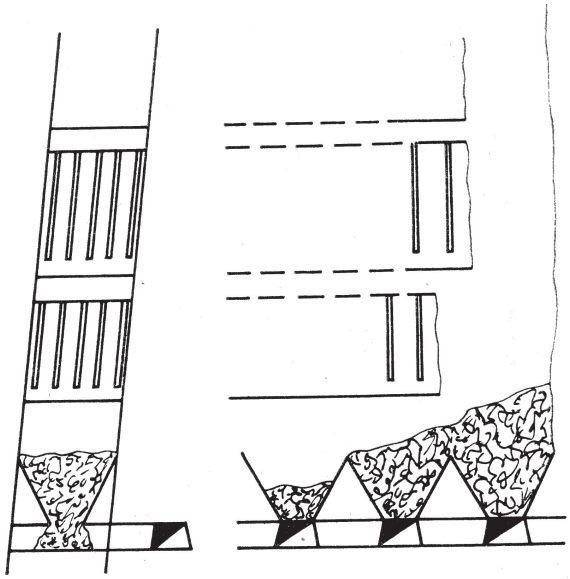


Abb. E-32e: Bohrschema im Kammerbau mit Teilsohlen [1]

- **Sprengverfahren beim Teilsohlenbau**

Auch bei diesem Abbauverfahren sind verschiedene Sprengverfahren anzuwenden, je nach der Form der Lagerstätte und der gewählten Variante.

Beim Teilsohlenbau mit Versatz erreichen die Abbauräume Querschnitte mit Abbauhöhen von maximal 4,5 m unter künstlichen Dach- und Querbrechenbreiten bis zu 12 m von 10 m² bis 50 m². Als Einbrucharten werden Varianten des Paralleleinbruchs mit Bohrlochdurchmessern von 36 mm und 44 mm sowie Abschlaglängen von 1,8 m bis 2,2 m angewandt. Mit der Vergrößerung der Querschnitte beim Teilsohlenbau mit Versatz vermindern sich die spezifischen Aufwände.

Im Teilsohlenbruchbau liegen die Verhältnisse etwas anders, da bei diesem Abbauverfahren kein offener Abbauraum vorhanden ist und von Bohrstrecken aus lange parallele oder fächerartig bzw. radial angeordnete Bohrlöcher für die Sprengung eingebracht werden (Abb. E-32f).

Hierbei sind in Abhängigkeit von der Standfestigkeit und Sprengbarkeit des Gebirges optimale Teilsohlenabstände festzulegen und danach das Bohr- und Sprengschema zu bestimmen. Die Bohrlochdurchmesser betragen 50 mm bis 100 mm je nach den Erfordernissen. Vorgaben und Bohrlochabstände sind zu berechnen, wofür es entsprechende Grundlagen gibt (s. Abschnitt 4.4). Die Stellung der Bohrfächer kann senkrecht oder auch geneigt sein, was von den jeweiligen Bedingungen abhängt, die durch die Klüftigkeit des Gebirges und das angestrebte Sprengergebnis gegeben sind. Das Sprengen der Fächer erfolgt im Zwang; das muss bei der Wahl der Sprengparameter berücksichtigt werden, damit keine allzu große Verdichtung des Haufwerks zu Schwierigkeiten führt.

7541014/10787806875Biblio

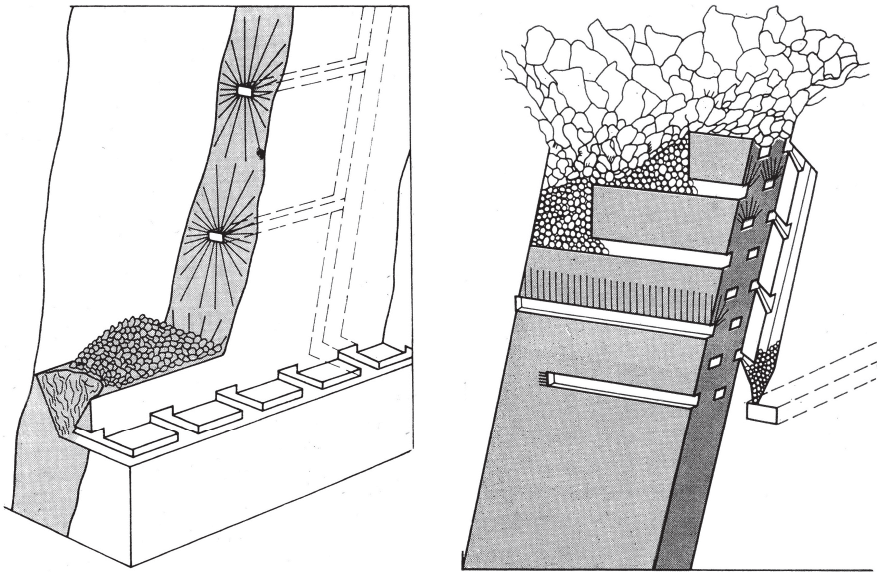


Abb. E-32f: Bohrschema beim Teilsohlenbruchbau – links: in streichenden Bohrstrecken und radialen Bohrlöcher – rechts: in querschlägigen Bohrschnecken und Bohrfächern [51]

7 Sprengverfahren im Tagebau

Die Gewinnung fester mineralischer Rohstoffe im Tagebau erfolgt nahezu ausschließlich mit Hilfe der Bohr- und Sprengtechnik. In den letzten Jahrzehnten haben sich die Abbauverfahren und die dabei angewandten Sprengtechnologien mit der Entwicklung sowohl der eigentlichen Bohr- und Sprengtechnik als auch der technischen Ausrüstungen in den Nachfolgeprozessen stark verändert.

Nachdem die Bohrtechnik die effektive Herstellung langer großkalibriger Bohrlöcher ermöglichte, wurde das Großbohrlochsprengverfahren entwickelt; im Prinzip eine Übertragung der Erfahrungen aus Reihensprengungen mit kleinkalibrigen Bohrlöchern in größere Dimensionen, welches heute das dominierende Verfahren ist.

7.1 Besondere Probleme bei Übertagesprengungen

Die Besonderheiten bei der Durchführung von Gewinnungssprengungen über Tage leiten sich ab aus

- den großen Dimensionen der Sprengungen,
- der exponierten Lage über Tage.

Die oftmals mehrere Tonnen Sprengstoff umfassenden Sprenganlagen stellen erhöhte Anforderungen an die

- Durchführung der Sprengstoffladearbeit,
- Qualität der Dimensionierung,
- ökonomische Betrachtung des Prozesses.

7541014/10787806875Biblio

So sind bei der Sprengstoffladearbeit Fragen des maschinellen Sprengmitteltransportes, der Mechanisierung des Sprengstoffladens und der Einhaltung zeitlicher Vorgaben (feste Sprengzeiten), die oftmals mit der Umgebung abzustimmen sind, große Aufmerksamkeit zu widmen. Fehler in der Anordnung der Laderäume oder der Ladungsberechnungen können aufgrund der großen Sprengstoffmengen große Schäden verursachen.

Die Bohr- und Sprengarbeit stellt in diesen Dimensionen eine wesentliche kostenbeeinflussende Größe dar, die dazu zwingt, dass das erreichte Sprengergebnis im Zusammenhang mit den Kosten im Gesamtgewinnungsprozess zu betrachten ist, d. h., ein optimales Sprengergebnis in Abhängigkeit von den Gesamtkosten ist anzustreben.

7.2 Anforderungen an das Sprengergebnis

Die Ergebnisse von Sprengungen im Festgestein im Allgemeinen und Großbohrlochsprengungen im Besonderen sind durch folgende Erscheinungsformen charakterisiert:

- Stückigkeit des Haufwerks,
- Lage des Haufwerks,
- Ausbildung (Ebenheit) der Arbeitsebene,
- Ausbildung der Kontur des Stehenbleibenden (Wandböschung),
- Nebenwirkungen (Sprengerschütterungen, Luftdruckwelle, Wegschleudern von Gesteinsstücken, Staub und Sprengschwaden usw.).

Je nach dem Ziel der Sprengung, dem Verwendungszweck des Haufwerkes, der Bestimmung des Stehenbleibenden, den Lagerstätten- und den Lärmbedingungen werden dabei unterschiedliche Anforderungen an die einzelnen Formen des Sprengergebnisses gestellt.

- **Haufwerksstückigkeit**

Die Haufwerksstückigkeit ist die wesentlichste, die Nachfolgeprozesse leistungs- und kostenmäßig beeinflussende Größe. Ihr wird deshalb in der Regel bei Gewinnungssprengungen die größte Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Anforderungen an die Haufwerksstückigkeit werden bestimmt von den technischen Ausrüstungen der Nachfolgeprozesse (diese sollten ihrerseits in Abhängigkeit von der Haufwerksstückigkeit gewählt werden) und dem Verwendungszweck. Im Einzelnen sind folgende Anforderungen möglich, wobei in der Regel mehrere Forderungen parallel erhoben werden. Die Bedeutung der einzelnen Punkte ist dabei von den konkreten Lagerstättenbedingungen abhängig, und zwar von:

- der maximalen Haufwerkskorngröße,
- der zulässigen Korngröße der Ausrüstung,
- der maximalen Feinstückigkeit,
- dem maximalen Feinkorngehalt,
- der gleichmäßigen mittl. Stückigkeit (z. B. Kalksteingewinnung),
- einem breiten Kornspektrum, das einer vorgegebenen Kornverteilung entspricht.

7541014/10787806875Biblio

7.3 Sonstige Anforderungen

- **Haufwerkslage**

Sie hat sowohl Einfluss auf Leistungen und Kosten der Nachfolgeprozesse als auch auf die Sicherheit dieser Arbeiten. Die Anforderungen an die Haufwerkslage werden ebenfalls von den technischen Ausrüstungen der Prozesse Laden und Fördern und den örtlichen Bedingungen bestimmt. Generell kann unterschieden werden in Forderungen nach der Haufwerkshöhe und nach der Abwurfweite.

Die Haufwerkshöhe muss in der Regel kleiner als die maximale Kraghöhe des Baggers sein, damit für den Ladebetrieb die erforderliche Sicherheit gewährleistet ist.

Die Abwurfweite des Haufwerks muss so gestaltet werden, dass in Auswurfrichtung stationierte Geräte und Ausrüstungen nicht verschüttet bzw. getroffen werden. Dabei korrelieren Haufwerkshöhe und Abwurfweite logischerweise miteinander.

- **Ausbildung der Arbeitsebene**

Die Ausbildung der Arbeitsebene (Baggersohle, Bohrgerätesohle für nächsttiefere Strosse) hat wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit der Ladegeräte und die mögliche Geschwindigkeit und den Verschleiß gleisloser Fördergeräte. Die Auflockerung spielt darüber hinaus eine Rolle für die Größe der Bohrmeterverluste durch Steinnachfall für die nächsttiefer liegende Strosse. Dementsprechend ist eine ebene, wenig aufgelockerte Sohle zu fordern.

- **Ausbildung der Kontur des Stehenbleibenden**

Sie hat Bedeutung für die Standsicherheit der Felsböschungen und die Sicherheit gegen Steinfall aus der Wand.

Bei Felsböschungen, an denen weiterhin Sprengungen durchgeführt werden, hat die Kontur des Stehenbleibenden außerdem Bedeutung für die Wahl der Vorgabe im Zusammenhang mit möglichen Fehldimensionierungen der Lademengen aufgrund stark schwankender Vorgabewerte. Sie ist demnach eben und wenig aufgelockert zu fordern, wobei die projektierte Lage (Neigung) weitgehend zu erreichen ist. Besondere Anforderungen hinsichtlich der Maßhaltigkeit und einer minimalen Auflockerung sind für Gewinnungssprengungen nicht typisch und werden mit Sondermaßnahmen (schonendes Sprengen) realisiert.

- **Abhängigkeit des Sprengergebnisses von den Lagerstättenbedingungen**

Hinsichtlich der Anforderungen an das Sprengergebnis ist zu beachten, dass es maßgeblich von den natürlichen Bedingungen beeinflusst wird, d. h. von den Gesteinseigenschaften und dem Trennflächengefüge des Gebirges, und durch die Wahl der technologischen Parameter nur in bestimmten Grenzen gesteuert werden kann. Außerdem korrelieren die Formen des Sprengergebnisses miteinander.

7541014/10787806875Biblio

7.4 Begriffe und Techniken

7.4.1 Begriffe

- **Sprengerfolg**

Für harte Gesteine sind zur Erzielung des gewünschten Sprengerfolges Sprengstoffe mit der nötigen Brisanz erforderlich. Diese Voraussetzung erfüllen gelatinöse Sprengstoffe und Emulsionssprengstoffe. Für Kranzschüsse können darüber hinaus – für das unterkalibrige Laden und gebirgsschonende Sprengen – schwere Sprengschnüre (80 g/m bis 100 g/m) verwendet werden.

Hinweis: Im Steinkohlenbergbau sind Sprengschnüre nicht zugelassen.

- **Laderaum**

Zur Erzielung des gewünschten Sprengergebnisses und der optimalen Gestaltung der Bohr- und Sprengarbeit ist die Anordnung der Laderäume im zu sprengenden Medium ausschlaggebend. Wesentlichste Kriterien sind dabei

– Vorgabe,
– Seitenverhältnis,
– Bohrlochlänge,
– Laderaumgröße im Verhältnis zum Volumen der Sprengstoffladung.

Außerdem spielen die Größe des für die Verdämmung vorgesehenen Raumes und bei gestreckten Ladungen die Neigung der Bohrlöcher zur freien Fläche und die Form der freien Fläche selbst eine wichtige Rolle. Dabei sind Lage und Größe, Festigkeit und struktureller Aufbau des zu sprengenden Mediums zu beachten.

Alle diese Faktoren stehen in einer innigen Wechselbeziehung zueinander. Im Folgenden soll auf die wichtigsten dieser Parameter eingegangen werden.

- **Vorgabe**

Die eingesetzten Sprengstoffe sollen eine Vorgabe werfen. Die Vorgabe ist dabei die kürzeste Entfernung zwischen der Ladung und der nächstgelegenen freien Fläche. Die Größe der Vorgabe hängt entscheidend von

– der Sprengbarkeit des Gesteins und
– der Art (Dichte) und Menge des Sprengstoffs ab, die man im Laderaum (Bohrloch) unterbringt.

Ein richtig ausgeladenes Bohrloch hilft, Bohrarbeit zu sparen. Wobei Bohren aus wirtschaftlicher Sicht immer teurer ist als Sprengen. Deshalb sollte das Bohrlochvolumen ausgenutzt werden.

7541014/10787806875Biblio

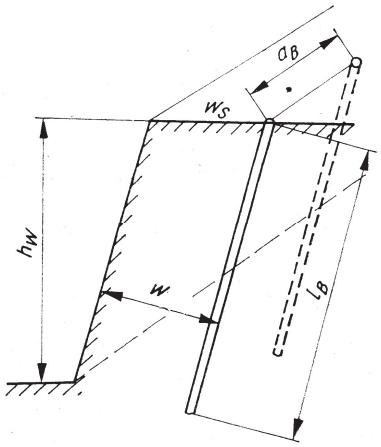


Abb. E-33: Detail der Vorgabe [1]

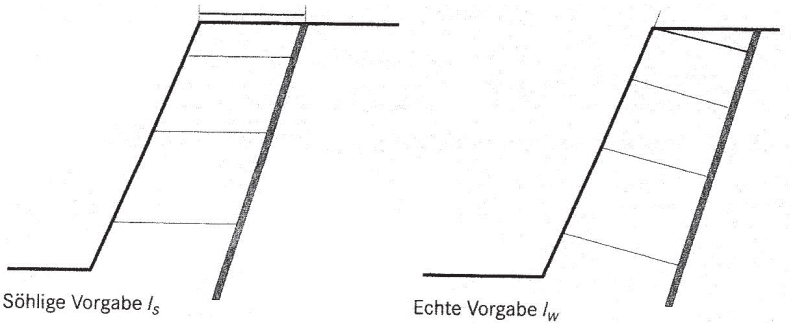


Abb. E-34: Söhlige Vorgabe l_S und echte Vorgabe l_W [1]

- **Ermittlung des Ausbruchsvolumens**

Um das Ausbruchsvolumen V_A in m³ zu ermitteln, wird die senkrechte Wandhöhe h_W in m unabhängig von der Bohrlochneigung in der Regel mit der söhligen Vorgabe W_S (dies ist die kürzeste Entfernung der freien Fläche zur Sprengladung) sowie dem Bohrlochabstand α_B multipliziert.

Daraus ergibt sich für das einzelne Bohrloch:

$V_A = h_W \cdot \alpha_B \cdot W_S$ [m³ je Bohrloch]

Bei einer Bohrlochreihe wird V_A mit der Anzahl der Bohrlöcher Z_B multipliziert.

Damit wird

$V_{A\,gez.} = V_A \cdot Z_B$ [m³]

Einfaches Beispiel für eine Einreihensprengung:

Gegeben:

$h_W = 10{,}0$ m

$W_S = 2{,}5$ m

$\alpha_B = 2{,}0$ m

7541014/10787806875Biblio

$Z_B = 16$ (–1 für die beiden Endbohrungen, die keinen vollen Anteil bringen)

$V_{A\,gez.} = 10 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot 15 = 750\ m^3$

Erforderlich Lademenge M_L bei g = 0,25 kg/m³ (dickbankiger Kalkstein)

$M_L = 750 \cdot 0{,}25 = 187{,}5\ kg$

- **Verspannung**

Im Übertagebereich stehen beim Sprengen zwei freie Flächen zur Verfügung. Die Verspannung ist dort geringer als unter Tage. Beim Vortrieb unter Tage ist meist nur eine freie Fläche vorhanden, die zweite muss durch den Einbruch geschaffen werden, der die Verspannung löst. Die Verspannung wächst mit kleinerem Querschnitt und/oder großer Abschlaglänge. Man benötigt dann mehr Sprengstoff je m³ zu sprengenden Gesteins. Der Sprengstoffbedarf beim Sprengen von Kalotte und Strosse ist unterschiedlich. In der Strosse – mit zwei freien Flächen – ist oftmals nur 1/3 der Sprengstoffmenge notwendig, die in der Kalotte eingesetzt werden muss.

7.4.2 Großbohrlochsprengungen

Großbohrlochsprengungen über Tage sind Gewinnungssprengungen, bei denen die Sprengbohrlöcher länger als 12 m sind und einen Durchmesser von mehr als 50 mm aufweisen. Sie sind gekennzeichnet durch die Anordnung abwärts geführter Bohrlöcher, die in einer oder mehreren Bohrlochreihen parallel zur Strossenkante niedergebracht werden.
In Ausnahmefällen (mit Ausnahmegenehmigung der zuständigen Bergbehörde) sind horizontale bis leicht aufwärts geneigte Sohlenbohrlöcher, sog. Heber, in Kombination mit den Strossenbohrlöchern möglich.

Mit der Gestaltung der Anlage einer Großbohrlochsprengung kann das Sprengergebnis in bestimmten, von den Lagerstättenbedingungen abhängigen Grenzen beeinflusst werden und damit die Ökonomie des Gesamtgewinnungsprozesses.

- **Vorbereitung und Durchführung von Großbohrlochsprengungen**

Die Einhaltung der Bohrlochneigung und -richtung ist aber auch bei „eingesprengten Wänden“ Voraussetzung für die Vermeidung von aus Bohrlochabweichungen resultierenden Dimensionierungsfehlern.

Für die Konstruktion der Ladesäule ist zu beachten, dass auch bei möglichen Störungen im Ladeprozess der Bohrlöcher garantiert wird, dass verstreute Sprengmittel im Haufwerk vermieden werden, d. h., dass die Ladesäule über die volle Länge detoniert.
In der Praxis wird das in der Regel mit einer durchgehenden Sprengschnur erreicht. Bei schwierigen Bedingungen werden im Bohrlochtiefsten auch brisantere Sprengstoffe als im oberen Bohrlochteil bzw. bei Verwendung von losen Sprengstoffen solche mit einer höheren Dichte eingebracht.

Die eigentliche Ladearbeit erfolgt bei patronierten Sprengstoffen manuell, bei losen Sprengstoffen manuell und maschinell, besonders bei sehr großen Lademengen mit Sprengstoffladefahrzeugen bzw. Sprengstoff-Mischladefahrzeugen. Dabei ist bei durchgehender Ladesäule lediglich die einwandfreie Unterbringung der berechneten Lademenge, bei Ladesäulen mit Zwischenbesatz Lage und Länge derselben durch ständige Überprüfung der Bohrlochfüllung mittels Lotung zu kontrollieren.

7541014/10787806875Biblio

- **Abbaubedingungen bei Großbohrlochsprengungen**

Die Parameter einer Großbohrlochsprengung werden zweckmäßigerweise gegliedert in die Parameter der Abbaubedingungen und die Bohr- und Sprengparameter im eigentlichen Sinne. Die Abbaubedingungen sind nur langfristig veränderlich und durch Aufschluss und Abbausystem weitgehend im Voraus festgelegt. Ihrer richtigen Wahl kommt deshalb außerordentlich große Bedeutung zu. Sie sind charakterisiert durch die

– Parameter der Abbaugeometrie, d. h. durch Wand- bzw. Strossenhöhe, Wandneigung, Abschlaglänge und Gesamtvorgabe,
– Verhiebsrichtung, d. h. Stellung der Abbauwand zum Kluftsystem,
– Verspannung der Sprenganlage.

- **Wandhöhe**

Sie ist ein aus sicherheitstechnischer und technologisch-ökonomischer Sicht zu wählender Parameter. Sie bestimmt maßgebend die Haufwerkslage, insbesondere die Haufwerkshöhe, und hat außerdem Einfluss

– über den Bohrlochausnutzungsgrad auf die Zerkleinerungswirkung,
– über die Lademenge je Bohrloch in Verbindung mit Verzögerungszündung auf die Sprengerschütterung,
– über die beim Bohren erreichbaren Genauigkeiten auf die Schleudergefahr beim Sprengen aus der Vorgabe der ersten Reihe.

- **Abschlaglänge**

Die Abschlaglänge, bei Großbohrlochsprengungen die wandparallele Erstreckung der Sprenganlage, ist von der Länge der Abbauwand abhängig. Sie wird im Zusammenhang mit der Reihenanzahl bzw. der Gesamtvorgabe durch die aufgrund der technologischen Grenzen bzw. der maximal zulässigen Sprengerschütterungen gegebene Größenordnung der Sprenganlage begrenzt.
Eine zu häufige Unterteilung der Abbauwand wirkt sich durch die in den Übergangsbereichen verstärkt anfallenden Übergrößen negativ auf die Haufwerksstückigkeit aus.

Die Gesamtvorgabe steht in engem Zusammenhang mit der Bohrlochreihenanzahl. Sie hat außerdem Einfluss auf die Verspannung der Sprenganlage.

- **Verspannung der Sprenganlage**

Sie hat für die Durchführung von Großbohrlochsprengungen zunächst nicht die Bedeutung, da stets eine seitlich freie Fläche vorhanden ist. Hinsichtlich der Steuerung des Sprengergebnisses stellt die Verspannung aber eine ausschlaggebende Größe dar. Wie aus theoretischen und praktischen Untersuchungen hervorgeht, beeinflusst der „Einschließungsgrad“ der Vorgabe die Einwirkungszeit der Sprengenergie und damit die Zerkleinerungswirkung maßgeblich.

Es wurde nachgewiesen, dass bei einer geringen Verspannung hohe Abwurfgeschwindigkeiten und relativ grobstückiges Haufwerk erzielt werden, während bei Verhinderung des schnellen Abwurfs wesentlich kleinstückigeres Haufwerk anfällt. Die praktische Anwendung dieser Erkenntnisse führte zum Sprengen im Zwang bzw. zum Sprengen gegen einen Haufwerkpuffer, welcher den Abwurf praktisch verhindert und damit bei geringer Haufwerkshöhe maximale Zerkleinerungseffekte bewirkt und gleichzeitig eine weitere Steigerung des spezifischen Sprengstoffverbrauchs ermöglicht.

7541014/10787806875Biblio

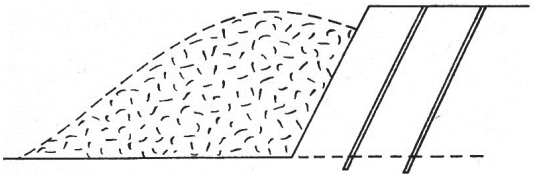


Abb. E-35: Sprengen gegen Haufwerkpuffer

7.4.3 Sprengtechnische Begriffe

- **Verhiebsrichtung**

Bei der Wahl der Verhiebsrichtung sind sicherheitstechnische und ökonomische Aspekte zu beachten. Wichtig ist, das vorhandene Kluftsystem in seinen Schwankungen zu kennen und die sprengtechnische Wirkung der einzelnen Kluftscharen richtig einzuschätzen.

Bei Vorhandensein einer dominierenden Kluftschar (z. B. Schichtung) ist in der Regel der streichende Verhieb zu bevorzugen. Ein Verhieb in Einfallrichtung bringt eine Verbesserung der Haufwerksstückigkeit, erfordert aber einen höheren spezifischen Sprengstoffeinsatz und ergibt höhere Haufwerkslagen. Ein Verhieb entgegen dem Einfallen bringt die geringste Zerkleinerungswirkung und ist für Einfallwinkel, die kleiner als die Wandneigung und größer als der natürliche Rutschwinkel sind, aus sicherheitstechnischen Gründen abzulehnen, da die Gefahr des Ablösens von Gebirgsteilen auf den Kluftflächen besteht.

Bei Vorhandensein gleichberechtigter Kluftscharen, in der Regel stehen drei Kluftscharen annähernd senkrecht aufeinander, ergibt ein Verhieb winklig zu den beiden steilen Kluftscharen die beste Haufwerksstückigkeit. Dabei sollte bezogen auf die flache Kluftschar streichend bzw. entgegen dem Einfallen gefahren werden. Eine Abbauwand parallel zu einer steil stehenden Kluftschar, bei der die Bohrlochneigung noch dem Einfallwinkel entspricht, bringt die geringste Zerkleinerungswirkung.

- **Reihenanzahl**

Der Einfluss der Anzahl der in einer Sprengung gezündeten Bohrlochreihen auf das Sprengergebnis ist in engem Zusammenhang zum Einfluss der Gesamtvorgabe und der Verspannung und den dort beschriebenen Auswirkungen zu sehen. Besonderen Einfluss hat die Bohrlochreihenanzahl auf die Haufwerksstückigkeit und die Haufwerkslage.

Durch die nahezu gleichzeitige Beanspruchung des Gebirges zwischen den Bohrlochreihen von zwei Seiten wird hier im Gegensatz zur Vorgabe der ersten Reihe eine höhere Zerkleinerung erreicht.
Mit Zunahme der Reihenanzahl wird der Anteil der ersten Reihe an der Gesamtvolumenvorgabe immer kleiner, so dass eine kontinuierliche Senkung des Übergrößenanfalls erreicht wird.

Hinsichtlich der Haufwerkslage ist mit zunehmender Reihenanzahl eine Vergrößerung der Haufwerkshöhe bis wenig über die Wandhöhe zu verzeichnen, auch erhöht sich die Dichtheit der Lagerung, wodurch die Ladearbeit beeinträchtigt wird.

7541014/10787806875Biblio

- **Detonationsrichtung im Bohrloch**

Sie wird durch die Lage der Schlagpatrone bestimmt. Die sprengtechnisch günstigste Lage der Schlagpatrone ist das Bohrlochtiefste, auch wenn die praktische Realisierung oftmals auf Schwierigkeiten stößt. Am Böschungsfuß stehen die schwierigsten Bedingungen an, und es ist logisch, dass dort die Sprengenergie möglichst schnell und lange wirken muss. Abb. E-36 zeigt eine vereinfachte Gegenüberstellung der Zündung vom Bohrlochmund gegenüber der Zündung aus dem Bohrlochtiefsten.

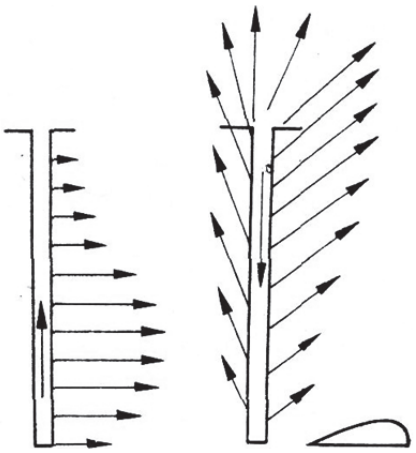


Abb. E-36: Wirkung der Detonation bei Zündung – links: aus dem Bohrlochtiefsten – rechts: vom Bohrlochmund

Während bei der Zündung aus dem Bohrlochtiefsten die jeweilige Vorgabe eines jeden Ladungsabschnittes zum Zeitpunkt der Detonation noch unter maximaler Verspannung steht und somit eine maximale Impulsdauer erreicht wird, ist bei der Zündung vom Bohrlochmund die Vorgabe der oberen Bereiche bereits zerstört und bietet den Schwaden die Möglichkeit zur Entspannung.

Bei der Ladung im Bohrlochtiefsten wird diese erst initiiert. Hieraus resultiert, dass die Lage der Schlagpatrone insbesondere die Haufwerksstückigkeit und die Ausbildung der Arbeitsebene beeinflusst.

- **Behandlung der Sohle**

Der Zustand der Sohle kann durch Unterbohren oder Sohlenbohrlöcher (Heber) bestimmt werden. Der Einfluss der Heber bzw. der Unterbohrung der Sohle auf das Sprengergebnis besteht insbesondere hinsichtlich der Ausbildung der Arbeitsebene.

Die Anwendung von Hebern ist in der Regel mit größeren Schleuderwirkungen verbunden. Außerdem ist die Auflockerungstiefe bei Hebersprengungen größer als beim Unterbohren der Sohle.

International hat sich aus sicherheitstechnischen und ökonomischen Gründen seit langem das Unterbohren der Sohle durchgesetzt.

- **Konstruktion der Ladesäule**

Die Konstruktion der Ladesäule hat sowohl Einfluss auf die Haufwerksstückigkeit als auch auf die Haufwerkslage und die Gefährdung durch weggeschleuderte Gesteinsstücke. Insbesondere bei nicht eingesprengten Abbauwänden treten entlang der Bohr-

7541014/10787806875Biblio

lochachse stark schwankende Vorgabewerte auf, deren Minimalwerte durch Zwischenbesatz zur Vermeidung extremer Schleuderwirkung abgedämmt werden müssen.
Dabei ist die Übertragung der Detonation von Ladezone zu Ladezone durch Sprengschnur zu gewährleisten.

Der Endbesatz spielt sowohl für die Haufwerksstückigkeit als auch für die Schleuderwirkung aus dem Bereich des Bohrlochmundes eine große Rolle.

- **Ergänzendes zum Besatz (Verdämmung)**

Ein wichtiger Parameter hinsichtlich des Gelingens einer Sprengung ist der Besatz oder das sogenannte Verdämmen eines Laderaumes. Durch das Einbringen von Besatz im Endbereich eines Bohrloches wird angestrebt, dass der Laderaum während der Umsetzung der Sprengstoffe verschlossen bleibt. Dadurch wird ein Entweichen der Reaktionsprodukte (Expansionsenergie der Schwaden) verhindert, wodurch die Energie dieser Produkte zum Zerkleinern und Werfen der Vorgabe besser ausgenutzt wird. Die richtige Art und Menge eines Besatzes wirkt sich auf die Beschaffenheit eines geworfenen Haufwerks aus. Zu wenig oder schlechter Besatz wird bei ansteigendem, hohem Expansionsdruck aus dem Bohrloch ausgeblasen. Dabei kommt es zum Entweichen der Reaktionsprodukte, dem sogenannten „Auspfeifen“ oder „Ausblasen“ eines Bohrloches.

Wegen der Schleudergefahr müssen grundsätzlich grobe Gesteinsstücke aus dem Besatzmaterial entfernt werden. Besatz wird als Vollbesatz bis zum Bohrlochmund oder als Hohlraumbesatz zwischen Teilladungen einer Ladesäule eingebracht.

Für die Länge eines erforderlichen Besatzes gibt es keine verbindlichen Vorschriften. Bei kleinkalibrigen Bohrlöchern sollte erfahrungsgemäß die Länge des Besatzes, je nach den Sprengparametern, zwischen 15 cm und 50 cm liegen. Bei Großbohrlöchern wird der Besatz einige Meter betragen, er sollte jedoch mindestens der Länge der Vorgabe entsprechen. Die gebräuchlichsten Besatz- oder Verdämmungsmaterialien sind:

- Bohrklein, Sand, Splitt usw. bei Großbohrlöchern,
- Lehm, Letten, Ton usw. bei Bohrlöchern mit kleinem Durchmesser,
- Wasser oder Besatzpasten in allen anderen und ansteigenden Bohrlöchern.

Besatz wird in der Regel als End- oder Zwischenbesatz in das Bohrloch eingebracht. Als Endbesatz bei Gewinnungssprengungen soll er, wie bereits erwähnt, etwa der Größenordnung der Vorgabe entsprechen. Als Zwischenbesatz dient er zur Reduzierung des Sprengstoffes in einer Ladesäule bzw. zum Unterbrechen einer Ladesäule im Bereich von Schwächezonen innerhalb einer Sprenganlage.

- **Einreihensprengung**

Die Einreihensprenganlage ist dabei die einfachste Form einer Gewinnungssprengung (Abb. E-37). Hier sind alle Bohrlöcher mit in etwa gleicher Vorgabe in einer Reihe und in etwa gleichbleibenden Seitenabständen eingebracht. Ist es aufgrund durchgeführter Sprengungen nicht ausreichend, dass die Sohle unterbohrt wird, um einen ebenen Wandfuß zu erhalten, so können bei Bedarf – zusätzlich zu den Kopflöchern – Sohllöcher eingebracht werden.

Die Einreihensprengung lässt, gerade bei geringer Wandhöhe, nur einen geringen Haufwerksgewinn zu. Somit wird vielfach dazu übergegangen, dass Sprenganlagen mit zwei oder mehreren Reihen in die Gewinnungsplanung einbezogen werden.

7541014/10787806875Biblio

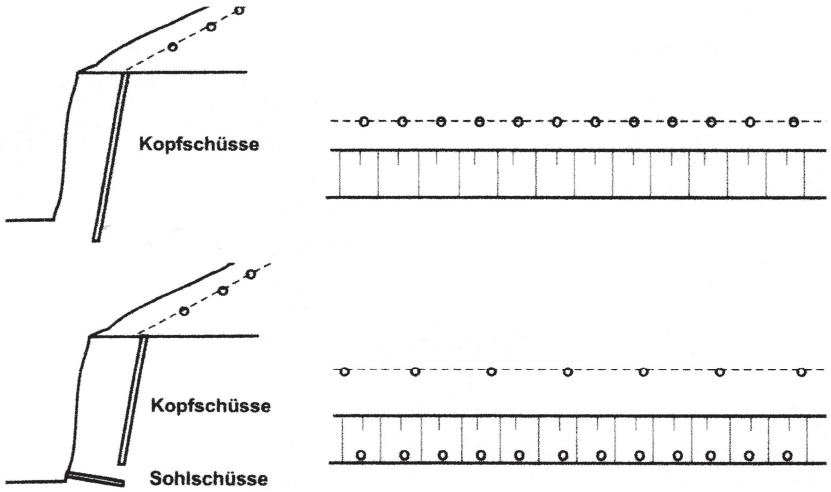


Abb. E-37: Einreihensprenganlage mit und ohne Sohllöcher [50]

- **Zweireihensprengung**

Sind zwei oder drei Bohrlochreihen in einer Abbauwand eingebracht oder geplant, so spricht man von einer Reihensprengung (Abb. E-38).
Bei solchen Sprengungen sind die Bruchwandhöhen im Verhältnis zur horizontalen Tiefe des Ausbruchs größer oder gleich groß. Bei dieser Art von Gewinnungssprengung werden noch oft zusätzlich Sohllöcher gebohrt. Des Weiteren versteht man darunter in einer Reihe gleichgerichtete Bohrlöcher, die in einem Zündgang abgetan werden.

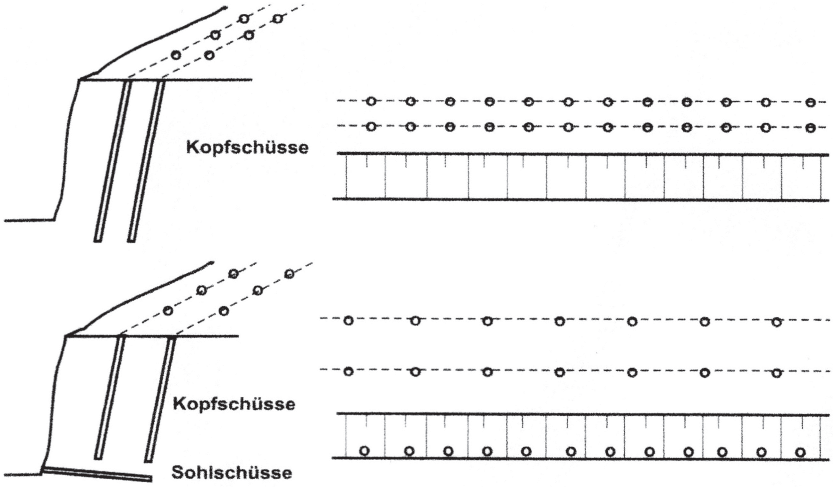


Abb. E-38: Zweireihensprengung mit und ohne Sohllöcher [1]

- **Mehrreihensprengung**

Werden mehr als zwei Reihen gleichgerichteter Bohrlöcher in einem Zündgang abgetan, so spricht man von einer Mehrreihensprengung (Abb. E-39).

7541014/10787806875Biblio

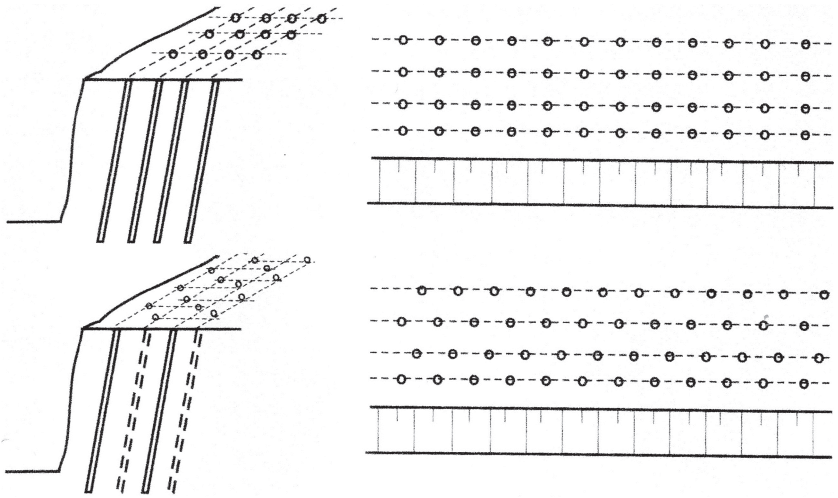


Abb. E-39: Mehrreihensprenganlage mit hintereinander angeordneten (oben) und mit versetzt angeordneten (unten) Bohrlöchern [1]

- **Sonstiges**

Ist bei einer Sprenganlage die Wandhöhe im Verhältnis geringer als die horizontale Tiefe des zu lösenden Gebirges, spricht man von einer Flächensprengung. Das Bohrraster einer Mehrreihensprenganlage kann aus symmetrisch hintereinander angeordneten Bohrlochreihen, aber auch aus gegeneinander versetzt laufenden Bohrlochreihen bestehen. Auf Sohllöcher wird bei dieser Art von Sprengfeld verzichtet.

Steht keine Sohle, auf der eine Bohrmaschine positioniert werden könnte, zur Verfügung (z. B. nicht zugänglich), können in Ausnahmefällen die Bohrlöcher fächerförmig von unten nach oben eingebracht werden. Man spricht von einer Fächersprenganlage.

Viele sicherheitstechnische Aspekte sprechen gegen Fächersprenganlagen. So muss z. B. die Bohrmaschine im steinschlaggefährdeten Bereich arbeiten. Weiterhin besteht die Gefahr des Bohrlochverlaufs in viel größerem Maße als bei den anderen oben genannten Sprengverfahren. Daneben entstehen erhebliche Schwierigkeiten bei der Ladetätigkeit, wie das Positionieren des Sprengstoffes und Einbringen des Endbesatzes.

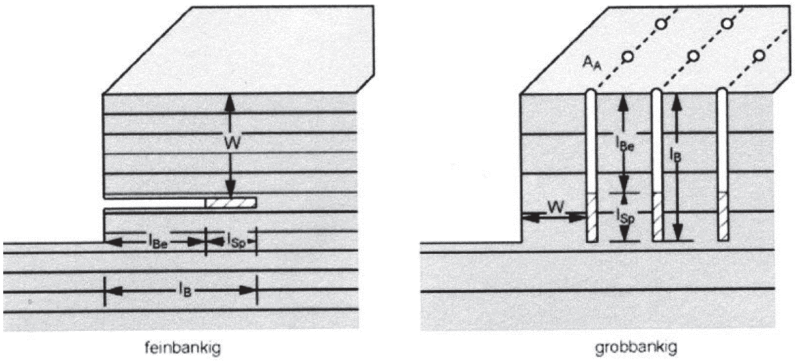
7.4.4 Abschlaglänge

- **Abschlaglänge bei Ausbruch mit zwei freien Flächen**

Große Querschnitte werden häufig abschnittsweise ausgebrochen. Als ein Ausbruch mit zwei freien Flächen wird ein Strossenvortrieb ohne Mittelrampe bezeichnet. Die Bankung hat hierbei einen großen Einfluss auf die Anordnung der Bohrlöcher und die Ladem engen. Bei einer feinbankigen, horizontalen Lagerung werden die Bohrlöcher zweckmäßig horizontal angeordnet, da der Sprengstoff hier nur die Aufgabe hat, einen Keil nach vorne hinauszudrücken.

Die darüber liegenden Schichten stürzen in der Folge nach. Bei einer grobbankigen, horizontalen Schichtung werden die Bohrlöcher vertikal angeordnet, damit der Sprengstoff die Massen auf der gesamten Länge angreift.

7541014/10787806875Biblio



l_{Be} = Besatzlänge
l_{Sp} = Länge der Sprengstoffsäule
l_B = Bohrlochlänge
W = Wurf
A_A = Ausbruchfläche
$l_{Be} \geq W$ (für brisante Sprengstoffe)
$l_{Be} \geq 1{,}5 \cdot W$ (für weniger brisante Sprengstoffe)

Abb. E-40: Ermittlung der Abschlaglänge

- **Ermittlung der Bohrlochanzahl**

Die Anzahl der Bohrlöcher z_B [–] kann mit folgender empirischer Formel bestimmt werden:

$$z_B = c + k \cdot A_A$$

A_A = Ausbruchfläche
c, k = Konstanten, abhängig von Gesteinsfestigkeit und Abbauart (eine oder zwei freie Flächen)

Gesteinsart	c	k
Abbau mit einer freien Fläche (Vortrieb)		
leicht sprengbar: Mergel, Tonstein, Gips, Kreide	25	0,67
mittelschwer sprengbar: Sandstein, Kalkstein, Schiefer	31	1,00
schwer bis sehr schwer sprengbar: Dolomit, Granit, Gneis, Basalt, Quarz	38	1,40
Abbau mit zwei freien Flächen (Nachtrieb)		
gut lösbar	4	1,00
schwer lösbar	5	1,20

7.5 Sondersprengungen

7.5.1 Rundholzsprengungen

Für Rundholzsprengungen werden Sprengschnüre verwendet. Bei Verwendung einer 12-g/m-Sprengschnur benötigt man eine Umwicklung +10 % Zuschlag je 1 cm Stamm-∅.

7541014/10787806875Biblio

Beispiel für einen Stamm-∅ von 60 cm:

$U = d \cdot \pi$ · 10 + 10 % = 60 cm · 10 · 3,14 + 10 % = 1.884 + 188,4

= 1.884 +188,4 = 2.072,4 cm = **20,7 m Sprengschnur**

Es stellt ein sehr aufwändiges Verfahren dar, das nur in bestimmten Ausnahmefällen zur Anwendung kommt.

Schnüre dicht wickeln.

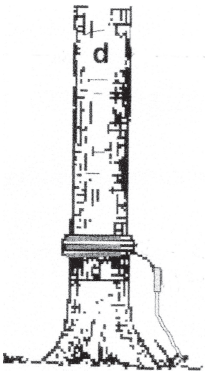


Abb. E-41: Baumsprengung mit Sprengschnüren

7.5.2 Stahlsprengungen

In Ausnahmefällen, wo andere, wesentlich billigere Verfahren nicht eingesetzt werden können, werden Stahlsprengungen eingesetzt. Sie beruhen auf Abscherwirkung.

8 Anmerkung

Dieses Kapitel ist keineswegs ein Ersatz für ein sprengtechnisches Fachbuch noch für einen Sprengmeisterlehrgang.

Es stellt nur grundlegende Informationen über die Sprengtechnik unter Tage (vornehmlich Steinkohlenbergbau) und über Tage (zum Beispiel Steinbrüche) dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Weitere Informationen über die Sprengtechnik finden Sie in den Kapiteln „Bergbau auf Salz“ und „Bergbau auf Festgestein“ und „Bergbau auf Steinkohle“.

7541014/10787806875Biblio

F Gewinnung der Rohstoffe

Das folgende Kapitel beschreibt u. a. die Entstehung der Rohstoffe, die Lagerstättenform, den neuesten Stand der Gewinnungstechniken, die unter Bergaufsicht stehen, sowie die Rekultivierung und Renaturierung.

Veraltete Techniken werden nicht behandelt. So wurde auf die Beschreibung der Steinkohlengewinnung in steiler Lagerung verzichtet. In Deutschland findet in dieser Lagerungsform kein Abbau mehr statt, da der Einsatz von Walzenschrämladern, Kohlenhobel und selbstschreitenden Strebausbau bei den vorhandenen Lagerungsverhältnissen technisch wirtschaftlich nicht möglich ist.

Die Kohleförderung in Förderwagen ist, von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, vollkommen durch Bandbetrieb abgelöst worden. In den Flözstrecken erfolgt der Vortrieb überwiegend durch Teilschnittmaschinen. Für die Kohleförderung zu Tage kommt ausschließlich die Gefäßförderung zum Einsatz.

Im deutschen Steinkohlenbergbau soll die Förderung bis 2018 vollkommen eingestellt werden, soweit nicht bis dahin ein Umdenken erfolgt. Trotzdem wird der Ausstieg nicht schlagartig erfolgen, so dass evtl. der Betrieb in einigen Betrieben noch bis 2020 aktiv sein wird. Danach erfolgen umfangreiche Sicherungsmaßnahmen.

Das Auffahren von Gesteinsstrecken (Richtstrecken und Querschläge) wird stark reduziert werden und dem unbedingt notwendigen Bedarf angepasst.

Die weltweit führende deutsche Bergtechnikindustrie liefert schon heute schon mehr als 90 % ihrer Produkte in Länder mit Steinkohlenabbau, z. B. Polen, Rumänien, Russland, Amerika und China. Für Flözhöhen von 7 m und mehr, die in diesen Gebieten möglich sind, wurden Ausbauschilde und Doppelwalzen-Schrämlader und spezielle Förderer entwickelt.

Versatzarbeiten werden nicht mehr ausgeführt, da sie den heutigen Gewinnungsbetrieb behindern würden.

Ebenso sind neue Schachtbohrgeräte, z. B. von der Herrenknecht AG, Thyssen Schachtbau, Deilmann und Haniel, entwickelt worden, die zur Kostenreduzierung für das Abteufen von Schächten führen können. Auch diese Neuerungen werden besprochen.

7541014/10787806875Biblio

Fl Lagerstätten

1 Allgemeines

Die Rohstoffe werden gewonnen

im Untertagebau

- Steinkohle,
- Salz und Kalisalz,
- Erze, soweit diese noch in Deutschland abgebaut werden,
- Festgestein, soweit im Untertagebau gewonnen (z. B. Schieferton),
- Tone und Kaolin, soweit im Untertagebau gewonnen,
- Erdgas und Erdöl

im Tagebau

- Braunkohle,
- Festgestein,
- Feldspat,
- Ton und Kaolin,
- Kiese und Sande,
- Quarzsand und Quarzit,
- Kieselerde, Klebesand,
- Torf,
- sonstige Rohstoffe.

Unter einer Lagerstätte versteht man eine durch einen natürlichen Entstehungsvorgang örtlich hervorgerufene Anhäufung nutzbarer Minerale und Gesteine in der Erde, deren Abbau Gegenstand wirtschaftlicher Verwertung sein kann.

Demgemäß stellt die Lagerstättenlehre als angewandte Geologie und Mineralogie die Lagerstätten der Minerale in den Vordergrund ihrer Betrachtung. Bildet doch die Kenntnis der Lagerstätte die elementare Voraussetzung für die Gewinnung betreffenden technischen und wirtschaftlichen Maßnahmen.

Bei der Beurteilung einer Lagerstätte ist die Frage von besonderer Bedeutung, ob sie „absolut“ (d. h. unter allen Umständen) oder „relativ“ (d. h. nur unter gewissen Voraussetzungen und Bedingungen) abbauwürdig ist. Es ist klar, dass die Begriffe absolut und relativ nicht allein durch die Art und Menge des Minerals und den Verkaufswert bedingt, sondern abhängig vom neuesten Stand der technischen, wirtschaftlichen und verkehrsmäßigen Verhältnisse eines Rohstoffvorkommens sind. So wird z. B. auch eine große Eisenerzlagerstätte in einem weitab von jedem Verkehr gelegenen Gebiete nur schwer bergbauliche Interessen finden, während ein kleines Vorkommen „Seltene Erden“, wenn auch in verkehrsmäßig ungünstiger Lage, ein mehr oder minder begehrtes bergbauliches Objekt sein kann. Die Nutzung einer Lagerstätte hängt von vielen Faktoren ab, wie von der Vorratsmenge, den Gewinnungskosten, dem Preis, dem Gehalt an nutzbarem Mineral, dem Stand der Gewinnungs- und Hüttentechnik, dem Weltmarkt und der geographischen Lage des Fundortes.

7541014/10787806875Biblio

Ferner sind von Bedeutung: die Arbeits-, Transport- und Lohnverhältnisse, die bergbauliche Teufe und viele andere Umstände. Nicht minder wichtig sind Fragen nach ihrer Entstehungsgeschichte, der geologischen Position, dem Streben des jeweiligen Landes nach Selbstversorgung mit Rohstoffen u. a.

Neben den reinen Mineralvorkommen gelten als Lagerstätten andere Bodenschätze, wie nutzbare Gesteine und Erden, Erdgas, Erdöl und vor allem der Wasserschatz (das Grundwasser einschl. der Mineral- und Heilquellen).

Bis auf Braunkohle, Steinkohle, Salz, Öl, Erdgas, Festgesteine, Kiese und Sande werden Eisenerz, Silber, Kupfer, Edelsteine, Schmucksteine und v. a. m. in Deutschland zz. nicht mehr bzw. in unbedeutenden Mengen abgebaut.

2 Einteilung der Lagerstätten

Die Lagerstätten kann man nach ihrem Inhalt, ihrer Entstehung, ihrer Beziehung zum Nebengestein sowie ihren äußeren Formen gliedern.

2.1 Gliederung nach Inhalt und Entstehung

Nach ihrem **Inhalt** lassen sich unterscheiden:

Lagerstätten der **festen Brennstoffe** (Steinkohle, Braunkohle), Erze (d. h. Mineralgemenge, aus denen sich Metalle oder Metallverbindungen gewinnen lassen), wasserlösliche Salze (Stein- und Kalisalze), Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Asphalt, Erdwachs und Ölschiefer), sonstige Minerale, nutzbare Gesteine und Erden, Erdgase, Edel- und Schmucksteine und die Vorkommen von Grundwasser (einschl. der Mineral- und Heilquellen).

Nach ihrer **Entstehung** erlauben die nutzbaren Vorkommen der Erdkruste – entsprechend den drei natürlichen gesteinsbildenden Vorgängen – auch eine dreifache Gliederung, und zwar:

Lagerstätten der **magmatischen** Folge, d. h. Lagerstätten, die aus einer der verschiedenen Bildungsphasen schmelzflüssiger Teile der Erdtiefe hervorgegangen sind.

Lagerstätten der **sedimentären** Folge, d. h. Lagerstätten, die auf Umsetzungs- bzw. Neubildungsvorgänge von Mineralsubstanz an der Erdoberfläche zurückgehen.

Lagerstätten der **metamorphen** Folge, d. h. primär vorhandene magmatische oder sedimentäre Lagerstätten, die in geringeren oder größeren Tiefen der Erdrinde bei höheren Drücken und Temperaturen ganz oder teilweise in ihrem Mineralbestand und Gefüge umgewandelt („metamorphosiert“) worden sind.

Hinsichtlich der **Altersbeziehung** zum einschließenden Nebengestein lassen sich die Lagerstätten weiter untergliedern in solche, die gleichzeitig mit dem Nebengestein syngenetisch, und solche, die später als das Nebengestein epigenetisch und zuweilen durch Zufuhr meist aus der Tiefe stammender Magmen, Minerallösungen (Mineralthermen) oder Mineraldämpfe entstanden sind.

Die Erkenntnis der **Entstehung** noch im Abbau stehender Lagerstätten ist mitunter sehr schwierig und bei manchen Vorkommen noch Gegenstand der Forschung. Auf die vielen wissenschaftlichen Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse der Entstehungsgeschichte und der Gliederung der Erzlagerstätten kann hier nicht näher eingegangen werden.

7541014/10787806875Biblio

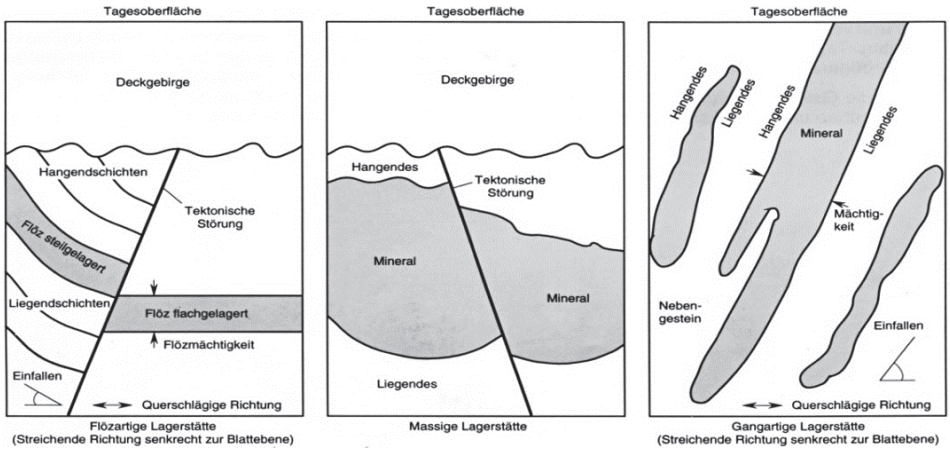


Abb. Fl-1: Lagerstättenformen [6]

2.2 Kennzeichnung nach der äußeren Form

Die äußere Form der Lagerstätten beeinflusst unter Berücksichtigung von Mächtigkeit, Ausdehnung und Einfallen des Vorkommens die Erschließungsarbeiten (Ausrichtung, Vorrichtung und Abbau) maßgeblich. Dass bei der Gliederung nach der äußeren Form stellenweise genetisch ungleichartige Lagerstätten zusammengefasst und gleichartige auseinandergezogen werden, ist unvermeidlich.

- **Plattenförmige Lagerstätten**

Flöze sind vorwiegend konkordant eingeschaltete plattenförmige Mineralvorkommen, die im Verhältnis zu ihrer meist relativ geringen Mächtigkeit eine große Länge und Breite besitzen und sich durch nahezu parallele und ebene Begrenzungsflächen auszeichnen. Ihre ursprünglich horizontale Ablagerung ist durch gebirgsbildende Kräfte häufig gestört. Nach ihrer Entstehung handelt es sich in den Flözen durchweg um sedimentäre Ablagerungen.

Sie haben eine klare Abgrenzung nach oben (Hangendes) und nach unten (Liegendes).

Flöze können durch gebirgsbildende (tektonische) Vorgänge aus ihrer ursprünglichen horizontalen Lage steilgestellt (Einfallen) und zerrissen (Sprünge, Verwerfungen) werden.

Beispiele: Braun- und Steinkohlenflöze, Eisenerzlagerstätten, Rot- und Brauneisenerzlager, Kalilager und Schwefelkieslager u. a.

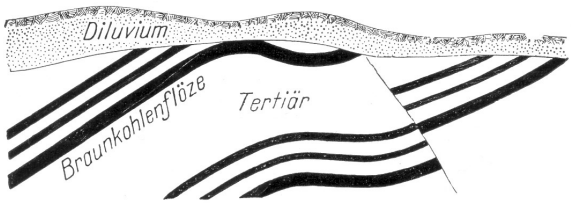


Abb. Fl-2: Beispiel: Braunkohleflöze [6]

7541014/1078780687 5Biblio

- **Massige Lagerstätten**

Lagerstätten mit großer Ausdehnung in horizontaler und vertikaler Ebene werden als massig bezeichnet. Sie können durch Sedimentation, magmatische Vorgänge oder Gebirgsmetamorphose (Umwandlung bestehender Sedimente oder magmatischer Gesteine) entstanden sein. Fast alle mineralischen Rohstoffe sind in solchen Lagerstätten zu finden, z. B. Salz und Kalisalz, Kupfer.

- **Gangartige Lagerstätten**

Haben sich Mineralansammlungen in tektonischen Spalten des Gebirges durch Zufluss von Lösungen oder durch magmatische Vorgänge gebildet, so werden diese Lagerstätten als Gänge bezeichnet. Die Spalten können mit Erzen und Sonstigem gefüllt sein und in ihrer Mächtigkeit und in der streichenden Erstreckung (Längenausdehnung) erheblich variieren.

Auch hier wird von einem Einfallen gesprochen, wenn der Neigungswinkel des Ganges zur Horizontalen gemeint ist. Der Ganginhalt ist stets jünger als das Nebengestein, z. B. Kalkspatgänge, Bleizinkerzgänge, Goldquarzgänge, Zinn u. a.

Abb. Fl-3: Erzgang auf der ehem. Erzgrube „Himmelfahrt“ bei Freiberg [6]

- **Marine Lagerstätten**

Eine besondere Lagerstättenart bilden die marinen Vorkommen mineralischer Rohstoffe. Diese Ausfällungs- bzw. Anreicherungsprodukte aus der ursprünglichen Wasserlösung können als hydrothermale oder submarin-exhalative Metallvorkommen (Erzkrusten, Manganknollen), als Phosphorite und als Seifenvorkommen auftreten.

- **Lagerstätten von unregelmäßigen Formen**

Stockwerke sind massige Gesteinszonen, die von zahllosen mehr oder weniger schwachen Erzgängen netzartig durchschwärmt worden sind. Dabei wird auch das Nebengestein auf feinsten Klüften mit Erz durchsetzt. Sie sind entstehungsgeschichtlich vielfach – aber nicht immer – magmatischen Ursprungs.

7541014/10787806875Biblio

Linsen, Nester, Putzen sind unregelmäßig begrenzte, größere oder kleinere Mineralanhäufungen im Nebengestein, die meist keine große Erstreckung im Streichen und im Fallen haben.

Seifen (Trümmerlagerstätten) sind lockere (sandige und kiesige) zusammengeschwemmte Gesteinsablagerungen mit ± starker Anreicherung bestimmter Edelmetalle, Erze und Edelsteine (Ausscheidungen von Kupfererzen und Nickelmagnetkies z. B. in Norwegen) und von Magneteisenerzen im Ural, ferner Salzstöcke.

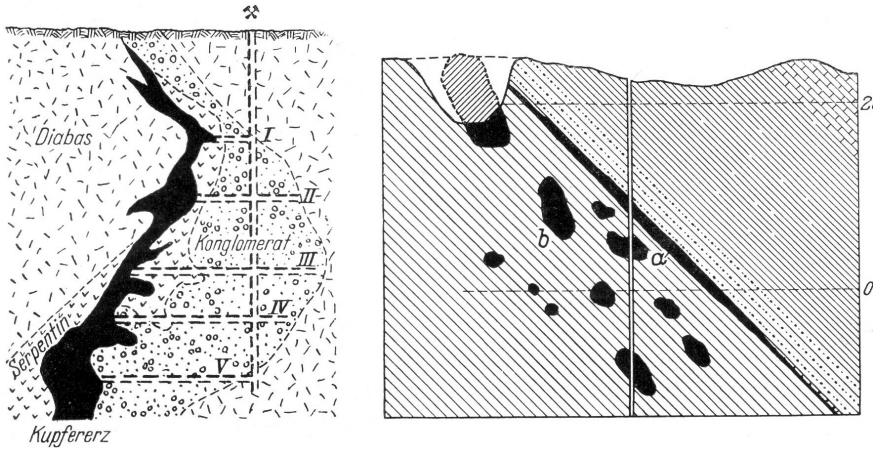


Abb. Fl-4: links: Beispiel für einen Kupfererzstock
rechts: Beispiele für linsen- (a) und nesterförmige Vorkommen (b) [6]

Derartige flächenhaft ausgebildete Vorkommen sind durch Zertrümmerung primär anstehender Mineralvorkommen („eluviale" Seifen) oder unter Weiterbeförderung des Materials in bewegtem Wasser und Absatz in Flüssen, Seen oder Meeresbecken (als sog. „alluviale" Seifen) entstanden, wobei das Material nach der Wichte und der Korngröße sortiert wurde. Seifen können naturgemäß nur sehr widerstandsfähige Minerale bilden.

Beispiele: Gold-, Platin- und Zinnseifen sowie Magneteisen-, Edelstein- (Diamant-, Granat- und Zirkon-)seifen vieler Länder (In Deutschland kein Abbau). Dahin gehören auch die verfestigten „fossilen" Seifen, wie die präkambrischen Goldkonglomerate des Witwatersrandgebietes in Südafrika.

7541014/10787806875Biblio

Tafel-1: Erdzeitalter und geologische Formationen

Ära	System (Periode)	Abteilung (Epoche)	Lagerstättenbeispiele
Känozoikum	Quartär 1,6 Mill. J.	Holozän Pleistozän	
	Tertiär 65 Mill. J.	Pliozän Miozän Oligozän Eozän Paläozän	Kuroko-Buntmetall-Lagerstätten; Porphyr-Kupfer-Lagerstätten; Braunkohlen-Lagerstätten
Mesozoikum	Kreide 135 Mill. J.	Oberkreide Unterkreide	
	Jura 205 Mill. J.	Malm Dogger Lias	
	Trias 250 Mill. J.	Keuper Muschelkalk Buntsandstein	
Paläozoikum	Perm 290 Mill. J.	Zechstein Rotliegendes	Salzlagerstätten in Zentraleuropa
	Karbon 355 Mill. J.	Siles Dinant	Steinkohlen-Lagerstätten
	Devon 410 Mill. J.	Ober-, Mittel- und Unterdevon	Exhalativ-sedimentäre Buntmetallagerstätten: Meggen, Rammelsberg
	Silur 435 Mill. J.	Ober- und Untersilur	
	Ordovizium 510 Mill. J.	Ober- und Unterordovizium	
	Kambrium 570 Mill. J.	Ober-, Mittel- und Unterkambrium	
Proterozoikum / Präkambrium	Ober-Präkambrium 1600 Mill. J.	Algonkium	Sedimentäre Eisenerzlagerstätten; Uran-Diskordanz-Lagerstätten
	Mittel-Präkambrium 2500 Mill. J.		
Archäozoikum	Unter-Präkambrium 4500 Mill. J.	Archaikum	Gold-Buntmetalllagerstätten in Grünschiefergürteln

2.3 Schlussbemerkung

In Hinblick auf den Zweck des Buches soll die Behandlung der Lagerstätten im Wesentlichen auf die Vorkommen des deutschen Raumes beschränkt bleiben.

Deutschland ist, verglichen mit der Größe seines Gebietes, verhältnismäßig reich an Bodenschätzen. Der Gesamtwert der in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen Mineralvorkommen wird auf über 10.000 Mrd. DM geschätzt. Neben bedeutenden Vor-

7541014/10787806875Biblio

kommen an Kohle und Salz (einschließlich Kali) verfügt Deutschland u. a. noch über größere Lagerstätten an Eisen-, Blei- und Zinkerzen. Der Vorrat soll heute noch über 40 Mio. t betragen. Der Import dieser Minerale ist jedoch wesentlich günstiger als die eigene Förderung. Hinzu kommt, dass der prozentuale Erzanteil am geförderten Material sehr gering ist. So hat das schwedische Eisenerz einen Anteil von bis zu 72 %, während er bei deutschen Eisenerzen nur bei max. 25 % liegt.

Es würde den Umfang dieses Buches sprengen, auf die vielen Vorkommen in Deutschland hinzuweisen. Zu nennen wären hier das Siegerland und das Erzgebirge, wo jeweils eine ganze Region vom Erzbergbau lebte.

Das Siegerland gehörte zu den größten Erzförderregionen. In bis zu 450 Erzgruben (mit Kleinbetrieben 650) wurden 175 Mio. t Erze (Eisen, Blei-Zink, Kupfer, Zinn und sogar Gold) gefördert. Die Schachttiefen betrugen bis zu 1.343 m. Während des Zweiten Weltkriegs wurde der gesamte Erzbedarf Deutschlands vor allem für die Rüstungsindustrie von den Erzgruben im Siegerland, Westerwald und im Erzgebirge gedeckt.

Beim Abteufen der Schächte 4/5 der Zeche Auguste-Victoria in Marl stieß man 1930 zufällig auf ein größeres Blei-Zink-Erz-Vorkommen. Hier wurden 1950 noch 20 % des deutschen Bedarfs an Blei-Zink gefördert. Bis 1962 wurden mit einer Belegschaft von bis zu 1.478 Bergleuten 349.000 t Blei-Zink-Erz gefördert. Der Anteil von Silber betrug dabei 400 t.

Zurzeit sorgt dieselbe Globalisierung, die über Jahrzehnte dem deutschen Bergbau das Wasser abgrub, für neue Chancen.

Vor allem im Erzgebirge, der an metallhaltigen Erzen reichsten Region Deutschlands, gibt es in Bergämtern und privaten Firmen Überlegungen, ob es sich jetzt nicht lohnt, den im 20. Jahrhundert eingestellten Bergbau mit moderner Technik wieder aufzunehmen. Dies berichtet Sandro Schmidt, Rohstoffexperte von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover.

Der Uran-Bergbau wurde auf Betreiben der damaligen Sowjetunion in der DDR bis zur Wende 1990 betrieben; sie war damals weltweit der drittgrößte Uranproduzent. Die gesamte Fördermenge ging in die Sowjetunion.

In der Zeitschrift „Glückauf Ausgabe 10“ schreibt Dr. Norbert Schäfer, Hauptgeschäftsführer der Vereinigung Rohstoffe Bergbau e. V., zu diesem Thema u. a.:

„Da der Steinkohlenbergbau im Bewusstsein vieler Menschen in Deutschland – und auch in weiten Kreisen der Politik – gleichgesetzt wird mit dem Bergbau schlechthin, wird der Eindruck erweckt, als würde das Land in wenigen Jahren bergbaufrei sein.

Das häufig zitierte Wort – Deutschland ist ein rohstoffarmes Land – trägt zu diesem Eindruck wesentlich bei. Dabei geht diese Aussage, so pauschal wie sie ist, völlig an der Realität vorbei. In Deutschland werden jährlich rund 1,2 Mrd. t an mineralischen Rohstoffen benötigt.

Der größte Teil dieser Rohstoffe – rund 800 Mio. t und 16 Mrd. m^3 Erdgas – wird aus heimischen Lagerstätten gewonnen bzw. produziert und stellt die Eigenversorgung mit diesen Rohstoffen ganz oder anteilig sicher.

7541014/10787806875Biblio

Weltweit führend ist die Braunkohlengewinnung, die damit einen kostengünstigen und in ausreichender Menge auch weit in die Zukunft vorhandenen heimischen Energieträger darstellt.

Kalisalze – in der Form verschiedenster Düngemittelprodukte – sind für die heimische Landwirtschaft unverzichtbar, werden aber auch zu einem großen Teil in den europäischen Raum und nach Übersee exportiert.

Gips und Anhydrit sind im Bauwesen als Baustoffe gefragt und haben aufgrund vielfältiger und immer weiter entwickelter Einsatzbereiche einen stabilen Absatz.

Erdgas aus heimischen Lagerstätten trägt in der Summe zu ca. 20 % zum gesamten Erdgasbedarf Deutschlands bei – ein nicht zu unterschätzender Anteil, der jedoch wegen des insgesamt steigenden Gaseinsatzes zukünftig eine prozentuale Verringerung erfahren wird.

Die Versorgung aus heimischen Rohstoffquellen erfolgt durch mehr als 4.000 rohstoffgewinnende Unternehmen mit rund 220.000 direkt sowie rund 500.000 damit in Zusammenhang stehenden Beschäftigten. Heimische Rohstoffe sind unverzichtbar. Die heimische Versorgung vermindert die Importabhängigkeit und die Umweltbeeinträchtigung durch eine Verringerung von energieaufwändigen Transportwegen.

Die seit dem Jahr 2003 anhaltende und nach Auffassung vieler Experten noch weiter in die Zukunft zu projizierende Hochpreisphase bei metallischen Rohstoffen hat deutsche, aber auch ausländische Unternehmen bewogen, die Neubewertung bekannter Metallerzlagerstätten beispielsweise in Sachsen durchzuführen. Das sächsische Oberbergamt hat bereits eine Reihe von Erlaubnissen zur Exploration erteilt. Kupfer, Zinn, Zink, Wolfram, Molybdän sind die Zielminerale in diesen Projekten. Inzwischen wurde auch schon ein größeres Kupfervorkommen festgestellt."

Hinweis des Autors: Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Erzgruben in Deutschland nicht wegen Erschöpfung der Vorräte stillgelegt, sondern nur aufgrund der niedrigen Weltmarktpreise und der Umweltbelastungen. Das gilt auch für die Steinkohle. Es gibt m. E. kein Land, das seine Minerallagerstätten- und Energiequellen, aus welchen Gründen auch immer, stilllegt und sich dadurch vollkommen vom Import abhängig macht.

Hinweis: Um den Rahmen des Buches nicht zu sprengen, können nicht alle genannten Rohstoffe behandelt werden. Die Gewinnungsbeschreibung und Gerätetechnik erfolgen an einigen Beispielen.

7541014/10787806875Biblio

Fst Bergbau auf Steinkohle

1 Entstehung der Steinkohle

Als Kohle werden die brennbaren Überreste von Pflanzen oder anderen organischen Substanzen bezeichnet, die während des Inkohlungsprozesses in langen geologischen Zeiträumen (ca. 300 Mio. Jahre) entstanden sind und deren brennbare Substanz mindestens 50 % ausmacht.

Während des Karbons, vor etwa 360 bis 280 Mio. Jahren, kam es zu Senkungen im Vorland des Veristischen Gebirges, dessen Reste heute die mitteleuropäischen Mittelgebirge bilden. Hier entstanden die europäischen Steinkohlenlager. Im Wechselspiel von schnelleren und langsameren Senkungs- und Aufschüttungsprozessen bildeten sich zeitweise Flachwassermulden.

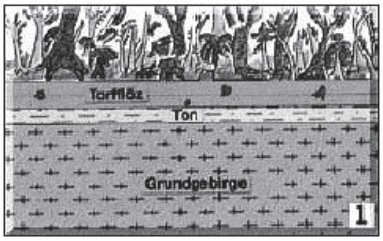


Abb. Fst-1: Phase 1 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

Ein weiteres Absinken des Landes bei gleichzeitiger Überflutung mit Wasser verhinderte neues Pflanzenwachstum [2] und förderte die Sedimentation von Sand und Ton, bis schließlich die Bildung von Flachwassermulden oder Land erneut einsetzte [3].

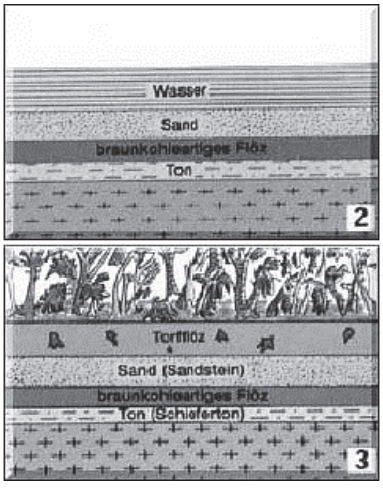


Abb. Fst-2: Phasen 2 und 3 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

Die klimatischen Bedingungen förderten das Wachstum von Pflanzen und Bäumen, so dass eine Waldsumpf-Moorlandschaft entstand. Abgestorbenes pflanzliches und organisches Material versank im Sumpf. Bei verstärkt einsetzender Senkung beförderten die Flüsse mehr Gerölle und Sande in die seichten Meeresbecken und überdeckten die pflanzlichen Schichten. Unter Wasser- bzw. Luftabschluss setzte schließlich die Vertorfung ein.

7541014/10787806875Biblio

Über viele hunderttausend Jahre hinweg wiederholten sich diese Vorgänge. Gleichzeitig verfestigten sich die Sande und Tone; aus den Torfschichten entstanden braunkohleartige Substanzen. Aufgrund des hohen Drucks der überlagernden Schichten wurde aus den ehemaligen Torfschichten allmählich das Wasser herausgepresst. Hinzu kamen hohe Temperaturen, welche in Kombination mit dem Druck die chemische Umwandlung der Pflanzenreste in Steinkohle ermöglichten.

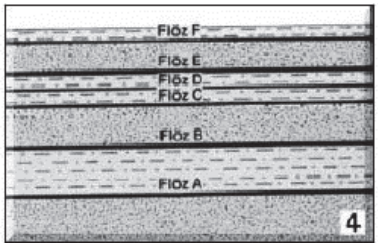


Abb. Fst-3: Phase 4 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

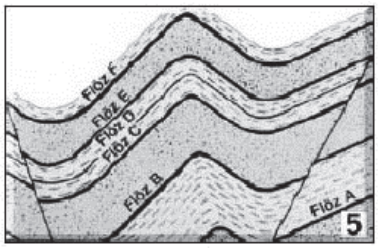


Abb. Fst-4: Phase 5 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

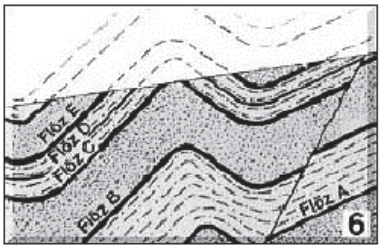


Abb. Fst-5: Phase 6 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

Endogene Kräfte schoben die Schichten zum Teil gegeneinander, wodurch letztendlich das Steinkohlengebirge – stark gefaltet und von vielen Verwerfungen durchzogen – am nördlichen Mittelgebirgsrand bis an die Erdoberfläche gelangte.

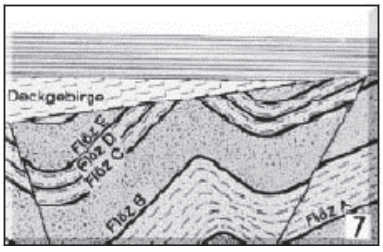


Abb. Fst-6: Phase 7 der Inkohlung (nach Dr. Robert Dreger) [6]

Während der **Kreidezeit** bildete das Land wieder eine Ebene, die von einem Meer überflutet wurde. Aus den zu dieser Zeit abgelagerten Sanden bildete sich das heutige Deckgebirge über den Kohle führenden Flözen.

7541014/10787806875Biblio

2 Steinkohlenvorräte in Deutschland

Von allen bekannten Kohleflözen werden 80 bis 85 für abbauwürdig gehalten. Diese Flöze bergen die gewaltige Menge von etwa 250 Mrd. Tonnen Steinkohle. Allerdings sind die ungleich günstigeren Lagerungsverhältnisse in den Konkurrenzländern zu berücksichtigen: In den USA werden schon in einer Tiefe um die 100 m Flöze in einer durchschnittlichen Mächtigkeit von mindestens 2 m angetroffen, Großbritannien fördert in Tiefen um 300 m, Polen um 400 m bei einer Flöz-Mächtigkeit zwischen 6 m und 14 m. Dagegen kann die durchschnittliche Flözstärke des Ruhrgebietes mit etwa 1 m angesetzt werden. Im Ruhrgebiet findet der Abbau hauptsächlich zwischen 600 m und 1.300 m Tiefe statt.

Berücksichtigt man zusätzlich die vielfältigen Verwerfungen und steilen Lagerungen (die heute aber nicht mehr abgebaut werden), so wird verständlich, dass die amerikanische Importkohle allgemein – trotz der hohen Transportkosten – deutlich unterhalb der inländischen Kohlepreise vermarktet werden konnte (z. B. knapp 20 % unter dem Preis der Ruhrkohle).

Nach einer massiven Stilllegungsaktion von Zechen mit modernster Ausrüstung erfolgt heute die gesamte Steinkohlenförderung durch die **RAG** mit 6 Schachtanlagen. Seit 1998 sind sämtliche Aktivitäten des heimischen Steinkohlenbergbaus in der **RAG Deutsche Steinkohle AG** gebündelt. Unter dem Dach der RAG Aktiengesellschaft leistet das Unternehmen damit einen wichtigen Beitrag zur nationalen Rohstoff- und Energieversorgungssicherheit.

Als Arbeitgeber und Technologieführer erzeugt das Unternehmen wesentliche Beschäftigungseffekte weit über die Bergbauregion hinaus. Laut einer Prognose-Studie schafft jeder Arbeitsplatz im deutschen Steinkohlenbergbau bis zu zwei weitere in der übrigen Wirtschaft.

In den Bergbaurevieren in Ibbenbüren, im Saarland und der Rhein-Ruhr-Region beschäftigt das Unternehmen in sechs Bergwerken, einer Kokerei und Servicebereichen rund 30.000 Mitarbeiter.

In der Unternehmensphilosophie der RAG Deutsche Steinkohle AG fest verankert sind Produktivität, Arbeitssicherheit und Umweltschutz.
Hauptabsatzmarkt der heimischen Steinkohle sind die Stromwirtschaft und die Stahlindustrie. Die Unternehmen trugen trotz des Anpassungsprozesses mit gut einem Drittel am gesamten deutschen Steinkohlebedarf bei.

3 Noch tätige Bergbaubetriebe

Sechs Förderbetriebe sind heute noch tätig. Dazu gehören:

- Bergwerk Auguste Victoria, Marl-Hüls,
- Bergwerk Prosper-Haniel, Bottrop,
- Bergwerk Ost, Hamm,
- Bergwerk West, Moers,
- Bergwerk Saar, Saarlouis,
- Bergwerk Ibbenbüren.

7541014/10787806875Biblio

Trotz modernster, weltweit führender Bergbautechnologie soll der deutsche Steinkohlenbergbau spätestens 2018 eingestellt werden. Eine endgültige Entscheidung soll 2015 gefällt werden.

Das **Bergwerk Auguste Victoria** im Kreis Recklinghausen zählt zu den modernen und leistungsfähigen Bergwerken der RAG Deutsche Steinkohle AG.

Mit seinen ca. 4.000 Mitarbeitern und einer Jahresförderung von rund 3,1 Mio. t ist es ein wichtiger Wirtschaftsfaktor für die Region.

Neue Entwicklungen in der Gewinnungs- und Fördertechnik werden in Zusammenarbeit mit der Bergbaumaschinen-Industrie getestet und weiterentwickelt, wie z. B. der „High-tech-Walzenschrämlader“.

Bergbau auf Auguste Victoria in Marl bedeutet heute: Täglicher Abbau von 12.500 t hochwertiger Steinkohle in über 1.000 m Tiefe. Qualifizierte Mitarbeiter, modernste Technik und ein hoher Automatisierungsgrad mit computergesteuerten Systemen sind die Garanten für die hohe Leistungsfähigkeit.

Aufbereitungsanlagen sorgen für gleich bleibende Qualität der Kohle. 103 km Streckennetz unter Tage und eine komplexe Logistik mit 55 km Bandstraßen garantieren den reibungslosen Transport. Täglich werden in Deutschland Kraftwerke mit unserer Steinkohle versorgt – ein wichtiger Beitrag für eine sichere Energieversorgung, auch in der Zukunft.

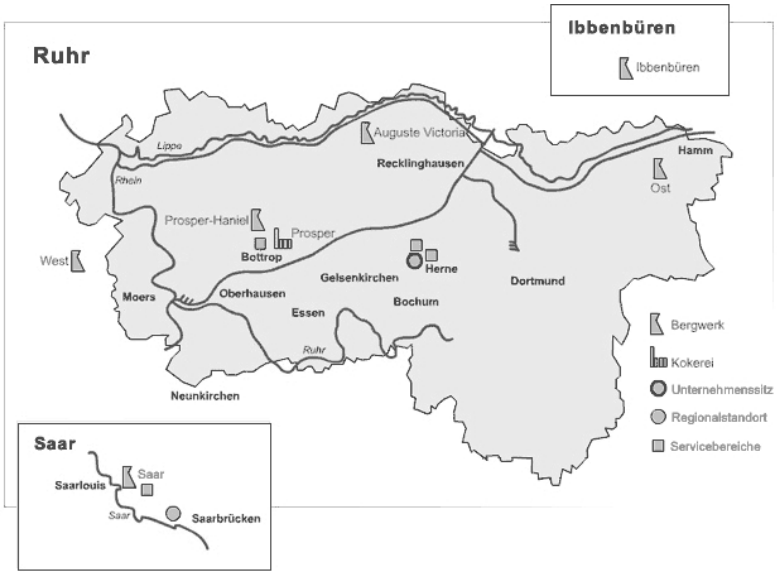
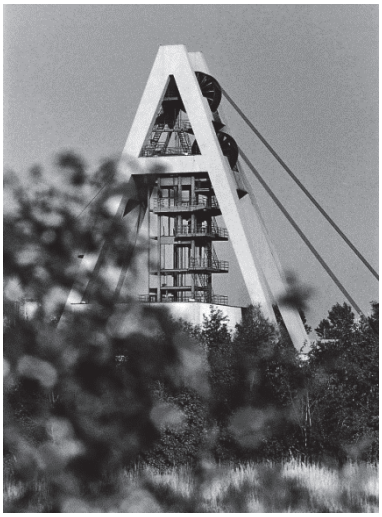


Abb. Fst-7: Lageplan der fördernden Zechen der RAG [RAG]

7541014/10787806875Biblio



Kennzahlen

Mitarbeiter	3.929
Jahresförderung	3,1 Mio. t
Größte Teufe	1.240 m
Grubenfeld	227 km²
Streckennetz	103 km
Stand	31.12.2008

Abb. Fst-8: Auguste Victoria – Wetter-, Material- und Seilfahrtschacht 8 [RAG]

Das **Bergwerk Prosper-Haniel** in Bottrop zählt zu den leistungsstarken Bergwerken, die von der RAG Deutsche Steinkohle AG an der Ruhr, in Ibbenbüren und im Saarland betrieben werden.

Abb. Fst-9: Schachtanlage Prosper [RAG]

Dafür setzen sich 4.418 Beschäftigte täglich ein. Sie fördern im Jahr rund 3,2 Mio. t hochwertiger Kohle, die vornehmlich zur umweltverträglichen Erzeugung von Strom eingesetzt wird. Modernste Technik und ein hoher Automatisierungsgrad mit computergesteuerten Systemen sorgen für einen effizienten Betriebsablauf.

Die Kohle wird in vier Gewinnungsbetrieben in Tiefen zwischen 700 m und 1.246 m gewonnen und über zwei Bandanlagen zum Förderschacht und dann nach über Tage transportiert. Das untertägige Streckennetz beträgt 125 km.

Im östlichen Ruhrgebiet zwischen Bergkamen und Hamm betreibt die RAG Deutsche Steinkohle AG das **Bergwerk Ost.**

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-10: Schachtanlage Ost [RAG]

Dieser moderne und leistungsfähige Bergbaustandort ist mit seinen rd. 2.400 Mitarbeitern und einer Jahresförderung von rund 1,5 Mio. t ein wichtiger Wirtschaftsfaktor für die Region.

Garanten für die hohe Leistungsfähigkeit des Bergwerks Ost sind neueste Technik, eine umfassende Automatisierung mit computergesteuerten Systemen sowie 2.401 qualifizierte Mitarbeiter.

Zwei Gewinnungsbetriebe – zentral aus Betriebswarten über Tage gesteuert und überwacht – erbringen eine Jahresförderung von rund 1,5 Mio. t hochwertiger Steinkohle aus einer Tiefe von 1.200 bis 1.500 m. Für die gleich bleibend gute Qualität sorgen eine Vergleichmäßigungsanlage sowie eine Hightech-Aufbereitung. Der größte Anteil der Produktion hochwertiger Kokskohle wird in Kokereien veredelt und dient der Stahlerzeugung.

Das Bergwerk Ost ist infolge mehrerer Anpassungsmaßnahmen durch Zusammenführung ehemals selbstständiger Bergwerke entstanden. Dazu zählen: Heinrich Robert, Radbod, Königsborn, Werne, Monopol, Grimberg 3/4, Victoria 1/2 und Haus Aden.
Seinen Namen verdankt es der Lage im östlichen Ruhrgebiet. Seit Aufnahme der Förderung vor rund 130 Jahren wurden rund 460 Mio. t Kohle gefördert. Die Kohlen werden heute zentral am Standort Heinrich Robert in Hamm gehoben und aufbereitet. Das Bergwerk Ost zählt zu den modernen und leistungsstarken Bergwerken der RAG Deutsche Steinkohle AG.

Abb. Fst-11: Bergwerk West [RAG]

7541014/10787806875Biblio

Das **Bergwerk West** wurde im Januar 2002 als Verbund aus den beiden linksrheinischen Schachtanlagen Friedrich Heinrich/Rheinland und Niederberg gebildet.

Als eines der leistungsstarken Bergwerke der RAG Deutsche Steinkohle erbringt das Bergwerk einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der Energieversorgung in Deutschland. Mit 3.712 Beschäftigten fördert das Bergwerk im Jahr rund 2,9 Mio. t hochwertiger Fett- und Esskohle, die vornehmlich für eine umweltverträgliche Stromerzeugung sowie zur Herstellung von Koks eingesetzt und an Kunden in ganz Deutschland geliefert werden.
Die Tagesförderung wird aus drei hoch technisierten Abbaubetrieben in bis zu 1.386 m Tiefe erbracht. Untertägige Bunkersysteme sorgen dafür, dass der Kohlenstrom kontinuierlich an die Oberfläche gelangt. Das untertägige Streckennetz beträgt 118 km.
Über die Vergleichmäßigungsanlage und die Kohleaufbereitung gelangen die Produkte in die moderne Verladeanlage und werden so auf den Weg zum Kunden gebracht.

Das Bergwerk West verwendet modernste Förder- und Auffahrungstechnik. Diese Hightech-Produkte werden gemeinsam mit der Zulieferindustrie und den Hochschulen entwickelt und finden auch Branchen übergreifend Einsatz. Beispiele hierfür sind die Vortriebsmaschine AVSA, die moderne Strebtechnik, der „sehende“ Hobel.

Die RAG Deutsche Steinkohle AG, **Bergwerk Saar** ist mit rund 4.900 Beschäftigten einer der größten industriellen Arbeitgeber im Saarland. Der Bergbau ist nach wie vor ein wichtiger Bestandteil der industriellen Wertschöpfungskette in der Region.

Abb. Fst-12: Bergwerk Saar – Schachtanlage Göttelborn [RAG]

Die RAG Deutsche Steinkohle erwirtschaftete 2006 einen Umsatz von 517 Mio. Euro an der Saar. Gleichzeitig sichert die RAG Deutsche Steinkohle als einer der größten Auftraggeber weitere rund 3.500 Arbeitsplätze in der saarländischen Mantelindustrie.

Der Saarbergbau arbeitet mit rund 680 Zulieferern zusammen (Nettobestellvolumen 2006: 125 Mio. Euro). Zusätzlich stützen Innovationen in enger Kooperation mit Spezialfirmen für Bergbaumaschinen und -Dienstleistungen den Industriestandort Saarland und eröffnen somit zahlreichen Branchen Perspektiven auf dem Weltmarkt. Rund 378 Jugendliche lernen derzeit beim größten industriellen Ausbilder an der Saar moderne und zukunftsorientierte Berufe vom Industriemechaniker über den Energieelektroniker bis zum Mechatroniker (das entspricht ca. 10 % der Gesamtbelegschaft). Um weiterhin einen leistungs- und zukunftsfähigen Steinkohlenbergbau betreiben zu können, werden über 300 Jugendliche in einer Zusatzausbildung für einen Arbeitsplatz unter Tage auf dem Bergwerk Saar qualifiziert.

7541014/10787806875Biblio

Der Steinkohlenbergbau an der Saar konzentriert sich ausschließlich auf den Förderstandort Ensdorf, der eine selbst im europäischen Vergleich herausragende Lagerstätte vorweisen kann. Seit 2007 kommt die Förderung aus dem Flöz Schwalbach in den Feldern Primsmulde Süd und Dilsburg sowie aus dem Flöz Grangeleisen, Nordfeld.

- **Vorläufiges Ende des Bergbaus an der Saar**

Durch einen gewaltigen Gebirgsschlag am 24.02.2008 mit schweren Folgen an Gebäuden und sonstigen Einrichtungen musste der Kohlenabbau zunächst eingestellt werden.

Der RAG-Vorstandsvorsitzende Tönjes will am Saar-Bergbau jedoch festhalten. Eine Wiederaufnahme ist jedoch unwahrscheinlich. Die IG BCE warnt vor dem Verlust von ca. 9.500 Arbeitsplätzen und weiteren mindestens 10.000 Arbeitsplätzen in der Zulieferindustrie und bei den Servicefirmen.

Mit einer aus der Erdölförderung stammenden Methode will man versuchen, die Sandsteinplatten, die laut RAG für das schwere Beben verantwortlich sind, kontrolliert zu sprengen. Damit will man doch noch einen bebenfreien Abbau erreichen. Dies ist die Bedingung, an die die Regierung die Wiederaufnahme des Bergbaus geknüpft hat.

In naher Zukunft wird sich durch den ständig ansteigenden Rohstoffbedarf der Preis für die Tonne Steinkohle so erhöhen, dass sich die Steinkohlenförderung wieder interessant werden kann.

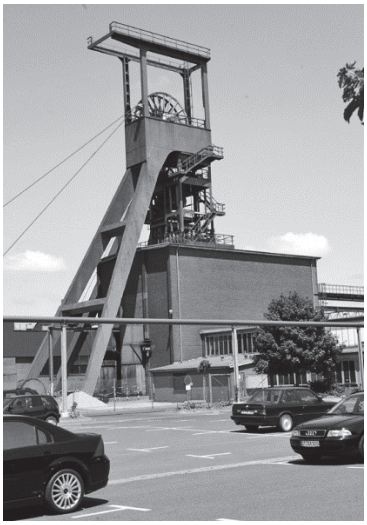
Die **Schachtanlage RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH** im Tecklenburger Land ist das nördlichste Steinkohlenbergwerk Deutschlands.

Etwa 2.466 Mitarbeiter fördern im Jahr ca. 1,9 Mio. t hochwertige Anthrazitkohle. Hier bauen die „Kumpel“ pro Mann und Schicht fast 7,5 t Steinkohle ab. Mit einer Teufe von 1.550 m ist der Nordschacht einer der tiefsten Schächte Europas.

Eingesetzt wird die Ibbenbürener Anthrazit-Nusskohle seit langem als hochwertiger Brennstoff im ‚Wärmemarkt‘, beispielsweise in Heizwerken oder Zentralheizungen. Auch die Kalk-, Chemie- und Stahlindustrie stellt eine wichtige Abnehmergruppe dar. Der Hauptabnehmer der Steinkohle ist aber das unmittelbar neben dem Bergwerk gelegene 770-MW-Steinkohlenkraftwerk.

Die technische Ausstattung der Kohlengewinnung ist richtungweisend für den Steinkohlenbergbau. Sie wird in Ibbenbüren computergestützt von übertägigen Leitständen aus gesteuert. Mit einem Umsatz von rund 270 Mio. Euro stellt die RAG Anthrazit Ibbenbüren einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor in der Region dar.

7541014/10787806875Biblio



Perspektiven für die Zukunft bietet das Werk als größtes Ausbildungsunternehmen der Region auch den Jugendlichen. So werden am Standort mehr als 200 junge Menschen vornehmlich zu Industriemechanikern und Elektronikern für Betriebstechnik ausgebildet (ca. 8 % der Gesamtbelegschaft). Ein besonderer Vorteil der Ausbildung liegt in der Verschmelzung der Lernorte Betrieb und Schule.

Abb. Fst-13: Schachtanlage Ibbenbüren [RAG]

Nach heutigen Erkenntnissen lagern in Deutschland noch 24 Mrd. Tonnen Steinkohle. Dieser Vorrat könnte je nach Förderung und Abbautechnik 400 bis 900 Jahre reichen

Hinweis: Es ist möglich, dass einige der genannten Schachtanlagen im Zuge der Steinkohlereform bei Erscheinen des Buches die Förderung bereits eingestellt haben. Es ist trotzdem nicht uninteressant zu wissen, wie der technische Stand der betr. Anlagen war und welche Leistungen erbracht wurden.

4 Errichtung einer Schachtanlage

Die Errichtung einer Schachtanlage im Steinkohlenbergbau erfordert umfangreiche Vorarbeiten und Festlegungen. Dazu gehören u. a.:

- Antrag auf Schürfgenehmigung,
- Exploration,
- Planung der Übertageanlagen,
- Feststellung der Lage und Teufe der Schächte,
- Festlegung der jeweiligen Sohlenteufe,
- Aufstellen eines Betriebsplanes,
- Beweissicherungmaßnahmen,
- Abteufen der Schächte.

Ferner müssen gesichert sein:

- Aus- und Vorrichtung (Füllörter, Richtstrecken, Querschläge, Blindschächte, Flözstrecken und Aufhauen, Bunker),
- Transportsystem der Kohle-, Berge- und Materialförderung,
- Technik im Gesteinsstreckenvortrieb,
- Gewinnungs- und Ausbausystem im Streb,
- Wetterführung,

7541014/10787806875Biblio

- Sicherheitstechnik (z. B. Grubenwehr),
- Personaldisposition.

Ein wesentlicher Teil der aufgeführten Punkte ist auch bei anderen Planungen von Rohstoffgewinnungsbetrieben, die der bergrechtlichen Aufsicht unterstehen, erforderlich.

Grundsätzlich ist die Aufgabe jedes Bergbaunternehmens die Gewinnung nutzbarer mineralischer Rohstoffe, also von Steinkohle, Braunkohle, Eisenerz, Metallerzen, Steinsalz, Kalisalz, Flussspat, Kalkstein, Gips, Dachschiefer usw. Die wichtigsten Grubenbaue sind daher die Räume, in denen die Hereingewinnung stattfindet. Es sind dies die Abbauräume oder Abbaubetriebspunkte, z. B. ein Streb, eine Kammer, ein Ort, ein Stoß, ein Pfeiler usw. Ihre Form und Größe sind je nach dem Abbauverfahren verschieden. Ihre Zahl richtet sich nach der Höhe der täglichen Förderung einer Grube sowie nach der Höhe der Förderung je Abbaubetriebspunkt und Tag.

Alle übrigen Grubenbaue haben den Zweck, der Förderung, Fahrung und Wetterführung von und zu den Abbaubetriebspunkten zu dienen und diese so weit vorzubereiten, dass in ihnen die Gewinnung stattfinden kann. Hierzu sind im Allgemeinen zwei Arten von Grubenbauen erforderlich, die unter den beiden bergmännischen Begriffen „Ausrichtung“ und „Vorrichtung“ zusammengefasst werden.

4.1 Aus- und Vorrichtung

Die zur Ausrichtung gehörenden Grubenbaue sollen die Lagerstätte, also Flöze, Gänge oder Lager, von der Tagesoberfläche aus zugänglich machen. Dies geschieht durch Schächte, einfallende Strecken oder Stollen. Jede Grube muss mindestens zwei solcher Zugänge besitzen. Außerdem sollen die Ausrichtungsbaue die Lagerstätte oder den Gesteinskörper, in dem sie sich befinden, in für den Abbau geeignete Abschnitte unterteilen.

In söhligen oder wenig geneigten flözartigen Lagerstätten genügt vielfach eine Unterteilung nur in nebeneinander liegende Abschnitte mit Hilfe von im Flöz oder im Lager aufgefahrenen Hauptstrecken. Bei geneigt oder steil einfallenden Lagerstätten ist nicht nur eine Unterteilung in nebeneinander gelegene, sondern auch in senkrecht untereinander liegende Abschnitte notwendig. Auch bei flachem Einfallen kann dies der Fall sein, wenn, wie z. B. im deutschen Steinkohlenbergbau, zahlreiche Flöze vorhanden sind.

Zur Unterteilung der Lagerstätte oder des Gebirgskörpers in nebeneinander und untereinander gelegene Abschnitte dienen dann Hauptsohlen und vielfach auch Teilsohlen, die im Gestein aufgefahren werden. Zu jeder Hauptsohle gehört ein Hauptstreckennetz aus im Streichen verlaufenden Strecken, den Richtstrecken, und aus von diesen Richtstrecken abzweigenden Querschlägen. Durch die Querschläge und die sie von Sohle zu Sohle verbindenden Blindschächte und Förderberge findet eine weitere Unterteilung statt. Diese von Sohlen begrenzten, untereinander liegenden Gebirgsblöcke in nebeneinander gelegenen kleineren Abschnitten werden im Steinkohlenbergbau Abteilungen genannt.

Während die Querschläge die Lagerstätten oder Lagerstättenteile unmittelbar zugänglich machen, haben die Richtstrecken die Aufgabe, die Querschläge untereinander und mit den Schächten zu verbinden.

7541014/10787806875Biblio

Die Blindschächte sollen die zwischen den Hauptsohlen gelegenen Lagerstättenabschnitte lösen, d. h. zugänglich machen, und die Teilsohlen an die Hauptsohlen anschließen. An ihre Stelle können Gesteinsberge, Flözberge, Rolllöcher und heute vielfach Bandberge treten. In den meisten Fällen liegen die für diese Unterteilung erforderlichen Grubenbaue im Nebengestein. Es kann aber auch zweckmäßig oder notwendig sein, sie in der Lagerstätte aufzufahren.

Die Aufteilung des Gebirgskörpers, in dem sich die Lagerstätte befindet, genügt allerdings in der Regel noch nicht zur Vorbereitung und Einleitung des Abbaus. Hierzu gehören die Freilegung der Abbaufront und die Herstellung der zu ihr führenden Förder- und Wetterwege. Dies ist Aufgabe der Vorrichtung, die zusammen mit dem Abbau im Folgenden besprochen wird. Die Vorrichtungsbaue werden im Gegensatz zu denen der Ausrichtung nicht im Nebengestein, sondern in der Regel in der Lagerstätte selbst aufgefahren. Es sind dies Abbaustrecken, die auch Flözstrecken oder Gangstrecken genannt werden, und von ihnen ausgehende Aufhauen und Abhauen sowie sonstige in der Lagerstätte aufgefahrene Strecken.

4.2 Herstellen der Schächte

Für die Art der Erschließung unterirdischer Lagerstätten vom Tage her sind in erster Linie die Gestalt der Erdoberfläche und die Teufe maßgebend, die entweder die Lösung durch Stollen oder einfallende Stollen gestattet oder das Niederbringen von Schächten notwendig macht.

Unterhalb der Talsohle oder in ebenem oder flachwelligem Gelände findet die Ausrichtung von der Tagesoberfläche aus durch Schächte statt. Man nennt sie deshalb auch Tagesschächte im Gegensatz zu den Blindschächten, die nicht zu Tage auskommen.

Weil Stollen im Steinkohlenbergbau nicht mehr angewendet werden können, da die Flöze zu tief liegen, werden im Folgenden nur die senkrechten Schächte behandelt.

Die Schächte haben verschiedene Zwecke zu erfüllen, indem sie nicht nur zur Mineralförderung, sondern auch zur Ein- und Ausfahrt der Belegschaft, zum Ein- und Ausziehen des Wetterstromes, zum Einhängen von Verbaumaterial, Maschinen und Material aller Art, zum Einführen der erforderlichen Wasser- und Druckluftleitungen, der elektrischen Kabel usw. dienen. Ihre Bezeichnung richtet sich nach dem Zweck.

So sind Förderschächte zu unterscheiden von Wetterschächten, Materialschächten, Seilfahrtschächten und je nach ihrer Lage im Grubenfeld Hauptschächte von Außenschächten.

Aus allgemeinen sicherheitlichen und wettertechnischen Gründen muss jede Zeche in der Regel mindestens über zwei Schächte verfügen, von denen der eine Einzieh- und Förderschacht, der andere Auszieh-(Wetter-)Schacht ist. Eine Erhöhung dieser Mindestzahl tritt sehr häufig ein. In den meisten Fällen werden Forderungen der Wetterführung hierzu Veranlassung geben. Je höher nämlich die Belegschaftszahl und die Förderung einer Zeche wird, je größer das Grubengebäude und die Teufe sind, umso mehr wachsen die notwendigen Wettermengen. Auch zur Verkürzung der Anfahr- und Förderwege können zusätzliche Schächte dienen. Je geringer die Schachtbaukosten sind, umso eher wird man von dieser Möglichkeit Gebrauch machen. Hierbei darf allerdings der Grundgedanke der Betriebszusammenfassung und möglichst hoher Ausnutzung jeder Betriebseinrichtung nicht außer Acht gelassen werden.

7541014/10787806875Biblio

4.2.1 Schachtansatzpunkt

Für die Wahl des Schachtansatzpunktes, d. h. derjenigen Stelle, an der ein neuer Schacht abgeteuft werden soll, sind die Lagerungs- und Betriebsverhältnisse sowie die Verhältnisse an der Tagesoberfläche maßgebend. Eine möglichst gründliche Erkundung der Lagerstätte muss vorausgegangen sein, u. a. zu Ausdehnung und Verteilung über das Grubenfeld, Art und Verlauf von Störungen sowie Mächtigkeit und Aufbau des vorhandenen Deckgebirges. Die unter „Exploration“ behandelten geophysikalischen Untersuchungsverfahren und Tiefbohrungen dienen diesen Zwecken.

4.2.2 Bedeutung der Lagerungs- und Betriebsverhältnisse

Das Ziel wird zunächst sein, die Förder- und Wetterverbindungen zwischen den Schächten und Lagerstätten möglichst kurz zu halten. Durchsetzen das Grubenfeld nur wenige Lagerstätten in geringem Abstand voneinander, so wird bei der Wahl des Schachtansatzpunktes mehr auf ihre Lage Rücksicht genommen werden als bei einer großen Anzahl über das ganze Feld verteilter Lagerstätten. Der Schacht gehört in die Nähe des größeren Lagerstättenvorrates. Anderseits kommt die Rücksicht auf die Schachtsicherheitsfeste hinzu. Bei flacher Lagerung ist die Sicherheitsfeste an jeder Stelle des Grubenfeldes gleich groß, es sei denn, das Deckgebirge hat verschiedene Mächtigkeit.

Der von der Schachsicherheitsfeste in Anspruch genommene Mineralvorrat ist umso größer, je mächtiger das Deckgebirge ist. Doch tritt die Rücksichtnahme auf den Schacht überall dort, wo kein oder nur ein wenig wasserführendes Deckgebirge vorhanden ist, zurück. Ist der Abbau der Schachtsicherheitsfeste bei mächtigem Schwimmsanddeckgebirge jedoch bedenklich, wird, wenn möglich, der Hauptförderschacht in einen armen, unbauwürdigen Teil der Lagerstätte gelegt.

4.2.3 Verhältnisse über Tage

Die Verhältnisse an der Tagesoberfläche sind infolge der zunehmenden Bebauung und der wachsenden Fördermengen heute so wichtig geworden, dass sie vielfach, z. B. im engeren Ruhrbezirk, im Vordergrund der Erwägungen für den Bau des Schachtes stehen.

Zunächst wird zweckmäßig eine Stelle gewählt, an der die Kosten des Grunderwerbs für den Schacht und die mit ihm zusammenhängenden Tagesanlagen möglichst gering sind. Anderseits darf jedoch nicht vergessen werden, dass angesichts der hohen Schachtbaukosten bei neuzeitlichen Anlagen im Steinkohlenbergbau die Grunderwerbskosten nur eine geringe Rolle spielen. Ferner ist bei Gruben, die wie Steinkohlenzechen auf Massenabsatz eingerichtet werden müssen, auf einen möglichst billigen Eisenbahn-, Fluss- oder Kanalanschluss zu sehen. Außerdem muss das Schachtgelände hochwasserfrei liegen. Eine gewisse Haldensturzhöhe ist für die Hängebank gleichfalls erwünscht. Sie lässt sich auch in ebenem Gelände durch eine Hochhängebank erzielen, die für eine bequeme Verladung mindestens bei Gestellförderung allgemein üblich ist.

4.2.4 Grubenfeld- und Betriebsgröße

Sind nur ein Förderschacht und ein oder auch mehrere Wetterschächte in einem Grubenfeld niedergebracht, so liegt eine Einzelschachtanlage vor.

Früher wurden im deutschen Steinkohlenbergbau häufig Felder von nur ½–1 Normalfeld einem Förderschacht zugeteilt, so dass ein Grubenfeld von 2–3 Normalfeldern in etwa 3 selbständige Schachtfelder aufgeteilt, also durch 3 Förderschächte gelöst war.

7541014/10787806875Biblio

Dieser Zustand ist heute durch die Erkenntnis überholt, dass die zu mehreren Schachtanlagen gehörenden Tagesanlagen teurer zu erstellen und zu betreiben sind als eine zusammengefasste größere Tagesanlage für die gleiche Förderung.

4.2.5 Größe des Schachtquerschnitts von Förderschächten

Die Größe des Schachtquerschnitts bei runden Schächten der Größe des Schachtdurchmessers hängt bei Förderschächten in der Hauptsache von drei Gesichtspunkten ab:

- von Umfang, Art und Zahl der Fördereinrichtungen, mit denen die geforderte Förderleistung erreicht werden soll,
- von der Wettermenge, die dem Grubengebäude durch den Förderschacht zugeführt werden muss, und
- von den Abteuf- und Schachtunterhaltungskosten. Auch Zahl und Umfang der im Schacht unterzubringenden zusätzlichen Einrichtungen, wie Fahrten nebst Ruhebühnen, Rohrleitungen, Kabel und Hilfsförderungen, spielen eine Rolle.

Für die tägliche Schachtförderleistung sind die Zahl der täglichen Schachtförderstunden und die stündliche Schachtförderleistung maßgebend. Diese hängt von der Leistungsfähigkeit der Fördereinrichtungen (mögliche Zügezahl/Stunde × zulässige Nutzlast/Zug) und der durchschnittlichen Schachtausnutzung ab.
Finden in einem Schacht neben der Förderung auch die Haupt- und Zwischenseilfahrten statt, so wird der Schachtausnutzungsgrad nur etwa 60 % oder 70 % betragen.

Die Abmessungen der Fördereinrichtungen richten sich nach der Förderart – Gestell- oder Gefäßförderung – und nach dem Nutzinhalt der Fördereinrichtungen, der wiederum von der Wichte des Fördergutes abhängig ist.

Die Materialförderung und die Förderung von Bergen in die Grube bringen im Allgemeinen keine wesentlichen Querschnittsänderungen für die Fördereinrichtungen mit sich, da sie in Sonderförderwagen oder mit dem üblichen Förderwagen möglich sind.

Anders kann es sich mit der Personenförderung oder Seilfahrt und mit der Bergeförderung aus der Grube verhalten, da durch sie die Förderzeit für das nutzbare Mineral verkürzt wird.

Für die Wetterführung ist der sog. freie Wetterquerschnitt von Bedeutung. Bei seiner Berechnung sind alle Schachteinbauten, also Einstriche, Leitbäume, Fahrten und ihre Ruhebühnen, Rohrleitungen usw., zu berücksichtigen. In den neueren Förderschächten des europäischen Kohlenbergbaus liegen die Werte des freien Wetterquerschnitts bei etwa 90 % des lichten Querschnitts.

Die Förderkörbe haben in diesem Zusammenhang nur einen ganz untergeordneten Einfluss, es sei denn, es findet eine vollwandige Verkleidung der Seitentrumme statt. Der Wetterwiderstand des Schachtes wird in erster Linie durch die Wirbelbildung bei der Umströmung der Einbauten hervorgerufen. Er kann durch windschnittige Verkleidung der Einbauten, die allerdings nur schwierig durchführbar ist, bis auf etwa 20 % verringert werden. Dass diese Tatsache nicht nur auf die Bemessung des Lüfters und auf seinen Energieverbrauch Einfluss hat, sondern auch für den Schachtquerschnitt Bedeutung haben kann, liegt auf der Hand. In gleichem Sinne wirkt sich der Ersatz der Leitbäume mit ihren Einstrichen durch Seilführungen für die Fördergestelle aus.

7541014/10787806875Biblio

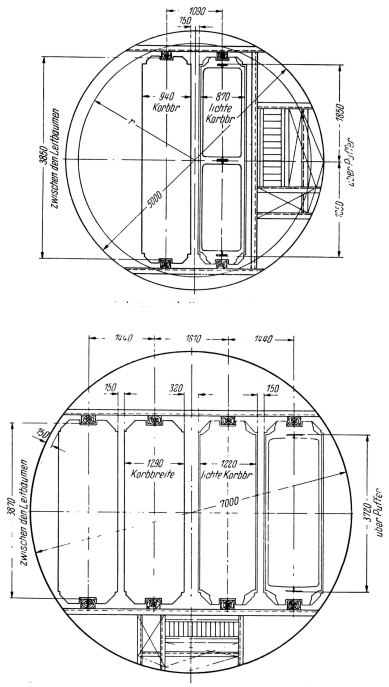
Bei der Berücksichtigung der Abteufkosten für die Wahl des Schachtdurchmessers ist zu beachten, dass Schächte größeren Querschnitts zwar teurer sind als solche geringeren Querschnitts, dass aber in standfestem Gebirge die Abteufkosten je m² Ausbruchfläche und erst recht je m² freier Fläche mit wachsendem Durchmesser des Schachtes abnehmen.

Beim Durchteufen von schwimmsandhaltigem Deckgebirge mit Hilfe des Gefrierverfahrens erhöhen sich die erforderlichen Frostwandstärken sowie die Wandstärken des Ausbaus mit zunehmendem Schachtdurchmesser jedoch so sehr, dass – je nach Teufe – bei 6,5 m bis 7,5 m lichtem Schachtdurchmesser eine wirtschaftliche und sicherheitliche Grenze erreicht zu sein scheint.

Für Nebenschächte, die besonderen Zwecken dienen, z. B. der Wetterführung oder zum Einfördern von Versatzmassen, genügen Schachtdurchmesser von 1,1 m bis 3,0 m. Solche Schächte können heute problemlos mittels Tiefbohrverfahren hergestellt werden. Diese Bohrschächte können auch Teilaufgaben von Schächten übernehmen und beispielsweise der Materialförderung oder zur Aufnahme der elektrischen Kabel, Rohrleitungen usw. dienen.

4.2.6 Größe des Schachtquerschnitts bei Wetterschächten

Bei Wetterschächten sind die Energiekosten für die Bewegung der Wetter im Schacht und die Abteufkosten, d. h. ihre Abschreibung und Verzinsung, von ausschlaggebender Bedeutung. Das gegenseitige Größenverhältnis dieser Kostenarten ändert sich mit dem Schachtdurchmesser und der Wettermenge. Die gebräuchlichen Durchmesser liegen bei ca. 7,00 m.



- **Einteilung der Schachtscheibe**

Das Fahrtrum kann entweder vor den Förderungen, also an der Kopfseite, oder neben den Fördertrummen an der Breitseite liegen. Eine Reihe betrieblicher Vorteile spricht meist dafür, es vor die Förderungen zu legen.

Einmal können dann die Einstriche für die Verlagerung der Ruhebühnen ausgenutzt werden, zum anderen gewähren die Einstriche einen guten Schutz des Fahrtrums und der sonstigen Einrichtungen, die in dem Schachtteil hinter den Einstrichen untergebracht werden können. Bei Schächten mit nur einer Förderung ist allerdings die Anlage des Fahrtrums an der Kopfseite vielfach nicht möglich.

Abb. Fst-14: Schachtscheiben
oben: Einheitsschachtscheibe
unten: Schachtscheibe bei Doppelförderung [1]

7541014/10787806875Biblio

Es sind dann besondere Unterzüge im Abstand der Ruhebühnen zur Aufnahme des Fahrtrums vorgesehen. Die Einstriche haben nur noch die Leitbäume zu tragen und müssen möglichst dicht an die Schachtwand verlegt werden.

Abb. Fst-14 zeigt eine typische Einheitsschachtscheibe für eine Förderung mit 1.100-l-Wagen und eine Schachtscheibe für eine Doppelförderung mit 4.000-l-Wagen. Aus beiden Abbildungen sind auch die üblichen Mindestabstände zwischen den beiden Förderungen, zwischen den Fördergestellen der gleichen Förderung sowie zwischen den Fördergestellen und dem Schachtausbau zu ersehen.

4.3 Abteufen von Hauptschächten

Das Schachtabteufen ist ohne besondere Vorkehrungen als sog. gewöhnliches Abteufverfahren möglich, wenn das Gebirge standfest ist und wenig Wasser führt.

Ist das Gebirge dagegen nicht standfest oder stark wasserführend oder aber beides zugleich, müssen Sonderabteufverfahren angewandt werden. Das Ziel dieser Sonderabteufverfahren ist in der Regel, einen Zustand herbeizuführen, der es gestattet, das gewöhnliche Abteufverfahren durchzuführen. Die Wahl des Verfahrens erfolgt in Abhängigkeit von den Gebirgsverhältnissen auf fünf Wegen.

Der eine Weg besteht darin, im standfesten Gebirge auf Klüften zusitzendes Wasser in der Umgebung der herzustellenden Schachtröhre durch Verpressen von Zement abzusperren.

Beim zweiten Weg, dem Gefrierverfahren, wird im wasserführenden und nicht standfesten oder standfesten Gebirge ein Frostzylinder hergestellt, in dessen Mitte unter dem Schutz der Frostwand der Schacht abgeteuft wird.

Bei der dritten Verfahrensweise wird das lockere, wasserführende Gebirge von dem Schachtinnern durch eine gleichzeitig mit dem Abteufen oder vorher eingebrachte Ausbauröhre abgetrennt. Im Schutz dieses Ausbaus wird der Schacht hergestellt; hierzu gehören die Senkschachtverfahren sowie das Ansteck- und das Spundwandverfahren.

Bei der vierten Methode wird der Schacht durch Bohren, also völlig maschinell, abgeteuft und danach ausgebaut.

Schließlich ist es möglich, das Grundwasser abzusenken und dann durch das trockene, wenn auch nicht standfeste Gebirge den Schacht abzuteufen. Die Notwendigkeit, Sonderabteufverfahren anzuwenden, besteht in den einzelnen Bergbauzweigen und Bergbauländern in sehr verschiedenem Maße.

In Deutschland und darüber hinaus in Westeuropa ist es vor allen Dingen der Steinkohlenbergbau, dessen Lagerstätten vielfach von Deckgebirgsschichten überlagert sind, die entweder nicht standfest oder wasserführend oder beides gleichzeitig sind, so dass oft erst nach deren Überwindung das gewöhnliche Schachtabteufverfahren angewandt werden kann. Das Gleiche gilt für den deutschen Kali- und Steinsalzbergbau.

Eine günstige Ausnahmestellung nehmen der Saarbergbau und der Erzbergbau ein; zumindest liegt hier meist standfestes Gebirge vor.

Die nachstehende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die verschiedenen Abteufverfahren, deren Anwendbarkeit in der Hauptsache durch Teufe, Gebirgbeschaffenheit und Wasserführung bedingt ist.

7541014/10787806875Biblio

Zusammenstellung der Abteufverfahren

	Nach der Teufe	Nach der Gebirgsbeschaffenheit	Nach den Wasserzuflüssen
I. Das gewöhnliche Abteufverfahren	für alle Teufen	in festem Gebirge	bis etwa 0,5 m³/min
II. Sonderabteufverfahren			
A. Das Gefrierverfahren	für alle Teufen	in jedem, insbesondere lockerem Gebirge	beliebig
B. Die Schachtbohrverfahren			
a) nach Honigmann	bis etwa 500m	in lockerem und mäßig festem Gebirge	beliebig
b) in festem Gestein	bis etwa 200 m	in standfestem Gebirge	sehr gering
C. Das Zementierverfahren	für alle Teufen	in standfestem, klüftigem Gebirge	beliebig
D. Die Senkschachtverfahren			
a) gewöhnliches Verfahren	bis etwa 30 m	in lockerem Gebirge	beliebig
b) im toten Wasser	bis etwa 30 m	in lockerem Gebirge	beliebig
c) mit Überdruckkammer	bis etwa 30 m	in lockerem Gebirge	beliebig
E. Die Ansteck- und Spundwandverfahren	bis etwa 25 m	in lockerem Gebirge	beliebig
F. Das Grundwasserabsenkungsverfahren	bis etwa 15 m	in lockerem Gebirge	beliebig

4.3.1 Gewöhnliche Abteufverfahren

4.3.1.1 Abteufen von Tagesschächten

Die **Gewinnungsarbeit in mildem Gebirge** beginnt in den oberen, weichen Schichten mit dem Bagger.

Für die **Gewinnungsarbeit in festem Gebirge muss** in der Regel Bohr- und Sprengarbeit angewendet werden. Die Bohrlöcher werden heute im Allgemeinen mit modernen Lafetten-Bohrgeräten unter Anwendung des Drehschlagbohrverfahrens maschinell hergestellt. Es wird grundsätzlich mit Staubabsaugung bzw. Wasserspülung gebohrt (Abb. Fst-15).

7541014/10787806875Biblio

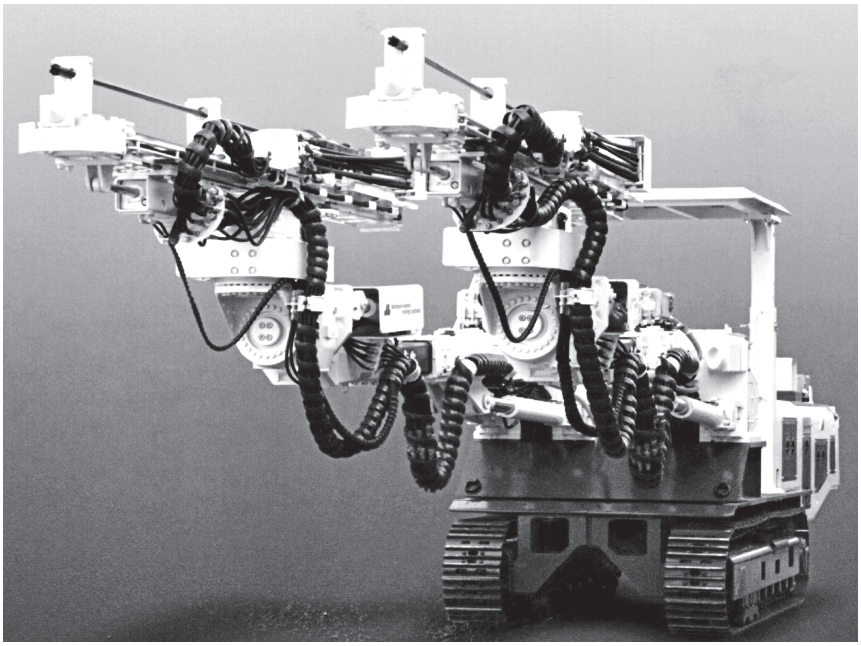


Abb. Fst-15: Sprenglochbohrgerät mit zwei Lafetten-System Deilmann-Haniel mit Druckluft oder Hydraulikbohrhämmern [63]

Im Sandschiefer des Ruhrgebietes kann mit den heutigen Bohrgeräten für ein 2 m bis 5 m langes Bohrloch mit einer reinen Bohrzeit von 5 bis 10 Minuten gerechnet werden. Da ein solches Gerät nur vom Geräteführer gehandhabt wird, kann die übrige Mannschaft mit sonstigen Arbeiten beschäftigt werden (z. B. Vorbereitung zum Laden und Sprengen, Wasserhaltung). Für das Abbohren und Sprengen eines Abschlags werden bei durchschnittlichen Verhältnissen 3,5 bis 4,5 Stunden benötigt.

4.3.1.2 Bohren und Sprengen

Außer dem Einbruch unterscheidet man die „Helfer“, den ersten, den zweiten und womöglich noch einen dritten Kranz.

Alle Bohrlöcher sollen im Allgemeinen die gleiche Tiefe erhalten. Bei unebener Sohle sind sie so lang zu bohren, dass sie auf einer gemeinsamen waagerechten Ebene enden. Neigen jedoch die Schüsse dazu, auf einem Lösen abzuschlagen, ist es besser, alle Löcher nur bis zu diesem Lösen zu bohren. Tiefere Löcher würden mit ihren Enden als Bohrlochpfeifen stehen bleiben, die Sohle unnötig aufreißen und das Festmachen der Sohle sowie das Abbohren des nächsten Abschlages erschweren.

7541014/10787806875Biblio

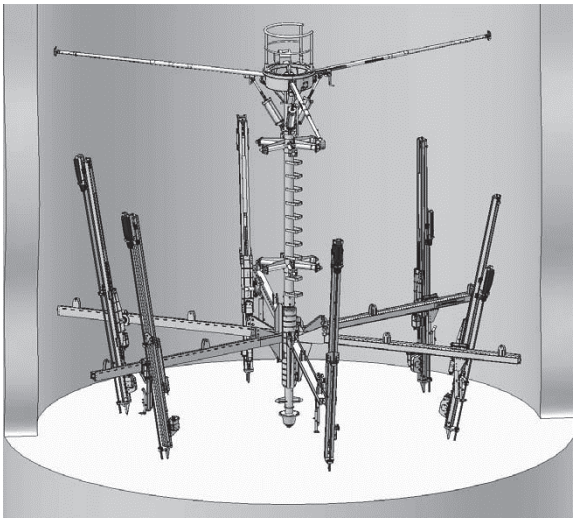


Abb. Fst-16:
Schachtsprengloch-Bohreinrichtung-System Deilmann-Haniel mit max. 6 Bohrlafetten [63]

In Abb. Fst-17 links ist eine Sprenglochanordnung für Tonschiefer, in Abb. Fst-17 rechts eine Sprenglochanordnung für Sandstein dargestellt. Im Sandstein wird der Einbruch enger gewählt und die Lochzahl der einzelnen Kränze erhöht. Die Lochzahl je m² Ausbruchfläche beträgt 1,6 bei Tonschiefer und 2 bei Sandstein.

4.3.1.3 Abschlaglänge

Im Allgemeinen beträgt die Abschlaglänge 2 m bis 4 m. In weichem Gestein, z. B. Tonschiefer, kann sie bis zu 5 m erreichen. Von Einfluss auf die Abschlaglänge ist die sicher zu erreichende Einbruchtiefe, die mit härterem Gestein und mit kleinerem Schachtdurchmesser geringer wird.

Auch spielen zur Einhaltung eines bestimmten täglichen Rhythmus ebenso wie bei der Streckenauffahrung die Bohr- und Ladezeiten eine Rolle. Es lohnt sich vielfach eher, einen Arbeitsrhythmus einzuhalten und dafür geringere Abschlaglängen in Kauf zu nehmen als bei längeren Abschlägen einen nichtrhythmischen Betrieb zu haben oder umgekehrt. Außerdem soll sich die Zeit für das sog. Festmachen, also das Nachspitzen der Sohle, verringern, da ein kurzer Abschlag genauer gesprengt werden kann als bei einer langen Abschlaglänge.

7541014/10787806875Biblio

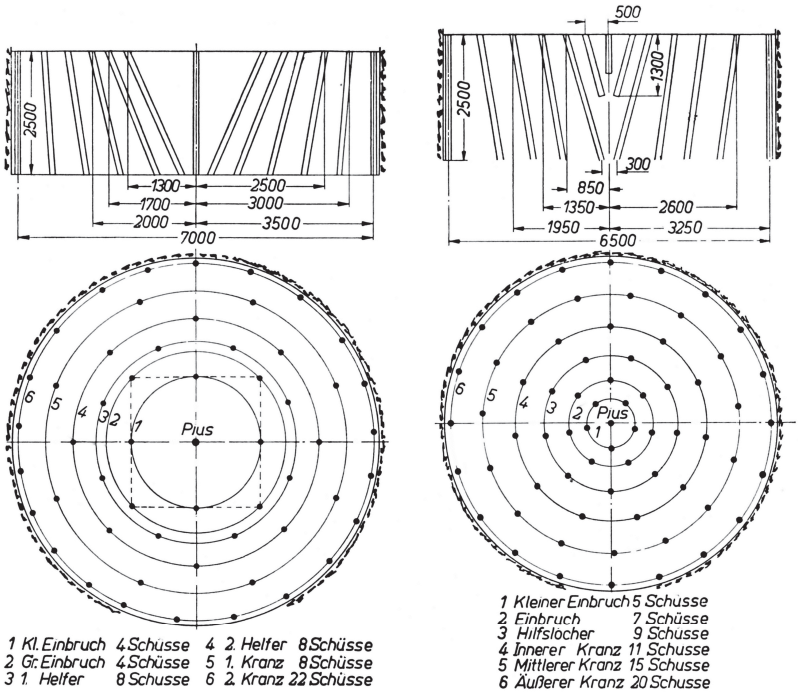


Abb. Fst-17: Sprenglochanordnung beim Abteufen von Schächten
links: Sprenglochanordnung im Tonschiefer
rechts: Sprenglochanordnung im Sandstein [6]

4.3.1.4 Sprengarbeiten

Die Ladungen werden beim Schachtabteufen stets elektrisch gezündet, da jede andere Zündung weniger sicher und auch ungünstiger für den Fortgang der Arbeiten ist. Man zündet von über Tage aus oder beim Weiterabteufen eines Schachtes vom Füllort der oberen Sohle.

Als Zündleitung wird ein besonderes Sprengkabel verwendet, das auf einer Trommel aufgewickelt ist, freitragend im Schacht hängt und dem Abteuffortschritt entsprechend verlängert werden kann.

Die meist hohe Ladungszahl beim Schachtabteufen bedingt die Verwendung von Brückenzündern und von Zündmaschinen für 80 Ladungen, und zwar in Form gewöhnlicher Zündmaschinen oder bei Nebenschlussgefahr von Kondensatorzündmaschinen. Nur gelegentlich wird mit Starkstrom unter Benutzung von allpolig unterbrechenden Schaltern gezündet. Da im Allgemeinen alle Ladungen in einem Zündgang abgetan werden, benötigt man eine große Anzahl von Zündstufen. Man verwendet deshalb im Wesentlichen Millisekundenzünder.

An Sprengstoffen werden Ammongelite bevorzugt. Bei Schlagwettergefahr sind Wettersprengstoffe mit den entsprechenden Sprengstufen und Höchstlademengen vorgeschrieben, wodurch der Vortrieb erheblich verlangsamt wird. Der Sprengstoffverbrauch schwankt je nach Gesteinsfestigkeit zwischen 0,8 kg/m³ und 1,4 kg/m³.

7541014/10787806875Biblio

4.3.1.5 Ladearbeit

Da Ladearbeit von Hand in Deutschland beim Schachtabteufen keine Rolle spielt, wird nachfolgend nur die maschinelle Lade- und Förderarbeit behandelt.

Bei der Ladearbeit sind teilweise Zweischalengreifer in der Anwendung. Die Greifer werden hierbei von über Tage aus an einem Seil zur Sohle heruntergelassen, füllen sich dort und werden über Tage entleert. Bei größeren Teufen ist dies Verfahren jedoch nicht anwendbar; außerdem ist die Schließkraft der durch Seilzüge betätigten Greifer für harte und grobstückige Gesteine zu gering.

Mehrschalengreifer oder Polypgreifer der Firmen Demag, Scheidt und Deilmann + Haniel sind dagegen sehr leistungsfähig und in jedem Gestein einsetzbar, da sie speziell für diese Aufgabe entwickelt wurden.

Bestandteile des Greifers:

- der Greiferkopf, an dem das Tragseil angeschlagen ist,
- der Druckluftzylinder mit Kolben und Kolbenstange,
- das Schalenquerhaupt und
- die fünf oder sechs Greiferschalen mit Druckstangen.

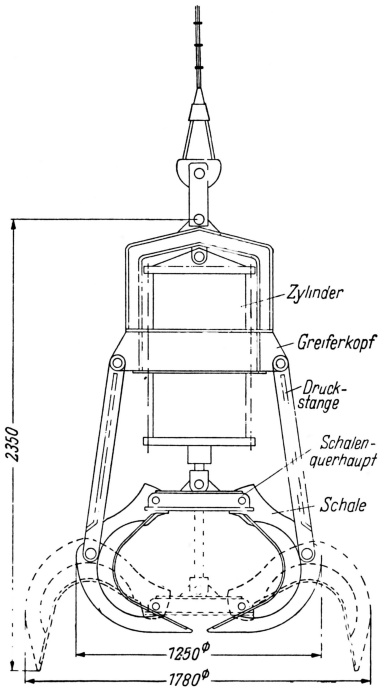


Abb. Fst-18: Mehrschalengreifer mit Druckluftzylinder System DEMAG [1]

Der Druckluftzylinder ist im Greiferkopf lose und pendelnd aufgehängt, wie auch alle anderen Gelenke und Verbindungen zwischen den Einzelteilen so beweglich sind, dass sich der Greifer Unebenheiten der Haufwerksoberfläche anpassen kann. Mehrschalengreifer werden in Größen von 200 l bis 1.500 l hergestellt.

Der Greifer muss geöffnet, gefüllt und wieder geschlossen werden. Diese vom Druckluftzylinder bewirkten Vorgänge werden wie das Entleeren über dem Kübel über einen Vierwegehahn durch Zugketten gesteuert. Das Heben und Senken des Greifers geschieht durch eine Winde. Schließlich soll er auch in horizontaler Richtung bewegt werden können, damit er an allen Stellen der Schachtsohle das Haufwerk ergreifen kann.

Diese Bewegung des „am langen Seil“ hängenden Greifers kann von Hand geschehen. Mechanische Hub- und Schwenkvorrichtungen sind der Wanddrehkran und die Greiferbühne.

7541014/10787806875Biblio

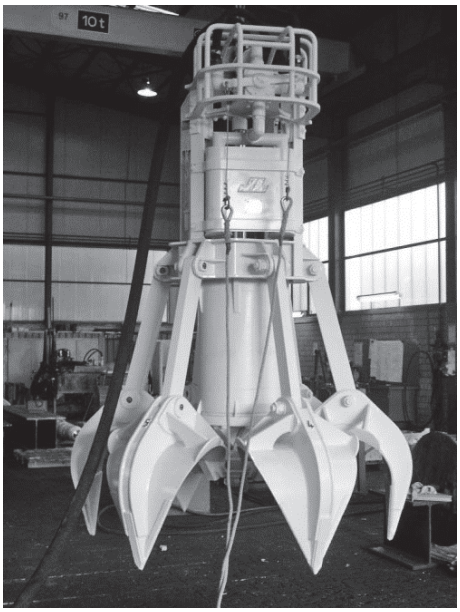


Abb. Fst-19: Mehrschalengreifer mit Druckluftschließung System Deilmann + Haniel – mögliche Greiferinhalte 0,3, 0,5, 0,8 u. 1,2 m³ – Gewichte von 1,35, 2,45, 3,65 u. 3,85 t, erforderlicher Betriebsdruck 3–6 bar [V63]

Ihre Nachteile sind die Verringerung des freien Raumes und der nicht unbeträchtliche Mehrpreis. Für die Ausführung und Prüfung von Greiferanlagen hat das Oberbergamt Dortmund Richtlinien erlassen. Inzwischen sind Greifer in der Entwicklung, die durch Fernbedienung (auch über Funk) betrieben werden können.

4.3.1.6 Wanddrehkran

Der Wanddrehkran besteht aus einer etwa 9 m hohen Stahlgitterkonstruktion. An einem Seil hängend wird er längs der Schachtwand verfahren. In Arbeitsstellung hakt er sich in Taschen der Schachtwand ein.

Im Gittergerüst befinden sind drei Druckluft- bzw. E-Motore, der Stand für den Bedienungsmann sowie die Verlagerung für den Ausleger, über den das Greiferseil geführt wird. Der Ausleger kann gehoben, gesenkt und geschwenkt werden. Ein Motor treibt die Greiferwinde an, der zweite die Winde für das Heben und Senken des Auslegers und der dritte das Schwenkwerk.

Dem Vorteil der großen Beweglichkeit des Auslegers steht der Nachteil gegenüber, dass er mit dem Förderkübel zusammenstoßen kann. Durch kurzes Anhalten des Kübels oberhalb des Wanddrehkrans lässt sich das vermeiden.

Die langgestreckte und schmale Form des Gerätes erlaubt seine Verwendung in Schächten recht unterschiedlicher Querschnittsform und -größe. Von Nachteil ist, dass ein Wanddrehkran wegen der Sicht des Bedienungsmannes in Abständen von 20 m bis 25 m verfahren werden muss, während Greiferbühnen erst nach 40 m bis 60 m tiefer gelegt zu werden brauchen.

7541014/10787806875Biblio

4.3.1.7 Fördergefäße

Als Fördergefäße für die Bergeförderung werden Abteufkübel aus Stahlblech verwendet (Abb. Fst-22). Man bevorzugt heute in Deutschland in zunehmendem Maße Abteufkübel von 1,5 m^3, 1,75 m^3 und 2 m^3.

Der Verwendung größerer Kübel sind durch das Kübelgewicht, das Bügelgewicht und das Zwischengeschirr Grenzen gezogen. Trotzdem wird angestrebt, die Kübel auf 2,5 m^3 bis 3,5 m^3 Inhalt zu vergrößern

Die Kübelgröße hat entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Schachtförderung. Bei größeren Kübeln wird mit jedem Förderspiel auch eine größere Haufwerksmenge zu Tage gehoben. Auch haben größere Kübel einen besseren Füllungsgrad, die Zahl der Kübelwechsel wird geringer und es fällt weniger Haufwerk aus dem Greifer neben den Kübel.

Kübel und Greifer werden unter Berücksichtigung des Greiferfüllungsgrades und des Greiferdurchmessers aufeinander abgestimmt, damit der Kübel mit möglichst wenigen Hüben gefüllt werden kann. Zum Beispiel füllt ein 500-l-Greifer bei 80 %iger Füllung einen 1.500-l-Kübel mit 4 Hüben, einen 300-l-Greifer mit 6 Hüben. Die Kübel dürfen nur bis auf Handbreite unter ihren Rand gefüllt werden.

Da die Fördergeschwindigkeit bis 12 m/s betragen kann, ist es möglich, große Förderleistungen zu erzielen. Bei 10 m/s mittlerer Geschwindigkeit und einem Zeitaufwand von 100 Sekunden für das An- und Abschlagen der Kübel beträgt bis 1.000 m Teufe die Zeit für das Beladen eines Zuges 3,3 Minuten. In einer Stunde sind das 18 Züge.

Für die Beton- und Mörtelförderung sind Mörtelkübel mit Bodenentleerung vorteilhaft, da sie das umständliche und zeitraubende Kippen der früher üblichen Kübel vermeiden.

7541014/10787806875Biblio

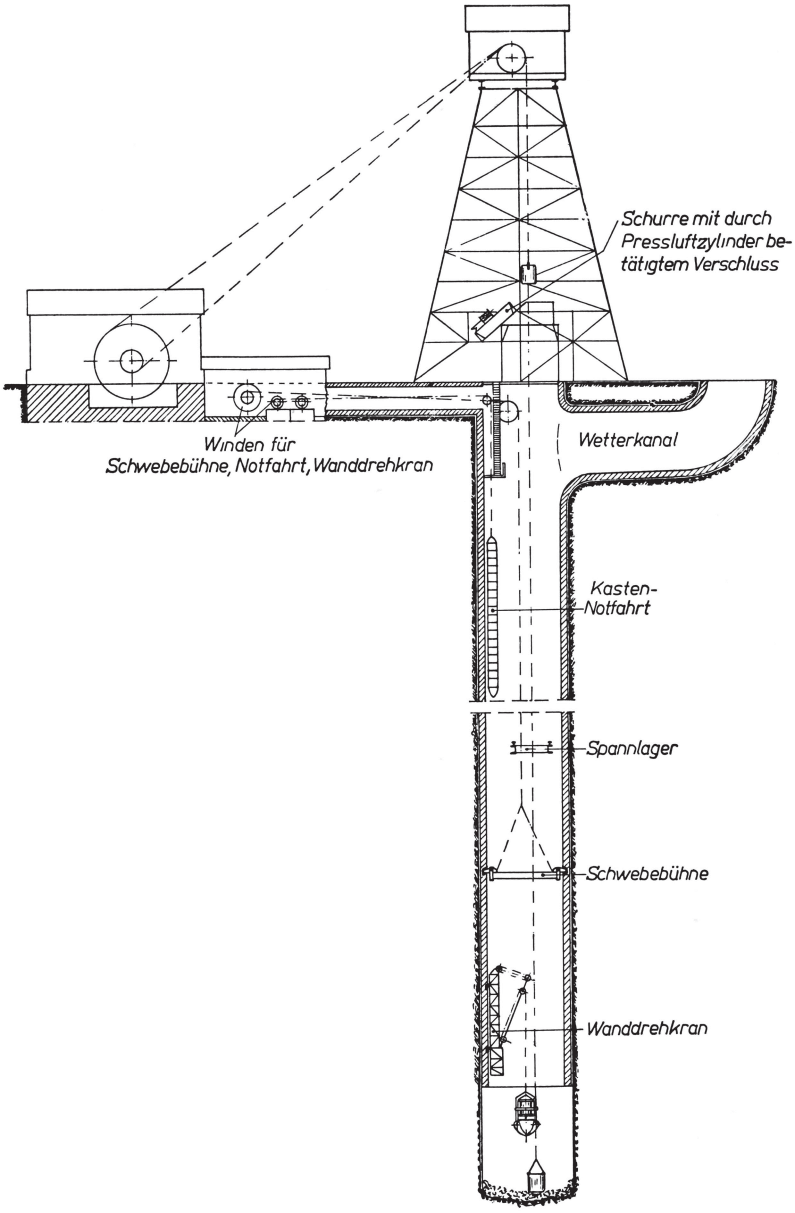
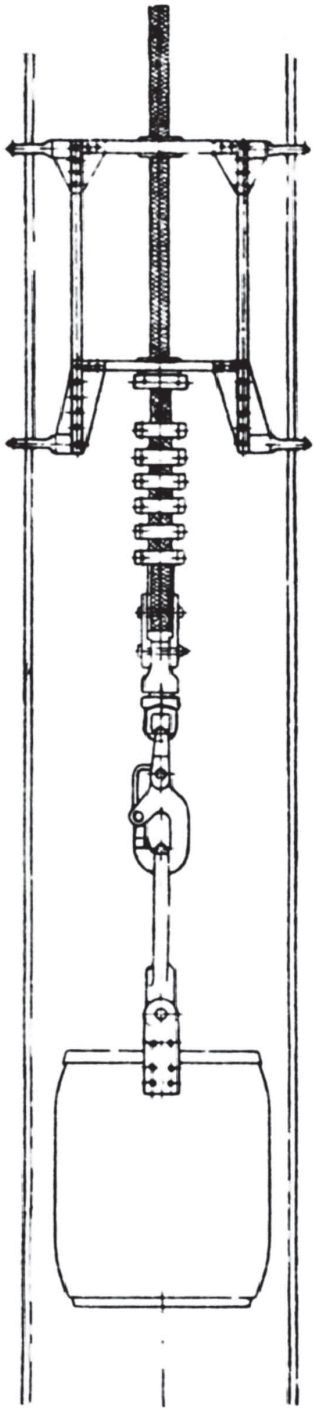


Abb. Fst-20: Systemdarstellung einer Schachtabteufanlage mit den wesentlichen Komponenten [6]

7541014/10787806875Biblio

4.3.1.8 Führung und Entleeren der Kübel



Die Kübel werden im Schacht während der Förderung durch je zwei Führungsseile geführt.

Die Führungsseile, die entsprechend dem Vorrücken des Abteufens verlängert werden müssen, sind in der erforderlichen größten Länge auf Winden gewickelt, die seitlich des Schachtes an beliebigen Punkten aufgestellt sind. Von den Winden sind die Seile über Rollen, die auf der oberen Bühne des Schachtgerüstes verlagert sind, geführt, von wo aus sie in den Schacht hinab hängen und dem Abteufen entsprechend abgewickelt werden können. Die unteren Enden sind an einem Spannlager befestigt.

Da der Kübel zum Kippen und Auswechseln frei beweglich bleiben muss und deshalb keine Führungsösen erhalten kann, wird die Führung des Kübels an den Führungsseilen durch den Führungsschlitten vermittelt.

Abb. Fst-21: Führung des Abteufkübels [49]

7541014/10787806875Biblio

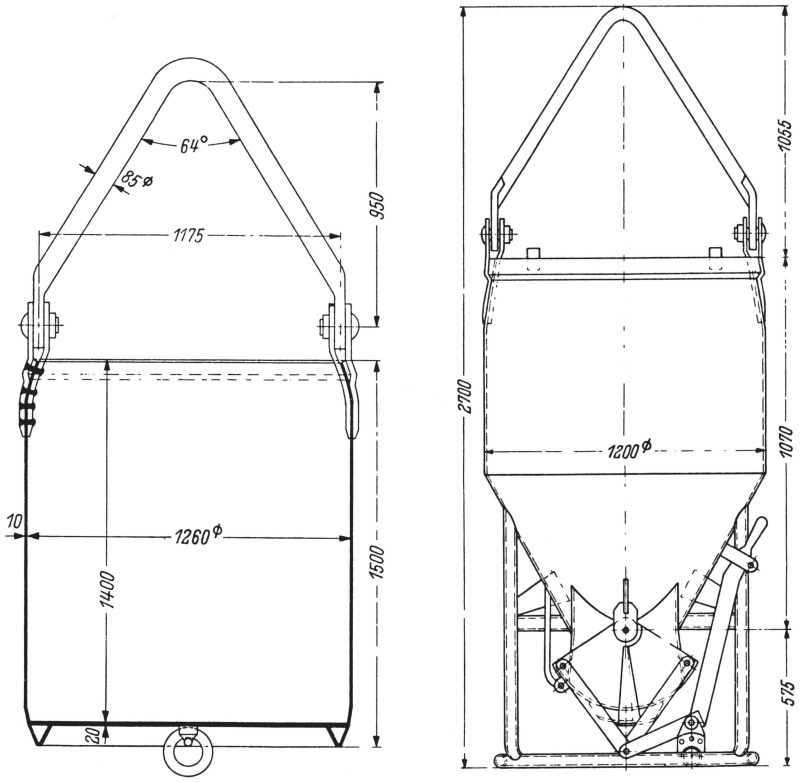


Abb. Fst-22: Förderkübel 1.500 l (links) – Betonförderkübel mit Bodenentleerung (rechts) [49]

Entleert werden die Förderkübel über dem Schacht in einen Bergekasten als Zwischenbehälter, der für mehrere Kübelfüllungen Raum bietet, oder über einer Schurre entleert. Aus ihr fallen nach Öffnung eines Schiebers die Berge in die untergeschobenen Fördereinrichtungen Bänder, Lkw o. Ä.).

Die Kübel dürfen auch zur Seilfahrt (Personenbeförderung) benutzt werden.

4.3.1.9 Vorläufiger Ausbau

In standfesten Böden bzw. Fels ohne Wasserzufluss kann zunächst ein vorläufiger Ausbau erfolgen, der nachfolgend durch eine Mauerung (heute nur noch selten), Stahlbeton oder Tübbingausbau ersetzt wird.

Für den vorläufigen Ausbau setzt man U-förmige Stahlringe aus einzelnen Segmenten zusammen. Die Enden der Bogenstücke stoßen stumpf aneinander und werden durch eingelegte Laschen und Bolzen miteinander verbunden. Die Verkleidung erfolgt durch senkrechte Bretter oder Bohlen.

7541014/10787806875Biblio

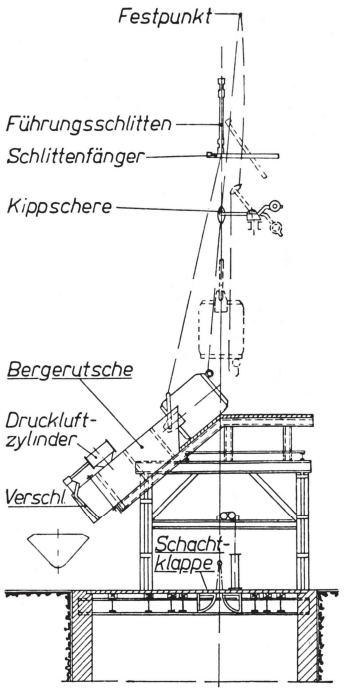


Abb. Fst-23: Kübelentleerung über Tage [49]

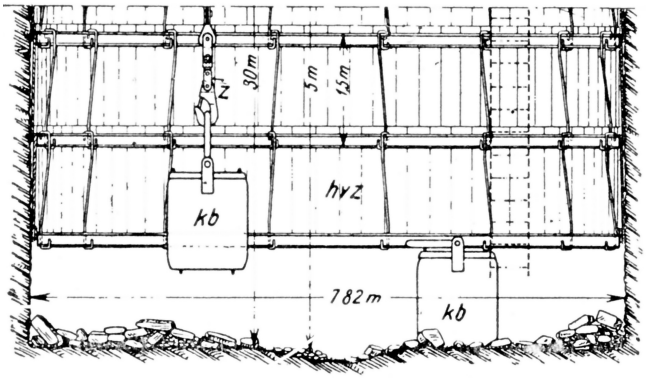


Abb. Fst-24: Vorläufige Schachtauskleidung – kb: Förderkübel – hvz: Holzverzug [49]

4.3.1.10 Wasserhaltung

Die Wasserhaltung beim Schachtabteufen hat die Aufgabe, das beim Abteufvorgang zufließende Wasser von der Schachtsohle zu entfernen. Dies geschieht entweder durch Steigleitungen und Druckpumpen oder bei geringen Zuflüssen mittels der Kübelförderung, wobei das Wasser mit Schwimmer- oder mit kleinen tragbaren Kreiselpumpen in die Kübel oder in schlanke Wasserziehgefäße gefüllt wird.

Durch Wasserzuflüsse werden nicht nur die Arbeiten auf der Sohle mit ansteigender Zuflussmenge in wachsendem Maße erschwert, sondern auch erhebliche Anforderungen an die Wasserhaltung gestellt. Schon bei 100 l/min bis 200 l/min ist die gleiche Wassermenge zu fördern wie bei einem täglichen Abteuffortschritt von 2 m bis 3 m an

7541014/10787806875Biblio

Haufwerk gehoben wird. Im Allgemeinen wählt man schon bei kleinen Wasserzuflüssen den Weg, sie durch Zementierung vom Schacht fernzuhalten, weil dies wirtschaftlicher ist, als den zu erwartenden Leistungsabfall, den zusätzlichen Verschleiß und die Wasserhebekosten in Kauf zu nehmen.

4.3.1.11 Bewetterung

Bis etwa 30 m Teufe kommt man ohne künstliche Hilfsmittel beim Schachtabteufen aus, da die Wirkung der Diffusion durch das Auf- und Niedergehen der Fördergefäße und durch die Bewegung der Menschen erhöht wird. Auch tritt zumeist ein schwacher natürlicher Wetterzug dann auf, wenn die Luft an den Stößen sich abkühlt, hier niedersinkt und dafür in der Schachtmitte aufsteigt.

Für größere Teufen wendet man Sonderbewetterung an. Wegen der festen Verbindungen gebraucht man meist Flanschenlutten. Wird der endgültige Einbau erst später eingebracht, werden die Wetterlutten mittels Schellenbändern und Ankereisen in der Mauerung befestigt. Als unteres Ende gebraucht man gern Plastik- oder Tuchlutten, die an einem bis zu einer Winde über Tage führenden Seil hängen. Sie besitzen den Vorteil, dass sie beim Sprengen leicht angehoben werden können. Der Durchmesser der Lutten beträgt bei tiefen Schächten 500 mm bis 700 mm. Die blasende Bewetterung wird im Allgemeinen bevorzugt, wobei eine Wettermenge von 250 m^3/min meist ausreicht.

4.3.1.12 Beleuchtung

Zur Beleuchtung dienen elektrische (wenn nötig, schlagwettergeschützte) Schachtlampen, sog. Schachtsonnen, mit 1 bis 4 Glühbirnen von je 250 Watt bis 500 Watt. Heute werden auch Halogenleuchten bzw. -strahler mit bis zu 5.000 Watt eingesetzt.

Ihr Gewicht schwankt zwischen 30 kg und 50 kg. Sie hängen an einer Gummischlauchleitung, die außer den beiden Stromleitern zwei Tragseile enthält. Die Gummischlauchleitung ist über Tage in der für die Gesamtteufe erforderlichen Länge auf eine Trommel gewickelt und hängt frei im Schacht. Vor dem Sprengen werden Leuchten ausreichend hochgezogen.

4.3.1.13 Fahrung

Die Sicherung der Abteuf-Mannschaft (z. B. bei Wasserdurchbrüchen, Unruhe im Gebirge, Versagen der Fördermaschine) erfordert eine doppelte Fahrmöglichkeit. Sie lässt sich leicht einrichten, wenn der Schacht schon beim Abteufen mit Einstrichen und Bühnen versehen wird.

Es können dann Fahrten eingebaut und neben der Kübelförderung für die Ein- und Ausfahrt der Belegschaft benutzt werden. Da Einstriche und Bühnen mit Rücksicht auf die Sprengarbeiten in einer gewissen Höhe oberhalb der Schachtsohle enden, werden zur Überwindung dieses letzten Stückes Strickleitern aus Drahtseilen mit stählernen Sprossen angehängt.

7541014/10787806875Biblio

Soll der Schacht während des Abteufens ohne festen Einbau bleiben, so ist die Forderung einer doppelten Fahrmöglichkeit schwieriger zu erfüllen. Man muss dann eine sog. „Notfahrt“ einhängen, die eine Anzahl von Bühnen mit Raum für jeweils 2 bis 3 Mann trägt, so dass die Höchstzahl der auf der Schachtsohle befindlichen Personen mit einem Treiben befördert werden kann. Diese Fahrt hängt an dem Förderseil eines über Tage aufgestellten Haspels, der zweckmäßig durch eine andere Energieart als die Fördermaschine angetrieben wird.

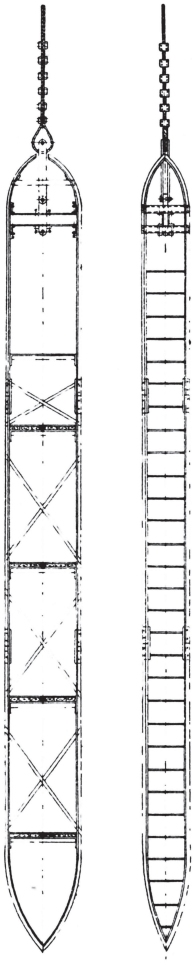


Abb. Fst-25: Kastennotfahrt [1]

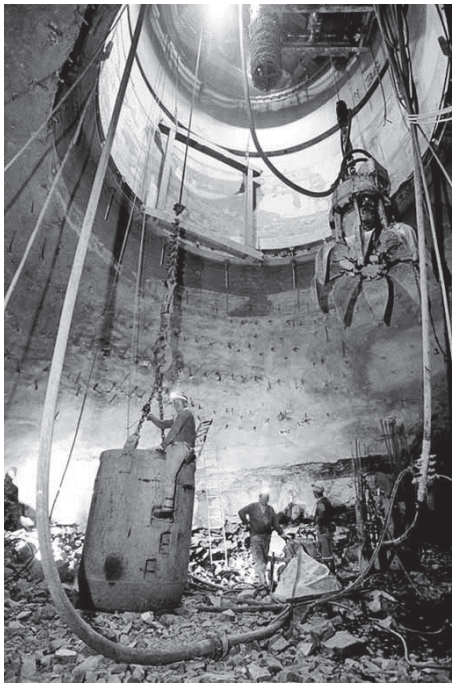


Abb. Fst-26: Abteufen eines Schachtes im Bohr- und Sprengverfahren, Haufwerksförderung mit Kübel und Greifer – Ausbau mit Stahlbeton-Tübbingen – Abbildung einer Schachtung durch das Spezialunternehmen Thyssen-Schachtbau, Mühlheim [64]

7541014/10787806875Biblio

4.3.2 Herstellen von Schächten im Gefrierverfahren

4.3.2.1 Grundlagen

Bei diesem 1883 von Poetsch erfundenen Verfahren werden in etwa 2 m bis 3 m Abstand von dem Ausbruchumfang des abzuteufenden Schachtes Bohrlöcher in Entfernungen von etwa 1 m voneinander durch die zu durchteufenden wasserreichen Schichten bis ins wasserstauende Gebirge abgebohrt und durch unten geschlossene Rohre (äußere Gefrierrohre) ausgekleidet. In diese Rohre hängt man engere, unten offene Rohre (innere Gefrierrohre oder Fallrohre) ein.

Eine tiefgekühlte Flüssigkeit (der Kälteträger) wird durch die Fallrohre nach unten gepumpt und steigt in den ringförmigen Räumen zwischen Fall- und Gefrierrohren wieder in die Höhe, indem sie hierbei dem umgebenden Gebirge Wärme entzieht.

Über Tage wird der Kälteträger durch Kältemaschinen von neuem abgekühlt, um im Kreislauf wieder den Fallrohren zugeführt zu werden. So entsteht ein fester Frostzylinder aus gefrorenem Gebirge, innerhalb dessen der Schacht unter fortdauerndem Wärmeentzug in gewöhnlicher Weise abgeteuft wird, wobei die Frostwand das angefrorene, lockere und wasserführende Gebirge zurückhält oder bei standfestem Gebirge den Schacht vor Wassereinbrüchen schützt. Mit Fortschreiten der Abteufarbeiten wird der Schacht wasserdicht ausgekleidet. Das Verfahren hat den Vorteil, dass es in gleicher Weise sowohl in lockerem als auch in festem wasserführendem Gebirge anwendbar ist. Wenn das Gefrieren der unterirdischen Wässer erschwert ist, sei es, dass diese warm oder stark salzig sind oder dass sie sich infolge von Grundwasserströmungen oder irgendeinem künstlichen, ständigen Wasserentzug in Bewegung befinden, kommt das Tiefkälteverfahren in Betracht.

In den meisten Fällen, so im Ruhrgebiet, in Aachen und Lothringen, betragen die Gefrierteufen einige hundert Meter. Nur geringe Teufen sind z. B. im Braunkohlentiefbau und bei der Herstellung lokal begrenzter Frostkörper zu überwinden. Besonders wichtig ist das Gefrierverfahren in fließgefährdeten Formationen beispielsweise im Essener Grünsand.

Die Tagesanlagen einmal alle Einrichtungen, die für das Abteufen mittels Greifer erforderlich sind, denn es ist das Ziel des Gefrierverfahrens, durch die Herstellung eines Frostkörpers Bedingungen zu schaffen, die das gewöhnliche Abteufen gestatten. Zu diesem Teil der Tagesanlagen kommen noch sonstige Einrichtungen, die eine Gefrieranlage benötigt, hinzu.

Die Abteufgerüste sind zumindest bei tiefen Schächten so geräumig ausgebildet, dass sie den gesamten Gefrierlochkreis überdecken und die Einrichtung zum Bohren der Gefrierlöcher aufnehmen können. Es ist jedoch auch möglich, einfache Abteufgerüste zu verwenden und die Gefrierbohrlöcher vor Aufstellung des Gerüsts mit einzelnen Bohrgeräten, die von Loch zu Loch umgesetzt werden, niederzubringen. Das letztgenannte Verfahren hat erhebliche Vorteile bei geringen Gefrierteufen, während die Verwendung geräumiger Abteuf- und Bohrtürme Vorteile bei tiefen Gefrierschächten und bei Durchführung der Bohrarbeiten im Winter hat.

7541014/10787806875Biblio

4.3.2.2 Anordnung und Herstellung der Gefrierlöcher

Die Gefrierlöcher werden auf einem Kreis um den abzuteufenden Schacht angeordnet. Der Abstand des Bohrlochkreises von dem in Aussicht genommenen Ausbruchumfang des Schachtes schwankt je nach der Teufe des Schachtes und der Stärke der erforderlichen Frostwand zwischen 2 m und 3 m, der Abstand der Bohrlöcher untereinander zwischen 1,0 m und 1,25 m (Abb. Fst-28).

Die Herstellung der Bohrlöcher erfolgt heute in der Regel im Rotarybohrverfahren unter Einsatz von Rollenmeißeln oder im Tieflochhammer-Bohrverfahren (wie heute bei den Geothermiebohrungen Näheres – sh. „Handbuch der Bohrtechnik“ vom selben Autor). Bei mäßigen Teufen wird in neuerer Zeit auch das Rotary-Verfahren benutzt.

Abb. Fst-27: Herstellen der Gefrierbohrung mit modernen mobilen Tiefbohrgeräten [Thyssen – Schachtbau]

Bei 2 oder 3 Löchern werden im Übergangsbereich zum Flözbereich Kernbohrungen ausgeführt, um die Zusammensetzung der Schichten im Übergang zwischen Deckgebirge und Steinkohlengebirge festzustellen.

Im nicht standfesten Bereich müssen die Bohrungen verrohrt werden, um die Gefrierrohre ordnungsmäßig einbauen zu können. Die Verrohrung wird anschließend wieder gezogen. Die Bohrlöcher werden nur im obersten Teil verrohrt. Im Übrigen lässt man die Verrohrung fort.

Die wichtigste Voraussetzung für den Erfolg des Gefrierverfahrens ist das genaue Niederbringen der Bohrlöcher, wobei die Abweichung der Löcher aus der senkrechten Richtung in den zulässigen, von der Teufe abhängigen Grenzen bleiben muss.

Dieses Ziel wird durch das Bohrverfahren sowie durch die Kontrolle des Lochverlaufs bei den einzelnen Gefrierbohrlöchern erreicht. In jedem Fall aber müssen die fertigen, mit Gefrierrohren besetzten Löcher gelotet werden. In einem Lotplan, der den Verlauf der Bohrlöcher zeigt, ist nachzuweisen, dass mit den vorhandenen Löchern die Frostmauer sicher geschlossen werden kann. Größere Abweichungen einzelner Löcher sind durch Ablenken der Löcher auszugleichen, wenn nicht sogar Ersatzbohrlöcher erforderlich sind.

Um anschaulich zu machen, inwieweit die einzelnen Frostsäulen sich überschneiden, werden auf dem Lotplan mit 2,00 m und 2,50 m Durchmesser bei der größten Abweichung und im Bohrlochtiefsten um die Löcher Kreise geschlagen.

7541014/10787806875Biblio

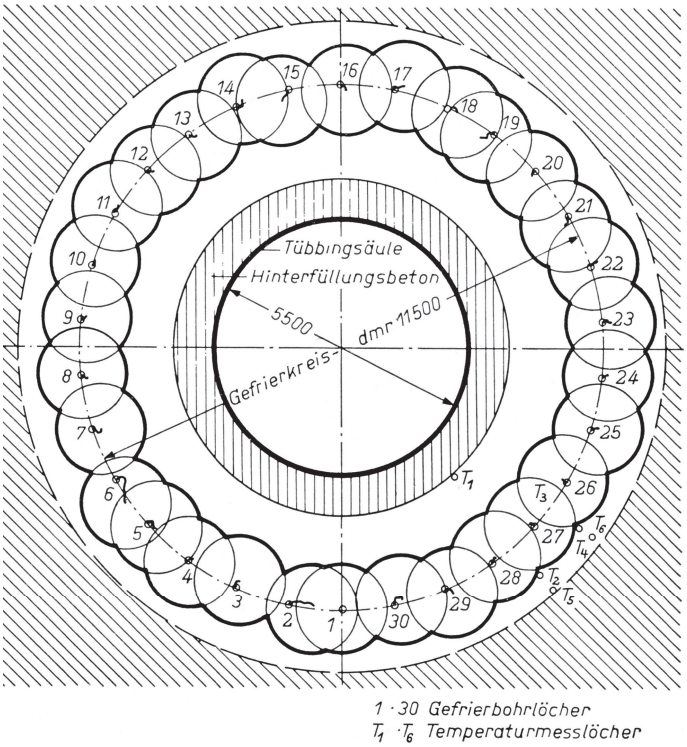


Abb. Fst-28: Anordnung der Gefrierbohrlöcher und Temperaturmesslöcher [1]

4.3.2.3 Gefrier- und Fallrohre

Die Gefrierrohre sind nahtlose Rohre aus Stahl St 55 mit einem Außendurchmesser von 139 mm bei einer Wandstärke von 7,5 mm. Sie haben Innennippelverbindung; allerdings wären Außennippel oder geschweißte Verbindungen strömungstechnisch günstiger. Das unterste Gefrierrohr enthält einen schmiedeeisernen halbkugelförmigen Boden.

Jede Rohrverbindung wird einer Wasserdruckprobe unterzogen, deren Prüfdruck 10 at höher ist als der hydrostatische Druck der Einbautiefe. Die Dichtigkeit der Gefrierrohrverbindungen ist deshalb so wichtig, weil die bei Undichtigkeiten austretende Sole im Gebirge „Solenester“ bilden kann, die nicht gefrieren und daher weich bleiben. Sie können den Erfolg des Verfahrens in Frage stellen und möglicherweise das Schachtabteufen durch Umstellung auf das Tiefkälteverfahren wesentlich verteuern.

In die Gefrierrohre werden die unten offenen Fallrohre so weit eingelassen, dass sie nahe über dem Rohrtiefsten enden. Bei turbulenter Strömung besteht die Beziehung dm = 0,646 × di (dm – mittlerer Durchmesser des Fallrohrs, di – innerer Durchmesser des äußeren Gefrierrohres).

7541014/10787806875Biblio

Zur Kontrolle des Kälteträgerumlaufs lässt man die aus den Gefrierrohren ausfließende Sole frei in Sammelkästen, die sich auf einer Bühne des Abteufturmes befinden, ausfließen. Aus der Höhe des Flüssigkeitsspiegels in dem Sammelbehälter können auch geringe Verluste festgestellt werden. Es geschieht dies bei stillstehendem Betrieb. Durch Abschalten der einzelnen Gefrierrohre kann herausgefunden werden, in welchem Gefrierrohr die Sole verlorengeht. Der freie Ausfluss in die Sammelkästen erleichtert die Überwachung einer gleichmäßigen Verteilung des Laugenumlaufs auf alle Gefrierlöcher. Undicht gewordene Gefrierrohre müssen ersetzt werden. Da eingefrorene Rohre in den seltensten Fällen gezogen werden können, sind die Ersatzrohre so bemessen, dass sie in die undichten eingelassen werden können.

4.3.2.4 Kreislauf – Kältemittel, Kühlwasser und Kälteträger

Bei den Gefrieranlagen wird die Kälte von Kompressionskältemaschinen erzeugt. Das Kältemittel, eine Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt – meist Ammoniak –, wird bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck verdampft, wobei die Verdampfungswärme im Verdampfer dem Kälteträger – eine Sole – entzogen wird.

Das verdampfte Kältemittel wird anschließend wieder verdichtet und bei Kühlwassertemperatur verflüssigt. Das Kältemittel durchläuft im Kreislauf vier Einrichtungen: den Verdichter, den Verflüssiger, das Regelventil und den Verdampfer.

Die Verflüssigungswärme wird dabei an das Kühlwasser abgegeben, welches Pumpanlagen oder Wasserläufen entnommen wird und erwärmt wieder abfließt. Bei Mangel an frischem, kaltem Wasser wird Rückkühlwasser verwendet, welches im Kreislauf vom Kühlturm zum Verflüssiger und wieder zurück zum Kühlturm fließt.

Der Kälteträger, eine Sole mit niedrigem Gefrierpunkt, umfließt die von dem Kältemittel durchströmten Rohre des Verdampfers und kühlt sich dabei ab.

Dann wird er mit einer Pumpe durch die Fall- und Gefrierrohre gedrückt, wobei er unter geringer Erwärmung (2 °C bis 3 °C) dem Gebirge Wärme entzieht. Er fließt schließlich zur erneuten Abkühlung zum Verdampfer zurück. Als Kühlmittel wird z. B. Ammoniak verwendet.

Für weitere Ausführungen zu dem umfangreichen Thema „Gefrierschachtverfahren“ wird auf spezielle Fachliteratur verwiesen.

Außerdem führen heute die Bergbauunternehmen die Arbeiten nicht in eigener Regie aus, sondern vergeben die Ausführung, das Überwachen und den Rückbau der gesamten Schachtabteufung an Spezialunternehmen, die mit den Arbeiten vertraut sind und auch über die entsprechende Technik verfügen (z. B. Thyssen-Schachtbau, Deilmann-Haniel). Das gilt auch für evtl. Zementinjektionen. Diese Arbeiten übernehmen i. d. R. Spezial- oder Grundbauunternehmen (z. B. Keller Grundbau). So werden heute auch die Arbeiten der Aus- und Vorrichtung vornehmlich an Bergbauunternehmen vergeben.

7541014/10787806875Biblio

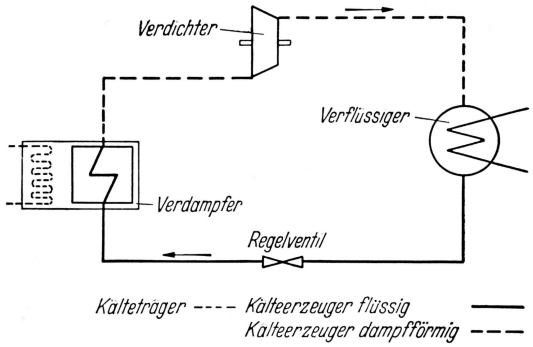


Abb. Fst-29: Kreislauf des Kühlmittels [1]

4.3.3 Wasserdichter Tübbing-Schachtausbau

Zum Ausbau für Schächte, die im mächtigen, lockeren, wasserführenden Gebirge stehen und für deren Abteufen das Gefrierverfahren oder das Schachtbohrverfahren geeignet ist, wird als Werkstoff überwiegend Gusseisen oder Stahl benutzt. Zwar hat man, um Kosten zu sparen, schon vor Jahrzehnten Gefrierschächte bis zu Teufen von etwa 250 m auch in Mauerwerk oder Beton ausgebaut. Abgesehen von den höheren Kosten durch den notwendigen Mehrausbruch erwiesen sich die Wasserdurchlässigkeit und die hierdurch hervorgerufenen Korrosionen an den Einbauten und Fördereinrichtungen sowie die Mehrkosten für wiederholtes Nachdichten als nachteilig.

Neuere im Ruhrgebiet, an der Saar und in Holland abgeteufte Gefrierschächte, deren Stahl- oder Stahlbetonausbau vom Gebirge durch eine mit Asphalt gefüllte Gleitfuge getrennt ist, suchen durch die wasserdichtende Fuge diese Nachteile zu vermeiden.

Wird Gusseisen als Werkstoff gewählt, so kommt nur der Ausbau in geschlossenen deutschen Tübbingen in Betracht. Als Stahl wird nur Walzstahl verwendet, und zwar entweder in Form des geschlossenen ringförmigen Profilstahlausbaus oder in Form des geschweißten Stahlblechmantelausbaus.

Beim Tübbingausbau wird heute meist die einfache Tübbingsäule vorgezogen; die doppelte Tübbingsäule ist selten. Beim Profilstahl- und Stahlblechausbau ist jedoch eine doppelte Säule mit Betonzwischenfüllung die Regel.

4.3.3.1 Deutsche Tübbing-Bauweise

Der Tübbingausbau setzt sich aus einzelnen Segmenten, den Tübbings, zusammen, die unter Tage zu geschlossenen Ringen zusammengeschraubt werden. Je nach der Größe des Schachtdurchmessers bilden acht bis zwölf Tübbings einen Tübbingring. Die Tübbingringe werden in Sätzen von etwa 20 m bis 40 m Höhe von unten nach oben aufgebaut und mit Beton hinterfüllt.

Die deutschen Tübbings wurden bisher in mehr als 300 Fällen in einer Gesamtlänge von über 3.000 m verwendet. Sie haben eine mit der Teufe zunehmende Wandstärke von 40 mm bis etwa 100 mm. Geringere und größere Wandstärken sind aus gusstechnischen Gründen nicht zuverlässig genug.

7541014/10787806875Biblio

Jedes Tübbingsegment hat zwei waagerechte und zwei senkrechte Flanschen von 120 mm Breite, außerdem zwei nach innen gerichtete Rippen von 120 mm Höhe und fünf Außenrippen von 50 mm Höhe. Die Außenrippen dienen zur Verbesserung der Haftung zwischen den Tübbings und dem 40 cm bis 60 cm dicken Hinterfüllungsbeton.

Zum Einbringen des Hinterfüllungsbetons beim Anschluss der Sätze aneinander sind Vergusslöcher und zum Nachdichten des Ausbaus verschraubbare Verpresslöcher vorgesehen (Abb. Fst-32a).

Damit die Segmente gut zusammenpassen, sind die Flansche bearbeitet. Zur Verbesserung der Wasserdichtigkeit werden in die waagerechten und senkrechten Fugen 3 mm dicke Bleistreifen gelegt (a in Abb. Fst-32a), die mit Drucklufthämmern verstemmt werden. Da das Wasser öfters bis zu den Schraubenlöchern gelangt und durch diese in den Schacht treten könnte, versucht man, sie durch doppelkonische Bleiringe b abzudichten.

Diese werden beim Anziehen der Mutter durch die konischen Ausdrehungen in den Flanschen und Unterlegscheiben c, den sogenannten Temperringen, gegen den Bolzen gepresst.

Als Werkstoff wurde bisher Grauguss GG 18 verwendet; neuerdings ist GGL 20 üblich. Der besondere Vorteil des Gusseisens liegt in seiner hohen Druckfestigkeit, die etwa 75 kg/mm² beträgt, und in seinem niedrigen E-Modul von 8.000 bis 11.000 kg/mm². Dagegen ist die Zugfestigkeit mit 10 bis 20 kg/mm² sehr klein.

Die Betonwanddicke nimmt mit wachsender Teufe von etwa 40 cm auf etwa 60 cm zu. Die Tübbings werden von einer Bühne aus einzeln und lose nebeneinandergesetzt und dann zu Ringen zusammengeschraubt (Abb. G-31). Auf den einzelnen Teilen sind Herstellerzeichen, Ringteilnummer, Wanddicke und Gießtag aufgetragen.

4.3.3.2 Einbau der Tübbings

Die Tübbings werden von unten nach oben satzweise eingebaut, da es dabei möglich ist, den stets erforderlichen Hinterfüllungsbeton Ring für Ring als Rüttelbeton einzubringen und ihm dadurch eine hohe Druckfestigkeit zu geben.

Jeder Ring muss sorgfältig eingelotet werden. Außerdem ist wichtig, dass der Anschluss an den nächstoberen, bereits eingebrachten Satz gut gelingt. Voraussetzung hierfür ist ein genaues Einmessen der Entfernung zwischen den untersten Ringen zweier Sätze.

Abb. Fst-30: Blick in einen mit Tübbings ausgebauten Schachtbetrieb [V64]

7541014/10787806875Biblio

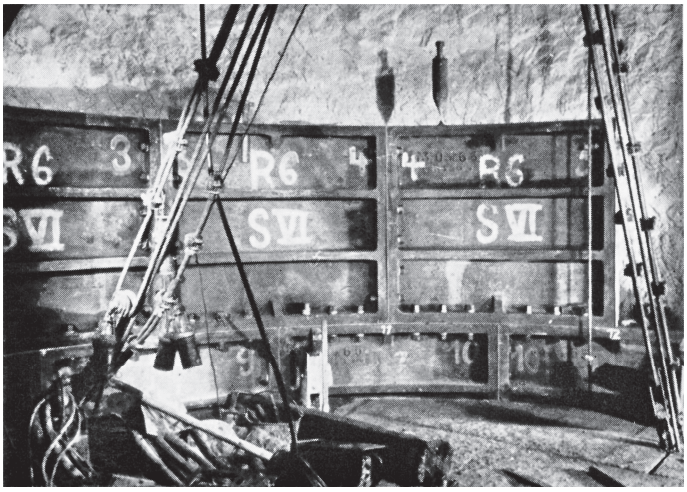


Abb. Fst-31: Einbau der Tübbings [V6]

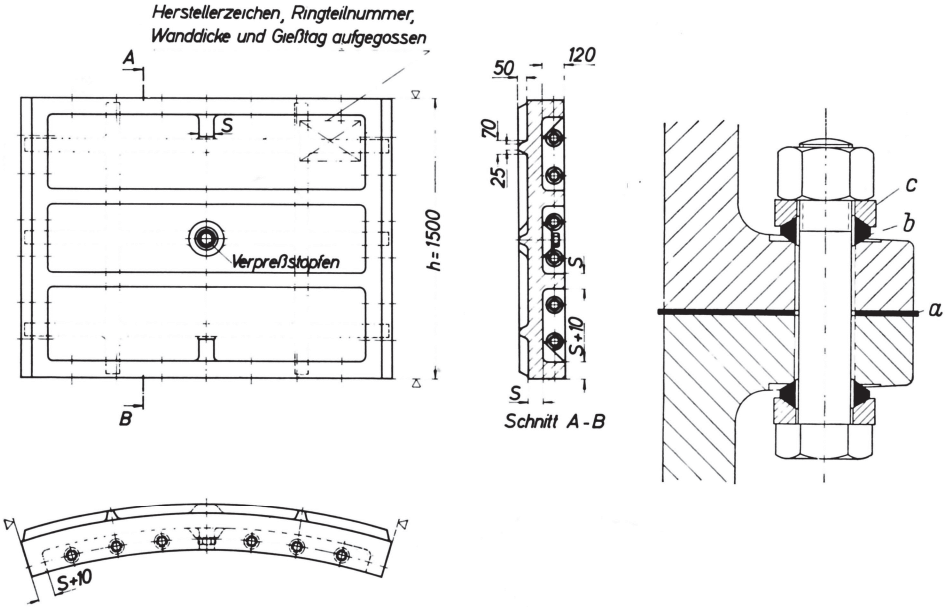


Abb. Fst-32a: Details der Tübbing-Elemente [6]

Der letzte Ring ist der „Passring“. Er besitzt im Vergleich zu einem normalen Ring einen dickeren oberen Lagerflansch. Diesen lässt man bei der Herstellerfirma nach Bedarf so auf Maß abdrehen, dass der Passring als Anschlussring genau eingesetzt werden kann.

Damit weitgehend vom Rüttelbeton Gebrauch gemacht werden kann, wird der unterste Ring jedes Satzes zunächst vorläufig eingebracht und der endgültige Ring erst in Verbindung mit dem nächsten eingebaut. Nur dieser braucht dann in geringfügigem Maße mit Beton hinterfüllt zu werden. Es können durchschnittlich 4 bis 5 Ringe je Tag eingebaut, also 6 m bis 7,5 m Schachtausbau fertiggestellt werden.

7541014/10787806875Biblio

4.3.4 Sonstiger Schachtausbau

In den trockenen oder nahezu trockenen und standfesten Formationen können folgende Ausbauverfahren angewandt werden:

- Mauerwerksverbau – wird heute kaum noch eingesetzt,
- Stahlbeton in Ortbetonbauweise,
- Stahlbeton-Segmente,
- Bewehrter Spritzbeton evtl. verankert – als vorläufiger Verbau.

Vorteile beim Ortbeton mit einhäuptiger Schalung:

- dichter Anschluss an das Gebirge,
- der Beton lässt sich durch Transportbeton über Fallrohre und Schläuche sehr gut und schnell einbauen.

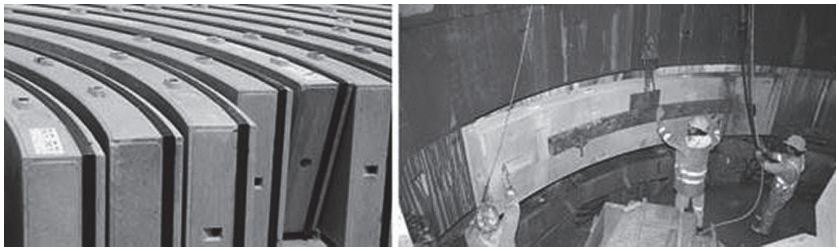


Abb. Fst-32b: Schachtausbauteile aus Stahlbeton (links) – Einbau in einem Schacht (rechts) [V64]

4.3.5 Abteufen von Blindschächten

Blindschächte dienen der untertägigen Verbindung zweier oder mehrerer Sohlen. Bei neuen Schachtanlagen bzw. Erweiterungen werden kaum noch Blindschächte angelegt. Die Verbindung zwischen den Sohlen erfolgt heute i. d. R. über Rolllöcher (wie im Erzbergbau üblich), Großbohrungen, die auch als Kohlebunker ausgebaut werden, und Bandberge.

Für die Herstellung von Blindschächten haben sich folgende Verfahren durchgesetzt:

1. Herstellen einer Vorbohrung von oben nach unten und Abteufen von oben nach unten durch Bohren und Sprengen.
2. Abteufen durch eine Vorbohrung (z. B. im Spühlbohrverfahren) von oben nach unten und Aufweiten auf den erforderlichen Durchmesser von unten nach oben.
3. Abteufen mit Vorbohrung und Aufweiten von oben nach unten.

- **Herstellung zu 1.**

Schon seit langem ist die Möglichkeit bekannt, in Aufbrüchen mittels Bohrlöchern eine durchgehende Bewetterung zu schaffen. Verhältnismäßig spät ergab sich aber erst die Möglichkeit, auch beim Abteufen von Gesenken mit Großbohrlöchern von etwa 800 mm Durchmesser Verbesserungen zu erzielen.

7541014/10787806875Biblio

Zur selben Zeit, da neben dem Großbohrloch als Rollloch auch der Greiferbetrieb das Abteufen erleichtert, stehen somit zwei neue Abteufverfahren zur Verfügung. Das Abbohren dauert für ein 100 m langes Bohrloch etwa 2 bis 4 Wochen.

Das Großlochbohren ist ausführlich im „Handbuch der Bohrtechnik“ des Verfassers (im Vieweg Verlag 2010 erschienen) beschrieben.

Nachdem das Bohrloch erstellt und der Bohrstand entfernt ist, muss noch vor Beginn des Abteufens die Verladeeinrichtung für das Haufwerk auf der Sohle geschaffen werden. Das Haufwerk kann hier unmittelbar in Förderwagen oder auf einem Förderband verladen werden.

Abb. Fst-33 zeigt das Sprengschema und die Zündfolge. Damit das Rollloch nicht durch grobstückiges Haufwerk verstopft wird, muss der Bohrlochabstand entsprechend eng gewählt werden.

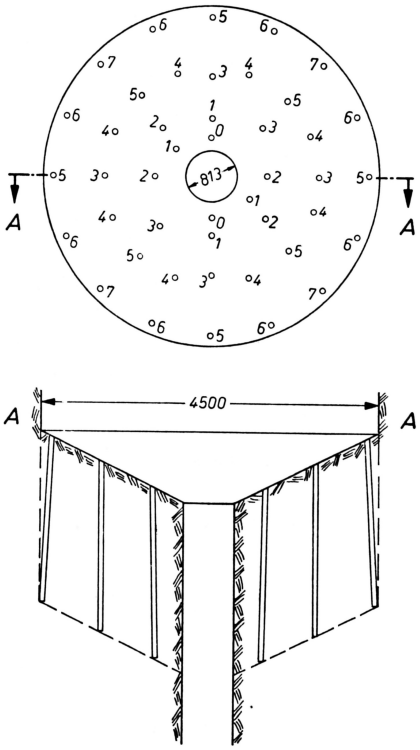


Abb. Fst-33: Sprengschema für das Sprengen im Absenkverfahren mit Rollloch [1]

- **Herstellung zu 2.**

Nach Herstellung der Vorbohrung von oben nach unten (z. B. im Spülvorverfahren) erfolgt die Aufweitung in einem oder mehreren Arbeitsgängen mit einem speziellen Aufweitungsbohrer von oben nach unten oder mit einem entsprechenden Aufweitungsbohrer von unten nach oben.

In weichen Formationen kann das Trockenbohrverfahren angewendet werden. Im Sandstein muss das Nassbohrverfahren ausgeführt werden.

7541014/10787806875Biblio

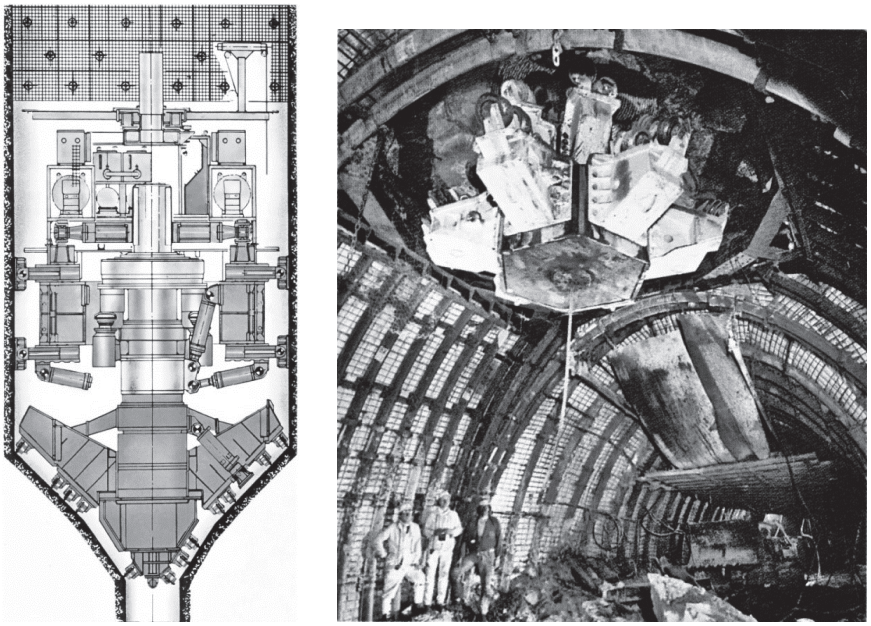


Abb. Fst-34a: links: Aufweitungsbohrgerät für das Aufweiten von oben nach unten und Abförderung des Bohrgutes durch die Vorbohrung nach unten – rechts: Aufbohren von unten nach oben mit dem Wirth-Riser-Bohrkopf, wobei nur eine Vorbohrung mit geringem Durchmesser erforderlich ist. Das Bohrgut fällt nach unten. [V64]

- **Herstellung zu 3.**

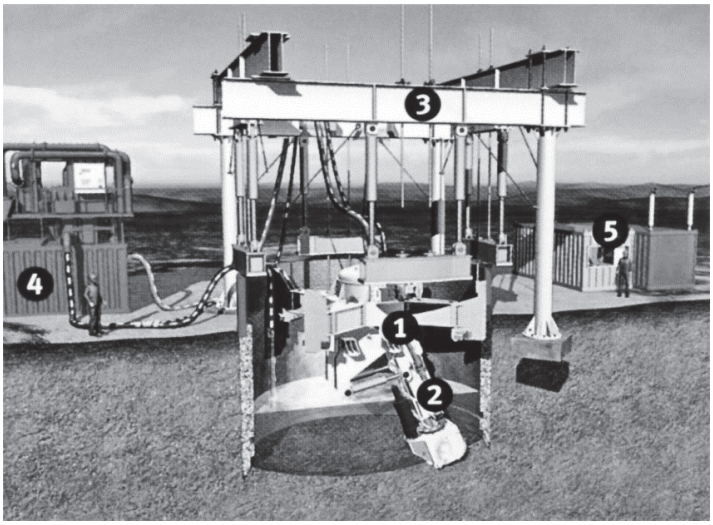
Für dieses Verfahren hat Herrenknecht AG/Schwanau ein System entwickelt, das für Schächte bis zu einer Teufe von 150 m anwendbar ist (Abb. Fst-34b).

Eine innovative Entwicklung von Herrenknecht zur Abteufung von Schächten aller Art ist die VSM (Vertical Shaft Sinking Machine) **Schachtabsenkanlage**. Sie besteht aus einer Absenkeinheit und einer Schachtbohrmaschine und kann sowohl in standfesten als auch in nicht standfesten Böden zum Einsatz kommen. Zur Einsparung kostenintensiver Grundwasserabsenkungen wurde ein Maschinenkonzept entwickelt, das auch unter Wasser einsetzbar ist.

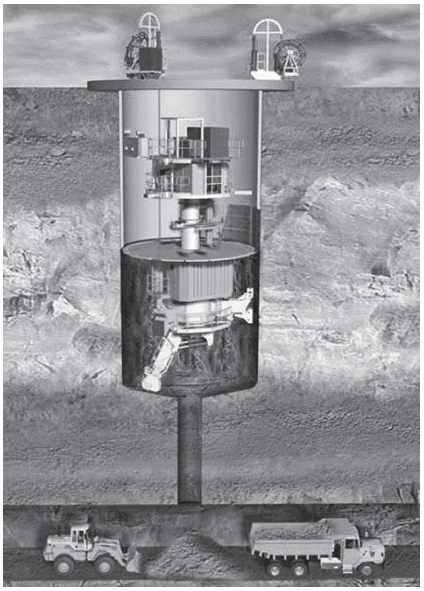
Die Schachtbohrmaschine wird mit Hilfe der Absenkeinheit – sie stellt die Verbindung zwischen Schachtoberfläche und Maschine/Startrohr dar – abgeteuft und verspannt sich mit Gripperarmen, ähnlich einer TBM (Tunnelbohrmaschine), gegen das standfeste Gebirge oder das bereits vorhandene Startrohr. Die Funktionsweise des Fräsvorganges ähnelt der einer **Teilschnittmaschine.**

Die rotierende und mit Spezialwerkzeugen bestückte Fräswalze ist am teleskopierbaren Schrämausleger positioniert und löst die Geologie durch Schwenkbewegungen an der Schachtsohle.

7541014/10787806875Biblio



Komponenten
1. Schachtabsenkungsausrüstung
2. Abbaueinheit mit Schrämwalze
3. Absenkeinheit
4. Separation
5. Steuercontainer



Der Bohrguttransport erfolgt entweder über ein bereits vorhandenes Vorbohrloch oder hydraulisch über Rohrleitungen zur oberirdisch installierten **Separationsanlage**. Die Schachtbohrmaschine ist während der gesamten Schachtabteufung über Stahllitzen mit der Absenkeinheit verbunden, die an der Tagesoberfläche positioniert ist. Jederzeit kann so die Schachtbohrmaschine kontrolliert und zielgenau abgesenkt werden. Der Schachtausbau kann je nach Geologie mit verschiedenen Verfahren erfolgen (Spritzbeton, Stahlbetonringe).

Abb. Fst-34b: Schachtbohranlage Herrenknecht VSM – oben: Systemdarstellung im Längsschnitt – unten: Ansetzen der Bohreinrichtung – hier über Tage, ist auch von unter Tage möglich [V14]

Die Steuer- und Versorgungsaggregate sind auf einer separaten Ebene oder direkt auf der Oberfläche angeordnet. Neben der elektrischen und hydraulischen Energieversorgung werden alle für den Vortrieb notwendigen Informationen gesammelt und überwacht. Der Maschinenfahrer hat so jederzeit die Möglichkeit, technische Parameter der

7541014/10787806875Biblio

Schachtbohranlage während des Teufvorganges zu überprüfen und bei Bedarf zu verändern, um die Schachtbohrmaschine auf die im Einsatzgebiet bestehenden Verhältnisse anzupassen und optimal einzurichten.

Das Spezialunternehmen für Tunnelbau, Gesteinsarbeiten im Bergbau und Schachtabteufungen Thyssen-Schachtbau, Mühlheim, hat ebenfalls große Erfahrungen für die Herstellung von Haupt- und Blindschächten im Bohrverfahren. Sie setzt dabei u. a. den Wirth-Riser-Großloch-Rollenmeißel-Bohrkopf ein. Damit können Schächte im Durchmesser bis zu 8 m im Spühlbohrverfahren hergestellt werden (siehe Abb. Fst-34a).

Abb. Fst-35a: Rollenmeißel-Bohrkopf System Wirth-Riser [V34]

Vergleichbare Bohreinrichtungen sind ebenfalls für Hauptschächte entwickelt worden. Eine entsprechende Anlage der Herrenknecht AG ist bereits mit Erfolg für das Abteufen eines Schachtes mit einem Durchmesser von 12 m und einer Teufe von 2.000 m eingesetzt worden.

Die bei Explorationen im Erzgebirge entdeckten großen Vorkommen an Kupfer und sonstigen Metallen lassen erkennen, dass der Bergbau im Erzgebirge einen neuen Auftrieb bekommt. Einige deutsche und ausländische Unternehmen haben bereits Schürfrechte erworben oder entsprechende Anträge bei den zuständigen Bergämtern gestellt. Bei der Errichtung neuer Bergbauanlagen könnten diese Schachtbohranlagen zum Einsatz kommen, um wirtschaftlich die Vorkommen durch neue Schächte zu erschließen.

4.4 Ausrichtung vom Schacht aus

4.4.1 Sohlenbildung

Eine Sohle besteht aus einem Netz von Hauptstrecken, die in verschiedener Richtung und in verschiedenen Abständen voneinander und grundsätzlich horizontal aufgefahren werden.

Sohlen haben die Aufgabe, eine mehr oder weniger stark einfallende Lagerstätte in waagerechte untereinander liegende Gesteinspakete einzuteilen, in denen Abbau von oben nach unten durchgeführt wird.

7541014/10787806875Biblio

Bei der klassischen Einteilung einer Lagerstätte durch Sohlen sind mindestens zwei im Nebengestein aufgefahrene Sohlen notwendig: eine untere, die als Fördersohle, und eine obere, die als Wettersohle, d. h. als Ausziehsohle, bei abfallender Bewetterung aber als Einziehsohle dient.

Bei ganz oder fast söhliger Lagerung und wenn nur eine Lagerstätte oder nur wenige Lagerstätten (Flöze oder Lager) in größerer seigerer Entfernung voneinander auftreten, kommt eine Aufteilung der Lagerstätte in seiger untereinander liegenden Abschnitten nicht in Betracht. Jedes Flöz oder jedes Lager bildet alsdann eine Sohle für sich. Das bedeutet, dass im Flöz oder im Lager selbst ein Hauptstreckennetz hergestellt wird.
Man kann also eine Sohlenbildung im Gestein und eine Sohlenbildung nach Flözen (Lagern) und damit einen Mehrsohlenbau und einen Einsohlenbau unterscheiden.

4.4.2 Einsohlenbau

Die Sohlenbildung nach Flözen oder Lagern ist die einfachste Art der Sohlenbildung. Sie ist zugleich die billigste, da die Auffahrungskosten der die Sohle bildenden Hauptstrecken, insbesondere wenn es sich um Kohle handelt, wesentlich niedriger sind als im Gestein und nach Fertigstellung des Schachtes sofort mit der Mineralgewinnung begonnen werden kann. Die Auffahrung geht in der Kohle zugleich schneller vonstatten, so dass die Sollförderung einer neuen Grube eher erreicht werden kann als beim Mehrsohlenbau.

Diese Vorteile werden auch dadurch nicht wieder aufgehoben, dass jede Hauptstrecke mindestens doppelt, häufig sogar drei- und vierfach aufgefahren wird, also aus einem Streckensystem von 2, 3 oder 4 parallelen Strecken besteht, die durch Lagerstättenfesten oder Bergedämme von 5 bis 50 m Breite voneinander getrennt sind.

Der Einsohlenbau ist im deutschen Steinkohlenbergbau nicht üblich und wird daher hier nicht weiter behandelt.

4.4.3 Mehrsohlenbau

Ist die Lagerung geneigt oder steil, so versagt der Einsohlenbau. Die Sohlen mit ihren verschiedenen Förder- und Wetterwegen müssen im Gestein hergestellt werden, wobei mindestens zwei Sohlen gleichzeitig betrieben werden: eine untere als Förder- und Wettereinziehsohle und eine obere als Wetterausziehsohle. Auch bei flacher, söhliger Lagerung ist dieses Ausrichtungsverfahren überall dort zu empfehlen, wo Flöze in nicht zu großer Entfernung voneinander auftreten. Diese Bedingungen liegen z. B. im kontinentaleuropäischen Steinkohlenbergbau vor. Das Auffahren von Sohlen im Gestein – Mehrsohlenbau – ist hier also auch bei flacher Lagerung üblich und hat sich bewährt.

Die zwischen den Sohlen befindlichen Lagerstätten werden dabei durch in der seigeren Ebene gelegene Ausrichtungsbaue gelöst und in Unterabschnitte für den Abbau geteilt.

Dies ist in der flachen Lagerung immer, in der geneigten und steilen Lagerung in den meisten Fällen erforderlich. Solche Ausrichtungsbaue sind Blindschächte (Gesenke oder Aufbrüche), seltener auch einfallende Strecken, die in der Lagerstätte oder im Nebengestein aufgefahren und Flöz- oder Gesteinsberge genannt werden.

Die Vorteile der Sohlenbildung im Gestein sind, abgesehen davon, dass sie bei geneigter oder steiler Lagerung die einzig mögliche ist, mehrfacher Art, z. B. kann sie nicht nur für ein Flöz oder Lager, sondern für eine ganze Anzahl von Flözen gleichzeitig dienen.

7541014/10787806875Biblio

4.4.4 Sohlenabstand

Neben den Festlegungen zu der Anzahl der für eine Zeche erforderlichen Schächte, ihre Ansatzpunkte und Durchmesser sind die über die Lage der ersten Sohle und über den Sohlenabstand von Bedeutung. Damit wird der Zuschnitt der Grube für eine lange Zeit festgelegt.

Der günstigste Sohlenabstand ist offenbar dann vorhanden, wenn die Summe aller durch ihn beeinflussten Kosten je Tonne Mineral ihren geringsten Wert annimmt. Sie sind infolgedessen in starkem Maße auch vom Mineralvorrat abhängig, der durch die neue Sohle eingebracht wird.

Die Kosten umfassen die:

- Auffahrungskosten des Hauptstreckennetzes einschließlich des Füllortes, der Kammern, der Blindschächte und des die Sohlen verbindenden Hauptschachtteils,
- Unterhaltungskosten dieser Ausrichtungsbaue,
- Förderkosten von Kohle und Material in den Blindschächten,
- Kosten der Hauptschachtförderung,
- Kosten der Wetterführung,
- Kosten der Wasserhaltung,
- durch Verkürzung der reinen Arbeitszeit infolge klimatischer Schwierigkeiten hervorgerufenen Kosten.

Die Auffahrungskosten des Hauptstreckennetzes werden vom Sohlenabstand beeinflusst, wenn bei Wahl eines größeren Abstandes in der dann größeren Teufe die Strecken mit teurerem Ausbau versehen oder aus klimatischen Gründen mit größerem Querschnitt aufgefahren werden müssen. Doch kann andererseits bei größeren Sohlenabständen jede zweite, dritte oder vierte Sohle eingespart werden.

4.4.5 Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit

Die Gesteinsbeschaffenheit spielt in erster Linie im Steinkohlenbergbau mit seinem unterschiedlichen Nebengestein, weniger dagegen im Erz- und Kalibergbau eine Rolle. Standfester Sandstein ist insbesondere für die Lage des Füllorts und für die Hauptstrecken weniger standfestem Tonschiefer vorzuziehen. Wenngleich die Auffahrungskosten in Sandstein höher sind, sind die Unterhaltungskosten geringer und die Betriebssicherheit der betreffenden Grubenbaue höher.

Je flacher die Lagerung ist, für einen umso größeren Teil des Hauptstreckennetzes kann dieser Gesichtspunkt Berücksichtigung finden. Bei steiler Lagerung ist dies häufiger nur für das Füllort und die Richtstrecke möglich.

4.4.6 Einfluss der Kohlenfrontlänge

Der Einfluss der Kohlenfrontlänge ist im Steinkohlenbergbau abhängig vom Einfallen.

Bei söhliger oder wenig geneigter Lagerung ist die Streblänge unabhängig vom Sohlenabstand. Bei steilerem Einfallen ist der Einfluss jedoch beträchtlich. Es kommt darauf an, die Entscheidung darüber zu treffen, ob ein oder mehrere Abbaue in dem von zwei Sohlen begrenzten Flözabschnitt untereinander eingerichtet werden sollen.

7541014/10787806875Biblio

Beim heutigen Einsatz der Abbaugeräte im Steinkohlenbergbau bei flacher Lagerung mit Stegkettenförderer, Kohlenhobel bzw. Walzenschrämlader und Schildausbau sind große Kohlenfrontlängen anzustreben. Üblich sind heute Längen von mindestens 300 m, wobei auch schon Längen von bis zu 500 m möglich sind.

4.5 Ausrichtung in der Sohlenebene

Die Ausrichtung in der Sohlenebene sieht die Herstellung des zu den Flözen, Lagern oder Gängen und den in ihnen vorgesehenen Abbauen führenden Hauptstreckennetzes vor. Es dient der Mineralförderung, der Zufuhr von Versatzbergen, Maschinen und Materialien, der Wetterführung, der Fahrung, der Ableitung des Wassers.

Ferner dient es zur Aufnahme aller Energieversorgungsleitungen, also der Rohrleitungen für Nieder- und Hochdruckluft und Wasser sowie der Kabel für die Elektrizität. Im Allgemeinen besteht das Hauptstreckennetz aus ein oder zwei im Streichen aufgefahrenen Strecken, den Richtstrecken, und einer größeren Anzahl mehr oder weniger rechtwinklig von ihnen ausgehenden Strecken, den Querschlägen.

4.5.1 Richtstrecken

In der Regel verläuft eine Richtstrecke in Richtung des Streichens. Da sich das Streichen zuweilen ändert und in Spezialmulden und -sätteln sog. umlaufendes Streichen auftritt, ist es möglich, dass eine Richtstrecke teilweise in spitzen oder rechten Winkeln zu dem Streichen der Flöze verläuft. Sie verliert dadurch nicht den Charakter der Richtstrecke, für den das Generalstreichen maßgebend ist. Die Richtstrecken verbinden die Querschläge mit dem Hauptförderschacht und den anderen Schächten. Sie sind also Sammelstrecken für die von und zu den Querschlägen gehende Förderung, Fahrung und Bewetterung.

Wenn die Lagerstätten gleichmäßig über das Grubenfeld verteilt sind und das Grubenfeld im Streichen die größere Ausdehnung hat, kommt man in der Regel mit einer Richtstrecke aus. Liegt eine ungleichmäßige Verteilung vor, so können zwei oder mehr Richtstrecken notwendig werden.

Jede von ihnen legt man möglichst nahe an diese Lagerstättengruppen, um den von ihnen ausgehenden Querschlägen eine geringe Länge zu geben. Bei querschlägiger Streckung des Grubenfeldes sind ebenfalls meist mehrere Richtstrecken notwendig. In diesem Falle dient als Sammelstrecke ein Hauptquerschlag. Da es mehr auf geringe Unterhaltungskosten und die Vermeidung von durch Instandsetzungsarbeiten verursachte Störungen ankommt als auf niedrige Anlagekosten, ist man bestrebt, die Richtstrecken in standfestes Gestein zu legen. Eine Richtstrecke in einem Flöz aufzufahren, ist daher im Allgemeinen nicht zu empfehlen.

4.5.2 Querschläge

Querschläge sind quer zum Streichen verlaufende Gesteinstrecken. Bei steiler Lagerung schneiden sie alle Lagerstätten, also die Flöze, Gänge oder Lager. Mit flacher werdendem Einfallen werden z. B. im Flözbergbau immer weniger Flöze geschnitten, bis schließlich bei ungefähr söhliger Lagerung der Fall eintreten kann, dass kein Flöz die Sohlenebene trifft. Aber auch dann sind Querschläge erforderlich, da sie den Ausgang für die anschließende Ausrichtung des zwischen den Sohlen liegenden Gebirges mit in der seigeren Ebene verlaufenden Grubenbauen bilden.

7541014/10787806875Biblio

Man unterscheidet Hauptquerschläge und Abteilungsquerschläge. Ein Hauptquerschlag verbindet das Füllort des Förderschachtes mit der oder den Richtstrecken, während die Abteilungsquerschläge das Baufeld in weitere Bauabteilungen von zweckmäßiger Größe unterteilen. Auf Grund ihrer Richtung senkrecht zum Streichen verlaufen die Querschläge im Allgemeinen parallel zueinander. Es kommen jedoch auch Abweichungen von diesem regelmäßigen Verlauf vor.

4.5.3 Abstand der Querschläge

Der Querschlagabstand und die Größe der Bauabteilungen stehen zueinander in enger Beziehung. Unter einer Bauabteilung versteht man den zwischen zwei Hauptsohlen gelegenen Gebirgskörper, dessen Mineralvorrat von dem gleichen Querschlag aus gelöst und durch ihn abgefördert wird. Ihre streichende Erstreckung ist allgemein gleich dem Querschlagabstand. Sie reicht bei einflügligem Abbau von Querschlag zu Querschlag, bei zweiflügligem Abbau liegen die Grenzen benachbarter Abteilungen etwa in der Mitte zwischen den Querschlägen. Die richtige Wahl des Querschlagabstandes ist für den Zuschnitt einer Sohle von außerordentlicher Bedeutung.

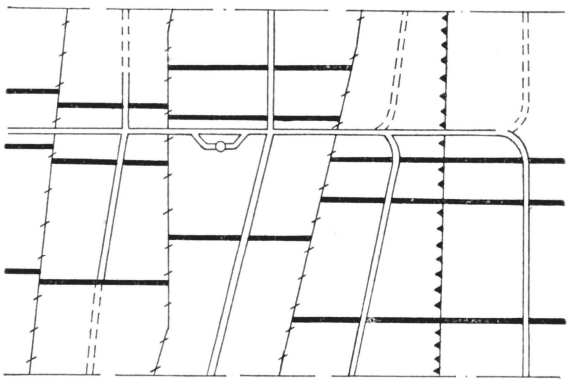


Abb. Fst-35b: Beeinflussung der Ausrichtung durch Querschläge [1]

Je geringer der Abstand ist, umso mehr erhöht sich die Anzahl der Angriffspunkte für den Abbau, umso mehr wächst aber auch die Zahl der Querschläge, und damit erhöhen sich die Kosten ihrer Auffahrung und Unterhaltung.

Auch die Zahl derjenigen Grubenbaue nimmt zu, welche die Lagerstätten von der Sohle aus in seigerer Richtung lösen sollen, wie Blindschächte, Gesteins- oder Flözberge. Auch die Einrichtungen für die Hauptstreckenförderung werden umfangreicher.

Je größer andererseits die Abstände gewählt werden, umso geringer werden die Auffahrungs- und Unterhaltungskosten der an Zahl verringerten Ausrichtungsbaue und eine umso längere streichende Baulänge und damit höhere Lebensdauer besitzen die Abbaubetriebspunkte. Diese letztgenannte Tatsache ist von besonderem Vorteil. Einmal verringert sich die Vorrichtung des Abbaus, vor allem aber braucht ein einmal in Betrieb befindlicher Abbaubetrieb, dessen Belegschaft sich an seine besonderen Bedingungen gewöhnt hat, nicht so schnell wieder stillgelegt zu werden.

Dieser Vorteil lässt sich allerdings bei geringem Querschlagabstand auch dadurch erreichen, dass die Abbaubetriebe von einem Querschlag über den benachbarten bis zum übernächsten Querschlag zu Felde laufen, sie jedoch mit ihrer Wetterführung und Förderung an den mittleren Querschlag angeschlossen werden. Dieser hat dann nicht zur Schaffung neuer Angriffspunkte gedient, sondern nur als Förder- und Wetterweg.

7541014/10787806875Biblio

Je größer der Querschlagabstand ist, umso länger werden die Abbaustrecken und damit die Anforderungen an ihre Unterhaltung und an die Abbaustreckenförderung. Die Wahl geeigneter Ausbauformen und der Übergang zu Stahl als Werkstoff an Stelle von Holz machten es heute möglich, im Steinkohlenbergbau Abbaustrecken von 1.000 m Länge und mehr aufrechtzuerhalten. Es ist dies umso eher der Fall, wenn durch erhöhten Abbaufortschritt die Standdauer der Strecken abgekürzt wird.

Auch die technischen Mittel der Abbaustreckenförderung, insbesondere die Bandförderung, erlauben es heute, große Abbaustreckenlängen zu beherrschen, so dass Querschlagabstände von 800 m bis 1.200 m und darüber gewählt werden können.

4.6 Herstellen Ausrichtungsbaue

Bei der Herstellung der Aus- und Vorrichtungsbaue sind in den letzten Jahren beim Auffahren söhliger, geneigter Strecken im Gestein, beim Bau von Füllörtern und sonstigen Großräumen zur Aufnahme von Werkstätten, Sprengstofflagern und Pumpen sowie das Herstellen von untertägigen Kohlen- und Bergebunkern erfolgt.

Das konventionelle Auffahren von Strecken mit Hilfe der Bohr- und Sprengtechnik ist in den letzten Jahren erheblich mechanisiert worden. Der umfassende Bestand an Maschinen und Einrichtungen wird stetig an die wechselnden Einsatzbedingungen angepasst. In großem Umfang werden auch Teilschnittmaschinen eingesetzt. Vollschnittmaschinen finden Anwendung für das Auffahren langer Gesteinsstrecken.

4.6.1 Auffahren mit Bohr- und Sprengarbeit

Die zunehmende Teufe und die Anforderungen eines modernen Grubenbetriebes haben größere Streckenquerschnitte erforderlich gemacht. In den Hauptförderstrecken werden Querschnitte von mehr als 30 m² erreicht. Das konventionelle Auffahren, das aus den Arbeitsvorgängen Bohren, Sprengen, Laden des Haufwerks und Ausbauen besteht, ist stärker mechanisiert worden. Dies ist vor allem beim Bohren und Laden durch den Einsatz von Bohrwagen, Bohrbühnen und Ladewagen gelungen. Auch das Einbringen des Ausbaus wird durch Ausbausetzvorrichtungen erleichtert. Neuere Entwicklungen zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Streckenausbaus, die mit einer Mechanisierung einhergehen, sind die Vollhinterfüllung mit hydraulisch abbindenden Baustoffen, der Anker-Spritzbeton-Ausbau, der Einsatz frühtragender Konsolidierungsmörtel sowie das Bullflex-System.

Querschnitt, Gesteinsart, Streckenneigung und geforderte Auffahrleistung haben wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Maschinenausrüstung. Unter günstigen Voraussetzungen werden Spitzenleistungen von täglich 8 m und mehr aufgefahrener Strecke erreicht.

Um söhlige Gesteinsstrecke mit ca. 30 m² Ausbruchquerschnitt aufzufahren, werden beispielsweise mehrarmige hydraulische Bohrwagen eingesetzt. Die Leistungsfähigkeit dieser Bohrwagen ermöglicht die Verwendung großkalibriger Sprengstoffpatronen von 40 mm Durchmesser. Dadurch verringern sich die Zahl der Bohrlöcher und die Bohrzeit, was zu einer Steigerung der Vortriebsgeschwindigkeit beiträgt. So können z. B. zwei Seitenkipplader parallel zu einem mittig liegenden Kettenkratzförderer das Haufwerk nach dem Sprengen aufgeben. Mit einem eingebauten Brecher wird das Hauwerk zerkleinert. Das ist erforderlich, da die Bergeförderung nach über Tage größtenteils über eine Skipanlage erfolgt. Während der Abförderung laufen die Ausbauarbeiten vor Ort kontinuierlich weiter.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-35c: Dreiarmiger programmierter Bohrwagen mit Monitorüberwachung [1]

Abb. Fst-35d: Zwei Seitenkipplader beim Richtstreckenvortrieb [1]

Für alle Arbeiten, die nicht von der Sohle aus ausgeführt werden können, kommen an Schienen aufgehängte, selbstverfahrbare Arbeitsbühnen zum Einsatz. Zum Teil sind diese Bühnen mit Ausbausetzvorrichtungen ausgestattet, die die Ausbauarbeiten erleichtern und beschleunigen und eine deutliche Verbesserung der Arbeitssicherheit zur Folge haben.

Durch Kabel- und Luttenspeichereinrichtungen können Versorgungsleitungen und Sonderbewetterung ohne wesentliche Unterbrechung der Vortriebsarbeiten verlängert werden.
Der vollhydraulische Seitenkipplader besitzt gegenüber den anderen Lademaschinen den Vorteil, dass die gesamte Ladearbeit zur Schonung der Streckensohle und des Raupenfahrwerks mit Hilfe eines Teleskopauslegers bei hoher Ladeleistung aus dem Stand vorgenommen werden kann. Zum Schutz des Fahrers bei Arbeiten unter Arbeitsbühnen werden Ladewagen mit Schutzaufbauten ausgerüstet.

7541014/10787806875Biblio

Trotz hohen Mechanisierungsgrades und verbesserter Bohr- und Sprengtechnik sind dem Streckenvortrieb mit Bohren und Sprengen Grenzen gesetzt. Um die Auffahrleistungen bei gleichzeitiger Verringerung der Arbeitskosten zu steigern, sind vollmechanische Vortriebsverfahren entwickelt worden. Zunächst wurden für die Flözstreckenauffahrung Teilschnittmaschinen gebaut. Diese Arbeiten mit Auslegern und radial oder axial drehenden Schneidwalzen, die mit Schneidmeißeln bestückt sind, haben ein Raupenfahrwerk. Wegen der hohen Anpassungsfähigkeiten des Schneidauslegers können Profile beliebiger Querschnittsformen für alle Flözstrecken ohne Umsetzen geschnitten werden.

Auf alle Details der Mechanisierung kann im Rahmen dieses Buches nicht eingegangen werden. Darüber hinaus sind die Aus- und Vorrichtungsarbeiten inzwischen eine Domäne der Bergbau-Spezialunternehmen. In den Gesteinsbetrieben waren sie schon sehr lange vertreten.

4.6.2 Füllort

4.6.2.1 Ausrüstung

Das Füllort ist der unmittelbar am Schacht befindliche Grubenbau, in dem das aus den Strecken kommende Fördergut der Schachtförderung übergeben wird.

Die ankommenden Förderwagen – heute überwiegend Förderbänder – werden auf den Förderkorb geschoben oder in Bunker entleert, aus denen die Fördergefäße gefüllt werden. Großräumige Füllörter moderner Gruben sind mit Stellwerken, Signalanlagen, Fernsprech- und Funkanlagen ausgerüstet.

Das Füllort – ein hell erleuchteter, tunnelartigen Raum mit einer Höhe von 5 m bis 6 m, weiß gestrichen – gleicht heute einem U-Bahn-Tunnel. Es ist ein Umschlagbahnhof zwischen Schacht und Strecke, wo die Bergleute, Material oder Kohle ankommen und zu den Betriebspunkten oder zu Tage befördert werden.

Am Füllort werden die von oben kommenden, mit Material gefüllten Förderwagen aus dem Korb gedrückt. Der gesamte Verkehr wird nur von einem Mann ferngesteuert.

Abb. Fst-36: links: Personenzüge stehen im Füllort bereit, um die Bergleute an ihre Arbeitspunkte zu bringen. Die Züge fahren pünktlich nach einem bestimmten Fahrplan. – rechts: Werkstatt – hier werden alle Reparaturen an Geräten und Maschinen ausgeführt, für die ein Transport für eine Reparatur nach über Tage zu aufwändig wäre und Großgeräte zerlegt werden müssten. [V41]

7541014/10787806875Biblio

Im Füllort werden aber auch die zum Teil sehr schweren Ausbauteile, z. B. Ausbauteile für den Schildvortrieb im Kohlenstreb und Stahlbögen für den Streckenausbau, auf die Einschienenhängebahn verladen. Das Füllort beherbergt aber auch große Werkstätten für die Reparatur und Wartung an den unter Tage eingesetzten Maschinen und Geräten. Hier werden auch an besonderen Ladestationen die Akkus der Grubenloks geladen.

Abb. Fst-37a: Im Füllort werden Einschienen-Hängeförderer mit Ausbaumaterial für den Strecken- und Strebausbau sowie Material-Container beladen. [V41]

4.6.2.2 Auffahren der Füllörter

Das Auffahren der Füllörter mit bis zu 60 m² Ausbruchfläche kann in Schachtnähe mit Rücksicht auf den Schacht nicht in einem Arbeitsschritt gebohrt und gesprengt werden. Auch Teilschnittmaschinen können aus Platzgründen nicht immer eingesetzt werden.

Nachdem beim Abteufen des Schachtes die Unterkante der geplanten Sohle bzw. Füllortes erreicht ist, wird das Füllort angesetzt.

Der Querschnitt muss daher in mehreren kleinen Abschnitten freigelegt und gesichert werden. Hierzu werden Methoden wie das Österreichische Verfahren, das Deutsche Verfahren oder andere Verfahren angewendet (s. Abb. Fst-38).

Beim Österreichischen Verfahren wird grundsätzlich die „Kalotte“ hergestellt und dann die „Strosse“.

Das Deutsche Verfahren wird in sechs Abschnitten + Sohle ausgeführt, wobei die Reihenfolge unterschiedlich sein kann. Bei diesen Verfahren können in Schachtnähe nur Sprengarbeiten mit engbemessener Ladung in den einzelnen Arbeitsschritten ausgeführt werden. Für die Nacharbeiten ist der Einsatz von Abbauhämmern erforderlich.

7541014/10787806875Biblio

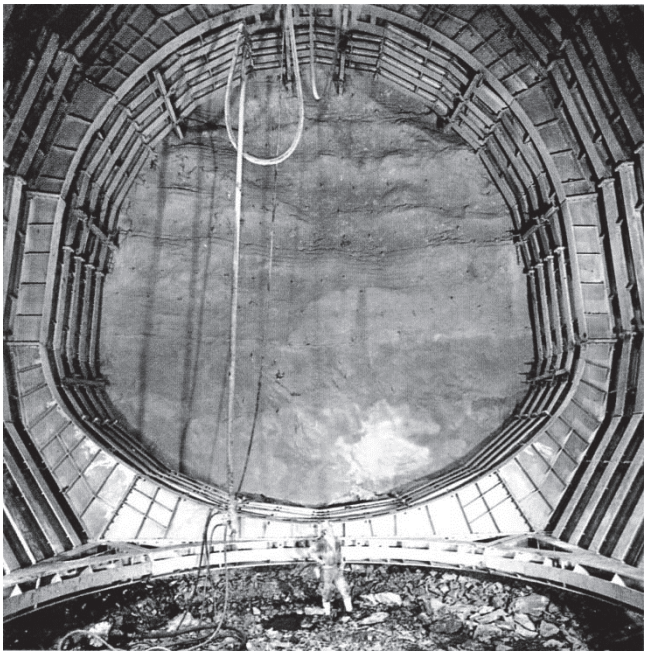


Abb. Fst-37b: Ansatz des Füllortes von der Schachtsohle aus – unten im Bild die Schachtsohle [1]

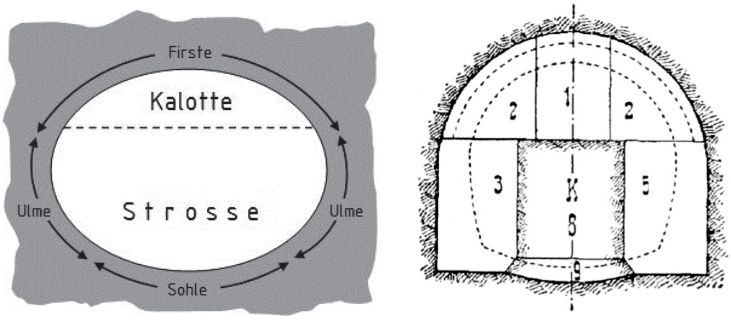


Abb. Fst-38: links: Österreichisches Verfahren – rechts: Deutsches Verfahren [1]

Es wird in der Regel ein bewehrter Spritzbeton und je nach Gebirge eine vorläufige Bewehrung mit Ankern vorgenommen.

Der weitere Verbau erfolgt mit Stahlbögen und Ausfachung mit Bewehrungsmatten o. Ä. und Spritzbeton oder mit Fertigbeton-Segmenten. Diese Arbeiten werden ausgeführt, wenn eine ausreichende Vortriebslänge erreicht ist, damit entsprechende Geräte eingesetzt werden können (z. B. Hubwagen, Einbauvorrichtungen usw.).

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-39:
Österreichische Bauweise – Einbringen von Bewehrungsmatten für den Spritzbeton als vorläufige Sicherung [1]

Nach Sicherung der Kalotte kann die Strosse durch Bohr- und Sprengarbeiten (s. Abschnitt „Grundlagen der Sprengtechnik“) hereingewonnen werden. Mit zunächst kleinen Ladegeräten wird das Haufwerk in Förderwagen geladen.

Ist der Abstand größer, kommen überwiegend Teilschnittmaschinen zum Einsatz. Die Abförderung des Haufwerks erfolgt mittels Großraumförderwagen ggf. unter Einsatz von Ladegeräten (Radlader, Seitenkipplader), bei Einsatz von Teilschnittmaschinen über den integrierten Förderer (siehe Abb. Fst-40a).
Wenn die geplante Füllortlänge erreicht ist, wird der Querschnitt auf Richtstrecken-Querschnitt verringert.

4.6.3 Auffahren der Gesteinsstrecken

4.6.3.1 Streckenausbau

Als Verbindung zwischen den Tages- und Blindschächten zu den Abbaubetriebspunkten müssen in großem Umfang Strecken aufgefahren werden. In diesen Strecken sind alle zur Funktion eines Bergwerkes notwendigen logistischen Funktionen, beispielsweise Bewetterung, Produkten- und Materialförderung sowie Personenbeförderung, abzuwickeln. Die Strecken müssen so aufgefahren und ausgebaut werden, dass möglichst keine Beeinträchtigung der logistischen Funktionen eintritt.
Langlebige Grubenbaue (Richtstrecken, Querschläge, Gesteinsberge) werden bevorzugt in standfeste Partien des Nebengesteins gelegt.
Aus Gründen der Aufwandsminimierung liegen zunehmend auch langfristig benötigte Grubenbaue im Flöz, wobei dann von flözgeführter Ausrichtung gesprochen wird.

Der Vortrieb im europäischen Steinkohlenbergbau erfolgte in den 50er bis Anfang 70er Jahre nahezu ausschließlich durch Bohr- und Sprengarbeiten. Bei Auffahrung in flachen Flözen wurde nach Entfernung der Kohle der verbliebende Felsanteil (i. d. R. die Firste) durch Bohren und Sprengen und entsprechende Nacharbeit mit dem Abbauhammer aufgefahren.

7541014/10787806875Biblio

Die Ladearbeit auf den Strebförderer oder auf das Förderband erfolgte mit gleisgebundenen kleinen Seitenkippladern oder Überkopfladern. Der mit zunehmender Teufe ansteigende Gebirgsdruck, die Steigerung der Fördermengen sowie die Mechanisierung erforderten größere Wettermengen und damit größere Streckenquerschnitte.

Zur zügigen Entwicklung der Bergwerke und Kostensenkung sollten Strecken schneller aufgefahren werden. Entlehnt aus dem Sektor Pressvortriebe begann Anfang der 60er Jahre mit der Bade-Vortriebsmaschine, der Wohlmeyer-Maschine 1964 sowie dem Krupp-Tunnelfräser die Entwicklung von Vollschnittmaschinen mit Rollenbohrwerkzeugen. Diese Maschinen können aufgrund ihres rotierenden Bohrkopfes den gesamten Querschnitt immer nur kreisförmig hereingewinnen.

Die ersten Vollschnittmaschinen zeigten, dass das Auffahren mit solchen Maschinen zwar möglich, aber noch nicht wirtschaftlich war.

Parallel zu den Vollschnittmaschinen wurden die ersten Teilschnittmaschinen entwickelt. Dieser Maschinentyp kann im Gegensatz zu Vollschnittmaschinen beliebig geformte Streckenquerschnitte freilegen. Unter optimalen Verhältnissen wurden mit diesen Maschinen bereits Auffahrleistungen von mehr als 20 m je Tag bei Streckenquerschnitten zwischen 18 m^2 und 20 m^2 erreicht. Dieses galt aber nur für die Auffahrung vollständig im Flöz und nur bei sehr geringem Ausbauaufwand.

Nach Einführung dieser Technik Anfang der 70er Jahre setzte eine stürmische Entwicklung im deutschen und englischen Steinkohlenbergbau ein, die Ende der 80er Jahre ihre Blüte in Deutschland entfaltete.

Da sowohl Vollschnitt- als auch Teilschnittmaschinen Strecken in sehr festen Gesteinsschichten weder leistungsfähig noch kostengünstig auffahren konnten, wurde parallel zu diesen Entwicklungen auch die Bohr- und Sprengtechnik weiterentwickelt. Die Maschinen wurden ergänzt durch Ausbaubühnen, Ladewagen und schließlich Bohrwagen. Die Entwicklung von Ladewagen und Bohrwagen erfolgte hauptsächlich in Deutschland.

Anfang bis Mitte der 70er Jahre wurden auch in Deutschland die aus dem Vereinigten Königreich stammenden Sondermaschinen zum maschinellen Vortrieb, genannt Ripper, als Nachreißmaschinen zur Auffahrung abbaubegleitender Strecken eingesetzt. Später wurden diese Maschinen mehr und mehr von Teilschnittmaschinen zurückgedrängt, die dann auch mildes Nebengestein leistungsfähig schneiden konnten.

Nachdem die im Zuge der Mechanisierung zugenommene Auffahrung von Strecken mit der Reduzierung der Bergwerke stark vermindert wurde, konzentrierten sich die Entwicklungen auf die Verbesserung der Qualität der Strecken in Bezug auf die Standsicherheit, Mehrfachnutzung und insbesondere auf die im Laufe der Jahrzehnte starke Zunahme der Gewinnungsteufe insbesondere in Deutschland.

Zusätzlich wurde das Ziel des profilgenauen Herstellens (Schneidens) von Strecken angestrebt. Zunehmend kam der Streckenausbau mit Teil- und Vollhinterfüllung und Ankerausbau zum Einsatz.

4.6.3.2 Vortriebsverfahren in Gesteinstrecken

Die **Vortriebsverfahren** vornehmlich in Richtstrecken und Querschlägen und die dabei einsetzbare Maschinen- und Gerätetechnik sind in erster Linie von den Gesteinsfestigkeiten abhängig.

7541014/10787806875Biblio

In weichen bis mittelharten Formationen lassen sich Teilschnittmaschinen mit Erfolg und guten Vortriebsleistungen einsetzen. Harte Sandsteine mit hohem Anteil von Quarz sind für diese und vergleichbare Maschinen nicht geeignet. Zum einen ist die Vortriebsleistung zu gering und zum anderen der Verschleiß der Meißel sehr hoch. Der ständige Austausch verringert außerdem die Einsatzzeit erheblich.

Wesentlich höhere Leistungen können im Bohr- und Sprengverfahren erzielt werden. Auch hier hat sich die Maschinen- und Anwendungstechnik erheblich verbessert.

Es stehen ein- und mehrarmige Bohrwagen zur Verfügung, die bei Bedarf mit Computersteuerung ausgerüstet werden können und nach einem programmierten Sprenglochplan arbeiten. Die Bohrlöcher werden automatisch angefahren und richten sich selbstständig auf die eingegebene Neigung bzw. Richtung und Bohrtiefe ein (siehe Abb. Fst-35c). Die Automatik ist allerdings nur sinnvoll, wenn annähernd gleiche Formationsverhältnisse anstehen, anderenfalls muss ständig das Programm geändert werden. Hier sollte man ferngesteuerte Bohrwagen mit einer Lafette einsetzen. Mit diesen elektrohydraulischen Geräten lassen sich ebenfalls große Leistungen erzielen.

Zur Ausstattung eines leistungsfähigen Gesteinsvortriebs gehören eine Verbaumaschine für das Handling mit den Stahl-Ausbauelementen und eine leistungsfähige Spritzbetoneinheit, falls ein entsprechender Verbau vorgesehen ist.

Während die Teilschnittmaschinen gleichzeitig Schneiden (Fräsen) und Laden können, sind beim Bohr-/Sprengverfahren leistungsfähige Ladegeräte, z. B. Rad- oder Kettenlader mit Seitenkippschaufel, erforderlich. Der Abtransport erfolgt in beiden Fällen mit Großraumförderwagen und Lokbetrieb.

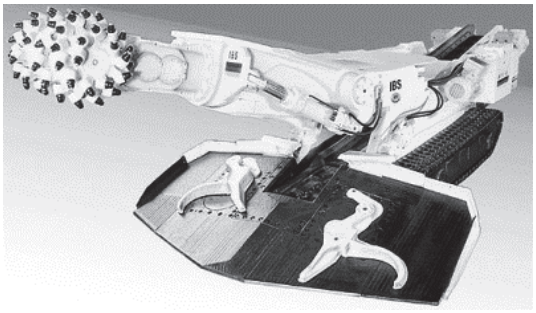


Abb. Fst-40a: Teilschnittmaschine mit Kettenförderer-System IBS [1]

Die **Teilschnittmaschine (TSM)** ist eine Abbau- und Vortriebsmaschine für den Tunnel- und Bergbau. Mit einem frontseitig an einem beweglichen Ausleger angebrachten Fräskopf wird die Ausbaufront (Ortsbrust) eines Tunnels bzw. Strecke stückweise abgefräst. Das von dem mit Hartmetallmeißeln bestückten Fräskopf abgetragene Material bzw. Gestein wird mit einer Ladeschaufel aufgenommen und von mehreren Ladearmen (beim sogenannten Hummerscherenlader) oder rotierenden Kettenförderern zu einem mittig durch die Teilschnittmaschine laufenden Förderband geschoben. Am Ende dieses Förderbandes wird das Gestein über einen Ausleger auf ein weiteres Förderband abgeworfen, das mit fortschreitendem Streckenausbau nachgeführt werden kann.
Die TSM ist durch ihr Raupenfahrwerk mobil; der Bediener sitzt meist wie bei einem Bagger auf der Maschine, kann bei kleinen Maschinen oder geringen Querschnitten aber auch hinter oder neben der Maschine stehen.

7541014/10787806875Biblio

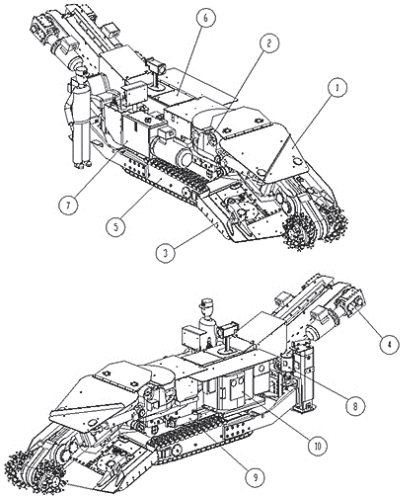


Abb. Fst-40b:
Systemdarstellung einer Teilschnittmaschine – System Salzgitter Typ SM 30 [V65]

Der Vorteil einer Teilschnittmaschine gegenüber einer Tunnelbohrmaschine ist ihr vergleichsweise geringer Anschaffungspreis, der aber mit einer durch das lagenweise Vortreiben des Ausbaus begründeten niedrigeren Ausbaugeschwindigkeit erkauft wird. Des Weiteren kann man mit einer Teilschnittmaschine unterschiedliche Streckenprofile abbauen, ist also flexibler.

Es werden radial und axial schneidende Teilschnittmaschinen unterschieden. Bei den radial schneidenden Maschinen dreht sich die Schneidwalze in der Verlängerung des Schneidarms (Längsschneidkopf s. Abb. Fst-41 links). Aufgrund des großen Hebelarms ist ein hohes Eigengewicht der Maschinen erforderlich.

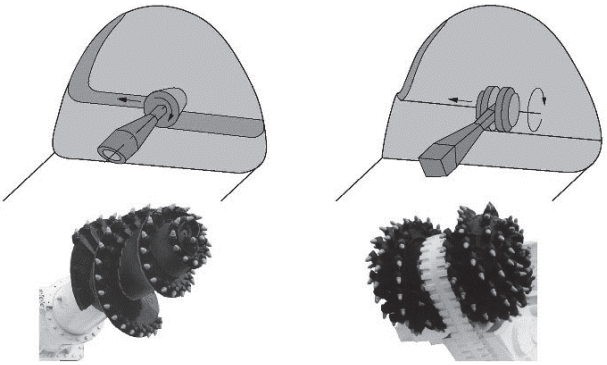


Abb. Fst-41:
Schneidkopfsysteme bei Teilschnittmaschinen – links: Längsschneidkopf – rechts: Querschneidkopf [V65]

7541014/10787806875Biblio

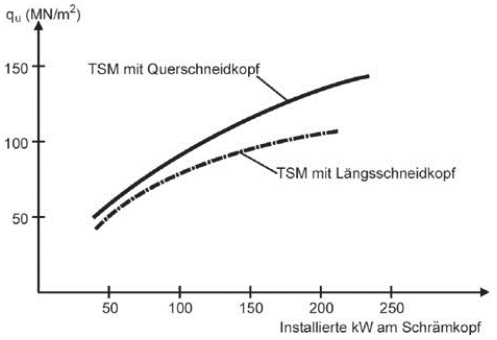


Abb. Fst-42: Technische Einsatzgrenzen der Schneidköpfe [V65]

Bei den axial schneidenden Maschinen steht die Schneidkopfachse senkrecht zum Schneidarm (Querschneidkopf, s. Abb. Fst-41 rechts). Die Reaktionskräfte wirken in Richtung Teilschnittarm, dementsprechend ist das erforderliche Eigengewicht der Teilschnittmaschine kleiner als bei den radial schneidenden Maschinen. Die jeweiligen technischen Einsatzgrenzen – ausgedrückt durch die Gebirgsdruckfestigkeit q_u – ergeben sich in Abhängigkeit von der installierten Leistung und sind in Abb. Fst-42 dargestellt.

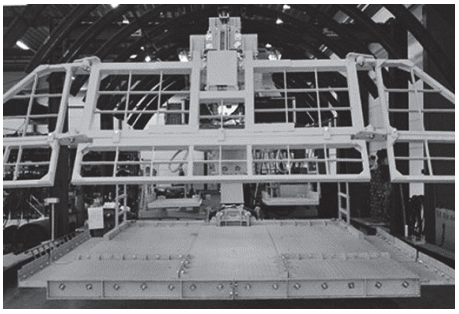


Abb. Fst-43: Streckenausbaumaschine AMG 2800 der GTA Maschinensysteme [V41]

Hinter der Teilschnittmaschine folgt in rund 20 m bis 30 m die Streckenausbaumaschine.

Zu den heute häufig in der Streckenauffahrung anzutreffenden Bühnen gehören die Streckenausbaumaschinen der Firma GTA Maschinensysteme. Sie kommen bei der Auffahrung von Strecken zum Einbringen des Stahlbogenausbaus zum Einsatz. Sie erleichtern der Vor-Ort-Mannschaft die Ausbauarbeit und garantieren eine höhere Sicherheit im Vor-Ort-Bereich. Außerdem dienen sie der Leistungserhöhung und senken somit die Kosten im Streckenvortrieb.

Die Maschinen bestehen im Wesentlichen aus einer Ausbausetzvorrichtung (ASV) und einer Arbeitsbühnenplattform und fahren an einem speziellen, in der Firste mitgeführten Schienenstrang entlang.
Die ASV der in den RAG-Betrieben eingesetzten Streckenausbaumaschinen AMG 2700 und AMG 2800 verfügen über eine Vorpfändlänge von bis zu 2,4 m beziehungsweise 3,2 m und können um 80° geschwenkt werden. Die Nutzlastaufnahme beträgt 1.500 kg bei der AMG 2700 und 2.000 kg bei der AMG 2800.
Die Arbeitsplattform besitzt eine Länge von 3,3 m (AMG 2700) oder 3,8 m (AMG 2800) und eine Breite von 2,5 m beziehungsweise 3,0 m.

7541014/10787806875Biblio

Hydraulisch ausfahrbare Schubladen an der rechten und linken Seite der Plattform ermöglichen eine Verbreiterung der Standfläche um zweimal 0,5 m.
Bis zu zwei Tonnen Zuladung kann die Arbeitsplattform der AMG 2800 aufnehmen. Dabei ist sie um 45° schwenkbar. Die gesamte Maschine ist bis zu einem Radius von 6 m kurvengängig.

Beim RAG-Standardvortrieb „Kombiausbau Typ A“ besteht die maschinelle Vortriebsausrüstung aus einer Teilschnittmaschine (TSM) und einer Streckenausbaumaschine 20 m bis 30 m hinter der TSM. Parallel zur Löse- und Ankerarbeit der TSM vor Ort erfolgen die Vormontage der Kappen oder eines kompletten Kappendaches auf der Ausbausetzvorrichtung sowie das Beladen der Plattform mit dem zum Vervollständigen des Bogens vor Ort benötigten Material.

Die Arbeitsplattform dient außerdem als sichere Standfläche für anfallende Arbeiten, wie das Setzen der Anker, das Verschrauben der Bauschlösser, das Einbringen der Verzugsmatten, die Verbolzung und die Hinterfüllung und die Einbringung des Spritzbetons.

Zur Ausrüstung der Vortriebsvariante „Kombiausbau Typ A mit Sprengvortrieb“ gehören vor Ort ein zweiarmiger Spreng- und Ankerbohrlochwagen sowie eine Ankerstandbühne. Parallel zur Anker- und Wegfüllarbeit wird im nachgeschalteten Bereich der Bogenausbau mit Hilfe einer schweren Streckenausbaumaschine (AMG 2800) eingebracht. Die Wegfüllarbeit übernimmt ein Seitenkipplader, der das Haufwerk auf Transportbänder oder Großraumförderwagen lädt.

Die Ausbauarbeit beanspruchte bei weitem den größten Teil der Zykluszeit. Die große Konzentration von Maschinen und Arbeitsvorgängen im Vortrieb machte Entwicklungen zur Parallelisierung der Arbeitsvorgänge „Herstellen des Hohlraumes“ und „Ausbauarbeit“ notwendig. Daraus ergaben sich neue Anforderungen an die einzusetzenden Vortriebsmaschinen.

Abb. Fst-44: Dreiarmiger Bohrwagen System SANDVIK Typ DD 530 [SANDVIK]

7541014/10787806875Biblio

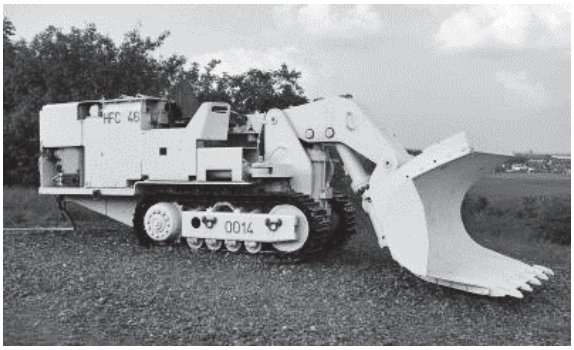


Abb. Fst-45: Seitenkipplader HFC 46 [V36]

Der Streckenausbau erfolgt überwiegend mit Stahl-Gleitbogenausbau und Verzugmatten oder Spritzbeton. Der Gleitausbau verformt sich bei steigendem Gebirgsdruck nicht, sondern schiebt sich zusammen.

Abb. Fst-46: Streckenausbau mit Gleitbögen und Verzugmatten [V36]

Zur leichteren Handhabung werden die Bögen meist in zwei oder mehreren Teilen auf die Baustelle geliefert und dort gestoßen. Je nach Anforderung können die Stoßverbindungen starr oder nachgiebig ausgeführt werden. Die Ausbaubögen werden senkrecht zum Vortrieb aufgestellt und erreichen sofort ihre Tragfähigkeit.

Wenn die Ausbaubögen nicht im Ringschluss eingebaut werden, z. B. bei Kalottenbögen, die auf der Kalottensohle aufstehen, ist ein entsprechend ausgebildetes Fußauflager nötig, damit die Kraft ohne Gefahr eines Grundbruchs in die Sohle eingeleitet werden kann.

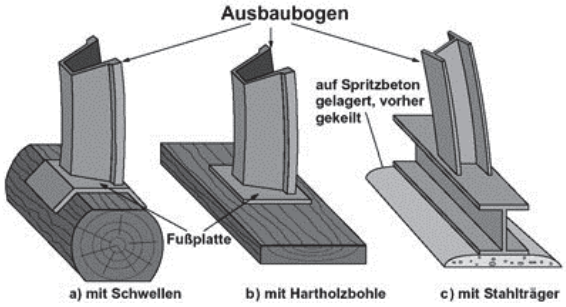


Abb. Fst-47a: Fußauflager für Ausbaubögen [1]

7541014/10787806875Biblio

- **Arbeitsbühnen für den Streckenvortrieb**

Die Arbeitsbühnen von Deilmann + Haniel werden für Bohr- und Sprengarbeiten, Ausbauarbeiten und Montagearbeiten eingesetzt. Sie sind an zwei Schienensträngen aufgehängt und können mit Hilfe von Steiglaufkatzen oder Schreitsystemen verfahren werden.

Mit vier in Speziallaufkatzen eingebauten Druckluftzügen wird die Arbeitsplattform gehoben und abgesenkt. Durch den modularen Aufbau kann die Arbeitsplattform an unterschiedliche Streckenquerschnitte angepasst werden.

Besondere Merkmale:

– einsetzbar bis 13,5° Streckenneigung,
– einfache Montage,
– schnelle Anpassung an unterschiedliche Streckenquerschnitte durch Modulbauweise,
– robuste Bauweise mit hoher Zulademöglichkeit.

Auf der Bühne können alle erforderlichen Arbeiten wie:

– Nacharbeiten die Profils,
– Einbau der Verbaubögen einschl. Ausfachung,
– Spritzbetonarbeiten durchgeführt werden.

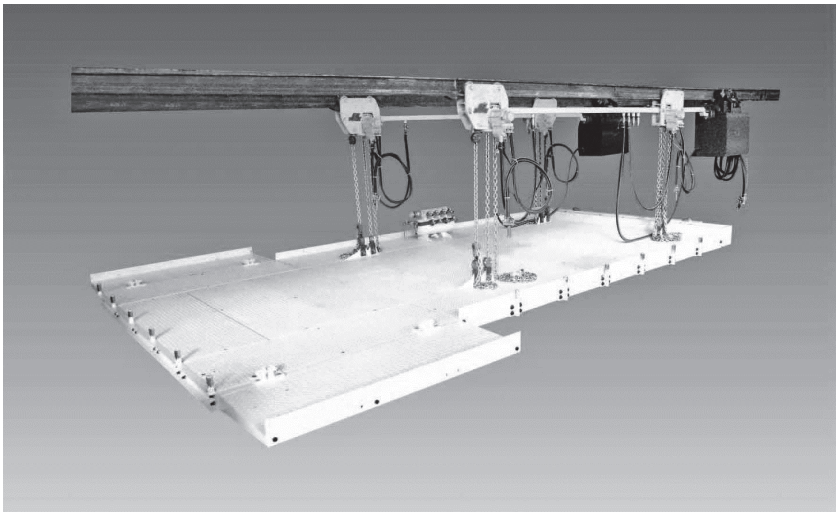


Abb. Fst-47b: Einbaubühne der Fa. Deilmann + Haniel [V63]

4.6.3.3 Verwendung von Spritzbeton im Streckenvortrieb

- **Sicherung bei Spritzbetonweise**

Wesentliche Konstruktionselemente zur Sicherung des Ausbruchs sind Anker, Ausbaubögen (Stahl- oder Gitterträger) und Spritzbeton. Anker wirken als Verdübelung zwi-

7541014/10787806875Biblio

schen Gebirge und Beton und unterstützen die Ausbildung eines sogenannten Gebirgtragringes, indem die Anker Auflockerungen des Gebirges reduzieren.

Ausbaubögen sorgen nach dem Einbau für eine sofort tragfähige Ringbewehrung und dienen gleichzeitig dem Schutz der Bergleute vor herunterfallenden Gebirgsbruchstücken. Des Weiteren werden sie auch zur Hilfestellung für geometrische und vermessungstechnische Aufgaben herangezogen.

Im Gegensatz zu den klassischen Bauweisen wird bei der Sicherung mit Spritzbeton ein hohlraumloses, kraftschlüssiges Anschließen der Sicherung an das Gebirge erreicht. Die Spritzbetonschale dient hierbei der Vergütung der Gebirgsoberfläche und sorgt für eine passende Verbundkonstruktion zwischen Gebirge und Beton.

4.6.3.4 Anker und ihre Wirkungsweise

Bei Ankern wird entsprechend der Wirkungsweise zwischen **Einzelankern** und **Systemankerung** unterschieden.

Einzelanker dienen der Sicherung einzelner Gesteinsblöcke bzw. dem Erhalt der Ausbruchform im Hinblick auf die Tragfähigkeit des Gebirges und der Kosten (Mehrausbruch).

Systemankerungen werden für die Aktivierung der Gewölbewirkung benötigt (s. Abb. Fst-48). Der Vortrieb führt zu einer Spannungsumlagerung im Bereich des Hohlraumes. Durch den sich einstellenden Gebirgstragring wandern die Spannungen tiefer ins Gebirge, es entsteht jedoch eine Auflockerungszone. Durch schnelles Einbauen der Ankerung (in Kombination mit Spritzbeton) kann ein Ausbauwiderstand mobilisiert werden, welcher der Gebirgsauflockerung entgegenwirkt und diese reduziert.

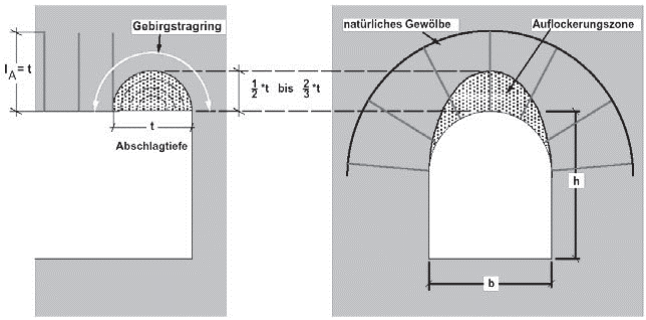


Abb. Fst-48:
Systemankerung [1]

- **Tragverhalten von Ankern**

Es werden vorgespannte und nicht vorgespannte („schlaffe“) Anker sowie Spreiz- und Haftanker unterschieden. Vorspannungen werden mittels Drehmomentenschlüssel, Schlagschrauber oder Spannpressen aufgebracht. Am Kopfende wird eine Mutter auf den Anker geschraubt und die Ankerkraft so über eine Ankerplatte in das Gebirge eingeleitet. Das Bohrloch und somit auch der Anker selbst stehen dabei häufig nicht senkrecht zur Gebirgswandung. Die Ankerplatten werden aus diesem Grunde meist gekröpft ausgeführt und mit einem Langloch versehen.

7541014/10787806875Biblio

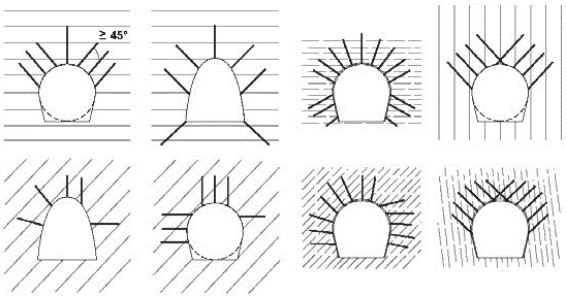


Abb. Fst-49 Beispiele für Systemankerungen [1]

Als Ankerstangen kommt i. d. R. normaler Baustahl, seltener Spezialstahl zur Anwendung. Im Bereich der Ortsbrust (temporärer Einsatz) werden neuerdings auch Ankerstäbe aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) eingesetzt, da sie beim Ausbruch kein außergewöhnliches Hindernis für die Maschinen darstellen.

Bei **Spreizankern** erfolgt die Krafteinleitung vom Anker ins Gebirge über Keile oder Hülsen, die sich gegen das Gebirge verspannen (Kraftschluss, s. Abb. Fst-48 links). Die Anker werden i. d. R vorgespannt.

Bei **Haftankern** werden die Kräfte über eine Haftstrecke aus Mörtel oder Kunstharz auf das Gebirge übertragen (Formschluss, s. Abb. Fst-48 rechts). Die Haftanker können vorgespannt oder schlaff eingebaut werden. Bei schlaffen Ankern wird die gesamte Ankerlänge auf einmal vergossen. Entsprechend dieser Vorgehensweise müssten sie als „Nägel“ bezeichnet werden; dieser Begriff hat sich im Tunnelbau jedoch noch nicht durchgesetzt. Bei vorgespannten Ankern wird das Verankerungsende mit Zementmörtel verfüllt bzw. mit Kunststoff verklebt.
Nach Abbinden und Erhärten wird die Vorspannkraft aufgebracht und anschließend die verbleibende freie Ankerlänge vergossen.
Eine derartige Vorgehensweise entspricht DIN EN 1537 (Verpressanker: Bemessung, Ausführung und Prüfung).

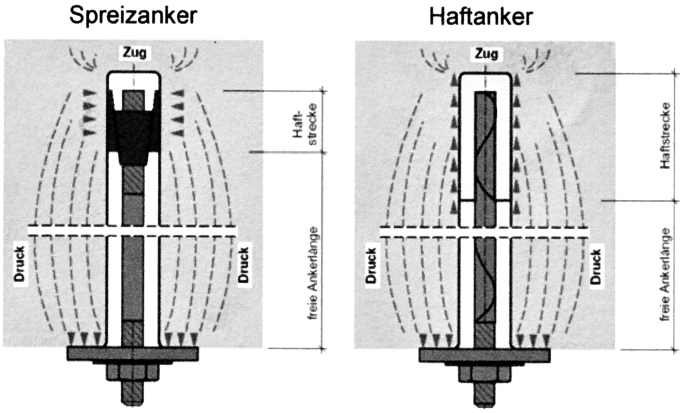


Abb. Fst-50: Krafteinleitung von Ankern [2]

7541014/10787806875Biblio

4.6.3.5 Bauformen von Ankern

Spreizanker

- **Schlitzkeilanker**

In einem achsparallelen Schlitz am Ankerstangenende steckt ein Keil, der am Bohrlochtiefsten aufsitzt. Durch Schläge auf den Ankerkopf wird der Keil in den Schlitz getrieben. Dieser weitet sich dementsprechend auf und verspannt so die Ankerstange gegen das Gebirge.

- **Gleitkeilanker**

Am Ankerstangenende ist ein ringförmiger Keil am Stab befestigt. Auf diesem ist ein ebenfalls ringförmiger Konus aufgebracht. Beim Ziehen des Ankerstabs verkeilt sich der Anker mit dem Konus. Der Konus wird dabei durch den Keil auseinandergedrückt und verspannt sich so gegen das Gebirge.

- **Spreizhülsenanker**

Am Ankerende befindet sich ein Gewinde, auf dem ein konusförmiges Stück aufgeschraubt ist. Durch Drehen der Ankerstange wird der Konus weiter auf das Gewinde gedreht. Der Konus spreizt sich in der Folge auseinander und verspannt sich so ebenfalls gegen die Bohrlochwandung.

- **Doppelkeilanker**

Am Ankerende sitzen zwei Keile, von denen einer über einen Haken am Ende der Ankerstange festgehalten wird. Der zweite Keil wird durch Drehen der Ankerstange entlang dieser bewegt, wobei er den ersten gegen das Gebirge verspannt.

Haftanker

- **Füllmörtelanker**

(Zementmörtelanker) Das Bohrloch wird vom Bohrlochtiefsten mittels Schlauch verfüllt und der Ankerstab eingeschoben. Der Anker wird i. d. R. schlaff ausgeführt; wenn jedoch eine Vorspannung aufgebracht werden soll, wird im Bereich der Krafteinleitung ein schnell härtender Mörtel verwendet. Im vorderen Bereich des Bohrloches wird eine gering tragfähige Zementsuspension eingebracht. Die Ausführung von Füllmörtelankern ist im Überkopfbereich durch das Auslaufen des Mörtels erschwert.

- **Einschubmörtelanker**

(Perfo-Anker) Zwei halbierte und perforierte Blechrohre werden zuerst mit Zementmörtel gefüllt, die Hälften mit Draht zusammengebunden und in das Bohrloch gesteckt. Anschließend wird die Ankerstange eingeschlagen, wobei der Zement durch die Perforation in den Ringraum zwischen den Blechrohren und der Bohrlochwand ausgedrückt wird. Perfo-Anker eignen sich besonders für aufwärts gerichtete Bohrlöcher, da ein steiferer Mörtel als beim Füllmörtelanker verwendet wird, der nicht so stark zum Auslaufen neigt. Nachteilig ist bei diesem Verfahren der große Arbeitsaufwand.

7541014/10787806875Biblio

- **Ramminjektionsanker**

Diese Anker werden in nicht bohrbarem Gebirge angewendet, z. B. bei stark gebrächen Festgesteinen. Der vergrößerte Rammkopf schafft einen Ringraum, welcher während des Rammvorganges mit Zementmörtel verpresst wird.

- **Kunstharzanker**

Eine Patrone mit zwei Komponenten (Grundmasse und Härter) wird in das Bohrloch eingeführt. Durch das Einführen eines Ankerstabes wird die Patrone zerstört, wodurch sich beide Komponenten vermischen können und der Aushärtungsprozess eingeleitet wird.

- **Reibungsanker – Swellex**

Ein zusammengefaltetes Stahlrohr wird in das Bohrloch eingeführt und dort mittels Hochdruckwasserpumpe aufgefaltet. Das Rohr passt sich so an die Wandung des Bohrlochs an und überträgt die Ankerkraft über Reibung an den Fels.

- **Selbstbohrende Anker**

Die Anker sind mit einer Bohrkrone versehen und dienen gleichzeitig zum Herstellen des Bohrlochs. Nach dem Bohrvorgang verbleiben sie mit der „verlorenen“ Spitze im Bohrloch. Das Rohr und der umgebende Bereich werden mit Zementmörtel verpresst. Diese Anker werden häufig im Lockergestein eingesetzt.

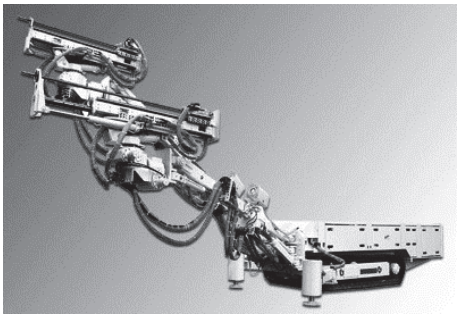


Abb. Fst-51: Spezial-Bohrwagen mit zwei Bohrlafetten der Fa. Mössinger + Wolter, Typ ABM-RS für Sprenglochbohrungen und das Bohren und Einbringen von Ankern im Klebeverfahren [V66]

Wesentliche Vor- und Nachteile der Anker:

Spreizanker:

– nach Einbau sofortige Tragwirkung,
– leicht nachzuspannen, wenn sie mit Zement vergossen sind,
– problemlos ausbaubar und gegebenenfalls weiterverwendbar,
– neigen zur Auflockerung und müssen daher überwacht werden.

Haftanker:

– Länge der Haftstrecke kann leicht an die zu übertragende Ankerkraft und an die Gebirgseigenschaften angepasst werden (besonders bei Kunstharzankern),
– wesentlich längere Einbauzeiten und damit höhere Kosten im Verhältnis zu Spreizankern,
– bei Zementmörtelankern wird Gesamttragfähigkeit erst erheblich verzögert erreicht.

7541014/10787806875Biblio

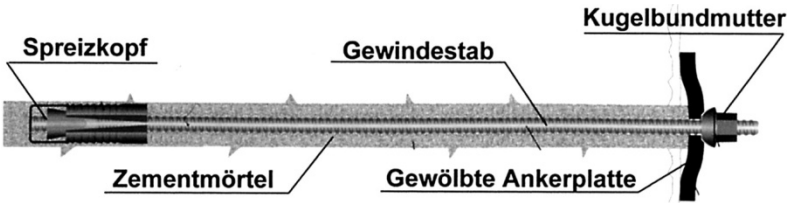


Abb. Fst-52: Beispiel für einen Spreizkopfanker System DYWIDAG [2]

4.6.3.6 Bohrtechnik

Heute wird mit Bohrraupen oder Bohrmaschinen gebohrt. In den letzten Jahrzehnten fand eine starke Entwicklung durch Umstellung von druckluftbetriebenen auf hydraulisch betriebene Bohreinrichtungen und Automatisierung der Bohrlochherstellung statt. Während um 1970 die Bohrleistung mit druckluftbetriebenen Bohrhämmern bei max. 100 m/h lag, beträgt sie heute mindestens 300 m/h.

- **Bohrgeräte**

Ein typisches Bohrgerät zeigt Abb. Fst-51. Das Einsteckende überträgt die Schlagenergie bzw. das Drehmoment vom Bohrhammer auf die Vortriebsstange. Die Lafette/Lafetten dient/dienen der Führung der Vortriebsstange, die die Schlagenergie, die Rotation und das Spülmedium an die Bohrkrone weitergibt.

Als Spülmedium kann Luft oder Wasser eingesetzt werden. Die Bohrkrone (Bohrwerkzeug) ist jener Teil des Bohrgerätes, der die eigentliche Zerkleinerungsarbeit leistet.

Die Bohrung dient überwiegend der Aufnahme des Sprengstoffes. Der Durchmesser der Bohrung hängt von der Art der Sprengung ab und beträgt i. d. R. zwischen ca. 20 mm und 130 mm, die Bohrlochlängen reichen von 3 m bis 5 m (entsprechend Abschlaglänge).

- **Bohrvorgang**

Beim Bohren wird das Gestein im Bohrlochtiefsten, der sogenannten Bohrlochsohle, schneidend (mittels Drehbewegung), schlagend (mittels Schlagenergie) oder drehschlagend zerkleinert und ausgespült. Entsprechend ihrer Wirkung werden die Bohrmaschinen nach der Art ihrer Arbeitsweise in Drehbohrmaschinen, Schlagbohrmaschinen und Drehschlagbohrmaschinen eingeteilt. Die Verfahren sind charakterisiert durch:

Drehbohren

– in weichem Gestein,
– durch kontinuierliche Drehbewegung und Anpressdruck wird das Gestein spanend abgehoben.

Schlagbohren (i. d. R. Drucklufthämmer)

– in hartem Gestein,
– intermittierendes Schlagen und Drehen des Bohrmeißels.

Drehschlagbohren (hydraulische Bohrhämmer)

– getrennte Dreh- und Schlagwerke, stufenloser Übergang zwischen drehendem und schlagendem Bohren,

7541014/10787806875Biblio

– kontinuierliche Rotation und permanenter Druckkontakt mit Bohrlochsohle,
– in hartem Gestein eher kerbende, in weichem Gestein eher spanende Bearbeitung,
– gute Energieausnützung,
– geringere Lärm- und Schmutzbelastung.

Im Tunnelbau kommen heute vorwiegend Drehschlagbohrmaschinen zum Einsatz. Die Drehzahl kann dabei unabhängig von der Schlagzahl festgelegt werden. Der Antrieb erfolgt i. d. R. ölhydraulisch.

- **Bohrkronen**

Für jede Bodenart stehen die geeigneten Bohrkronen zu Verfügung. Sollte der Boden sich unerwartet ändern ist keine Verfahrensänderung erforderlich, sondern nur ein Bohrkronenwechsel.

Die Bohrkronen bestehen aus den Werkzeugträgern und den Werkzeugeinsätzen (gesintertes Hartmetall). Die Hartmetalleinsätze können als Stift- oder Schneidenbohrkronen ausgeführt werden. In den Bohrkronen sind Spülöffnungen eingebracht sowie seitliche Spülkanäle zum Austragen des Bohrkleins. Eine Übersicht über die mögliche Ausführung von Bohrkronen gibt Abb. Fst-53.

Stiftbohrkronen haben Vorteile gegenüber **Schneidenbohrkronen** bei der Bohrgeschwindigkeit und dem Verschleißwiderstand. Schneidenbohrkronen sind jedoch kostengünstiger.

Sphärische Stifte werden insbesondere für feinkörniges, abrasives Gestein mit hoher Druckfestigkeit eingesetzt. Die Stifte sind kugelförmig ausgebildet.

Ballistische Stifte werden eher für grobkörniges, wenig abrasives, weiches Gestein verwendet, die Stifte haben eine parabolische oder kegelförmige Form. Schneidenbohrkronen kommen heute nur noch selten zum Einsatz. Sie werden vorwiegend zum Bohren von weichem Gestein verwendet.

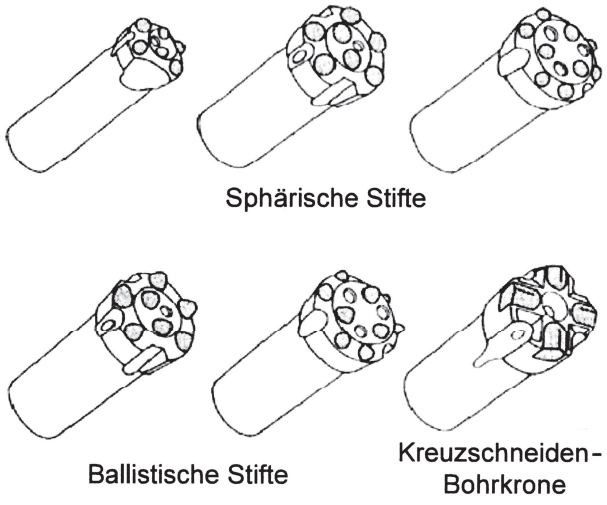


Abb. Fst-53: Beispiele für Bohrkronen [2]

7541014/10787806875Biblio

- **Automation bei der Ankerherstellung im Steinkohlenbergbau**

Ein Bericht der DSK aus Forschung und Technik

Der Bericht liegt zwar einige Jahre zurück, soll aber trotzdem zeigen, wie hoch der Entwicklungsstand in der DSK und der RAG war und ist.

Im Bereich der Flözstreckenauffahrung bei der Deutschen Steinkohle konnten erhebliche Erfolge erzielt werden bei der Erhöhung der Einsatzfälle von Ankertechnik als soforttragendem Ausbau vor Ort.

Für die Steigerung der Produktivität der Abbaubetriebe bei DSK ist es von entscheidender Bedeutung, den Betrieben sicher beherrschbare und ausreichend dimensionierte Strecken, auch in der Zweitnutzung, zur Verfügung zu stellen, die über ihre Lebensdauer einen möglichst geringen Sanierungs- und damit Kostenaufwand gewährleisten.

Dieses Ziel ist nach derzeitigem Entwicklungsstand am effektivsten durch das Einbringen von soforttragendem Ankerausbau vor Ort, in Verbindung mit weiteren, phasenweise eingebrachten Ausbaumitteln, erreichbar.

Um nun die Ankertechnik auch auf Lagerstättenbereiche mit Nebengesteinsverhältnissen, die durch ihre Wasserempfindlichkeit nicht oder nur bedingt ankerbar sind, ausweiten zu können, war es zwingend notwendig, wasserreduzierte bzw. wasserlose Bohrtechnik (Trockenbohrtechnik) für die DSK-Betriebe nutzbar zu machen.

Die operativen Ziele für den mit Bohr- und Sprengtechnik betriebenen Flözstreckenvortrieb geben eine Steigerung der durchschnittlichen Auffahrung, bei Beibehaltung der Querschnitte von ca. 28 m², auf 6 m pro Tag (m/d) vor. Um diese Leistungsansätze auch mit vor Ort eingesetzter Ankertechnik realisieren zu können, sind weitere Mechanisierungs- und Automatisierungsschritte erforderlich.

Über eines dieser Projekte berichtet die Ausarbeitung; sie beschreibt die Entwicklung und den Einsatz eines funkferngesteuerten Spreng- und Ankerbohrwagens auf dem Bergwerk Ost der Deutschen Steinkohle AG.

- **Einleitung**

In den Vorleistungsbetrieben der DSK werden jährlich ca. 80 km Strecken aufgefahren. Im Bereich der Flözstreckenauffahrung werden 35 % der aufgefahrenen Strecken vor Ort geankert.

Hierbei wird in den konventionellen Ankerstreckenvortrieben der Bohrwagen täglich bis zu 70 % für das Erstellen von Bohrlöchern benötigt. Dies sind sowohl die Sprengbohrlöcher als auch die Ankerbohrlöcher.

Mit einem Anteil von rund 45 % ist der Bohrwagen ausschließlich für die „Ausbauarbeit – Ankern“ eingesetzt.

Um in diesem Bereich – „Ausbauarbeit – Ankern“ – eine Leistungssteigerung zu erreichen, wurde für das Bergwerk Ost ein zweiarmiger Kompaktbohrwagen einseitig mit einer Funkfernsteuerung und einer Prismengripperlafette mit Hochleistungsbohrtechnik ausgerüstet.

7541014/10787806875Biblio

- **Zielsetzung**

Die im deutschen Steinkohlenbergbau eingesetzten Vortriebsgeräte werden über hydraulische oder direkt gesteuerte Bedienungshebel gesteuert. Diese Bedienungselemente sind im Fahrerstand der Betriebsmittel integriert. Der Maschinenfahrer kann nur von diesem Fahrerstand aus die Funktionen betätigen.

Einige Hersteller bieten zwar ein abgesetztes mobiles Fahrpult an, das jedoch durch ein Schlauchbündel mit den Betriebsmitteln verbunden ist.

Der Aktionsradius, die Bewegungsmöglichkeit und die Akzeptanz dieser „Quasi-Fernbedienung“ werden durch die Leitungsverbindung und das hohe Gewicht des abgesetzten Fahrpultes erheblich eingeschränkt.

Im Rahmen des FE-Vorhabens „Funkfernsteuerung für elektrohydraulisch angetriebene, ortsveränderliche Betriebsmittel mit Kettenfahrwerken“ wurde nach ergonomischen Gesichtspunkten eine universell einsetzbare Fernsteuerung entwickelt, die dem Geräteführer eine freie Positionierung ermöglicht.

Diese Funkfernsteuerung erlaubt es, alle Funktionen des Betriebsmittels, unabhängig vom Fahrerstand und vom jeweils günstigsten Standort mit Sicht auf die Arbeitsvorgänge, zu bedienen. Das Sendegerät kann ohne grundlegenden Umbau auf den verschiedensten Vortriebsgeräten zum Einsatz kommen. Die Energieversorgung erfolgt über einen Wechselakku, dessen Kapazität für eine 8-Std.-Schicht ausreicht. Von diesem tragbaren, ergonomisch gestalteten Bedien- und Sendegerät werden die Befehle auf funktechnischem Weg zu einem auf dem Betriebsmittel montierten, eigensicheren Empfangsgerät übertragen. Auf dem Bedienpult sind Taster, Schalter und Joysticks angeordnet.

Diese Befehlsgeber werden benötigt, um die einzelnen Funktionen auszulösen. Weiterhin ist das Steuerpult mit einem Maschinen-Sofort-Stoppschalter ausgerüstet, um bei Bedarf alle Steuerbefehle sofort unterbrechen zu können. Aus Sicherheitsgründen muss zunächst ein Totmann-Taster betätigt werden, bevor die Steuerbefehle übertragen werden können.

Beim Abreißen der Trägerfrequenz zwischen dem Funkempfänger und dem Funksender fällt die Anlage sofort in einen sicheren Betriebszustand, das heißt, sie schaltet ab. Das Empfangsgerät ist von seinen Abmessungen her so gestaltet, dass es ohne gravierende mechanische Umbauten in möglichst viele verschiedene Vortriebsgeräte integriert werden kann.

Die Übertragungstechnik ist für den Einsatz unter Tage speziell angepasst, da die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen unter Tage äußerst komplexen Einflussgrößen unterliegt, die die Übertragungszuverlässigkeit und Reichweite, abhängig vom jeweiligen Einsatzfall, stark beeinflussen. Die elektrischen Bauteile der Funkfernsteuerung entsprechen den jeweils gültigen Bestimmungen, Vorschriften und Richtlinien.

Um die Steuerbefehle der Funkfernsteuerung verarbeiten zu können, wurde der IKM-Rechner, ein frei programmierbarer Rechner (SPS) eingesetzt. Die Abkürzung IKM steht hierbei für „intelligentes Koppelmodul“.

An diesen Steuerrechner ist der Funkempfänger angeschlossen. Dieser Steuerrechner (IKM) setzt die Ansteuerbefehle über einen seriellen Datenbus um, der die Bausteine für die Proportional- und S/W-Ventile ansteuert.

7541014/10787806875Biblio

Zusätzlich werden die Ein- und Ausgänge des IKM genutzt, um Drücke zu überwachen und Sicherheitsfunktionen zu realisieren. Hierzu gehören weitere Sicherheitsventile und Stillsetzeinrichtungen.

In dem IKM werden verschiedene Arbeitsabläufe des Bohr- und Ankervorganges programmiert. Diese vorprogrammierten Arbeitsvorgänge laufen in Abhängigkeit von Zeit und Druck automatisch in einer logischen Folgesteuerung ab. Eine Doppelstromversorgung gewährleistet zum einen die Versorgung der Steuerungstechnik, zum anderen die Stromversorgung der Ventilmagnete. Die Ventilmagnete sind an den Ausgangstreiberbaustein angeschlossen. Sie werden zur Ansteuerung aller hydraulischen Funktionen benötigt. Diese Ventile sind sowohl als Proportionalventile, als auch als Schwarz-Weiß-Ventile ausgeführt.

- **Stand der Verfahrenstechnik**

Ein moderner Bohrwagen in Kompaktbauweise für den Streckenvortrieb bei der DSK ist standardmäßig ausgestattet mit:

– teleskopierbarer Prismenlafette (standardisiert),
– teleskopierbarem Bohrarm – eine Anforderung aus der Ankerarbeit,
– doppeltem Drehtrieb,
– Hochleistungsschlagbohrhammer mit modernem Dämpfungssystem,
– alternativ dazu mit Drehbohrmaschine.

Diese Bohrwagen werden unter Tage in Abhängigkeit von der Anzahl der zu bohrenden Sprengbohrlöcher in ein- oder zweiarmiger Ausführung eingesetzt und erfüllen in der Streckenauffahrung zwei Aufgaben:

– Erstellen von Spreng- und Ankerbohrlöchern,
– Einbringen vollverklebter Anker.

Die teleskopierbaren Bohrarme ermöglichen das Herstellen mehrerer Ankerreihen aus einer Position.

Der Einsatz von Teleskoplafetten ist notwendig, um bei geringen Streckenhöhen und damit kurzer Lafettenlänge zum Ankern auch Abschlaglängen von 3,20 m abbohren zu können.

Die Lafetten können austeleskopiert eingesetzt werden für das Bohren langer Abschlaglängen und einteleskopiert für das Bohren bei geringer Streckenhöhe. Für die Ankerarbeit stehen kompatible Anbauteile zur Verfügung, wie verschiedene hydraulische Bohrstahlführungen, Klappbalken, Stangenlöseschlüssel und Grippereinrichtungen.

Das Konzept der Gripperlafette beinhaltet folgende Zielvorgaben:

– Herstellen von Spreng- und Ankerbohrlöchern mit hoher Geschwindigkeit im Durchmesser 33 mm bis 51 mm.
– Herstellen von Verlängerungsbohrlöchern mit hoher Geschwindigkeit im Durchmesser 48 mm bis 51 mm (möglich auch 57 mm bis 74 mm).
– Herstellen von Einbruchlöchern mit hoher Geschwindigkeit im Durchmesser bis 74 mm.
– Eindrehen von Kunstharzmörtelankern in Durchmessern von 25 mm bis 33 mm und einer Gesamtlänge von 2.500 mm–3.000 mm.

7541014/10787806875Biblio

- Die Anker müssen mit üblichen Kalottenplatten einsetzbar sein.
- Reduzierung des durchschnittlichen Gesamtzeitaufwandes für einen Anker auf 3,5 min.
- Reduzierung des Bohrwerkzeugverbrauches.
- Verbesserung der Hammerstandzeiten.
- Einsatz moderner hydraulischer Steuerungstechnik.
- Einfache und schnelle Bedienung mit Kollisionsüberwachung.
- Geringer Wartungsaufwand.
- Wahlweise Adaptierbarkeit einer Drehbohrmaschine.
- Weitgehende Beibehaltung bisheriger Trägerkomponenten.

Gripperlafetten nach diesen Vorgaben werden bereits in verschiedenen Varianten gebaut und eingesetzt. Das Konzept für das Bergwerk Ost sieht den Einsatz einer weiterentwickelten Gripperlafette mit Teleskop vor, die wahlweise zur Erstellung von Sprengbohrlöchern und zum Ankern einsetzbar ist. Alternativ ist das Verlängerungsbohren ebenfalls möglich. Die Bohrlafette ist als verwindungssteife Konstruktion mit sehr exakten Gleitführungen ausgelegt, die ein sicheres und höhengleiches Zusammenfahren der Gestängeverbindungen ermöglichen. An Stelle des bisherigen Klappbalkens wurde ein sogenannter zweiflügeliger Gripper zum Ein- und Ausschwenken des Bohrstahles an den Grundrahmen der Bohrlafette angepasst.

Die vordere Bohrstahlführung wird hydraulisch ausgeführt, die im Normaleinsatz nur als Führung des Bohrstahls mit geeigneten Führungselementen genutzt wird.

Im Sonderfall wird sie zur Klemmvorrichtung (erforderlich beim Verlängerungsbohren) umgerüstet. Die Öffnung erfolgt nach oben, eine seitliche Verschwenkbarkeit ist ebenfalls möglich.

Zur Verbesserung des Gesamtzeitaufwandes für das Setzen eines Ankers ist die Bohrgeschwindigkeit ein wesentlicher Faktor. Hohe Bohrgeschwindigkeiten können nur erreicht werden, wenn leistungsfähige Bohrhämmer im Einsatz sind und die Bohrwerkzeuge den Belastungen standhalten.

Die eingeleitete Energie muss optimal und möglichst verlustfrei in Bohrfortschritt umgesetzt werden.

Als Bohrwerkzeuge werden EE R38 mit Bohrstangen R 38 – Hex 32 – R 32 zum Sprenglochbohren und Bohrstangen R 38 – Hex 28 – R 25 zum Ankern eingesetzt. Zum Verlängerungsbohren werden EE 32 mit Bohrstangen R 32 – Hex 32 – R 32 verwendet.

Der Ankerzyklus beginnt mit dem Ansetzen der Lafette am Gebirge und dem Erstellen der Bohrung.

Nach Rückzug des Bohrhammers in die Ausgangsstellung wird der Gripper hydraulisch eingeschwenkt, umschließt den Bohrstahl an zwei Punkten und sichert ihn gegen Rotation.

Durch Rechtsdrehen des Bohrhammers wird das Einsteckende aus der Bohrstangenmuffe gelöst. Die Bohrstange wird mit dem Gripper bei gleichzeitig geöffneter vorderer Bohrstahlführung ausgeschwenkt.

7541014/10787806875Biblio

Der Bohrlochmund liegt frei. Durch die geöffnete vordere Bohrstahlführung kann die Patronensäule in das Bohrloch eingebracht werden, wobei die Bohrlafette über den Stützdorn gegen das Gebirge verspannt bleibt.

Der Einbau der Patronen erfolgt durch Einschieben mit Hilfe einer herkömmlichen Ladehilfe (Laderohr mit Ladestock). Hierbei wird die gesamte Ladesäule von drei Patronen in einem Arbeitsgang in das Bohrloch eingebracht. Das Einsteckende des Bohrhammers wird gleichzeitig mit dem Einschieben der Patronen oder im Anschluss daran mit einem Ankersetzschlüssel bestückt. Nach Einsetzen des Ankers in den Ankerschlüssel wird die vordere Bohrstahlführung wieder geschlossen und übernimmt die Führung des Ankers. Das manuelle Einführen des Ankers in den Bohrlochmund entfällt.

Das Eindrehen des Ankers erfolgt über das Drehwerk des Bohrhammers und den Hammervorschubzylinder. Drehmoment, Drehzahl und Vorschubkraft sind entsprechend den ausbautechnischen Anforderungen für das Einbringen und Setzen vollverklebter Anker eingestellt.

Vor Erreichen der Ankerendposition wird die hydraulische Bohrstahlführung geöffnet, um die Durchfahrt der Kalottenplatte zu ermöglichen. Das Drehwerk wird bei Erreichen der Ankerendposition stillgesetzt, der Bohrhammer wird nach der entsprechenden Wartezeit in die Ausgangsstellung zurückgefahren.

Dann wird der Ankersetzschlüssel gelöst, die Bohrstange eingeschwenkt und die vordere Bohrstahlführung geschlossen, der Gripper geöffnet und ausgeschwenkt.

Der Ankerzyklus ist damit beendet und die Bohrlafette wird auf die nächste Bohrung eingerichtet. Mit dem beschriebenen Arbeitsablauf wird deutlich, wie komplex der Arbeitsvorgang Ankern eigentlich ist.

In den 17 einzelnen Teilarbeitsvorgängen werden die Gripperfunktionen ständig benötigt. An dieser äußerst komplexen Bedienung und Arbeitsabfolge ist der Einsatz der Grippertechnik bei DSK bisher gescheitert.

Mit der elektrohydraulischen Ausrüstung des Bohrwagens zur Realisierung der Fernbedienbarkeit über Funk ergab sich nun die Möglichkeit, eine Programmierbarkeit der Arbeitsvorgänge mittels des IKM-Rechners zu realisieren und die Vorgänge so zum Teil zu automatisieren. Der IKM ist vor die Steuerventile geschaltet und verarbeitet die Informationen, die über den Empfänger der Fernbedienung hereinkommen.

Die Steuerventile für die Bohrarm- und Lafettenfunktionen sind als elektrohydraulische Proportionalventile ausgeführt. Alle anderen Ventile sind elektrohydraulische Schwarz-Weiß-Ventile. Im IKM sind u. a. die im Arbeitsablauf rot gekennzeichneten Arbeitsvorgänge als Folgefunktionen druck- und zeitabhängig programmiert.

Nachfolgend ist eine theoretische Abschätzung des Zeitaufwandes für das Einbringen eines Ankers unter Berücksichtigung gleicher Eckdaten dargestellt:

Auf die bisherigen Betriebsergebnisse wird im Anschluss eingegangen.

Zum Sprenglochbohren wird die Gripperlafette, abhängig vom Bohrlochdurchmesser und den Gesteinseigenschaften, in der Regel mit einem Bohrstrang R 38 – Hex 32 – R 32 bestückt. Die Bohrlochdurchmesser betragen 45 mm oder 51 mm. Für einen Paralleleinbruch sind auch Großbohrlöcher mit 74 mm Durchmesser möglich.

7541014/10787806875Biblio

Der Zeitaufwand für das Herstellen eines Sprengbohrloches mit 51 mm Durchmesser und einer Länge von 3 m beträgt einschließlich des Umsetzens der Gripperlafette ca. 1,3 bis 1,5 Minuten.

Die zu erwartenden Vorteile:

- Die Zykluszeit für das Einbringen eines Ankers einschließlich Umsetzen der Lafette soll verringert werden.
- Das Umsetzen der Lafette insbesondere im Bereich der Ankerlöcher erfolgt schneller und exakter (kein mehrmaliges Anfahren aufgrund der Maschenteilung).
- Der Geräteführer kann sich frei positionieren und somit den Bohrvorgang optimal einsehen.
- Durch die Nähe des Geräteführers zum Bohrgerät werden Parallaxefehler vermieden. Durch die bessere Einsicht kann beim Sprenglochbohren profilgenauer gebohrt und somit Mehrausbruch minimiert werden.
- Bei Bohrwagen mit konventioneller hydraulischer Steuerung (mit Ladekorb) entfällt die Verschlauchung zur Verknüpfung des Steuerstandes mit dem Trägergerät.
- Zusätzlich entfällt bei Bohrwagen mit und ohne Ladekorb die Verschlauchung der Vorsteuerventile mit den Hauptsteuerventilen. Dies vereinfacht erheblich die Wartung und die Betriebssicherheit.
- Die Raumersparnis in der Maschinenkammer kann für andere Aggregate verwendet werden, wie z. B. den Einbau eines Nachverdichters für eine Druckluft-Wasserspülung zum Bohren.
- Darüber hinaus werden eine Erhöhung der Arbeitssicherheit sowie eine Erhöhung der Betriebssicherheit des eingesetzten Equipments erwartet.
- Des Weiteren kann der Geräteführer auch Teilarbeitsvorgänge beim Ankern, wie zum Beispiel das Einsetzen des Ankerschlüssels oder des Ankers, übernehmen. Eine Personalreduzierung ist möglich, der Arbeitsablauf gestaltet sich sicherer und ergonomischer.

Ebenfalls automatisiert ist der Löse- bzw. Verschraubvorgang der Bohrstange durch Rechts- bzw. Linksrotation mit dem Vor- und Rückhub des Bohrhammers, um auch hier die Bedienung zu vereinfachen.

Des Weiteren kann der Geräteführer auch Teilarbeitsvorgänge beim Ankern, wie zum Beispiel das Einsetzen des Ankerschlüssels oder des Ankers, übernehmen. Eine Personalreduzierung ist möglich, der Arbeitsablauf gestaltet sich sicherer und ergonomischer.

Durch den Einsatz von IKM-Rechnern mit Proportionalventiltechnik zur Steuerung werden optimale kinematische Funktionsgeschwindigkeiten zum Einrichten von Bohrarm und Lafette ermöglicht. Gleichfalls werden zusätzliche Wärmequellen aufgrund der nicht mehr benötigten Drosselung vermieden. Durch den Einsatz des IKM-Rechners erhält man eine intelligente und reaktionsschnelle Bohrsteuerung.

So werden die Parameter für die Anbohrstufe, die stufenlose Übergangsschaltung, die Schlagwerkszu- und -abschaltung und die Antifestbohrautomatik rechnergestützt überwacht und auch gesteuert. Dies hat ein wesentlich werkzeugschonenderes Bohren zur Folge.

Im Folgenden werden die bisherigen Erfahrungen mit dieser Technik im Betrieb des Bergwerkes Ost geschildert.

7541014/10787806875Biblio

Das Bergwerk Ost liegt im östlichen Ruhrgebiet in der Stadt Hamm. Es ist am 01.04.1998 im Rahmen der kohlepolitischen Beschlüsse von 1997 aus den beiden Bergwerken Heinrich Robert und Haus Aden/Monopol entstanden.

Der betrachtete Streckenvortrieb liegt im Baufeld Heinrich Robert im Flöz Sonnenschein in einer Teufe von ca. 1.100 m. Die Auffahrung dieser Flözstrecke dient dem Aufschluss der Bauhöhe S 704, die im Frühjahr 2004 anlaufen sollte.

Dazu wurden bereits 2003 die Kohlenabfuhrstrecke und anschließend die Startstrecke aufgefahren, aus der der Abbaubetrieb später entwickelt werden soll. Der gesamte Auffahrungszug hat eine Länge von insgesamt 1.580 m.

Für die Strecke ist eine zweimalige Nutzung im Abbau vorgesehen. Um den hohen Anforderungen an die Strecke bei der zweiten Nutzung gerecht zu werden, und aus den Erfahrungen mit doppelt genutzten Strecken aus früheren Bauhöhen im Flöz Sonnenschein, wurde entschieden, diese Strecke im Kombiausbau Typ A aufzufahren. Bei diesem Verfahren wird in der ersten Phase nach der Spreng- und Ladearbeit eine sofort tragende Systemankerung vor Ort eingebracht, die keine weiteren Auflockerungen im Gebirgskörper zulässt. Dazu werden mit einem Sprengloch- und Ankerbohrwagen 2,50 m lange Anker ins Gebirge eingebracht und mit Kunstharzpatronen voll verklebt.

In der zweiten Ausbauphase wird ca. 30 m bis 40 m hinter der Ortsbrust der Bogenausbau mittels eines Ausbaumanipulators eingebracht und anschließend in der dritten Ausbauphase mit Baustoff hinterfüllt. So wird eine vollständige Anlage des Stahlausbaus an das Gebirge erreicht; die tragende Wirkung des gesamten Ausbausystems kann vollständig wirksam werden.

Betriebsausstattung

Folgende Betriebsmittel sind in der Auffahrung S 704 im Einsatz:

- Der beschriebene Spreng- und Ankerbohrwagen BTRK 2 der Firma DH (Deilmann u. Haniel); der linke Bohrarm (Bohrarm für die Ankerarbeit) ist funkferngesteuert, der rechte Bohrarm hat eine konventionelle Hydrauliksteuerung, Ankerstandbühne GTA 6200, als Hilfsbühne für die Anker- und Sprengarbeit vor Ort.
- Ein Seitenkipplader G 211 der Firma DH mit 2.000 l Schaufelinhalt für das Laden des Haufwerks.
- Ein raupengeführter Ausbaumanipulator des Typs VM 1 der Fa. DH zum Einbringen des Ausbaus.
- Eine schwenkbare Arbeitsbühne GTA 5400 für das Vervollständigen des Ausbaus mit Verzug, Verbolzungen etc.
- Die Baustoffanlage für die Hinterfüllung.
- Das Haufwerk wird über einen Förderer PF 3.26 mit Firstverspreizung auf eine 1.400 mm breite Bandanlage aufgegeben und von dort der Hauptbandanlage des Bergwerks zugeführt.
- Um Doppelarbeiten zu vermeiden, wird bereits in der Auffahrung der Strecke die endgültige Bandanlage für den Abbaubetrieb installiert.
- Die Strecke wird mit einer Breite von 7,2 m und einer Höhe von 4,7 m aufgefahren. Um die erforderliche Ankertragkraft von 340 KN zu gewährleisten, werden die 2,50 m langen Anker mit einem Abstand von 0,8 m in das Gebirge eingebracht.

7541014/10787806875Biblio

Der Abstand zur nächsten Reihe beträgt einen Meter, pro Meter Auffahrung werden dementsprechend 12 Anker/m eingebracht, das entspricht einer Ankerdichte im Gestein von 1,28 Anker/m².

- **Auffahrdaten**

Die Gesamtauffahrung in der Kohlenabfuhrstrecke betrug 1.280 m.

- **Betriebserfahrungen**

Der Betrieb wurde im Oktober 2002 auf seine endgültige technische Ausstattung umgebaut, die Mannschaft, vorher im Abbau tätig, wurde intensiv auf die neue Aufgabe vorbereitet. Dazu wurden Schulungen im DSK-eigenen Maschinenübungszentrum in Recklinghausen durchgeführt.

Hier wurde an einem zweiarmigen Bohrwagen die Bohr- und Ankertechnik theoretisch und praktisch trainiert. Allerdings konnte hier noch keine Funkfernsteuerung zur Verfügung gestellt werden.

In der Startphase traten trotz der hohen Motivation der Mannschaft und intensiver Begleitung durch Fachleute Probleme im Umgang mit der neuen Technik auf. Da bei der Funkfernsteuerung einige Bedienungselemente mit mehreren Funktionen belegt sind, erfordert die Handhabung des Steuerungspultes eine längere Übungsphase, die zunächst zu einer längeren Zykluszeit führte.

Mittlerweile ist die Vor-Ort-Mannschaft „fit“ im Umgang mit der Steuerung, die Zeiten haben sich auf einem guten Niveau stabilisiert. Auch die Handhabung der Gripperlafette erforderte zunächst ein Umdenken bei den Mitarbeitern, da die programmierten Abläufe beim Ankervorgang eingehalten werden müssen.

Nach Aussage der Mannschaft ist eine weitere Verbesserung im Ablauf zu erwarten, wenn alle Funktionen „blind“ beherrscht werden, zurzeit müssen einige Handgriffe noch visuell kontrolliert werden. Seit Einsatz der neuen Technik sind im Betrieb ca. 16.500 Bohrmeter geankert und 2.600 Bohrmeter für den Abschlag gebohrt worden.

Folgende im Projekt identifizierte Verbesserungspotentiale wurden realisiert:

- Es gab weder an der Funkfernsteuerung noch an der Gripperlafette nennenswerte technische Defekte, so dass die Technik als robust und für den Betrieb geeignet bezeichnet werden kann.
- Die Abläufe beim Ankern, ausgedrückt durch die Zykluszeit je Anker, erreicht mit derzeit ca. 4.0 min./Anker noch nicht die Vorgaben von 3,5 min./Anker aus dem Projekt.
- Sie liegt aber deutlich besser als der Durchschnitt von 5,0 min./Anker, der mit der bisherigen Technik erreicht wird. Durch die gute Sicht des Bedieners beim Sprenglochbohren mit der funkferngesteuerten Lafette konnte der Mehrausbruch, hervorgerufen durch Bohrfehler im Kranzbereich, um ca. 30 % reduziert werden.
- Es kam während der gesamten Auffahrung zu keinem Arbeitsunfall im Bohr- und Ankervorgang, die Gefahr der Handlingsunfälle wird durch die Teilautomatisierung des Vorgangs erheblich reduziert.

7541014/10787806875Biblio

- Durch die Reduzierung der Verschlauchung ist die Wartung wesentlich vereinfacht, die Betriebssicherheit am linken Bohrarm wurde deutlich gesteigert. Abschließende Aussagen, auch zu der erreichten Kostenreduzierung, werden nach Abschluss des Pilotbetriebes erstellt.
- Die Auffahrgeschwindigkeit konnte von 3,6 m/d auf 4,5 m/d gesteigert werden, was sicherlich auch auf die erreichten Verbesserungen durch den Einsatz der funkferngesteuerten, teilautomatisierten Grippertechnik zurückzuführen ist.

- **Zusammenfassung**

Die für den Steinkohlenbergbau entwickelte elektrohydraulische Funkfernsteuerung für raupengeführte, ortsveränderliche Betriebsmittel bietet für die Zukunft eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten in den Betrieben der DSK.

Im bisherigen Pilotbetrieb an einem zweiarmigen Kompaktbohrwagen auf dem Bergwerk Ost hat sie die Betriebstauglichkeit nachgewiesen.

Zusammen mit dem Einsatz einer modifizierten Gripperlafette konnte der komplexe Vorgang „Anker setzen“ im Zyklus Ausbauen teilautomatisiert und beschleunigt durchgeführt werden.

Die Arbeitssicherheit wurde durch die nun bessere Positionierung des Bedieners beim Sprengloch- und Ankerbohren deutlich erhöht. Ob sich die Investitionskosten von ca. 75.000 € für die Steuerung im vertretbaren Zeitraum amortisieren, ist erst nach Abschluss des Pilotversuches zu beantworten. Dies ist auch davon abhängig ob es gelingt, den Personalbedarf vor Ort durch den Einsatz der Funkfernsteuerung zu senken.

Quelle: DSK u. RAG aus dem Tunnelbaukolloqium der TU Clausthal-Zellerfeld, Oktober 2002, Harald Jurecka, Abteilung Technik unter Tage – zur Verfügung gestellt von der RAG

Abb. Fst-54a: Zweiarmiger Bohrwagen Deilmann-Haniel Typ dh DT2, Motorleistung: 75 kW, Länge: 12,1 m, Breite: 1,70 m, Gewicht: 22,5 t, Funkfernsteuerung [V63]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-54b: Bohrlafette zum dh DT2 Bohrhammer dh DP 15 Drehbohreinrichtung: dh DP160 [V63]

4.6.3.7 Laden, Besetzen, Sprengen

Zu diesen Arbeiten siehe das Kap. F: Grundlagen der Sprengtechnik. Nachfolgend einige zusätzliche Erläuterungen für die reinen Gesteinsbetriebe und den Tunnelbau.

- **Eigenschaften der Sprengstoffe**

Sprengstoffe sind leicht brennbare Kohlenstoffverbindungen mit Sauerstoffträgern, die bei Zündung (erzeugt durch eine kleine Explosion) schlagartig verbrennen. Sprengstoffe entwickeln bei Detonation einerseits eine scherende Deformationsleistung und zum Zweiten eine großes Gasvolumen. Der Detonationsstoß (thermodynamischer Druckabschnitt) breitet sich dabei mit bis zu 8.000 m/s im Gebirge aus. Bei Entwicklung des Gasvolumens (Sprengschwaden) werden Gasdrücke von ungefähr 10^4 bar erreicht, bei einer Einwirkzeit von 10^{-4} s bis 10^{-1} s.

Durch die scherende Wirkung wird das Gebirge in unmittelbarer Nähe des detonierenden Sprengstoffs zermalmt. In weiterer Entfernung wird das Gebirge aufgerissen, hier setzt der Gasdruck ein und treibt das Gebirge noch weiter auseinander. Die dabei entstehende Expansion erzeugt die eigentliche Sprengwirkung.

In reinen Gesteinsvortrieben und im Tunnelbau werden überwiegend folgende Sprengstoffe verwendet:

– Gelatinöse Ammonsalpeter-Sprengstoffe (Ersatz des Dynamits): Plastisch-knetbar, Lieferung erfolgt in PE-Schläuchen mit einem Durchmesser von ca. 30 mm und Längen bis 700 mm.
– Pulverförmige Ammonsalpeter-Sprengstoffe: Lieferform in Patronen, Sprengstoff ist feuchtigkeitsempfindlich (hygroskopische Eigenschaften). Patronierte Sprengstoffe haben stets einen um ca. 10 mm kleineren Durchmesser als das Bohrloch.

Im Untertageeinsatz dürfen nur Sprengstoffe eingesetzt werden, die für den jeweiligen Betriebspunkt erlaubt bzw. vorgeschrieben sind.

7541014/10787806875Biblio

- **Neuere Entwicklungen von Sprengstoffen im Tunnelbau**

– Emulsionssprengstoffe: Gemische aus Öl (Brennstoff) und Salzlösungen (Sauerstoff). Lieferung entweder als pumpfähiger Sprengstoff oder in Patronenform. Im Vergleich zu gelatinösen Sprengstoffen besitzen sie etwas geringere Sprengleistung, jedoch weniger toxische Bestandteile in den Schwaden, wodurch sich die Lüftungszeiten verkürzen (Einsatz z. B. beim Bau des Gotthard-Tunnels). Einsatz im Untertagebau nur, wenn sie zugelassen sind.

- **Zündmittel**

Heute kommen vorwiegend zum Einsatz:

– elektrische Sprengzünder,
– elektronische Zünder,
– nicht elektrische Zünder,
– Sprengschnüre (im Steinkohlenbergbau nicht zugelassen).

Zündmittel sind Hilfsmittel zum Auslösen einer Sprengung. Der Grund für das Erfordernis von Zündmitteln ist, dass Sprengstoffe, die heute hauptsächlich im Tunnelbau verwendet werden, so handhabungssicher sind, dass sie nicht direkt durch eine Zeitzündschnur oder Flamme zur Detonation gebracht werden können. Es werden für eine Zündung eine **Primär-** und eine **Sekundärladung** benötigt.

Die Primärladung kann im Gegensatz zur Sekundärladung durch Flammenbildung gezündet werden und soll anschließend die Detonation zuverlässig auf die Sekundärladung (brisanter Sprengstoff) übertragen, wodurch die Detonation der Sprengladung ausgelöst wird.

Die Zündung einer Sprengladung läuft folgendermaßen ab:

– Aufladen der Kondensatoren,
– Auslösen der Zündung,
– Ablauf der Verzögerung steuert Wirkung der Zündpille,
– Detonation der Primärladung,
– Detonation der Sekundärladung,
– Detonation der Sprengladung.

- **Ladungsanordnung und Zündfolge**

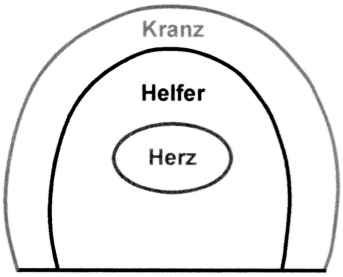
Das Ziel einer Sprengung ist es, das Gebirge in leicht zu transportierende Stücke zu brechen. Dabei soll das vorgesehene Profil möglichst genau eingehalten werden, damit kein Über- oder Unterprofil entsteht. Eine Auflockerung des umgebenden Gebirges muss auf jeden Fall vermieden werden.

Da das Gebirge einen maßgeblichen Anteil an der Gesamttragwirkung der Tunnel- bzw. Streckenkonstruktion hat, darf es beim Sprengen nicht zerstört werden. Folgendes Vorgehen hat sich als geeignet herausgestellt:

– Bohrlöcher werden im Kranz in engem Abstand angeordnet und nur schwach geladen. Die zwischen Bohrloch und Patrone liegende Luft dämpft die Detonation.
– Zuerst erfolgt die Sprengung des Herz-, dann des Helfer- und anschließend des Kranzbereichs im Millisekundenabstand. Das Material wird dabei zur freien Fläche geschoben.

7541014/10787806875Biblio

– Durch den Besatz (Verschließen des Bohrlochs) kann die Sprengwirkung erhöht werden. Aufgrund des großen Arbeitsaufwandes wird diese Maßnahme jedoch nur selten ausgeführt.



Zündfolge:

1 Herz (Einbruch)
2 Helfer
3 Kranz

Abb. Fst-54c: Zündfolge [1]

- **Einbrucharten**

- **Paralleleinbrüche**

Die Bohrungen werden parallel zueinander in die Ortsbrust gebohrt. Paralleleinbrüche haben den Vorteil der einfachen Bohrgeometrie und der großen erzielbaren Abschlagstiefen. Paralleleinbrüche werden unterschieden in:

– Staffeleinbruch,
– Brennereinbruch (besetzte Bohrungen wechseln mit Leerbohrungen),
– Großbohrlocheinbruch (Einbruch auf Großbohrlöcher).

- **Schrägeinbrüche**

Der Fels wird durch den Gasdruck herausgeschoben und gleichzeitig zertrümmert. Schrägeinbrüche haben eine energetisch günstige Wurfform. Es besteht allerdings die Gefahr der Überschneidung von Bohrlöchern und ein damit verbundener geringerer Wirkungsgrad. Schrägeinbrüche können eingeteilt werden in:

– Keileinbruch,
– Kegel- oder Pyramideneinbruch,
– Fächereinbruch.

Die oben angeführten Parallel- und Schrägeinbrüche sind in Abb. Fst-54d schematisch dargestellt. Leerbohrungen werden durch gestrichelte Linien (Längsschnitt) bzw. nicht ausgefüllte Kreise (Querschnitt) gekennzeichnet.

Heute kommen im Tunnelbau vorwiegend Keil- und Großbohrlocheinbrüche zum Einsatz. Beim Großbohrlocheinbruch müssen die Großbohrlöcher mit speziellen Bohrgeräten hergestellt werden (Salzbergbau).

- **Einflussfaktoren auf die Größe des Abschlags**

Auf das Sprengverhalten haben verschiedene Faktoren Einfluss. Dabei wird unterschieden zwischen geologischen und petrographischen Einflussgrößen, die zusammen die technologischen Einflussgrößen bestimmen. Die geologischen Größen wie die Schichtung und Struktur wirken sich auf die Lösbarkeit des Gesteins und die Wirksamkeit der Sprengenergie aus. Die petrographischen Einflussgrößen, hierbei vor allem der Mineralbestand (Quarzanteil), bestimmen maßgeblich die Bohrbarkeit der Löcher.

7541014/10787806875Biblio

- **Gebirgsschonendes Sprengen**

Unter gebirgsschonendem Sprengen versteht man das Sprengen, bei dem die Erschütterung auf ein Minimum reduziert wird. Die Vorteile eines gebirgsschonenden Sprengens sind:

– höhere Profilgenauigkeit und damit verbundener geringerer Mehrausbruch,
– Schonung des Gebirges und damit verbundene höhere Standfestigkeit des Gebirges und geringere Ausbaukosten,
– verminderte Unfallgefahr durch bessere Gebirgseigenschaften,
– geringere Erschütterungen in Hinblick auf die Nachbarschaft.

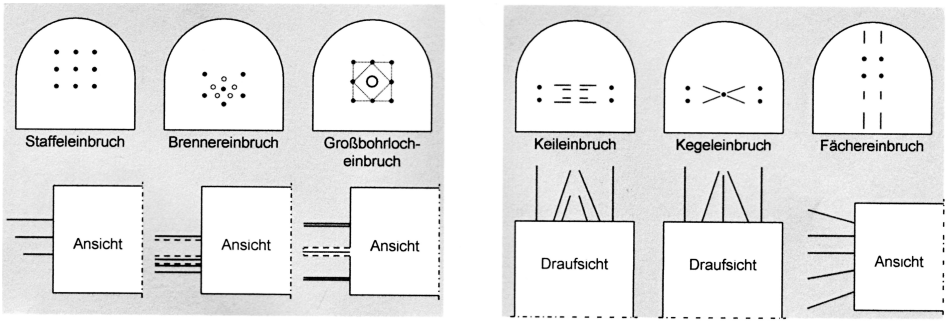


Abb. Fst-54d: Einbrucharten [1]

Beim gebirgsschonenden Sprengen werden kürzere Abschlagslängen vorgesehen. Damit sind geringere Ladungsmengen erforderlich. Ebenso sollten die Ladungsmengen je Bohrloch begrenzt, dafür aber mehr Bohrlöcher und Bohrmeter ausgeführt werden. Dies trifft insbesondere auf den Profilrand zu.

Die Begrenzung der Ladungsmenge soll dafür sorgen, dass das anstehende Gebirge nicht übermäßig durch Risse geschwächt wird oder ein Mehrausbruch entsteht. Es soll also zielgerichtet gesprengt und die Energie möglichst effektiv eingesetzt werden.

Für die Sprengung selbst müssen die Zündzeitstufen für den Kranz durch Kombination von Millisekundenzündern auf die Sprengung des Innenteils abgestimmt werden.
Bei Zündung in einem Zündgang sollte der Abstand der Zeitstufen des Innenteils und des Kranzes etwa 50 ms bis 100 ms betragen, hängt aber auch von der Druckausbreitungsgeschwindigkeit und der Querschnittsgröße ab. Für profilgenaues Sprengen empfiehlt sich, auch mit einer Reihe von Leerbohrungen die Sollbruchstelle vorzugeben oder den Rand des Tunnels zu fräsen statt zu sprengen (keine Sprengrisse im angrenzenden Gebirge).

4.6.3.8 Lüften

Die beim Sprengen entstehenden Sprengstoffschwaden sind giftig; der entstehende Staub ist im Hinblick auf Silikose ebenfalls gefährlich. Nach jedem Abschlag ist daher mindestens 15 min zu lüften. Die Luftgeschwindigkeit muss mindestens 0,3 m/s im größten ausgebrochenen Querschnitt betragen.

7541014/10787806875Biblio

Während des Sprengvorganges müssen sich sämtliche Arbeiter entweder im Freien oder bei Untertagesprengungen in einer sogenannten Schwadenkammer aufhalten. Wenn möglich, sollten die Sprengungen beim Schichtwechsel erfolgen.

Wenn die Arbeitsstelle von einem natürlichen Luftstrom nicht erreicht wird und die Entfernung von einem natürlich belüfteten Bereich mehr als 30 m bzw. im Fall von Sprengungen mehr als 15 m beträgt, ist Frischluftzufuhr vorzusehen.

Im Tunnelbau und Bergbau wird die Belüftung auch als Bewetterung bezeichnet. Maßgebend für die Belüftung von Tunneln sind die Unfallverhütungsvorschriften der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG):

§ 40 Belüftung: Arbeitsplätze und Verkehrswege unter Tage müssen so belüftet sein, dass

1. an jeder Arbeitsstelle ein Sauerstoffgehalt von mehr als 19 Vol.- % vorhanden ist,

2. der Anteil gesundheitsschädlicher Stoffe in der Luft keine unzuträgliche Konzentration erreicht und

3. die mittlere Geschwindigkeit des Luftstromes nicht unter 0,2 m/s abfällt und nicht über 6,0 m/s ansteigt.

Eine unzuträgliche Konzentration gesundheitsschädlicher Stoffe in der Luft ist erreicht, wenn die Werte der MAK-Werteliste überschritten sind.

MAK – **M**aximale **A**rbeitsplatz-**K**onzentration ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird [§ 3 (5) GefStoffV].

Die dabei einzuhaltenden zulässigen MAK-Werte sind als 8-Stunden-Mittelwerte angegeben. Zu beachten ist allerdings, dass auch kurzzeitige Abweichungen von diesen Mittelwerten nur begrenzt erlaubt sind.

Dabei gelten die Unfallverhütungsvorschriften der TBG speziell für den Tunnel- und Untertagebau, bei den Grenzwerten der TRGS 900 handelt es sich um allgemeine Vorgaben. Benzinmotoren dürfen unter Tage nicht eingesetzt werden, da sie die 10-fache Menge an Frischluft benötigen.

- **Arten der Sonderbewetterung bei „Lutten“**

Die Dimensionierung der Lutten erfolgt entsprechend den Regeln der Rohrhydraulik. Der Durchmesser hängt demnach stark von der Luftmenge und der Länge der Lutten ab. Im Tunnel- und Gesteinsstreckenbau kommen folgende Belüftungsarten zum Einsatz:

- **Drückende Belüftung**

Ein Ventilator saugt Frischluft von außen an und bläst sie über die Lutten an die Arbeitsstellen unter Tage. Die Luft wird anschließend zusammen mit den Abgasen und dem Staub durch den Tunnelquerschnitt zurückgedrückt, beim Sprengvortrieb also auch die Sprengschwaden.
Daraus ergibt sich auch der Nachteil dieser Belüftungsart. Je weiter eine Arbeitsstelle von der Einblasstelle der Frischluft entfernt ist, desto schlechter ist dort auch die Luft (Abb. Fst-54e).

7541014/10787806875Biblio

- **Saugende Belüftung**

Bei der saugenden Belüftung wird die Luft an der Arbeitsstelle abgesaugt und durch die Lutten nach außen befördert. Die Frischluft zieht dabei durch die Strecke nach. Durch das Ansaugen ergibt sich ein geringerer Wirkungsbereich als bei der drückenden Belüftung (tote Zone). Da die Luft durch die ganze Strecke nachströmt, kann sie an der Ortsbrust durch Diesel-Abluftgase verunreinigt sein (Abb. Fst-54f).

- **Kombinierte Belüftung**

Eine saugende Belüftung ist nur wirkungsvoll in Verbindung mit einer drückenden Zusatzbelüftung. Diese wird benötigt, um die Sprengschwaden vor Ort aufzuwirbeln und der Hauptleitung zuzuführen. Die kombinierte Belüftung wird auch zur Entstaubung beim Einsatz von Teilschnittmaschinen eingesetzt (Abb. Fst-55).

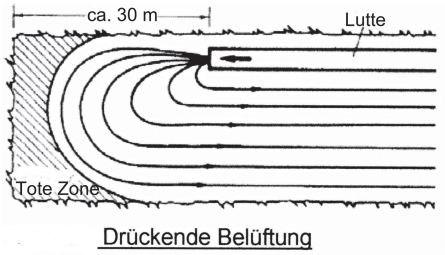


Abb. Fst-54e: Drückende Belüftung [1]

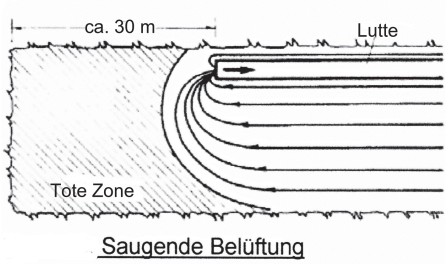


Abb. Fst-54f: Saugende Belüftung [1]

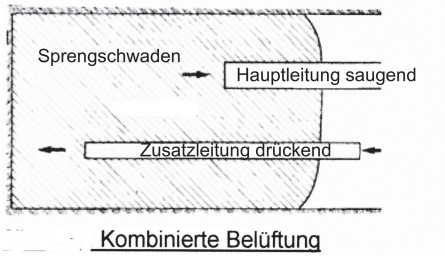


Abb. Fst-55: Kombinierte Belüftung [1]

- **Umkehrbare Belüftung**

Bei dieser Belüftungsart werden schwenkbare Ventilatoren eingesetzt, die zwischen „Drücken“ und „Saugen“ umgeschaltet werden können. Die umkehrbare Belüftung vereinigt die Vorteile der jeweiligen Belüftungsart. Sie eignet sich jedoch nur für vergleichsweise kurze Tunnel aufgrund der Gefahr der Staubablagerung bei Saugbetrieb. Beim Umschalten auf Druckbetrieb würde der Staub wieder an die Arbeitsstellen gelangen. Grundsätzlich gilt, dass die Wirksamkeit durch Messungen des Schadstoffgehaltes regelmäßig kontrolliert werden muss.

7541014/10787806875Biblio

4.6.3.9 Laden und Transportieren des Haufwerks (Schuttern)

Beim Sprengvortrieb kommen zum Aufladen in kleinen Querschnitten i. d. R. Überkopflader, spezielle Hydraulikbagger mit verkürztem Ausleger und Stiel zum Einsatz. Vorwiegend werden Radlader und Seitenkipplader eingesetzt.

- **Mehrzweckgerät**

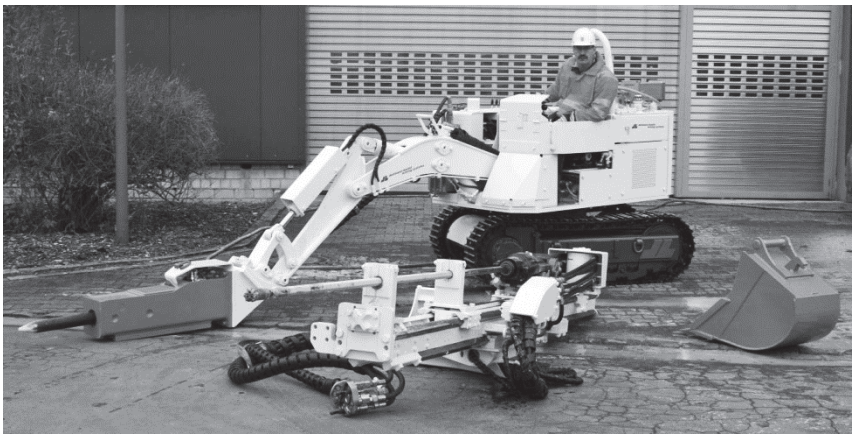


Abb. Fst-56: Kombibagger + Mehrzweckgerät Deilmann-Haniel Typ DH-EQ200 [V63]

Das Mehrzweckgerät DH EQ200 der Fa. Deilmann-Haniel ist

- optimal geeignet für den Einsatz in engen Grubenräumen,
- multifunktionelle Einsatzmöglichkeit durch verschiedene Anbauwerkzeuge,
- hydraulisches Koppelsystem für den schnellen Werkzeugwechsel,
- optimierte Transportabmessungen des Gesamtgerätes und der einzelnen Baukomponenten,
- einfache Montage und Wartung,
- hochverschleißfeste, bergbaugerechte Ausführung aller Einzelkomponenten.

- **Anbauwerkzeuge**

Tieflöffel/Hochlöffel für Ladearbeiten in:

- Typ DTL7 Inhalt 160 l,
- Gewicht mit Adapter 100 kg,
- Typ DTL8 Inhalt 300 l,
- Gewicht mit Adapter 160 kg.

Anbaubohreinrichtung mit hydraulischem Bohrhammer:

- einsetzbar für Spreng- und Ankerbohrungen,
- Anbohr- und Antifestbohrautomatik,
- hydraulisches Schnellkuppelsystem,
- Gesamtgewicht mit Adapter ca. 900 kg.

7541014/10787806875Biblio

Anbauripper:

- einsetzbar für Nachriss- und Senkarbeiten,
- hydraulisches Schnellkuppelsystem,
- Gewicht mit Adapter 350 kg.

Bei den Teilschnittmaschinen hängt das verwendete Ladegerät stark von der Größe der Maschine ab. Während bei großen Teilschnittmaschinen mit Ladeschaufeln (Hummerscheren s. Abb. Fst-40a) gearbeitet wird, kommen bei kleineren Maschinen von unten nach oben drehende Schneidwalzen zum Einsatz, die das Material direkt auf die Bandförderanlage werfen.

- **Anwendungsbereiche für die mechanische Förderung**

Große Querschnitte mit nicht allzu großen Längen werden heute häufig gleislos aufgefahren. Bei kleinen Querschnitten mit großer Länge kommt i. d. R. ein Gleisbetrieb zum Einsatz. Die Kombination aus gleislosem Lader mit gleisgebundenem Transport ist selten und erfolgt meistens nur bei Vortrieben unter Druckluft. Für die mechanische Förderung wird als Betriebsstoff Diesel (für gleislosen Betrieb), elektrischer Strom oder Druckluft verwendet.

Die gleislose Förderung zeichnet sich bei guter Fahrbahn aus Unterbeton oder planiertem Füllmaterial durch hohe Transportgeschwindigkeiten von bis zu 50 km/h aus. Bei schlechter Fahrbahn reduziert sich die Fahrgeschwindigkeit erheblich.

Lkw eignen sich für kurze Entfernungen oder bei Wendemöglichkeiten, Radlader werden für kurze Entfernungen bis etwa 150 m eingesetzt. Ebenfalls zum Einsatz kommen Dumper mit Wendesitz. Beim Sprengvortrieb wird das gleislose Schuttern mit Lkw bevorzugt eingesetzt. Im Verhältnis zum gleisgebundenen Betrieb haben Lkw einen höheren Energiebedarf, allerdings entfallen die Kosten für den Bau und den Unterhalt des Gleiskörpers.

Abb. Fst-57a:
Seitenkipplader D+H Typ G 210 [V36]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-57b: VOLVO-knickgelenkter Dumper mit 24 m³ Muldeninhalt und 24 t Nutzlast – benötigt lediglich 9,00 m Breite, um sich in einer halben Minute um 180° zu drehen. [V67]

Gleisgebundene Betriebe erreichen Transportgeschwindigkeiten von ca. 10 km/h im beladenen Zustand und ca. 20 km/h im ungeladenen Zustand. Auch hier hängt die Transportgeschwindigkeit maßgeblich vom Untergrund und somit einer guten Gleislage ab.
Es empfiehlt sich daher, Unterbeton oder Sohltübbings einzubauen. Gleisbetrieb ist i. d. R. nur bis zu einer Steigung von rund 3 % möglich, empfohlen werden Steigungen kleiner gleich 2 %.

Das Gleis muss nach jedem Abschlag vorgestreckt werden. Wenn nur ein Gleis zur Verfügung steht, ist der Wagenwechsel ein Engpass.
Mögliche Lösungen sind, Ausweichstellen im Bereich der Ortsbrust bzw. den Wagenzug einzuschieben und die Beladung mit Seitenschaufelladern vorzunehmen.

Bei Übergabebrücken wird das Material an der Aufgabe auf Band in Wagen geladen. Im Gegensatz dazu bestehen Bunkerzüge aus aneinandergereihten Wagen ohne Stirnwände. Dabei beschickt ein Lader einen über die gesamte Zuglänge reichenden Kettenförderer, welcher das Schuttergut gleichmäßig auf dem gesamten Zug verteilt und verdichtet – Einsatz vornehmlich im Tunnelbau.

Die Förderung zu Tage erfolgt überwiegend über die Material- und Personal-Förderschächte, die i. d. R. ausziehende Wetterschächte sind.

Beim Bergetransport zum Schacht über Bänder muss eine Berge-Silo- und Skipanlage vorhanden sein, wobei eine Brechanlage vor Ort oder am Schacht erforderlich ist.

Bei Wagenförderung bietet sich an, die Förderwagen auf Mehretagen-Förderkörbe zu schieben und dabei i. d. R. die leeren Wagen abzuschieben.

Bei Skipförderung muss das Material gebrochen sein und eine Abladevorrichtung vorhanden sein oder es müssen Förderwagen mit Seitenentleerung eingesetzt werden.

7541014/10787806875Biblio

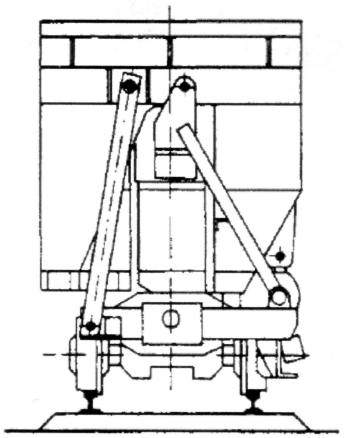


Abb. Fst-58: Förderwagen mit Seitenentleerung [1]

- **Mobile Brechanlagen**

Zur Überleitung von Haufwerk auf einen nachgeschalteten Gummigurtförderer oder auf Förderwagen (bei Schacht-Korbförderung) liefert D + H mobile Kettenkratzfördersysteme in den Ausführungsvarianten **mit** oder **ohne** Brecher.

Das integrierte Schubsystem mit einer angehängten Gummigurtfördererkehre sowie einem Aufgabetisch für das Fördergut ermöglicht das zeit- und kostensparende Nachführen der Fördereinrichtung in Strecken- und Tunnelvortrieben.
Abhängig von den spezifischen Anforderungen sind unterschiedliche Ausführungsvarianten verfügbar.

Das schnelle und sichere Nachführen von Stetigförderern und Brecheinrichtungen ist in hochmechanisierten Vortrieben eine wesentliche Voraussetzung für hohe Vortriebsleistungen. Das manuelle Einrichten und Abspannen der Gummigurtfördererkehre entfällt. Alle Rück- und Einrichtfunktionen werden hydraulisch ausgeführt. Ebenso ist ein Beladen von Radladern und Dumper sowie in Förderwagen möglich.

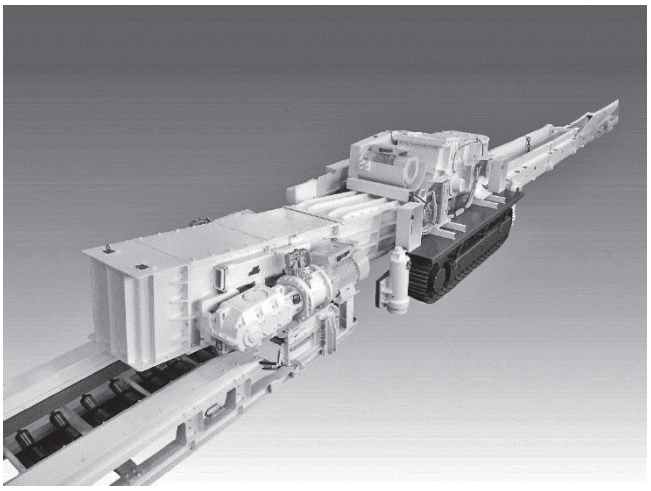


Abb. Fst-59:
Fördersystem mit Raupenschubwagen und Brechanlage der mobilen Lade-, Förder- und Brechanlage D + H Typ B 5 [V63]

7541014/10787806875Biblio

- **Raupenschubvorrichtung**

Das Vorrücken des Kettenkratzförderers mit Raupenschubwagen kann abschlagweise erfolgen und trägt damit wesentlich zur Verkürzung der Wegfüllzeiten und zur Schonung der Streckensohle und der Fahrantriebe der Ladegeräte bei. Einsetzbar sind diese Geräte zur Überleitung des Haufwerks auf nachgeschaltete Gummigurtförderer.

Nachgeschaltete Gummigurtförderer erfordern die Vorzerkleinerung des Haufwerks zur Schonung des Gurtbandes und zur Vermeidung von Förderstörungen bei Skipbetrieb. Hierzu eignen sich Varianten des Raupenschubwagens, die den Aufbau von Brechern zur Zerkleinerung der Vortriebsberge ermöglichen. Der Aufbau verschiedenartiger Brechertypen mit unterschiedlichen Durchsatzleistungen ist möglich. Der Brecher ist zwischen den Raupenfahrwerken des Schubwagens montiert.

Das hohe Eigengewicht des Schubwagens mit dem aufgebauten Brecher und dem Antriebsteil des Kettenkratzförderers ermöglicht auch das Vorschieben von schweren Kettenförderern mit größeren Längen. Während des Ladebetriebes können die Raupenfahrwerke durch Abstützzylinder entlastet bzw. der Raupenschubwagen mit dem integrierten Brecher bei unebener Streckensohle ausgerichtet werden. Der elektrohydraulische Antrieb der Raupenfahrwerke gewährleistet ausreichende Anpassung.

- **Vorschubkräfte**

Die elektrohydraulische Antriebsstation wird auch für die hydraulische Verstellung der Brecherwalze, die hydraulische Kettenspanneinrichtung des Ketterkratzförderers und die hydraulische Einrichtfunktion für die Bandkehre genutzt.

- **Kettenkratzförderer**

Die Förderrinnensegmente des Kettenkratzförderers werden im vorderen Bereich bis zum Brecher in ein Spezialtrogsystem eingelegt und mit Niederhaltern gesichert. Die Einzeltröge werden über ein Gelenkbolzensystem verbunden. Das Gelenksystem ermöglicht die horizontale und vertikale Abwinkelung des Förderers. Bei Bedarf kann die Abwinkelung durch Drehen der Gelenkbolzen unterbunden werden.

Durch das Trogsystem ist der Förderer nach unten geschlossen und bietet nur wenig Widerstand beim Vorschieben über die Streckensohle. Die Seitenwangen der Tröge ermöglichen einen hohen Füllgrad der Förderrinnen.

Das bewährte Förderrinnensystem HB 227/732 und das hochverschleißfeste Doppelkettenband mit 2 mm $\times$ 30 mm Durchmesser gewährleisten eine hohe Bruchsicherheit und eine lange Lebensdauer auch in Gesteinsvortrieben.

Eingesetzt werden geschmiedete und besonders gehärtete Kratzer, die im Abstand von sechs Kettengliedern montiert werden. Das Kettenrad für den Antrieb des Kettenbandes hat eine Härte von 60 HRC und damit eine hohe Lebensdauer auch bei der Förderung von Gestein. Zur Einstellung der Kettenvorspannung dient eine hydraulische Spannvorrichtung im Antriebsrahmen.

Der Maschinenrahmen kann mit ein oder zwei Motoren betrieben werden. Die Getriebe werden direkt an die starken Seitenwangen des Maschinenrahmens angeschraubt. Die Kettenräder sind geteilt und können ohne Ausbau der Welle gewechselt werden.

Die Lagersätze können als Wechselteile in kurzer Zeit getauscht werden. Die zentrale Schmierungseinrichtung erreicht beide Lager von einer Seite aus.

7541014/10787806875Biblio

Zur Minimierung der Rinnenverbindungen und damit zur Reduzierung der Verschleißpunkte werden Förderrinnen mit Einzellängen von 3.000 mm eingesetzt.

Um den verschleißarmen und leichten Überlauf der Kratzer zu gewährleisten, sind die Bodenbleche an den Rinnenübergängen mit einer Zentrierüberlappung ausgestattet.

- **Schlagwalzenbrecher**

Zur Zerkleinerung des Fördergutes ist ein besonders robuster Schlagwalzenbrecher mit einer hohen Leistungsreserve in den Förderer integriert. Die Walzenhöhe und damit die Körngröße des Fördergutes kann hydraulisch eingestellt werden. Alle Verschleißelemente lassen sich mit geringem Aufwand auswechseln. Die Schlagwalze ist mit zwei Wendeschlagköpfen bestückt, die beidseitig benutzt werden können und somit eine hohe Standzeit garantieren.

4.6.4 Spritzbeton

Die Anwendung des Spritzbetons als Sicherungsmittel führte zu wesentlichen Verbesserungen und Erweiterungen der Anwendung im Gesteinsstreckenvortrieb. Es werden zwei prinzipielle Verfahren unterschieden.

Beim **Trockenspritzverfahren** wird dem Trockengemisch (Zement, Zuschlag, Zusatzmittel) an der Spritzdüse Wasser zugegeben.

Beim **Nasspritzverfahren** wird fertiger Beton auf die Einbaustelle geliefert und beim Aufbringen an der Düse mit Luft und Zusatzmittel (BE) vermischt.

Die Betonförderung beim Nasspritzverfahren wird unterschieden in Dichtstromförderung, bei der erst an der Düse Druckluft zugegeben wird, und in Dünnstromförderung, bei welcher der Beton mit Druckluft zur Düse gefördert wird.

Vorteile des Trockenspritzverfahrens:
- höchste Frühfestigkeit,
- fast unbegrenzte Vorhaltezeit,
- kein Restbeton,
- geringerer Aufwand bei der Reinigung der Geräte,
- Daraus ergeben sich vorteilhafte Anwendungen des Trockenspritzverfahrens bei geringen Spritzbetonmengen, kleinen Querschnitten und wenn hohe Frühfestigkeiten erreicht werden sollen.

Vorteile des Nasspritzverfahrens:
- geringere Staubentwicklung,
- geringerer Rückprall,
- hohe Spritzleistung,
- geringerer Luftmengenbedarf,
- bessere Qualität des Spritzbetons wegen konstanten Wassergehalts,
- Das Nasspritzverfahren eignet sich besonders bei großen Spritzbetonmengen und großen Querschnitten.

Die erforderlichen Materialien und Förderpumpen stehen in der Nähe der Einbaustellen zur Verfügung. Es sind Container-Einheiten, die z. B. mit der Einschienenhängebahn transportiert und umgesetzt werden können.

7541014/10787806875Biblio

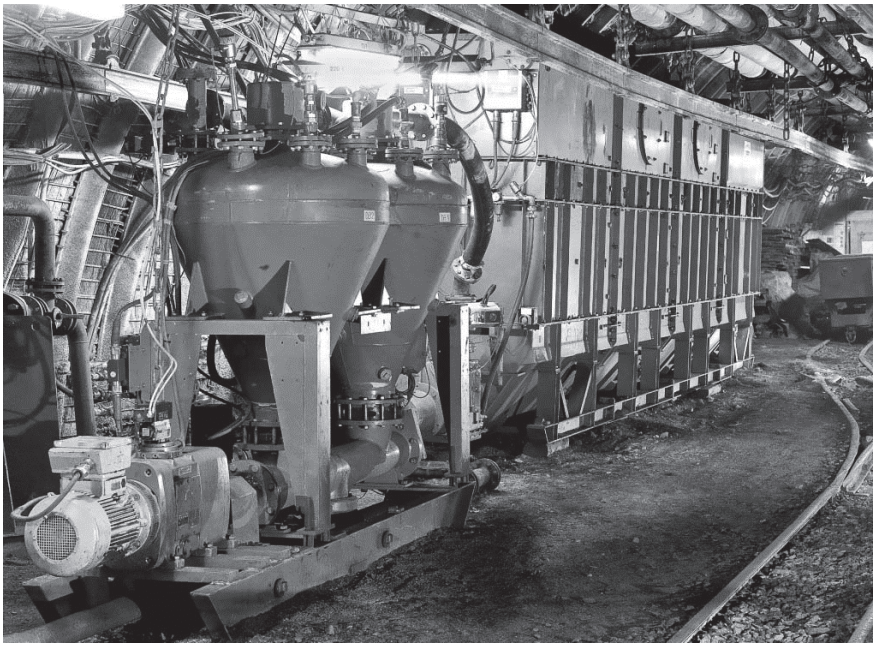


Abb. Fst-60a: Baustoffzentrale für Spritzbeton, Hinterfüllmaterial und sonstige Materialien [V36]

- **Aufbringen von Spritzbeton**

Beim Aufbringen von Spritzbeton entsteht ein Rückprall des Mischgutes, dessen Menge von mehreren Faktoren abhängt.

Die Düse ist beim Aufbringen möglichst senkrecht auf die zu bespritzende Fläche zu richten. Der Düsenabstand von der Querschnittswandung sollte dabei etwa 1,5 m betragen. Ein geringerer Düsenabstand führt zu Gefügeauflockerungen. Ein größerer Düsenabstand bewirkt eine zu geringe Haftung des Spritzbetons; in beiden Fällen erhöht sich dadurch der Rückprall.

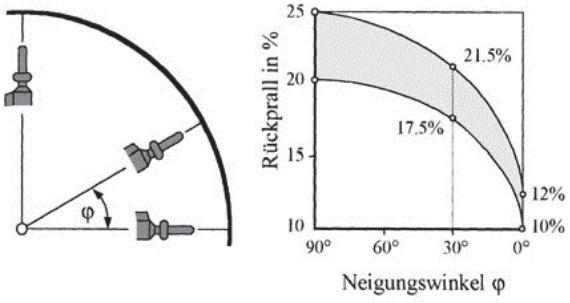


Abb. Fst-60b: Neigung gegen die Wandung [1]

Der Rückprallanteil hängt weiter davon ab, in welchem Bereich des Querschnitts Spritzbeton aufgebracht wird. Je größer der Winkel zwischen der Horizontalen und der Düsenachse ist, desto größer ist auch die Rückprallmenge.

7541014/10787806875Biblio

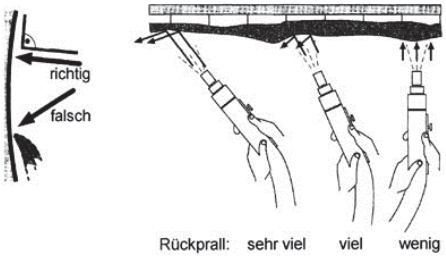


Abb. Fst-61: Neigung gegen die Wandung [1]

- **Stahlfaserspritzbeton**

Spritzbeton ist ein sprödes Material mit nur begrenzter Zug- und Biegezugfestigkeit bei gleichzeitig sehr guter Druckfestigkeit.

Wie im konventionellen Betonbau ist es auch beim Spritzbeton möglich, durch den Einbau einer Bewehrung (Betonstahlmatten) die gewünschte Zug- und Biegezugfestigkeit zu erreichen. Der Einbau von Bewehrungsmatten ist allerdings zeitaufwändig, insbesondere bei häufigen Querschnittsänderungen. Daher wurde in den letzten Jahrzehnten immer wieder Stahlfaserbeton oder aber Beton mit Glas-, Kunststoff- oder Kohlenstofffasern eingesetzt; diese konnten sich bisher aber noch nicht entscheidend durchsetzen.

- **Spritzbetonzusätze**

Dem Spritzbeton werden je nach Anforderung unterschiedliche Zusatzstoffe zugefügt. In der folgenden Tabelle sind verschiedene Zusatzstoffe sowie deren Wirkungsweise und die Auswirkungen auf den Spritzbeton angegeben.

Spritzbetonzusätze

Zusatzstofftyp	Wirkungsweise	Bemerkung
Zemente	hydraulisch	Zementtyp und -gehalt steuern die Verarbeitbarkeit und Festigkeitsentwicklung.
Hüttensande	latent hydraulisch	Verzögern die Frühfestigkeitsentwicklung und verbessern die Dauerhaftigkeit.
Mikrosilikate Flugaschen	puzzolanisch	Verbessern die Dichtheit, die Verbundwirkung und damit die mechanischen Eigenschaften. Reduzieren den pH-Wert des Betonporenwassers und sind darum in der Menge zu limitieren.
Gesteinsmehle (z. B. Kalksteinfilter)	inert	Entwickeln selber keine Festigkeit, unterstützen aber durch die Verbesserung des Korngerüstes.

- **Verwendung von Spritzmanipulatoren**

Von schlecht zugänglichen Bereichen abgesehen, werden heute für das Aufbringen des Spritzbetons fast ausschließlich Spritzmanipulatoren eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Die Verwendung von Spritzbetonmanipulatoren (maschinelles Aufbringen des Spritzbetons) eignet sich (aufgrund der großen möglichen Spritzleistung und gegebenenfalls durch das Entfallen von Gerüsten) besonders bei großen Querschnitten. Die Zeit für die Spritzabläufe wird dabei erheblich verkürzt.

Spritzmanipulatoren sind heute schon 2–3-armig im Einsatz. Durch die automatische Einstellung kann mit sehr geringem Rückprall gearbeitet werden.

Im Hinblick auf die Arbeitssicherheit ist das geringere Gefährdungspotential des Düsenführers infolge Rückpralls, Einsturzgefahr, Staub und Lärm zu erwähnen.

Die Maschine (Abb. Fst-62a) der Meyco SM2 auf einem Deilmann-Haniel-Unterwagen verfügt über einen modularen Aufbau aller Komponenten.
Dazu gehören die Funkfernsteuerung für schnelle und optimale Spritzabläufe, ein integrierter IPC-Rechner zur Steuerung und Überwachung sämtlicher Bedienfunktionen, ferner eine optimale Standsicherheit durch Abstützungen mit eingebauten Drucksensoren.

Abb. Fst-62a:
Spritzmanipulator SM2 der Fa. Meyco auf Deilmann-Haniel-Unterwagen [V63]

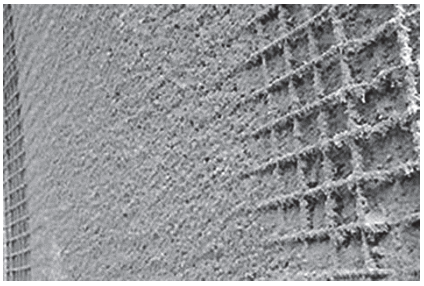


Abb. Fst-62b: Mit einem Spritzmanipulator aufgebrachter Spritzbeton auf Betonstahlmatten in einer Richtstrecke [1]

- **Großversuch mit Stahlfaser-Spritzbeton auf der RAG Schachtanlage Ibbenbüren**

Auf dem Bergwerk Ibbenbüren fand der erste untertägige Probeeinsatz einer für DSK (Deutsche Steinkohle) neu entwickelten Maschinentechnik statt, bestehend unter anderem aus:

Meyco-Manipulator auf Deilmann-Fahrwerk (s. Abb. Fst-62a), Dosiergerät für Trockenbaustoff und Stahlfasern, Mischer und Hochdruckpumpe. Anfängliche Probleme mit dem Baustofftransport innerhalb des Systems konnten im Wesentlichen behoben werden, die Beimischung von Stahlfasern sowie die Haftung am Gebirge gestalteten sich problemlos. Die Rückprallverluste waren äußerst gering.

7541014/10787806875Biblio

Das Anspritzen auch der Ortsbrust hat sich bewährt, da die dadurch erreichte Stabilität die nachfolgende Bohrarbeit wesentlich vereinfacht und sicherer gestaltet. Das Auftragen des Baustoffes für einen 3-m-Abschlag mit rd. 45 m² Hangendfläche (Baustoffdicke 12 cm bis 15 cm) und rd. 27 m² Ortsbrust (Baustoffdicke rd. 6 cm) benötigte durchschnittlich eine Stunde. Nach Aussage des Bergwerkes Ibbenbüren sind die Mitarbeiter vor Ort von der Technik begeistert.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Frühtragfähigkeit besteht noch Handlungsbedarf bezüglich der optimalen Einstellung des Bausstoffes.

Messtechnische Vor-Ort-Untersuchungen zur Baustofffestigkeit erfolgen kurzfristig. Entwicklungsbedarf besteht außerdem hinsichtlich der Schichtdickenmessung, um jederzeit die geforderte Spritzstärke sicherzustellen.

- **Applikationstechniken**

Für Leistungssteigerungen in der Hohlraumsicherung im Streckenvortrieb sind neue, optimierte Spritzbetonapplikationstechniken erforderlich. Heute erfolgt die Applikation von Hand oder mit Manipulatoren. Mit der Automatisierung des Spritzbetonauftrages wurde der Anwendungsbereich erweitert. Damit wird die Bedienungsfreundlichkeit und die Qualität verbessert sowie der Rückprallanteil reduziert. An der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich wird die vollautomatische Prozesskontrolle in einem Forschungsprojekt entwickelt. Mit der Entwicklung des „Vollautomatischen Spritzroboters für Beton“ wird ein leistungsfähiges Gerät für das Aufbringen von Spritzbetonschalen zur Verfügung stehen. Der Benutzer kann aus drei verschiedenen Betriebsmodi wählen: manuelles, halbautomatisches und vollautomatisches Spritzen. Vor allem der vollautomatische Modus bringt bei geringerer Gesundheitsgefährdung der Arbeitskräfte eine beträchtliche Leistungssteigerung. Die Qualitätskontrolle in Bezug auf Schichtstärke, Verdichtung und Gleichmäßigkeit wird durch den Applikationsprozess gewährleistet.

Die Applikation von Spritzbeton ist anstrengend, wenn sie per Hand durch den Düsenführer erfolgt, und deshalb ermüdend. Dies gilt im Besonderen für die Verwendung von Nassspritzbeton. Die Spritzleistungen betragen 5 bis 8 m³/h, wenn von Hand gespritzt wird, und bis 20 m³/h bei der Applikation mit einem Manipulator (es werden auch Leistungen von 30 m³/h gefahren).

Das Aufbringen von Spritzbeton als erste Sicherungsmaßnahme erfolgt häufig in einer Gefahrenzone (Steinfall). Durch den Einsatz des Roboters kann die Sicherheit der Arbeitskräfte verbessert werden. Außerdem ist die Handhabung des Roboters einfacher und weniger anstrengend als die Steuerung eines Manipulators.
Bei herkömmlichen Manipulatoren steuert der Düsenführer im manuellen und halbautomatischen Modus die Düsenbewegung direkt. In diesen Modi kann der Düsenführer der Felsoberfläche die erforderliche Aufmerksamkeit schenken, um die geforderte Spritzbetonschicht aufbringen zu können. Im vollautomatischen Modus wird die Kontrolle durch den Roboter übernommen.

4.7 Auffahren der Querschläge

Querschläge sind quer zum Streichen verlaufende Gesteinstrecken. Bei steiler Lagerung schneiden sie alle Lagerstätten, also die Flöze, Gänge oder Lager.

7541014/10787806875Biblio

Mit flacher werdendem Einfallen werden z. B. im Flözbergbau immer weniger Flöze geschnitten, bis schließlich bei ungefähr söhliger Lagerung der Fall eintreten kann, dass kein Flöz die Sohlenebene trifft.

Aber auch dann sind Querschläge erforderlich, da sie den Ausgang für die anschließende Ausrichtung des zwischen den Sohlen liegenden Gebirges mit in der seigeren Ebene verlaufenden Grubenbauen bilden.

Man unterscheidet Hauptquerschläge und Abteilungsquerschläge. Ein Hauptquerschlag verbindet das Füllort des Förderschachtes mit der oder den Richtstrecken, während die Abteilungsquerschläge das Baufeld in weitere Bauabteilungen von zweckmäßiger Größe unterteilen.

Auf Grund ihrer Richtung senkrecht zum Streichen verlaufen die Querschläge im Allgemeinen parallel zueinander. Es kommen jedoch auch Abweichungen von diesem regelmäßigen Verlauf vor. Diese können durch die spitzwinklige Richtung von Störungen oder Markscheiden verursacht sein (Abb. Fst-63 + Fst-64).

4.7.1 Abstand der Querschläge und Größe der Bauabteilungen

Der Querschlagabstand und die Größe der Bauabteilungen stehen zueinander in enger Beziehung. Unter einer Bauabteilung versteht man den zwischen zwei Hauptsohlen gelegenen Gebirgskörper, dessen Mineralvorrat von dem gleichen Querschlag ausgelöst und durch ihn abgefördert wird. Ihre streichende Erstreckung ist allgemein gleich dem Querschlagabstand. Sie reicht bei einflügligem Abbau von Querschlag zu Querschlag. Bei zweiflügligem Abbau liegen die Grenzen benachbarter Abteilungen etwa in der Mitte zwischen den Querschlägen. Die richtige Wahl des Querschlagabstandes ist für den Zuschnitt einer Sohle von außerordentlicher Bedeutung.

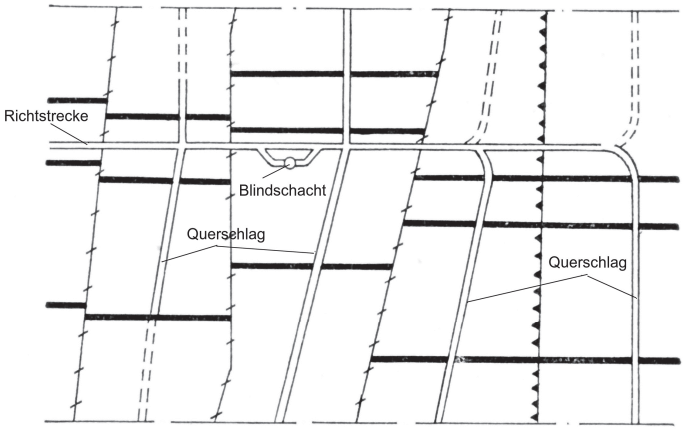


Abb. Fst-63: Anordnung der Querschläge [1]

Je geringer der Abstand ist, umso mehr erhöht sich die Anzahl der Angriffspunkte für den Abbau, umso mehr wächst aber auch die Zahl der Querschläge. Damit erhöhen sich die Kosten ihrer Auffahrung und Unterhaltung.

Auch die Zahl der Grubenbaue nimmt zu, welche die Lagerstätten von der Sohle aus in seigerer Richtung lösen sollen, wie Blindschächte, Gesteins- oder Flözberge. Die Einrichtungen für die Hauptstreckenförderung werden ebenfalls umfangreicher.

7541014/10787806875Biblio

Je größer andererseits die Abstände gewählt werden, umso geringer werden die Auffahrungs- und Unterhaltungskosten der an Zahl verringerten Ausrichtungsbaue, und eine umso längere streichende Baulänge und damit höhere Lebensdauer besitzen die Abbaubetriebspunkte. Diese letztgenannte Tatsache ist von besonderem Vorteil. Einmal verringert sich die Vorrichtung des Abbaus; vor allem aber braucht ein einmal in Betrieb befindlicher Abbaubetrieb, dessen Belegschaft sich an seine besonderen Bedingungen gewöhnt hat, nicht so schnell wieder stillgelegt zu werden. Dieser Vorteil lässt sich allerdings bei geringem Querschlagabstand auch dadurch erreichen, dass die Abbaubetriebe von einem Querschlag über den benachbarten bis zum übernächsten Querschlag zu Felde laufen, sie jedoch mit ihrer Wetterführung und Förderung an den mittleren Querschlag angeschlossen werden. Dieser hat dann nicht zur Schaffung neuer Angriffspunkte gedient, sondern nur als Förder- und Wetterweg. Je größer der Querschlagabstand ist, desto länger werden die Abbaustrecken und damit die Anforderungen an ihre Unterhaltung und an die Abbaustreckenförderung.

Die Wahl geeigneter Ausbauformen und der Übergang zu Stahl als Werkstoff an Stelle von Holz machen es heute möglich, im Steinkohlenbergbau Abbaustrecken von 1.000 m Länge und mehr aufrechtzuerhalten. Es ist dies umso eher der Fall, wenn durch erhöhten Abbaufortschritt die Standdauer der Strecken abgekürzt wird. Baut man bei steiler Lagerung zwei benachbarte Flöze gleichzeitig oder in kurzen Abständen hintereinander, ist es möglich, die Abbaustrecken beider Flöze von Zeit zu Zeit durch Stichquerschläge zu verbinden und die schwieriger aufrechtzuerhaltende Abbaustrecke abschnittsweise abzuwerfen. Allerdings muss in einem solchen Fall die durchgehende Abbaustrecke einen größeren Querschnitt erhalten, um die Wetterzufuhr für zwei Betriebe übernehmen zu können. Auch die technischen Mittel der Abbaustreckenförderung, insbesondere die Bandförderung, erlauben es heute, große Abbaustreckenlängen zu beherrschen, so dass Querschlagabstände von 800 m bis 1.200 m und darüber gewählt werden können.

Ob im Einzelfall so große Abstände wirtschaftlich sind, muss genau geprüft werden. Ist insbesondere die Unterhaltung teuer, weil z. B. bei weichem Nebengestein die Sohle zum Quellen neigt, wird man sich für geringere Abstände entscheiden. Auch die Gebirgstemperatur und damit die Teufe hat einen entscheidenden Einfluss. Die Wetter pflegen sich in den Abbaustrecken verhältnismäßig stark zu erwärmen, vornehmlich, weil sie in ihnen an Gebirge vorbeistreichen müssen, das erst vor kurzer Zeit entblößt worden ist. Mit zunehmender Teufe wird sich also der Abstand der Querschläge verringern und ihre Zahl erhöhen.

4.7.2 Einfluss von Störungen auf den Querschlagabstand

Von den oben behandelten Gesichtspunkten allein kann man sich nur leiten lassen, wenn das Grubenfeld frei von quer oder diagonal verlaufenden Störungen ist oder aber auch dann, wenn der Abstand der Störungen etwa gleich dem ohne sie gewählten Querschlagabstand ist. Bei geringerem Abstand der Störungen verringert sich auch der Abstand der Querschläge, da jede von zwei Störungen begrenzte Scholle in der Regel von einem Querschlag aufgeschlossen werden muss. In diesem Fall sollte zweiflügeliger Betrieb von einem in der Mitte aufgefahrenen Querschlag vermieden werden, da nach beiden Seiten nur kurze Baulängen zur Verfügung stehen. Dies wird erreicht, indem Rückbau und Vorbau miteinander vereinigt werden oder der Querschlag nicht in der Mitte zwischen beiden Störungen auffährt, sondern in der Nähe und längs einer der beiden Störungen (Abb. Fst-64).

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-64: Beispiel für die Beeinflussung der Lage und des Abstands der Querschläge durch Störungen [1]

4.7.3 Lage der Querschläge auf der Förder- und Wettersohle

Da die Querschläge der Fördersohle der Zuführung der Frischwetter, die Querschläge der Wettersohle der Abführung der Abwetter dienen und die Blindschächte in den meisten Fällen in ihrem unteren Teil als Ausziehwetterweg oder in ihrem oberen Teil als Ausziehwetterweg benutzt werden, ist es am einfachsten, wenn die Querschläge auf den Förder- oder Wettersohlen übereinanderliegen.

Auch zur Erfüllung der Förderaufgaben in den Blindschächten ist es am zweckmäßigsten, wenn die Querschläge der Sohlen etwa in der gleichen seigeren Ebene liegen. Diese Forderung ist durchaus noch erfüllt, wenn der im Grundriss gemessene Abstand zwischen beiden Querschlägen etwa 20 m beträgt. Da zur Erleichterung der Abdämmung eines Querschlags im Falle eines Grubenbrandes sowie mit Verminderung der Staubbildung an der Ladestelle ein Blindschacht nicht im Querschlag, sondern grundsätzlich seitlich des Querschlags in einer längeren Umbruchstrecke stehen sollte, kann der Anschluss an die Förder- und Wettersohle z. B. nach Abb. Fst-65 durchgeführt werden.

7541014/10787806875Biblio

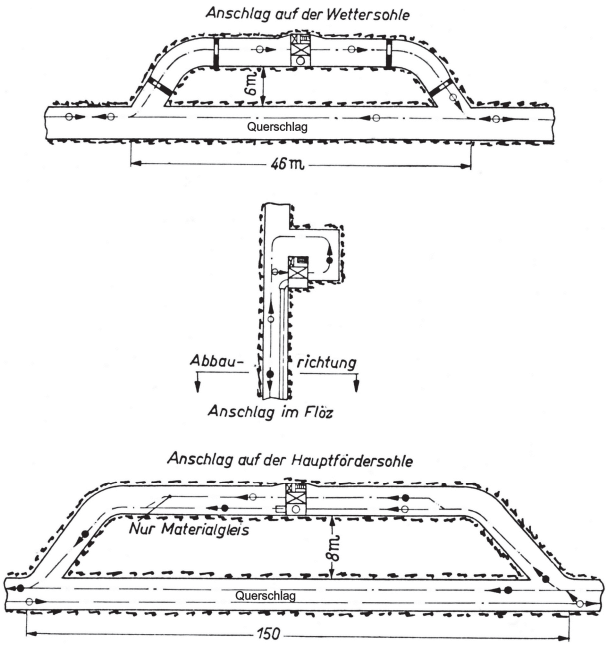


Abb. Fst-65:
Anschluss eines Blindschachtes an die Förder- bzw. Wettersohle [1]

Nicht nur für eine, sondern für alle Abteilungen einer Grube ist diesem Grundsatz dann leicht nachzukommen, wenn der Querschlagabstand auf der unteren Sohle der gleiche ist wie auf der oberen Sohle. Soll der Querschlagabstand auf der unteren Sohle jedoch vergrößert werden, muss der Abstand verdoppelt werden. Bei einem anderen Ausmaß der Vergrößerung werden nur ein oder wenige Querschläge auf der neuen Sohle genau oder ungefähr unter entsprechenden Querschlägen der alten Sohle liegen, während die anderen weiter abseits aufgefahren werden müssen. Ähnliche Überlegungen gelten für den Fall, dass der Querschlagabstand auf der tieferen Sohle verringert werden soll, um z. B. die Wetter durch kürzere Abbaustrecken und infolgedessen kühler den Abbauen zuführen zu können.

Hinweis: Da im deutschen Steinkohlenbergbau (und überwiegend im gesamten modernen Steinkohlenbergbau) der Kohlentransport auf Förderbänden erfolgt, haben die Blindschächte hier nur noch eine Funktion für die Bewetterung. In neu anzulegenden Bergwerken wird man hierzu Großbohrungen herstellen, was wesentlich kostengünstiger ist. Im Salzbergbau wird diese Technik schon seit langem praktiziert.

4.7.4 Auffahren der Querschläge

Die Auffahrtechnik in den Querschlägen entspricht der in den Richtstrecken. Im Wesentlichen kommen folgende Verfahren zur Anwendung:

1. Bohr- und Sprengverfahren,
2. Einsatz von Teilschnittmaschinen,
3. Vollschnittmaschinenvortrieb AVSA.

Der Vortrieb zu 1. und 2. wurde bereits beim Richtstreckenvortrieb ausführlich behandelt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-66: Streckenvortriebsmaschine AVSA [V63]

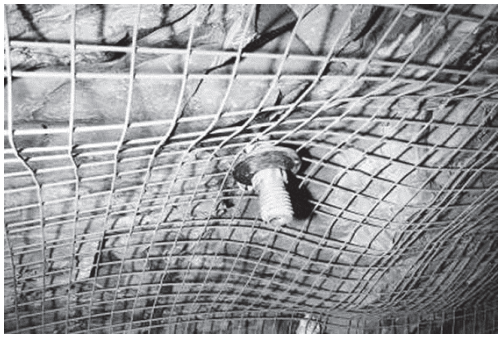


Abb. Fst-67: Streckenausbau mit Stahlgewebematten und Verankerung [V36]

Die Vortriebsmaschine AVSA – Alternatives Vortriebssystem Schneiden Ankern – ist eine Vollschnittmaschine mit der (ähnlich wie bei der Teilschnittmaschine) der Querschnitt herausgearbeitet und gleichzeitig Sicherungsanker gesetzt werden können. Beim Ankerausbau werden bis zu mehrere Meter lange Bohrlöcher in das Gestein vorgetrieben. Darin werden Kunstharzklebeanker gesetzt, die so die einzelnen Gesteinspakete zusammenhalten. Greiferarme schieben das gelöste Gestein auf ein integriertes Kratzband, welches das Material auf ein Förderband gibt.

Der Ausbau besteht aus Stahlbögen und einem Verzug aus Stahlgewebematten mit Spritzbeton. Bei standfestem Gebirge erfolgt lediglich eine Verankerung, wenn erforderlich mit einer zusätzlichen Baustahlgewebematte.

Aufgrund des technischen Fortschritts wird die Verankerungstechnik in Verbindung mit Spritzbeton immer häufiger angewendet.

Heute sind Ergänzungen zum Vortrieb mit Teilschnittmaschinen:

Ein besonderer Abschnitt beim Lösen eines Abschlages mit einer Teilschnittmaschine ist das Schneiden des Einbruchs. Da noch keine freie Fläche existiert, schneiden alle Meißel vollständig aus dem Vollen. In dieser Situation wird die Leistung der Teilschnittmaschine bis an die Leistungsgrenzen ausgeschöpft.

Die günstigste Krafteinleitung erfolgt mittig durch Vorwärtsbewegen der Teilschnittmaschine. Bei den ersten Teilschnittmaschinen wurde der Einbruch durch Vorfahren der Maschine mit dem Fahrwerk erreicht. Im Laufe der Entwicklung wurden alle Teilschnittmaschinen mit einer Teleskopierbarkeit des Auslegers ausgestattet, die das Einbruchschneiden aus dem Stand ermöglichte. Hierzu wurden die verschiedensten Konstruktionen entwickelt, z. B. Teleskopierbarkeit durch hydraulisches Vorfahren nur des Oberbaus mit der Schneidkinematik auf einem Schlitten, Umsetzen des Oberbaus über ein mechanisches Lemniskatengetriebe, Knickausleger, hydraulisches Ausfahren/Verlängern des Auslegerarmes. Die letzten drei Varianten der Teleskopierbarkeit erlauben gegenüber einem gestreckten Ausleger größere Streckenquerschnitte.

7541014/10787806875Biblio

Ebenso vielfältige Konstruktionen kamen bei den Ladesystemen zur Abförderung des gelösten Haufwerks zum Einsatz. Beim Schneiden fällt das gelöste Haufwerk auf eine schräge Rampe.

Nachfolgende aktive Ladeelemente sind: Umlaufender Kettenkratzerförderer, Hummerscherenlader, Räumbalken, Drehkreuz oder Drehscheibe.

Transportiert wird das Haufwerk auf einen Kettenkratzerförderer, der es entweder durch ein Maschinenportal durch die Maschine hindurch oder seitlich an der Maschine vorbei bis zu einem Abwurf transportiert.

Die ersten Maschinen hatten Gesamtlängen von ca. 6 m. Heutige Teilschnittmaschinen haben eine Gesamtlänge von ca. 15 m. Dahinter folgt ein Versorgungszug mit einer Gesamtlänge von bis zu 150 m mit Fördermitteln, Pumpen, Schaltstationen, Lüftern und Entstaubern. Mit heutigen Vortriebsmaschinen werden Vortriebsleistungen von über 20 m/Tag bei Streckenquerschnitten von mehr als 24 m² erreicht.

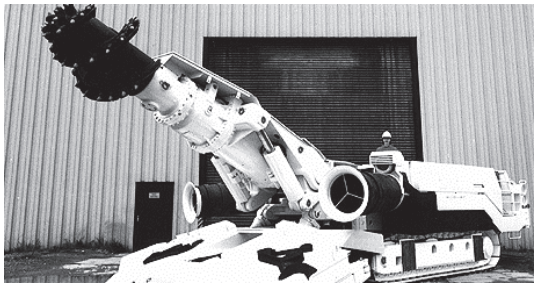


Abb. Fst-68: Teilschnittmaschine der Fa. Aker-Wirth Typ T2 61 mit einem Einsatzgewicht von 85 t und einer installierten Leistung von 406 kW. Das Gerät besitzt eine Schneidbreite von 9,65 m und eine Schneidhöhe von 5,60 m und ist mit einer Staubabsaugung ausgestattet. [V34]

Bei der Streckenplanung benutzt man heute Datenverarbeitungsanlagen, die eine optimale Streckenführung errechnen. Auf den Zentimeter genau muss die vorausberechnete Richtung der Strecke beim Vortrieb eingehalten werden. Die Berechnungen sind Sache der Vermessungsingenieure (der Markscheider). Schon lange arbeitet man beim Streckenvortrieb mit einem Laserstrahl, der die Richtung der Strecke über größere Entfernungen festlegt und die früher erforderlichen häufigen Zwischenmessungen überflüssig macht. Die Techniken des Messens und Vermessens sowie des Streckenvortriebs sind nicht auf den Bergbau beschränkt geblieben.
Bei U-Bahn-Bauten, Straßentunneln, Bau von Wasserleitungen werden die Erfahrungen der Bergleute genutzt.
Moderne Vermessungstechnik, im deutschen Bergbau entwickelt, wurde auch beim Eurotunnel zwischen Frankreich und England eingesetzt. Bei einer Gesamtlänge von 37,9 km haben sich zwei Vollschnittmaschinen bis auf wenige Millimeter Abweichung unter dem Ärmelkanal getroffen.

4.7.5 Auffahren der Flözstrecken

Im Steinkohlenbergbau hat das Auffahren von Abbaustrecken so lange eine gewisse Ähnlichkeit mit dem der Gesteinstrecken, wie die Flözmächtigkeit gleich oder größer als die Streckenhöhe ist. Die Abbaustrecke kann alsdann ganz in der Kohle aufgefahren werden, d. h., man hat es im ganzen Streckenquerschnitt mit einem einheitlichen Mineral zu tun. Solche Bedingungen sind im westdeutschen Steinkohlenbergbau jedoch selten.

7541014/10787806875Biblio

In der Regel reicht die Flözmächtigkeit nicht aus, um die Abbaustrecke in ihrem gesamten Querschnitt in die Kohle zu legen. Sie benötigen aus Gründen der Förderung und Wetterführung vielfach einen Querschnitt von mindestens 8 m² bis 10 m². Es muss infolgedessen nicht nur die Kohle gewonnen, sondern auch das Nebengestein nachgerissen werden. Dabei werden in Abbaustrecken, die mit dem Streb aufgefahren werden, also in sogenannten Vorbaustrecken, Kohle und Berge meist getrennt gewonnen und abgefördert. Die Auffahrleistungen sind bei diesem Vorgehen zwar beschränkt, sie genügen jedoch, wenn sie dem erreichbaren Abbaufortschritt des Strebes entsprechen. Kommt es bei hohem Abbaufortschritt und z. B. bei Rückbaustrecken auf einen schnellen Vortrieb an, werden Kohle und Berge immer häufiger in einem Zündgang gemeinsam hereingewonnen. Die Aufbereitung wird durch ein solches Vorgehen allerdings stärker belastet.

4.7.5.1 Nachreißen des Hangenden oder Liegenden

Die Entscheidung darüber, ob das Nachreißen des Nebengesteins im Hangenden und Liegenden oder nur im Hangenden oder Liegenden zu geschehen hat, hängt von den Förderaufgaben der Strecken sowie von dem Gebirgsdruck ab.

Das Nachreißen des Liegenden (auch „Bahnbruch“ genannt) ist in der flachen und steilen Lagerung für die Übergabe der Kohle aus dem Abbau in das Abbaustreckenfördermittel notwendig. Aber auch bei Verwendung von Bandzügen oder Bändern lässt sich ein Nachreißen des Liegenden oft nicht vermeiden.

In der flachen Lagerung wird i. d. R. ein Nachreißen des Hangenden angewandt.

4.7.5.2 Nachgeführte Abbaustrecken

Nachgeführte Strecken sind solche, bei denen die zum Streckenquerschnitt gehörige Kohle von der Strebbelegschaft hereingewonnen und abgefördert wird, während das Nachreißen des Nebengesteins zwei oder drei Felder hinter der Abbaufront durch die Ortsbelegschaft erfolgt. Die Vorteile dieses Verfahrens werden in höheren Leistungen vor Ort und in geringeren Kosten des Streckenvortriebs, insbesondere durch den Wegfall der Sonderbewetterung, die bei vorgesetzten Örtern notwendig ist, erblickt. Hinzu kommen geringere Kosten der Unterhaltung der Strecken, da ein Teil der Absenkung des Hangenden vor dem Einbringen des Ausbaus schon eingetreten ist und der voreilende zusätzliche Gebirgsdruck keinerlei Wirkung auf ihn ausüben konnte. Nachteilig ist allerdings, dass das Nachführen der Abbaustrecke eine Voraufklärung des Abbaufeldes nicht ermöglicht.

In der flachen Lagerung unterscheiden sie sich je nachdem, ob das Liegende nachgesprengt werden muss oder nicht. Falls dies nicht der Fall ist, was bei Flözen von mehr als 1,4 m Mächtigkeit und weniger als 10° Einfallen der Fall sein kann, genügt ein stählerner Schutzkasten zur Sicherung des Streckenförderbandes beim Nachsprengen des Hangenden. Der Schutzkasten ruht auf Kufen und kann dem Vortrieb entsprechend nachgezogen werden. Wird dagegen auch das Liegende nachgeschossen, so muss nicht nur die Umkehre des Streckenbandes durch starke Stahlbleche geschützt, sondern auch ein Kurzfördermittel zwischen die Streb- und Streckenförderung eingeschaltet werden. Dieses Zwischenfördermittel ist in der Ladestrecke ein Gummigurt oder ein Kratzband. Es kann mit Rollen versehen auf einem besonderen Gestänge verfahren werden. In der flachen Lagerung wird in den Kopfstrecken vornehmlich das Nachführen angewendet.

7541014/10787806875Biblio

4.7.5.3 Vorgesetzte Abbaustrecken

Das Vorsetzen ist beim Vorwärtsbau für Ladestrecken am meisten gebräuchlich und in steiler Lagerung auch bei Kopfstrecken anzutreffen. Dabei wird in der Regel nur der Querschnitt ausgebrochen, den die Abbaustrecke selbst benötigt. Nicht nur die gewonnenen Kohlen, sondern auch Berge müssen dann abgefördert werden.

Werden dabei die gewonnenen Kohlen und Berge nicht gemeinsam abgefördert, so ergibt sich das Problem, dass die Berge dem Stetigfördermittel der Strecke so lange nicht zugeführt werden können, als es der Kohlenförderung des Strebs dient.

4.7.5.4 Ausmaß des Vorsetzens von Abbaustrecken

Beim Breitauffahren ist das Vorsetzen von der Länge des Zwischenfördermittels abhängig. Bei den gewöhnlichen Streckenvortrieben kann es bis 50 m und mehr betragen.

Zur Aufstellung der Umkehrstation des Förderbandes in den Kohlenabfuhrstrecken der flachen Lagerung und zur unbehinderten Übergabe der Kohlen aus dem Strebfördermittel reichen 5 m im Allgemeinen aus. In der steilen Lagerung wählt man den Abstand zur guten Durchführung des Wagenwechsels an der Ladestelle dagegen größer. Rückt der Abbau in ein unbekanntes Feld vor, so muss die Abbaustrecke so weit vorgesetzt sein, dass bei Anfahren einer Störung genügend Zeit bleibt, um ein neues Aufhauen fertigzustellen, damit der Streb hinter der Störung sofort weiterlaufen kann.

Der erforderliche Abstand zwischen Streckenort und Streb hängt infolgedessen vom täglichen Abbaufortschritt des Strebs, von der Länge des Aufhauens und der für dessen Herstellung benötigten Zeit ab. Ist z. B. der Abbaufortschritt 1,5 m, die Länge des Aufhauens 240 m und wird ein Vortrieb im Aufhauen von 6 m je Tag erreicht, das Aufhauen also in 40 Tagen fertiggestellt, muss die Ladestrecke mindestens 60 m vorgesetzt sein.

Ein vorheriges Auffahren beider Abbaustrecken über die ganze streichende Baulänge ist beim Rückbau notwendig und über etwa die halbe Baulänge beim vereinigten Vor- und Rückbau.

4.7.5.5 Kostenvergleiche

Die Kosten einer für den Rückbau selbständig vorgetriebenen Abbaustrecke sind meist geringer als die einer vorgesetzten Strecke. Es braucht bei ihr nämlich keinerlei Rücksicht auf die durch den Streb bedingten Fördervorgänge in der Strecke genommen zu werden. Diese steht vielmehr allein für die Erfordernisse des Streckenvortriebes zur Verfügung.

Zudem sind beim Auffahren von Rückbaustrecken eine Vollmechanisierung der Vortriebsarbeit und damit das Erreichen großer Vortriebsleistungen leichter möglich.

4.7.5.6 Auffahrtechniken

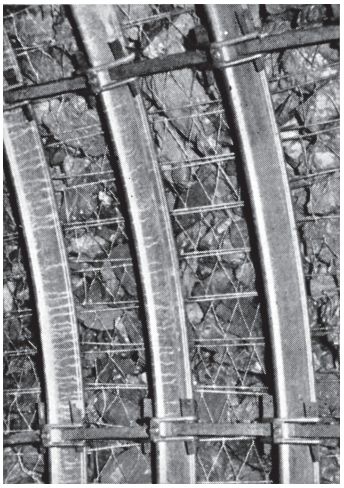
Bei nachgeführten und auch vorgesetzten Abbaustrecken, sofern das als notwendig erachtete Ausmaß des Vorsetzens einmal erreicht ist, braucht der Abbaustreckenvortrieb lediglich mit dem Vorrücken des Strebs Schritt zu halten.

7541014/10787806875Biblio

Die Gewinnung von Kohle und Nebengestein geschieht heute in der Regel mit Teilschnittmaschinen oder der AVSA-Streckenvortriebsmaschnine (s. Abschnitt Querschläge) ohne Trennung von Kohle und Nebengestein.

Zur Steigerung der Betriebszusammenfassung und zur Verringerung der Auffahrungskosten werden monatliche Auffahrleistungen von 120 m und mehr erreicht. Entsprechend sind die Auffahrleistungen in den Abbaustrecken anzupassen.

Abb. Fst-69a: Einsatz einer Teilschnittmaschine in eine Flözstrecke – in der Firste Gestein – [V36]



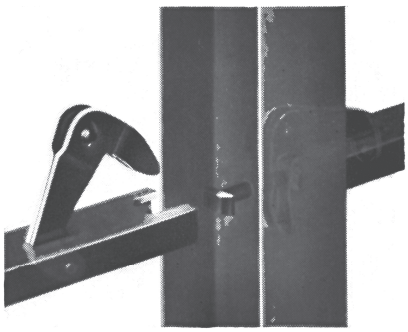


Abb. Fst-69b: links: Verzug aus Drahtgeflecht mit Bergehinterfüllung oder alternativ mit Spritzbeton, rechts: Abstandsvorrichtung für Verbaubögen [1]

4.7.5.7 Betriebsablauf und Belegung

Für die Regelung des Betriebsablaufs in Abbaustreckenvortrieben gelten die gleichen Grundsätze wie beim Gesteinsstreckenvortrieb. Hinsichtlich der Belegung ist der Grundsatz zu beachten, während der 24 Stunden des Arbeitstages so viele Leute vor Ort zu beschäftigen, wie dies ohne gegenseitige Behinderung möglich ist. Dies bedeutet allerdings Ablösung vor Ort mit vierschichtigem Betrieb.

7541014/10787806875Biblio

Die Stärke der Drittel beträgt zwei, drei oder vier Mann. Sie ist im Wesentlichen von der Größe des Ausbruchquerschnittes, aber auch von der Art der eingesetzten Vortriebs- und Ladegeräte abhängig.

4.7.6 Aufhauen und Abhauen

Aufhauen, im Erzbergbau meist Überhauen oder Überbrüche genannt, sind schwebend verlaufende streckenartige Grubenbaue, die von unten nach oben, Abhauen solche, die von oben nach unten innerhalb der Lagerstätte hergestellt werden. Sie unterscheiden sich demnach nur durch die Richtung ihrer Auffahrung. Sie dienen dazu, eine Verbindung zwischen zwei oder mehreren Abbaustrecken zu schaffen, zu denen sie in der Regel rechtwinklig, also im Einfallen, verlaufen. Oft ist man auch gezwungen, längs einer Verwerfung schräg aufzuhauen. Beim Strebbau besteht ihre Aufgabe zumeist darin, zur Einleitung des Abbaus die Kohlenfront freizulegen. In diesem Falle haben sie, nachdem der Abbau in Gang gekommen ist, ihren Zweck erfüllt und bilden dann einen Teil des „Alten Mannes“.

4.7.6.1 Herstellen von Auf- und Abhauen

Bei der Herstellung von Auf- und Abhauen im herkömmlichen Verfahren sind drei Arbeitsvorgänge zu unterscheiden: die Hereingewinnung und das Wegfüllen der Kohle (und unter Umständen des Nebengesteins), die Förderung von Kohle und Material sowie der Ausbauen.

Die Hereingewinnung geschieht nur noch sehr selten mit Abbauhämmern, bei harter Kohle durch Sprengarbeit sowie zuweilen in flacher Lagerung unter Zuhilfenahme von Schräm- und Kerbmaschinen. Solange das Einfallen weniger als 5° beträgt, besteht keine wesentliche Verschiedenheit in der Durchführung der Arbeitsvorgänge mit oder gegen das Einfallen.

Mit zunehmendem Einfallen vergrößert sich jedoch der Unterschied, wobei in Abhauen die Erschwernisse der Wegfüllarbeit und vor allem der Abförderung des hereingeronnenen Haufwerks rasch zunehmen. Infolgedessen wird das Aufhauen dem Abhauen vorgezogen. Anderseits gestaltet sich im Abhauen die Zufuhr von Ausbaustoffen und sonstigem Material einfacher. Auch sind hier Ansammlungen von Grubengas wegen dessen Neigung, nach oben zu steigen, kaum zu befürchten. In Aufhauen muss dagegen insbesondere bei Auftreten von Grubengas auf eine gute Bewetterung geachtet werden, die in schwierigen Fällen mit zwei getrennten Luttensträngen blasend und saugend erfolgt oder durch ein Vorbohrloch erleichtert wird.

- **Querschnittsbemessung und -aufteilung**

Auf- oder Abhauen erhalten in Flözen bis etwa 1,7 m Mächtigkeit meist eine Breite von 3 m bis 4 m. Hierdurch wird es möglich, den Querschnitt in drei Felder oder Trumme aufzuteilen, von denen das eine zur Fahrung, das zweite zur Förderung und das dritte zur Aufnahme der Wetterlutten dient. Die Feldbreite schwankt zwischen 1 m und 1,5 m und nimmt mit abnehmender Mächtigkeit zu. Besitzt das Flöz nur geringe Mächtigkeit oder enthält es ein stärkeres Bergemittel, so ist eine Verbreiterung des Aufhauens auf 4 m bis 5 m notwendig, um ausreichenden Arbeitsplatz zu erhalten und in einem vierten Trum genügend Raum zum Versetzen der Berge zu finden, die dann nicht abgefördert zu werden brauchen. Bei Flözmächtigkeiten über 1,7 m genügen oft zwei Felder, so dass

7541014/10787806875Biblio

eine Breite des Aufhauens von 2 m bis 3 m ausreicht. In einem solchen Falle werden Wetter- und Fördertrum zusammengelegt. Wird beim Einsatz von Schrämmaschinen der Ortsstoß aus der Mitte bogenförmig unterschrämt, entspricht die Breite des Aufhauens etwa der doppelten Länge des Schrämarms.

4.7.6.2 Herkömmliche Herstellung

Für die Lage des Fördertrums wird je nach den Erfordernissen einer leichteren Ladearbeit und besseren Förderung die eine oder andere Seite gewählt. Findet bei der Auffahrung bereits das später im Abbau benutzte Fördermittel (z. B. Stegkettenförderung oder „Panzer-Förderer“) Verwendung, ist ein Umlegen vor Beginn des Abbaus dadurch vermeidbar, dass das Fördertrum gleich an diejenige Seite gelegt wird, von der der Abbau seinen Ausgang nimmt.

Bei Benutzung eines vorläufigen Fördermittels ist die entgegengesetzte Seite vorzuziehen, um später den Einbau des endgültigen Fördermittels an der Kohlenfront unbehindert vornehmen zu können.

Wählt man eine Breite von drei Feldern, so gilt hinsichtlich der Lage des Fördertrums das Gleiche, während das Fahrtrum jedoch stets in der Mitte liegt, um Arbeiten in den beiden anderen Trummen bequemer durchführen zu können.

Breitaufhauen werden in flacher Lagerung bei Vorwärtsbau angewendet, wenn z. B. von einem Flözberg, der auch während des Abbaus zur Förderung oder Wetterführung offengehalten werden muss, ein zweiflügliger Abbau entwickelt wird.
Ebenso gibt man zur Einleitung des Abbaus an einer unregelmäßig verlaufenden Störung in Einzelfällen dem Aufhauen eine größere Breite, die 10 m übersteigen kann, um die Kohle ohne Abknicken des Aufhauens bis zur Störung vollständig hereingewinnen zu können. Ein derartiges Breitaufhauen vermag sich durch wechselnde Breite dem Verlauf der Störung gut anzupassen.

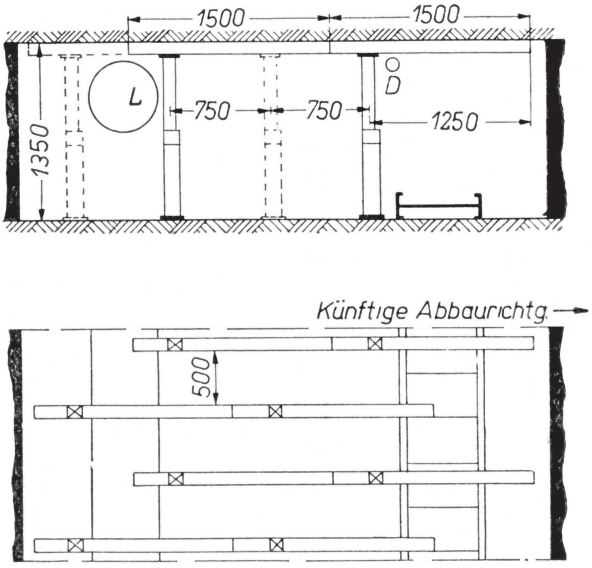


Abb. Fst-70: Ausbaubeispiel für ein Aufhauen, das für einen Hobelstreb vorgesehen ist, L steht für Wetterlutte und D für die Druckluftleitung. [V1]

7541014/10787806875Biblio

- **Ausbau in herkömmlichen Systemen**

Auf- und Abhauen zur Einleitung des Abbaus wurden gewöhnlich mit Holz ausgebaut. Soll der spätere Streb mit Stahl ausgebaut werden, ist es zweckmäßig, schon bei der Auffahrung Stahlstempel mit Holz- oder Stahlkappen zu verwenden, sofern der Abbau gleich beginnen soll und Stahlausbau in entsprechender Menge schon während des Auffahrens zur Verfügung steht.
Insbesondere wird man in einem Aufhauen für einen Hobelstreb es vorziehen, schon den endgültigen Dreieckbau mit stählernen Stempeln und Kappen zu wählen (Abb. Fst-70).

Beim Ausbau in Holz verlegt man in geringmächtigen Flözen, zur Stempelersparnis und um mehr Raum zu haben, vielfach streichend eine durchgehende Kappe von 2,2 m bis 3,5 m Länge. Sie kann je nach Anzahl der Trumme von 3 bis 5 Stempeln getragen werden: Häufig wird die Kappe zunächst auch nur auf die Außenstempel gesetzt, während man die Mittelstempel erst in einer Entfernung von 4 m bis 5 m vom Kohlenstoß einbringt.

Unter 1,6 m Flözmächtigkeit genügen meist Stempel von 12 cm Durchmesser, während bei größeren Mächtigkeiten Stempel von 14 cm und 16 cm Stärke genommen werden müssen. Der Bauabstand beträgt meist 1,0 m bis 1,3 m.
Nach dem Durchschlag des Aufhauens wird beim Hobelbetrieb die Hobelanlage eingebaut und der Übergang zum Streckenförderer hergestellt.

4.7.6.3 Neuzeitliche Herstellung eines Aufhauens

Die heutige Bergbautechnik erlaubt ein wesentlich anderes und schnelleres Verfahren.
Schon ab einer Flözhöhe von 1,00 m können in der flachen Lagerung Vollschnittmaschinen (sog. Continuous Miner) eingesetzt werden, die mit einer Schrämwalze vor Kopf der Maschine ausgestattet sind. Die Breite der Walze entspricht der Breite des Aufhauens und wird fernbedient.

Der Continuous Surface Miner (CSM) ist ein kontinuierlich arbeitendes Abbaugerät, durch das mit Hilfe einer rotierenden Walze das Gestein und Kohle fräsend zerkleinert werden. Der Walze kommt neben der Zerkleinerung auch die Funktion des Ladens auf ein Fördermittel (z. B. Stegkettenförderer s. Abb. Fst-71) zu.

Der CSM stammt ursprünglich aus dem Straßenbau und wurde vor allem beim Fräsen von Fahrbahnbelägen und Tiefbauprojekten in schwierigen Bedingungen eingesetzt, wo nicht gesprengt werden konnte.

Durch die Möglichkeit, harte Gesteine ohne Sprengung zu gewinnen, drangen die CSM immer mehr in den Bergbau vor, so dass sie heute fest zu den Vortriebsmaschinen im Untertagebau gezählt werden können. Von den im Straßenbau eingesetzten CSM unterscheiden sich die Bergbau-CSM dadurch, dass sie festere Gesteine abbauen und die Walze höher und breiter ist.

7541014/10787806875Biblio

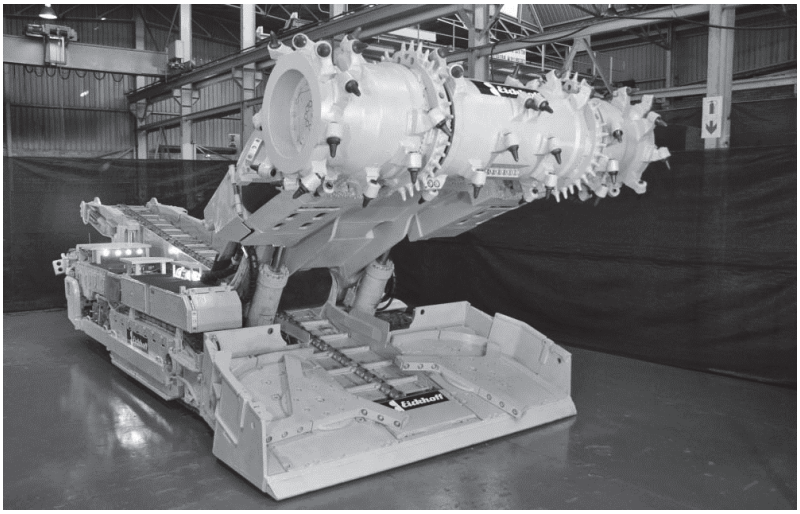


Abb. Fst-71: Continuous Miner-System Eickhoff [V52]

- **Aufbau der CSM**

Im Wesentlichen werden die CSM nach der Anordnung der Fräswalze unterschieden: Frontwalze, CSM mit mittig angeordneter Walze, mit Heckwalze oder mit Auslegerfräse. Im Untertagebergbau werden vor allem die Frontwalzengeräte und Auslegerfräse eingesetzt. Auf der Fräswalze sind Meißel angebracht. Zur Anwendung kommen hier klassische Rundschaftmeißel und Diskenmeißel.
Zusätzlich können auf der Fräswalze Leitbleche angebracht werden, die das gefräste Material wie bei einer Förderschnecke oder dem Hummerscherensystem zur Mitte der Walze transportieren, wo es auf eine Bandanlage oder einen Stegkettenförderer gelangt.

Anordnung und Drehrichtung der Fräswalze beeinflussen die gewinnbare Gesteinsfestigkeit, die maximale Schnitthöhe, das Schwingungsverhalten und Freischnittverhalten der Maschine.

CSM können zusätzlich dahingehend unterschieden werden, ob sie mit einem Abwurfausleger ausgerüstet sind oder das gefräste Material direkt hinter sich ablegen.

Falls das Material direkt abgelegt wird, steigt zwar die Förderleistung, jedoch führt das zu zusätzlichen Abförderungsarbeiten.

Die im Untertagebergbau eingesetzten Geräte sind in der Regel mit Raupenfahrwerken und meist mitten durch die Maschine laufenden Fördersystemen ausgerüstet (s. Abb. Fst-72). So wird z. B. bei der Herstellung eines Aufhauens ein Kettenförderer oder Förderband eingesetzt, der/das am Ende mit einer Übergabevorrichtung auf dem mitgeführten Panzerförderer versehen ist. Anschließend wird das Material auf das Streckenförderband übergeben.

Vorteile der CSM:

- Kombination von Lösen, Brechen und Laden in einem,
- relativ geringe Investitionskosten,
- hohe betriebliche Mobilität und Flexibilität,

7541014/10787806875Biblio

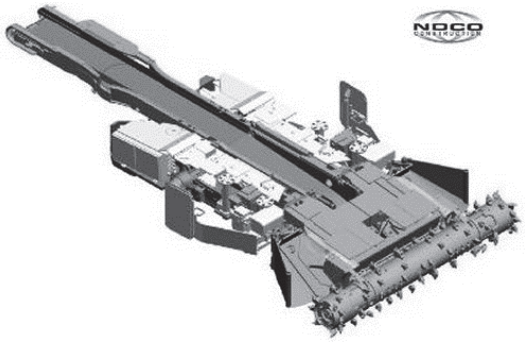


Abb. Fst-72: Funkfernbares CSM-Gerät-System – NDCO – Vöst-Alpine einer extrem flachen Bauweise mit einem mittig angeordneten Förderband und einer Fräswalzenbreite von 3,50 m [Vöst-Alpine]

- Gewinnung von Gesteinen bis 120 MPa,
- hohe Trennschärfe (d. h. genaues Schneiden entlang der Schichtgrenzen mit einer Genauigkeit von bis zu 5 cm).

Nachteile der CSM:

- relativ hohe Verschleißkosten,
- im Vergleich zu anderen Vortriebssystemen geringe Gesamtleistung,
- im Vergleich zu anderen Systemen geringe Abtragsmächtigkeit.

Bezogen auf die Herstellung eines Aufhauens im Steinkohlenbergbau – insbesondere in geringmächtigen Flözen – sind die Nachteile vernachlässigbar. Bei Flözhöhen unter 1,50 m ist die manuelle Herstellung eines Aufhauens kaum noch zumutbar und der Zeitaufwand nicht mehr vertretbar.

Bei Aufhauen mit standfestem Hangenden (z. B. dickbankiger harter Sandstein), der keinen Ausbau erfordert, kann der Vortrieb ferngesteuert von der Flözstrecke ausgeführt werden. Über starke Scheinwerfer und Spezialkameras wird der Abbaufortschritt von einem Mann überwacht.

Das Verfahren erfordert, dass der Kettenförderer vom CSM-Gerät nachgezogen oder der Förderer von der Flözstrecke aus über entsprechende Hydraulikzylinder nachgeschoben werden kann. Die jeweilige Verlängerung des Förderers erfolgt in der Flözstrecke.
Dabei wird das Aufhauen nur in der unbedingten Breite freigelegt, damit die Ausbauschilde und das Abbaugerät (Gleithobel oder Walzenschrämlader) eingebaut werden können.

Vorbereitungen:

- Herstellung der Flözstrecke mit einem Vorsprung von etwa 10 m,
- Einbau des Streckenförderers (i. d. R. Förderband),
- Antransport der CSM-Maschine,
- Antransport der Rinnen und Ketten für den Strebförderer,
- Herstellung einer Rampe für den Ansatzpunkt des CSM,
- wenn die CSM weit genug abgebaut hat, Panzerförderer mit Übergang auf das Streckenband herstellen,
- Strom-, Druckluft- und Wasserversorgung vorbereiten,

7541014/10787806875Biblio

- Vorbereitungen für eine Bewetterung,
- ist ein Verbau erforderlich, das Ausbaumaterial (je nach Verfahren: Anker, Ankersetzgerät, Baustahlgewebe, Leichtbaukappen und -stempel usw.) bereithalten,
- Installation der Hydraulik- und Steueranlage für den Strebabbau,
- Antransport des Abbaugerätes (kann während der Herstellung des Aufhauens erfolgen).

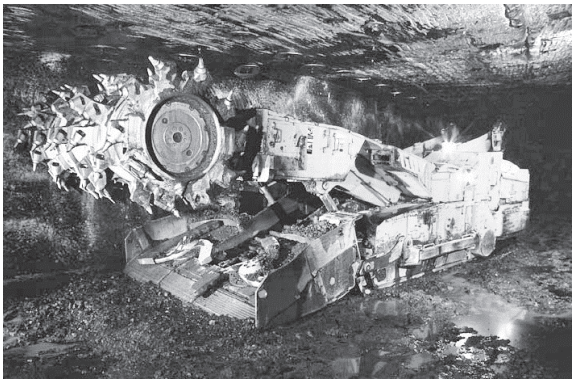


Abb. Fst-73a: CSM während des Vortriebs im Aufhauen – Hangendsicherung durch Anker [V53]

- **Abwicklung – System A: bei standfestem Gebirge ohne Sicherung des Hangenden**

Sind alle Vorbereitungen getroffen und die CSM in Stellung gebracht, beginnt der Vortrieb. Die Bedienung erfolgt durch den CSM-Fahrer. Zwei weitere Leute kontrollieren die Übergänge und bereiten die Verlängerung des Strebförderers vor.
Der CSM-Fahrer kann das Gerät über eine Funksteuerung bedienen und alle Abläufe vor Ort über einen Monitor überwachen. Eine Überwachungstafel zeigt den Abbaufortschritt und evtl. Unregelmäßigkeiten des Gerätes an (Abb. Fst-73b).

Wenn der Geräteförderer das Ende des Kettenförderers erreicht hat, muss der Abbau gestoppt und der Kettenförderer verlängert werden. Die Verlängerungsrinnen werden an der Umkehrstation eingebaut und die Förderketten entsprechend verlängert.

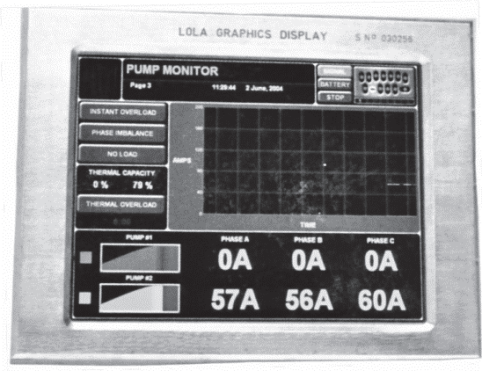


Abb. Fst-73b: Überwachungsmonitor des CSM [V53]

7541014/10787806875Biblio

Nach dem Durchschlag, d. h. Erreichen der Kopfstrecke, wird die CSM in der Kopfstrecke ausgebaut oder er fährt zum Ausbau zurück in die Fuß- bzw. Förderstrecke.
Die einzelnen Schilder werden nun über eine Seilwinde in der Kopfstrecke hochgezogen und montiert. Nach der vollständigen Montage, Ausleuchtung und sonstigen Arbeiten erfolgt ein Probelauf, und der Kettenförderer wird mit der Ausbaueinrichtung an den Kohlenstoß geschoben. Der Abbau kann beginnen.

- **Abwicklung – System B: bei nicht standfestem Gebirge mit Sicherung des Hangenden**

Bei Höhen über mindesten 1,80 m und vorübergehend standfestem Hangenden kann eine Sicherung mit Ankern in Verbindung mit Baustahlmatten vorgenommen werden. Für das Einbringen der Anker stehen heute halbautomatische Ankersetzgeräte zur Verfügung (siehe hierzu Erprobungsbericht über ein Aufhauen auf der RAG-Schachtanlage West).

Abb. Fst-73c: Ankersetzgerät System Fletcher in Aktion – Höhe des Aufhauens ca. 1,4 m [V53]

Systembeschreibung

Zur Sicherung des freigelegten Hangenden werden beim CSM-Abbaubetrieb in Abhängigkeit von den Hangendbedingungen etwa alle 1,20 m (0,6 m bis 1,5 m) ein Reihe von Ankern (3 bis 5 Stück) gesetzt.

Zum Einbringen der Anker werden sogenannte Roof-Bolter-Geräte, die Löcher bohren, die Anker in das Bohrloch einbringen und diese je nach Ankersystem verspannen oder verkleben, eingesetzt.
Die Ankerbohr- und Setzwagen folgen dem CSM-Gerät entsprechend dem Abbauverfahren. Das bedeutet, dass, wenn ein CSM einen entsprechenden Bereich freigelegt hat, der Roof-Bolter folgt und die erforderlichen Hangendanker setzt. Dabei ist zu beachten, dass der CSM während des Ankerns nicht arbeitet und somit der Kettenförderer leer ist und mit dem Roof-Bolter überfahren werden kann.

Die Vortriebsunterbrechung ist sehr gering, da mit einem Roof-Bolter nur 3 bis 4 Minuten je Anker benötigt werden. Gegebenenfalls muss der CSM für die Verankerung zurückgefahren werden, damit bis zur Ortsbrust verankert werden kann. Auch ein Setzen der Anker mit kleinen Geräten von Hand ist möglich.

7541014/10787806875Biblio

Einige CSM-Systeme besitzen auch eine integrierte Ankerbohr- und Setzeinrichtung, so dass die Bedienung des CSM auch die Ankerarbeit ausführen kann.

Voraussetzung für die Anwendung des Systems ist, dass eine vorübergehende Standsicherheit gegeben ist. Diese Ausstattung bietet insbesondere beim gleichzeitigen Ankern mit zwei Bohrarmen in Rechteckstrecken und Aufhauen erhebliche Vorteile, da die Bohrlafetten wahlweise links oder rechts neben den Bohrarmen positioniert werden können. Optional sind weitere Bohrarmvarianten und Ausstattungen verfügbar.

Abb. Fst-74: Ankersetzgerät System „Fletcher Roof Bolter“ mit zwei Ankerlafetten – einsetzbar in Flözhöhen ab 1,50 m [V53]

Als Hydraulikmedien können wahlweise Mineralöle, Bioöle oder schwerentflammbare Flüssigkeiten verwendet werden.

D + H stellt außerden einen einarmigen Bohrwagen unter der Typenbezeichnung DH-DT 1 her. Er hat eine Bauhöhe von 1,53 m und eine Breite von 1,50 m und ein Gewicht von 17 t.
Stehen solche Geräte nicht zur Verfügung, müssen die Anker mit handbedienten Einzelbohrstützen eingebracht werden. Als Anker werden Spreizanker oder Kunstharzanker verwendet.

Möglich ist auch eine Sicherung mit Leichtbaukappen und Alu-Teleskopstempel oder auch Stahlspindelstützen mit entsprechendem Durchmesser (wie im Schalungsbau verwendet). Der Zeitpunkt der Sicherung, d. h. der Abstand zur Gewinnung, hängt vom Verhalten des Hangenden ab.
Bei Flözhöhen unter 1,80 m muss ein entsprechender Teil des Hangenden mit herausgefräst werden.

Die weitere Vorgehensweise entspricht System A.

- **Breitaufhauen mit Substitutionsausbau bei Flözmächtigkeit < 2 m**

Auf dem RAG-Bergwerk West wurden die Entwicklung und Erprobung der Verfahrenstechnik für die Aufhauenherstellung bis 2 m Ausbruchhöhe erprobt.

Ziel war, die Vorteile des Substitutionsausbaus auch bei geringen Ausbruchhöhen zu realisieren. Hierdurch sollte ein geringerer Gesteinsausbruch erreicht, die sonst erforderliche Rampe für den Einhobelvorgang vermieden und die Vortriebsgeschwindigkeit um ca. 50 % auf 6 m/d gesteigert werden.

7541014/10787806875Biblio

In der ersten Projektphase wurde im Aufhauen 426.8 ein Ausbauschema mit Ankerlängen von 1,8 m erfolgreich getestet. Ferner wurde in einer zweiten Phase auf dem Bergwerk West Fl. Mathilde BP 427.8 ein neu entwickelter flachbauender, zweiarmiger Bohrwagen eingesetzt. Dieser erlaubt das Ankern von Aufhauenbreiten bis rund 7,5 m von einem Standplatz aus. Die Bedienung erfolgt von zwei seitlich ausschwenkbaren Bohrständen. Die Korpushöhe beträgt 1,45 m (siehe Abb. Fst-74).

Die kurz bauenden teleskopierbaren Bohrlafetten von 1,85 m Länge (ohne Teleskop) eignen sich sowohl für das Bohren der Firstankerbohrlöcher als auch mit Teleskop für das Sprenglochbohren (Nutztiefe ca. 2,3 m).

5 Streb[16)]

Der Streb ist das Herzstück der Bergwerke. Hier löst die Abbaumannschaft mit modernster Technik die Kohle aus dem Flöz. Maschinen und Anlagen der Gewinnungsbetriebe arbeiten eng aufeinander abgestimmt und bilden eine zusammenhängende Einheit. Die Kommunikation der Komponenten untereinander erfolgt digital. Nach festgelegter Choreographie bewegen sie sich aufeinander zu, halten Abstand, ändern ihre Bewegungsrichtung und überwachen sich gegenseitig. Ein perfektes Zusammenspiel, bei dem die Abbaumannschaft Regie führt.

Die Lösearbeit der Kohle übernehmen als Gewinnungsmaschinen Gleithobel oder Walzenschrämlader. Sie gleiten beziehungsweise fahren auf dem Panzerförderer, der die gewonnene Kohle kontinuierlich aus dem Streb transportiert. Rückzylinder verbinden den Schreitausbau fest mit dem Förderer. Diese Zylinder schieben (der Bergmann nennt diesen Vorgang „Rücken“) den Panzerförderer um die Länge wieder an den Kohlenstoß, um die die Gewinnungsmaschine Fördergut aus dem Flöz gelöst hat.

Außerhalb des Strebs gelangt die Kohle in den Kohlenbrecher, der sie zerkleinert und auf das Förderband Richtung Schacht aufgibt. Der Streb ist ein 1 m bis 5 m breit und ca. 100 m bis 500 m langer (heute teilweise auch noch längerer) Abbauraum, in dem die Lagerstätte gleichzeitig in Angriff genommen wird.

Er rückt entlang des „Abbaustoßes“ (d. h. entlang der Längsseite des Abbauraumes) täglich um ein gewisses Maß voran. Der abgeworfene Strebraum (Alter Mann) bleibt dabei zurück. Der sog. „Alte Mann“ kann entweder verfüllt werden (Versatzbau), oder er wird heute nur noch durch Einsturz verfüllt (Bruchbau).

Erschlossen wird der Streb durch zwei Flözstrecken, die zunächst durch das zuvor beschriebene Aufhauen verbunden werden. Die untere Flözstrecke ist die Förder- und einziehende Wetterstrecke. Die obere Strecke (Kopfstrecke) ist die ausziehende Wetterstrecke, wobei das Bewetterungssystem mittels Wettertüren gesteuert wird. Über die obere Strecke erfolgt außerdem ein Teil des Materialtransportes (meistens mit Einschienen-Hängebahnen).

16) Grundlage für diesen Abschnitt sind Studienunterlagen, Vortragsunterlagen [1] und Informationsunterlagen der Gerätehersteller sowie Informationen der DSK und RAG.

7541014/10787806875Biblio

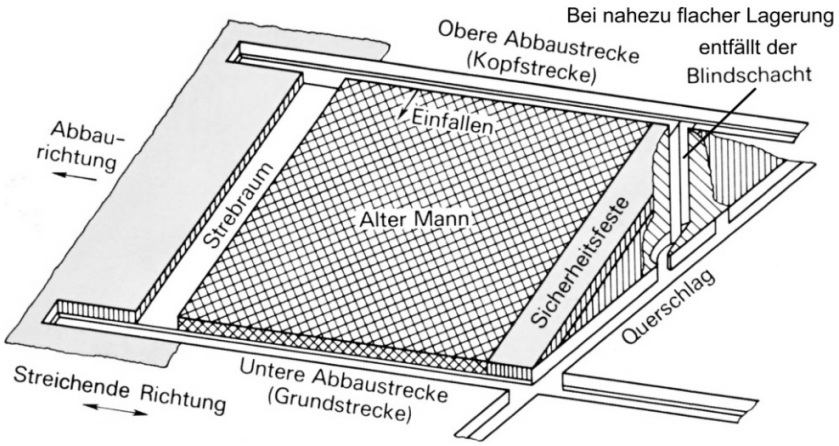


Abb. Fst-75: Schematische Darstellung des Strebabbaus in streichender Richtung mit vorgesetzten Flözstrecken [V1]

5.1 Gewinnung

Die Mechanisierung ist eine entscheidende Komponente der Leistungsfähigkeit des Strebbaus. Die erste Teilmechanisierung wurde durch Einführung der Schüttelrutsche zu Beginn des 20. Jahrhunderts erreicht. Weitere Verbesserungen waren der Einsatz von Schrämmaschinen, der Kratzkettenförderer und der vollmechanisierte Ausbau.

Die Gewinnung im Strebbau verläuft heute fast ausschließlich mechanisiert und elektronisch gesteuert. Die manuelle Gewinnung mittels Abbauhammer ist nur noch auf kleine Teilbereiche (z. B. in Störungen) beschränkt und weitgehend bedeutungslos geworden.

Im deutschen Steinkohlenbergbau werden heute nur noch Flöze in flacher bzw. nahezu flacher Lagerung abgebaut. Dabei werden in mechanischer Gewinnung und selbstschreitendem Schildausbau zwei Verfahren unterschieden:

- schälende Gewinnung,
- schneidende Gewinnung.

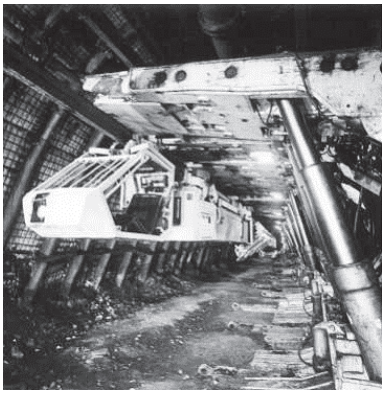


Abb. Fst-76: Blick in eine Kopfstrecke mit einseitigem Schildausbau und Einschienenhängebahn („Dieselkatze“) auf der RAG-Schachtanlage Ibbenbüren [V41]

7541014/10787806875Biblio

Das Lösen der Kohle übernehmen als Gewinnungsmaschinen Gleithobel oder Walzenschrämlader. Sie gleiten beziehungsweise fahren auf dem Panzerförderer, der die gewonnene Kohle kontinuierlich aus dem Streb transportiert. Rückzylinder verbinden den Schreitausbau fest mit dem Förderer.

5.1.1 Kettenstegförderer (Panzerförderer)

Im Strebförderer (Panzer) arbeiten zwei sogenannte Flachketten. Sie laufen in parallelen Reihen, an denen sich massive Mitnehmer aus Stahl befinden. Sie transportieren das gelöste Fördergut aus dem Streb heraus. Am Strebende kehrt die Kette um, läuft in der unteren Hälfte des Förderers, dem Untertrum, zurück zum Strebanfang – ein endloser Kreislauf.

Hergestellt aus legiertem Stahl, messen die Rohlinge für die Glieder von Hobel- oder Strebfördererkette bis zu 48 mm im Durchmesser. Bis zu acht kg wiegt ein einzelnes Kettenglied. Mit Einführung des Schreitausbaus übernahm der Förderer auch die Aufgabe als Wiederlager für das Rücken des Ausbaus.

Der Strebförderer selbst wurde über die Strebabspannungen und über spezielle Rückbalken gegen den gesetzten Schreitausbau abgefangen. Kettenkratzerförderer mit geschlossenem Untertrum haben definierteres Laufverhalten des Kettenbandes, haben eine größere Stabilität und sind definierter über dem Liegenden zu führen. Bis zur breiten Anwendung der Kettenkratzerförderer mit geschlossenem Untertrum waren Fragen zur Zugänglichkeit des Untertrums für den Fall von Kettenrissen und Blockaden zu klären.

Abb. Fst-77: Panzerförderer – links: neuzeitlicher Panzerförderer mit innen liegenden Ketten System BUCYRUS – rechts oben: Panzerförderer mit außen liegenden Ketten in einem Hobelstreb um 1960 [1] – rechts unten: Panzerrinnen-Schnellverbindung – System BUCYRUS [V53]

7541014/10787806875Biblio

Aus der Vielzahl der verschiedenen Lösungen hat sich letztlich die mit dem voll verschweißten geschlossenen Untertrum und den Revisionsöffnungen im Bodenblech des Obertrums herausgebildet. Diese Entwicklung fand ihre erste große Verbreitung im englischen Steinkohlenbergbau.

Eine weitere Entwicklung strebte eine weitgehend frei bewegliche Abwinkelbarkeit des Strebförderers am Streb-Streckenübergang an. Merkmal der Entwicklung waren der Einsatz vieler kleiner Zwischenantriebe im Ober- und Untertrum, verteilt über die Fördererlänge. Die vielen Antriebe, verteilt über die Streblänge, bewirken eine sehr niedrige Kettenkraft und ein leichtes Kettenband.

Auch sollte ein weitgehend vorspannungsfreier Betrieb möglich sein. Realisiert wurden die Zwischenantriebe in Ober- und Untertrum über ein Kettenrad, das in beide Trumme eingriff. Dieses System des Strebförderers mit Zwischenantrieben wurde als Prototyp für den Bergbau gebaut. Das System kam jedoch nur im übertägigen Bereich zum Einsatz. Es hat sich letztlich das Doppelmittenkettenband durchgesetzt (Abb. Fst-77).

Der Strebförderer heutiger Hochleistungstrebe ist ca. 1,4 m breit und hat Förderquerschnitte bis 1,1 m^2. Er läuft mit einer Förderergeschwindigkeit bis 2 m pro Sekunde und ist bis zu 440 m lang. Er benötigt eine Antriebsleitung bis zu 4×800 kW = 3,2 MW. Um diese Antriebsleistung sicher in Förderleistung umzusetzen, werden Doppelmittenkettenbänder mit Kettendrahtstärken von 42 mm bzw. 48 mm eingesetzt.

Die Entwicklung war im Wesentlichen durch stetige Vergrößerung der Rinnenbreite und -dimension, der Antriebsleistung, der Streblänge und in dieser Folge dann auch durch Vergrößerung der Antriebsleistung und der Kettendrahtstärken gekennzeichnet.

Wesentliche Merkmale heutiger Hochleistungsförderer sind deren gefesselte Streb-Streckenübergaben in Form von Kreuzrahmen bzw. über gefesselte Seitenausträge.

Diese Fesselung ist wichtig, um die Rückarbeiten im Strebstreckenübergang einer Vollmechanisierung zuzuführen und eine auch bei Rücken der Antriebe unterbrechungsfreie Abförderung aus dem Streb zu ermöglichen. Die großen Förderströme und installierten Leistungen bedingen entsprechend groß dimensionierte Antriebsrahmen; die Abbaustrecken heutiger Hochleistungsbetriebe erfordern für den Einbau der Kreuzrahmen, der Rückeinrichtungen einen Streckenquerschnitt von 23 m^2 und mehr. Andererseits erfordert die nachgeschaltete Infrastruktur mit Gurtförderer und Einschienenhänge- und Flurbahn bei den zu fördernden und zu transportierenden Mengen entsprechend große Abbaustreckenquerschnitte. Es wurden Kettenkratzerförderer, die den Streb-Streckenübergang mit Kurvensystemen realisierten, eingesetzt. Diese Systeme waren Rollenkurvenförderer.

Die Rollkurvenförderer lenkten das Kettenband über zwei große Stützscheiben – eine im Obertrum und eine im Untertrum –, auf denen sich die Kratzer beim Lauf um die Kurve abstützten, aus dem Fördererast aus dem Streb kommend in den Fördererast in die Strecke um 90°. Mit Vergrößerung der Streblängen und dem Erfordernis größerer Antriebsleistungen wurde der Einsatz von Doppelmittenketten Standard. Zum Durchfahren der Kurve mit einem Doppelmittenkettenband wurden Geschirre erforderlich, die die Abwinklung der Kettenabschnitte zwischen den Kratzern beim Lauf um die Kurve ermöglichten.

Diese Geschirrkettenbänder waren sehr schwer und sehr teuer. Da außerdem spezielle Antriebskettenräder erforderlich waren, haben sich diese Kurvensysteme bei allen Vorzügen für die Gestaltung des Streb-Streckenübergangs nicht durchgesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Wesentlich für die Entwicklung der leistungsfähigen Kettenkratzerförderer ist eine intelligente Antriebstechnik, die über mikroprozessorgesteuerte Kupplungen sowohl einen Lastausgleich zwischen den Antrieben an Haupt- und Hilfsantrieb als auch den Schweranlauf und den Überlastschutz gewährleistet.

Man unterscheidet je nach Hersteller Panzerförderer, deren Ketten außen verlaufen, und andere, bei denen sie in einem gewissen Abstand innen verlaufen. Inzwischen haben sich die mittig laufenden Ketten durchgesetzt. Der Panzerketten-Förderer wird mit bis zu 2 × 1.800 kW angetrieben Die Hersteller prüfen die Ketten nach der Deutschen Industrienorm. Ketten für den Bergbau werden zusätzlich nach der RAG-Norm geprüft. Nur Ketten, die dem festgeschriebenen Qualitätsstandard entsprechen, kommen zum Einsatz.

Es konnte allein in den vergangenen zehn Jahren eine Leistungssteigerung je Mann und Schicht erreicht werden, an die damals noch keiner geglaubt hat.

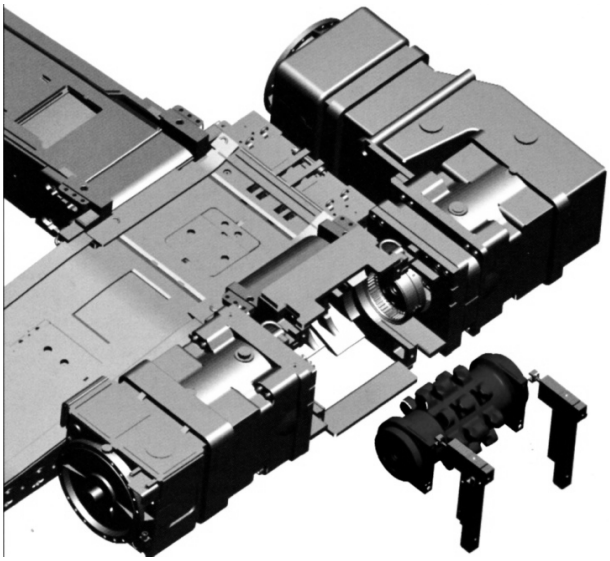


Abb. Fst-78: Haupt-Antriebsstation des Strebförderers System BUCYRUS, rechts im Bild die Umkehr-Zahnwalze (Schema) [V53]

Systemmaße der Panzerförderer Typ BUCYRUS

Außenbreite	832 mm bis 1.342 mm
obere Plattendicke	30 mm bis 50 mm
untere Plattendecke	20 mm bis 30 mm
Bruchkraft	2.000 kN bis 4.500 kN
max. Stundenförderung	1.300 t bis 5.000 t
Hauptantrieb	2 × 1.200 kW
Hilfsantrieb	1 × 1.200 kW

7541014/10787806875Biblio

5.1.2 Schälende Gewinnung mit dem Kohlenhobel

- **Kohlenhobel**

Ein **Kohlenhobel** ist eine Maschine, die im Bergbau beim Abbau von Kohleflözen eingesetzt wird. Sie schält die Kohle ähnlich einem Hobel vom Kohlenstoß ab. Der Kohlenhobel selbst ist antriebslos. Er ist in ein Kettenband integriert, das über Antriebsmotoren, die sich an den Strebenden befinden, am Kohlenstoß entlang bewegt wird.

Bei jeder Fahrt schält der Hobel eine 5 cm bis 10 cm dicke Schicht vom Flöz ab (Schnitttiefe). Diese Methode nennt sich aufgrund dieser Arbeitsweise auch **schälende Gewinnung.**

Entsprechend der Kohlenhärte und den geologischen Verhältnissen werden unterschiedliche Maschinen eingesetzt, wie Gleit- oder Reißhakenhobel. Erste Versuche, die Kohle schälend zu gewinnen, reichen bis in das Jahr 1936/37 zurück.

Erfinder des Kohlenhobels war der aus dem Saarland stammende Maschinenfahrsteiger Konrad Grebe (1907–1972), der aufgrund seiner bahnbrechenden Erfindung im Jahr 1943 zum „Pionier der Arbeit“ ernannt wurde. Der erste Kohlenhobel wurde im Bergwerk Ibbenbüren getestet und eingesetzt. Der Konstrukteur Wilhelm Löbbe entwickelte den Kohlenhobel 1947 für die Altlüner Eisenhütte Westfalia weiter. Der sogenannte „Löbbe-Hobel“ kam weltweit zum Einsatz.

Marktführer auf dem Gebiet kompletter, vollautomatisierter Hobelanlagen ist heute die Firma Bucyrus International (ehemals Deutsche Bergbau Technik DBT) mit Sitz in Lünen, Deutschland. Sie ist einer der führenden Konstrukteure, Hersteller und Vermarkter hochtechnologischer Lösungen für den untertägigen Kohleabbau. Dazu gehören vollautomatische Kohlenhobel- und Walzenschrämmaschinen, Gewinnungseinrichtungen einschließlich Schildverbau und Stegkettenförderer sowie Transportlader.

Moderne Hobelanlagen laufen heute vollautomatisiert mit Antriebsleistungen von bis zu 2×800 kW und Geschwindigkeiten von bis zu 3,6 m/s. Es werden Mächtigkeiten zwischen 0,6 m und 2,4 m mit diesem Verfahren leistungsfähig hereingewonnen (bei größeren Mächtigkeiten werden Walzenschrämlader eingesetzt). Die Schnitttiefe wird über die elektrohydraulische Ausbausteuerung in Verbindung mit Wegmesssensoren in den Schreitzylindern des Schildausbaus eingestellt.

Die Gleitschwerthobel haben eine Schwertplatte auf der Versatzseite am Strebförderer, wo auch die Kettenführung sitzt. Im Unterschied zu den Schwerthobeln laufen sie mit ihrem Schwert bzw. Hohlkörper auf einem Blech, das bis zum Abbaustoß reicht und nur von den Meißeln überragt wird. Der Strebförderer ist versatzseitig ebenfalls an diesen Gleitblechen angeschlagen. Bei Vorbeifahrt wird der Strebförderer von der Schwertplatte des Gleitschwerthobels angehoben.

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale hinsichtlich des Einsatzes resultieren aus der Art der Spanvorgabe und der Art der vertikalen Steuerung der drei Hobelbauarten.

Die Spanvorgabe bei den ersten geführten Hobelanlagen erfolgte über die Einstellung des Andrucks über die hydraulischen Rückzylinder des Kettenkratzerförderers.
Dabei wird der Strebförderer mit der Hobelanlage an den Abbaustoß gedrückt. Der Hobel wird zwischen Strebförderer und Abbaustoß hindurchgezogen.
Über das Kräftegleichgewicht aus Andruckkraft aus den Rückzylindern sowie der Reaktionskräfte aus dem Meißeleingriff des Hobels im Abbaustoß stellt sich die tatsächliche

7541014/10787806875Biblio

Spantiefe ein. Diese Arbeitsweise ist bei hartem Liegenden und gut gewinnbarer Kohle mit den Schwerthobeln sehr erfolgreich angewendet worden.

Die vertikale Steuerung im Flözhorizont stellte bei hartem Liegenden keine besonderen Anforderungen an die Steuerung durch die Strebbelegschaft.

Bei weichem Liegenden, welliger Lagerung oder größer werdender Kohlenhärte stiegen die Anforderungen. So wurden zur Begrenzung der Spanvorgaben zusätzliche Gleitschuhe angebracht, die mit einem definierten Maß gegenüber den Meißelspitzen vom Abbaustoß zurückstanden. Bei Erreichen der Spantiefe gleich dem Meißelüberstand legten sich die Gleitschuhe am Abbaustoß an, sofern dieser nicht ausgeböscht war, und bewirkten eine geometrisch etwas definiertere Arbeitsweise des Hobels.

Die Höhensteuerung wurde durch Einführung von in der Höhe am Kettenkratzerförderer umsteckbaren Rückgestängen verbessert. Dies bewirkte, dass die Rückkraft je nach Höhenlage des Anschlags den Kettenkratzerförderer mehr oben bzw. mehr unten nach vorne drückte.

Eine weitere Maßnahme betraf die Bodenmeißel der Hobel. Sie wurden je nach Betriebsbedingungen und Liegendbeschaffenheit mit mehr oder weniger vertikalem Überstand zum Liegenden am Hobel eingestellt. Sie bewirkten somit ein etwas größeres bzw. etwas weniger starkes Freischneiden zum Liegenden hin, so dass der Hobel dann tauchte bzw. kletterte.

Die oben genannten Maßnahmen wurden zunächst an den Schwerthobeln durchgeführt. Die Einsatzbereiche blieben jedoch auf gut hobelbare Flöze mit einigermaßen festem Liegenden beschränkt.

Mit der Einführung der Gleithobel verbesserten sich die Einsatzmöglichkeiten bei größeren Mineralfestigkeiten und schlechten Liegendverhältnissen. Bei ihnen erfolgt eine definierte Höhensteuerung über die auf der Gleitbahn geführten Hobelkörper. Auf der Versatzseite sind die Hobelanlagen mit sogenannten Auslegersteuerungen ausgerüstet. Diese besitzen Steuerzylinder, die die Kohlenstoßseite der Hobelführungen anheben bzw. absenken, so dass der Hobel bei Vorbeifahrt tauchen oder klettern kann. Wesentlich ist hierbei, dass die Hobel geometrisch definiert arbeiten.

Die Gleitbahn bewirkte als Weiteres eine geometrische Spanvorgabe derart, dass der Kratzerförderer nur so weit vorrückt, bis sich die Gleitbahn an den Abbaustoß anlehnt. Das Rückmaß für den nächsten Hobelschnitt wird bei diesen Gleithobeln durch die Breite des Bodenmeißels vorgegeben. Der letzte wesentliche Schritt zur Vergrößerung der Einsatzbreite und Leistungsfähigkeit der Hobelanlagen bestand in der Einführung der elektronisch weggesteuerten Rückanlagen. Diese ermöglichen auch bei nur geringen, aber eng definierten Spanvorgaben von z. B. 3 cm, feste Kohle leistungsfähig zu hobeln.

Die heutigen Hochleistungshobelanlagen sind alle mit automatischen weggesteuerten Rückeinrichtungen ausgerüstet.

Wesentlich für die Entwicklung der Antriebstechnik von Hobelanlagen war, dass die robusten, leistungsstarken, kompakten und bergbaugerechten Asynchronmotore durch Lastausgleich und Überlastschutz ertüchtigt wurden, trotz der hochdynamischen Arbeitsweise des Löse- und Ladevorgangs des Hobels, im Streb die Antriebsleistung über die Ketten zuverlässig am Hobel abzusetzen. Heutige Hobel haben Gesamtleistungen bis 800 kW bei Einsatz von Ketten mit Drahtstärken von 38 mm. Die Streben werden vollautomatisch gerückt.

7541014/10787806875Biblio

Datentabelle der Hobelsysteme Typ BUCYRUS

Typen	RHH 800/GH 800/GH 16500
Schnitthöhen	0,6 m bis 1,6 m/0,9 m bis 2,0 m/1,0 m bis 2,3 m
typische Abbauhöhen	0,8 m bis 1,6 m/1,0 m bis 2,0 m/1,1 m bis 2,3 m
Kohlenhärte	Weich bis hart/weich bis hart/mittelhart bis hart
Flözneigung	bis 60°
max. installierte Leistung	2 × 400/2 × 400/2 × 800 kW
max. Hobelgeschwindigkeit	2,5 m/3,0 m/3,6 m/s
max. Schnitttiefe	150 mm/180 mm/250 mm

Hobel erreichen so Strebausträge bis zu 10.000 t pro Tag, und das bei Flözmächtigkeiten bis 2 m. Vielfach sind heute die Arbeiten an den Strebrändern leistungsbegrenzend und stehen höheren Abbaugeschwindigkeiten entgegen.

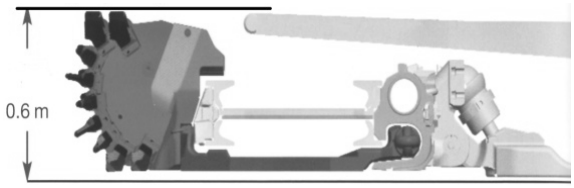


Abb. Fst-79a: RHH 800
Hobelsystem für Flözhöhen von 0,8 m bis 1,6 m [V53]

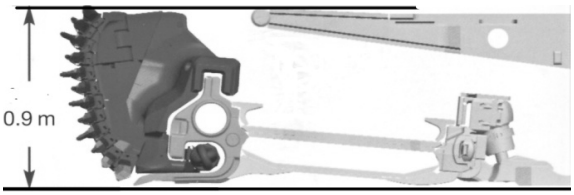


Abb. Fst-79b: RH 800
Hobelsystem für Flözhöhen von 1,0 m bis 2,0 m [V53]

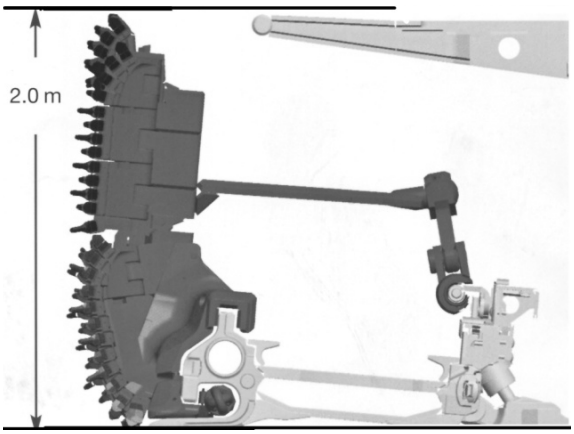


Abb. Fst-79c: RH 1600
Hobelsystem für Flözhöhen von 1,1 m bis 2,3 m [V53]

7541014/10787806875Biblio

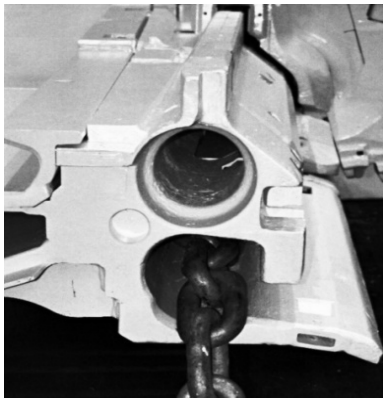


Abb. Fst-79d: Führung für die Hobelkette [V53]

Hobelsysteme von BUCYRUS

Die BUCYRUS-Hobelsohlensteuerung ermöglicht eine optimale Steuerung der Hobel-Strebsohle, so dass der Abbau angrenzender Schichten minimiert wird.

Hydraulikzylinder, die vertikal gegen die Ausleger ausgefahren werden können, ermöglichen die Einstellung der Neigung des Strebförderers, wodurch die Schneidsohle des Hobelgehäuses gesteuert werden kann. Somit kann der Hobel dem Flöz nach oben oder nach unten folgen. Die Sohlensteuerung ist auch beim Überqueren geologischer Störungen von großer Bedeutung.

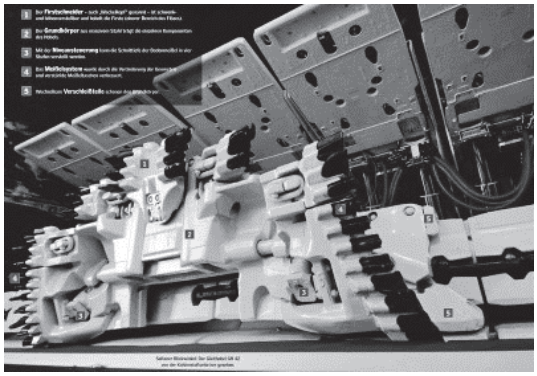


Abb. Fst-80: Hobelsystem Bucyrus (Werksaufnahme) [V53]

Vorteile des Hobelsystems:

- die fortlaufende Überwachung von Position, Geschwindigkeit und Richtung des Hobels,
- einen definierten Vortrieb der Förderrinne und somit auch der Hobelführung nach jedem Schritt, unabhängig von der Härte der Kohle, der Flözstruktur und eventuellen Störungen,
- eine integrierte Fehlerkorrektur zur Sicherstellung der richtigen Ausrichtung des Strebförderers, wenn die Schreitzylinder auf verschiedene Längen ausgefahren werden,
- einen den jeweiligen Anforderungen entsprechenden automatischen Vortrieb der Abstützung des Hangenden,

7541014/10787806875Biblio

- ein gleichmäßiges, optimales Beladen des Strebförderers,
- einen Überlastschutz der Hobelkette,
- ein Automatikbetrieb ermöglicht den Verzicht auf Hobelbediener im Streb,
- die Visualisierung des Status der Abstützung, der Hobelposition, des Strebs usw. erfolgt an einem zentralen Computer,
- optimale Höhe des Hobels im Kohlenstoß,
- weniger angrenzende Schichten und somit niedrigere Aufbereitungskosten,
- weniger Verschleiß des Kohlemeißels und der Antriebseinheit,
- geringere Staubbelastung, mögliche Automatisierung mittels Sensoren und einer elektrohydraulischen Steuerung.

Überlastschutz

Überlast-(UEL-)Antriebe von BUCYRUS regeln die Leistung in Antrieben für Hobelketten und Kettenförderer, damit diese stets im optimalen Bereich verbleibt. Dies schützt die Ketten vor Überlastung, und das Risiko eines Kettenbruchs wird erheblich reduziert. Alle mechanisch belasteten Teile des Hobelgehäuses – insbesondere aber der Hobelmeißel – werden geschützt.

Der Überlastschutz bewirkt:

- ständige Überwachung des Kupplungsdrucks und -schlupfs durch Sensoren,
- ständigen Ausgleich der Messdaten beider Antriebe an beiden Enden des Strebs durch die elektronische Steuerung,
- schnelles Abschalten der Motoren bei Überlast, um Kettenbruch und Antriebsschäden zu verhindern,
- max. 800 kW pro Antrieb,
- deutlich längere Lebensdauer der Strebfördererkette, der Hobelkette und der Kettenzähne.

Abb. Fst-81: Kohlenhobel im praktischen Einsatz [V41]

7541014/10787806875Biblio

Elektronische Steuerung

Elektronische Sensoren, elektrohydraulische Messeinrichtungen und Steuerungen überwachen und koordinieren das Zusammenspiel der mächtigen Maschinen und Anlagen im Streb und der nachgeschalteten technischen Einrichtungen. Erst wenn die computerunterstützte Steuerung meldet, dass alle Systeme betriebsbereit sind, kann der Gewinnungsvorgang beginnen. Das heißt: Die Bandanlagen der Abförderung, der Kohlenbrecher, der Panzerförderer und die feine Bedüsung zur Staubbindung müssen in Betrieb sein, bevor die Mannschaft Walzenschrämlader oder Gleithobel in Betrieb nimmt.

5.1.3 Schneidende Gewinnung mit dem Walzenschrämlader

5.1.3.1 Entwicklungen in der schneidenden Gewinnung

Die heutigen Hochleistungsstreben mit schneidender Gewinnung mit Walzenschrämladern erbringen eine Strebleistung bis zu 20.000 t/Tag. Diese sind ausgerüstet mit Walzenschrämladern und installierten Leistungen von 1,2 MW. Die modernen Walzenschrämlader haben zwei Schrämwalzen. Dabei wird die vorlaufende am Hangenden geführt und die nachlaufende am Liegenden. Das überwiegend eingesetzte Gewinnungsverfahren in der schneidenden Gewinnung ist das Vollschnitt-, Vollrück-, Ganzstrebverfahren. Dabei wird jeweils bei Berg- und Talfahrt die gesamte Strebhöhe, die gesamte Schnittbreite der Schrämwalze und über die gesamte Streblänge des Flözes geschnitten.

An den Strebrändern ist bei diesem Verfahren das Einschneiden in das neue Gewinnungsfeld über Schleifen von ca. 20 m Länge erforderlich.
Nachteilig dabei ist, dass zum Einschneiden die Strebeinrichtungen an den Strebrändern gerückt sein müssen.

Die Walzenschrämlader können während des Schleifefahrens und des Rückens der Antriebe keine Kohle gewinnen. So entstehen verfahrensabhängige Verlustzeiten. Zur Minderung dieser Verlustzeiten werden manchmal auch Verfahren angewendet, die bei Berg- und Talfahrt jeweils nur einen Teil der Strebhöhe, der Feldesbreite oder des Strebabschnittes gewinnen.

Bei dem Teilrückverfahren wird nur an den Strebrändern mit der vollen Schnitttiefe der Walze geschnitten. Die Walzenschrämlader gewinnen so, ohne auf die Durchführung der Strebrandarbeiten warten zu müssen, die Kohle. Voraussetzung dabei ist, dass auch der Strebförderer bei der Durchführung der Strebrandarbeiten durchfördern kann.

Als Weiteres setzt dies Verfahren voraus, dass die Walzenschrämlader zur Ausnutzung der installierten Leistung im Teilrückverfahren mit gegenüber dem Vollrückverfahren erhöhter Marschgeschwindigkeit arbeiten. Die Walzenschrämlader fahren heute je nach dem Gewinnungsverfahren mit Marschgeschwindigkeiten bis zu 45 m/min.

Im Folgenden werden zeitweise weit verbreitete **wesentliche Entwicklungen und Techniken der schneidenden Gewinnung** beschrieben.

In den Anfängen der Mechanisierung der Gewinnung wurden neben schälend arbeitenden Geräten wie Hobeln und Rammgeräten auch Schrämmaschinen eingesetzt. Dies waren auf dem Liegenden an Seilen bzw. Ketten gezogene Maschinen, die sich zunächst an den Stempelreihen abstützten und in der Folge an den Strebförderern geführt wurden. Diese schneidenden Geräte hatten motorisch angetriebene, an flachen Armführungen umlaufende, meißelbesetzte Galsche Ketten – ein Prinzip wie bei Kettensägen. Teilweise wurden auch Schrämstangen eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

In den mittleren und großen Mächtigkeiten wurden zunächst überwiegend Walzenschrämlader auf Maschinenrahmen mit Zentralmotoren eingesetzt.
Diese Zentralmotoren versorgten die Hydraulik für den Windenvorschub und über Wellenantriebe die beiden Schrämwalzen an den schwenkbaren Tragarmen. Die Vorschubwinden zogen den Walzenschrämlader über ein Kettenrad an einer durch den Streb gespannten Kette. Ein wesentlicher Nachteil des Vorschubs über eine Kette ist deren Elastizität bzw. mangelnde Steifigkeit. Dies betrifft besonders die Arbeit bei der Störungsdurchörterung und bei schwierigen Strebverhältnissen.

Die Weiterentwicklung waren Vorschubsysteme mit Triebstöcken. Wesentlich war hierbei, die Teilungsungenauigkeiten der Triebradeingriffe aus den Abwinklungen der Strebförderer betriebssicher zu handhaben.

5.1.3.2 Bedüsungen an Walzenschrämladern

Mit der Leistungssteigerung an den Schrämwalzen nahmen die Staubentstehung und die Zündgefahr in den Schrämbetrieben zu.

Anfänglich wurden die Schrämwalzen durch viele Wasserdüsen z. B. vom Tragarm aus von außen bedüst, um den Staubstrom zu lenken bzw. den Staub niederzuschlagen. Diese Lösung konnte jedoch mit den Leistungssteigerungen und der Vergrößerung der Staubentstehung nicht mithalten.

Weitere Bedüsungssysteme basierten auf der Schaffung zusätzlicher Wetterbewegung nach dem Venturi-Prinzip. Dabei wurden die staub- oder methanhaltigen Wetter abgesaugt bzw. gelenkt. Die Wassertröpfchen bewirkten gleichzeitig eine Staubniederschlagung.

Diese Entwicklung konnte sich insbesondere wegen des mit dem Einsatz von 1.500 bar hochgespannten Wassers verbundenen betrieblichen Aufwands nicht durchsetzen. Wesentlich für die effektive Staubbekämpfung und die Unterdrückung der Zündgefahr war der Übergang auf die sogenannte Innenbedüsung an den Schrämwalzen. Hierbei wird heute jeder Schrämmeißel über eine Düse mit Wasser bedüst. Die Düse ist dabei ca. 100 mm vom Staubentstehungsort, der Meißelschneide, entfernt. Die Bedüsung erfolgt bedarfsabhängig für die vor- und nachlaufende Walze. Durch permanente Entwicklungen wurden die Bedüsungssysteme zu den heutigen robusten und akzeptierten Systemen hin entwickelt, die jeden einzelnen Meißel mit Wasser bei Drücken bis 50 bar bedüsen. Diese Systeme genügen den ergonomischen und sicherheitlichen Anforderungen und haben den Wasserverbrauch reduziert.

Die Reduzierung des Wasserbedarfs für die Bedüsung geht so weit, dass inzwischen Kühlwasser in Schläuchen über die Kabelschleppkette auch wieder aus dem Streb heraus zurückgeführt wird und nicht dem Haufwerk über die Bedüsung zugegeben wird.

Der Vortrieb der Maschine erfolgt über einen eigenen Elektromotor, der über ein Getriebe auf die am Panzerförderer befindliche Triebstockverzahnung wirkt. Die Schneidwalzen tragen eine Anzahl Meißel, die schraubenförmig angeordnet sind.

- **Betrieb**

Im Betrieb fährt die Maschine im bis zu 500 m (z. T. heute schon mehr) langen Streb hin und her. Die sich jeweils am vorderen Ende der Maschine befindliche Schneidwalze schneidet aus dem Hangenden des Flözes einen Kohlenstreifen heraus, während die nacheilende Walze das Liegende hereingewinnt.

7541014/10787806875Biblio

Pro Arbeitsgang kann etwa 1 m Kohleflöz abgebaut werden. Der Antrieb zur Vertikalbewegung erfolgt über elektrisch angetriebene Zahnräder, die in eine am Kettenförderer montierte Zahnstange (Triebstock) eingreifen. Der entstehende Kohlenstaub wird durch Wasser niedergeschlagen, das über Düsen an den Walzentragarmen und den Schneidwalzen versprüht wird. Die hereingewonnene Kohle fällt auf den Kettenförderer, der dann die Kohle zu dem Förderband in der Fußstrecke transportiert.

Die installierte elektrische Leistung eines Walzenschrämladers kann bis zu 2.100 kW (und mehr) betragen. Wegen des großen Arbeitsweges wird die Maschine im Normalfall über eine Fernsteuerung bedient.

Im Gegensatz zum Kohlenhobel wird der Walzenlader meist in Flözen größerer Mächtigkeit (ab ca. 1,8 m) eingesetzt. Die marktführenden deutschen Hersteller von Walzenladern sind die Gebr. Eickhoff Maschinenfabrik und Eisengießerei in Bochum und die Firma BUCYRUS International in Lünen.

- **Neueste Entwicklungen**

Nach dem Ersteinsatz des Walzenladers SL750 auf dem Bergwerk Prosper-Haniel verbesserte die Firma Eickhoff die Maschine nach einem 52-Punkte-Programm. Die Modifizierung bezog sich unter anderem auf die Positionierung der hochsensiblen Sensorik und auf die bessere Verlegung der Datenkabel für leistungsstarke Kommunikationssysteme.

Die Grenzschichterkennung zum Hangenden realisieren zwei kohlenstoßseitig installierte Infrarotkameras. Sie erkennen Einlagerungsschichten aufgrund ihrer unterschiedlichen thermischen Abstrahlung. Die Schichten dienen als Steuerungsparameter für den voreilenden Walzentragarm. Die Infrarottechnik erkennt so Texturen im Flöz, die das bloße Auge kaum sieht. Schwingungssensoren im nacheilenden Walzentragarm ermitteln die Grenzschicht im Liegenden. Hierbei gibt die Schwingungsamplitude Aufschluss, ob Kohle oder Nebengestein geschnitten wird.

Beidseitig auf der Versatzseite der Gewinnungsmaschine montierte Radarsensoren verhindern Kollisionen im Streb. Sie stammen aus der Automobilindustrie, wo sie als Abstands- und Bremsassistenten Verwendung finden. Sie erkennen sowohl Hindernisse vor der Maschine als auch sich anbahnende Kollisionen mit der Schildkappe. Die automatische Tragarmverstellung zum Ausweichen von Hindernissen wird im untertägigen Einsatz erprobt.

Als zusätzliche Einrichtung zur Kollisionsvermeidung dienen an beiden Walzentragarmen installierte Scheinwerfer und Videokameras, welche die Aufnahmen nach über Tage übertragen.

- **Ohne manuelle Steuerungseingriffe**

Nach Umsetzung der Modifikationen nahm die 79 t schwere und mit einer installierten Leistung von 1.534 kW ausgestattete SL750 erfolgreich die Gewinnung im Betriebspunkt 583 des Bergwerks Auguste Victoria auf. Hier wiesen Spezialisten auch die Machbarkeit der Automation nach. Erstmalig bestritt ein Walzenlader ohne manuelle Steuerungseingriffe über zehn Schneidfahrten und weitere sechs Fahrten mit geringen Steuerungseingriffen.

Die Entwicklungsarbeiten führte die RAG in enger Zusammenarbeit mit der Firma Eickhoff Bergbautechnik GmbH in Bochum durch. Erste Ergebnisse aus dem Abbaubetrieb

7541014/10787806875Biblio

zeigen, welche Leistungssteigerungen mit dem Walzenlader SL750 gegenüber bisherigen Walzenladerbetrieben der RAG möglich sind.

Der Schreitausbau übernimmt eine tragende Rolle im Streb. Er stützt das Gebirge. Er ist durch angebaute Rückzylinder fest mit dem Panzerförderer verbunden. Ein Betriebsdruck von 300 bar erzeugt die erforderliche Kraft in den Hydraulikzylindern der Schilde.

Eine elektrohydraulische Steuerung verbindet und vernetzt sämtliche Schilde im Streb und sorgt für Funktionen wie Heben und Senken der Schildkappen, Rücken des Förderers und Voranschreiten in Richtung des Kohlenstoßes.

Eine Weiterentwicklung, die SL 1000, ist einsetzbar für Flözhöhen von bis zu 7,00 m – eine Flözstärke, die z. B. in China keine Seltenheit ist.

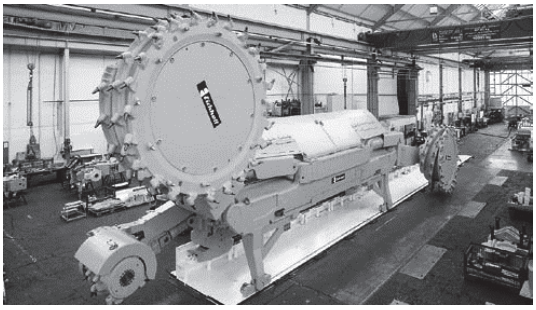


Abb. Fst-82: Die neueste Entwicklung in der Steinkohlengewinnung, die SL750 der Eickhoff Bergbautechnik in der Werkshalle [V52]

Abb. Fst-83a: Licht- und Videoeinheiten, die der SL705 „das Sehen“ ermöglichen. [V52]

Abb. Fs-83b: Die SK750 beim Testlauf [V52]

7541014/10787806875Biblio

Wichtige Systemdaten der BUCYRUS Walzenschrämlader Baureihe Electra®

	4000 Evo	3000 Evo	3000 Evo
Schnitthöhe	4,0 m bis 7,0 m und höher	2,5 m bis 5,5 m	1,8 m bis 4,6 m
Typische Maschinenlänge	16,7 m	15,2 m	14,0 m
Max. installierte Leistung	2.295 kW	2.295 kW	1.640 kW
Verfügbare Schneidleistung	2 × 750 kW 2 × 860 kW	2 × 650 kW 2 × 750 kW 2 × 860 kW	2 × 500 kW 2 × 620 kW 2 × 750 kW
Schneidwalzendurchmesser	max. 3,5 m	max. 2,7 m	1,4 m bis 2,3 m
Verfügbare Vorschub-Motor	2 × 150 kW	2 × 150 kW	2 × 125 kW
Vorschubgeschwindigkeit	Bis zu 32 m/min.	Bis zu 32 m/min	Bis zu 45 m/min
Vorschubkraft	Max. 1.000 kN	Max. 1.000 kN	Max. 800 kN
Kohlenbrecher	200 kW	200 kW	100 kW
Maschinengewicht	Ca. 140 t	Ca. 105 t	Ca. 70 t
Höhe Maschinenrahmen	1.050 mm	685 mm	520 mm

Abb. Fst-84: Walzenschrämlader System BUCYRUS Typ Electra Longwall Cheares [V53]

Abb. Fst-85: Moderner Leitstand auf einer Schachtanlage der RAG [V41]

7541014/10787806875Biblio

Der Leitstandfahrer hat sämtliche Informationen, die er zum Steuern des Strebes benötigt, auf einem Bildschirm vor Augen. Mit Tastendruck und Mausklick lassen sich so die weit entfernten Maschinen bedienen und er hat ständig Kontakt mit den Leuten vor Ort.

5.1.4 Ausbau

5.1.4.1 Schildvortriebssysteme

Der Schildausbau wird weltweit beim Abbau der Kohle unter Tage eingesetzt. Er ist ein hydraulisch verstellbares Stütz- und Schutzgerät auf Gleitkufen, dessen oberer Teil schildartig geschlossen ist und das Hangende stützt. So lässt sich im Streb ein ausreichend großer Arbeitsraum für die Kohlengewinnung und -förderung, die Wetterführung und Befahrung offen halten.

Der Schild schirmt diesen Raum nach oben und nach hinten völlig gegen Stein- und Kohlenfall ab. Entscheidungsmerkmale, die den Einsatz des jeweiligen Schildtyps definieren, sind das Gewinnungsverfahren (Hobel oder Walze) und der erwartete Mächtigkeitsbereich des abzubauenden Flözes.

Der Schreitausbau übernimmt eine tragende Rolle im Streb. Er stützt das Gebirge. Er ist durch angebaute Rückzylinder fest mit dem Panzerförderer verbunden. Ein Betriebsdruck von 300 bar erzeugt die erforderliche Kraft in den Hydraulikzylindern der Schilde.

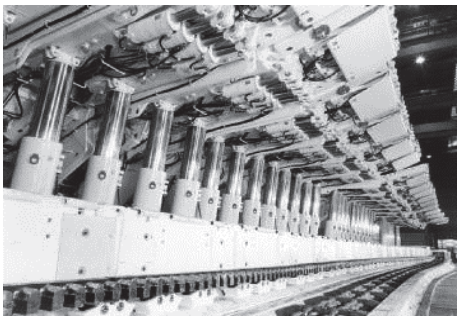


Abb. Fst-86: Der Schildausbau – Werksaufnahme [V53]

Eine elektrohydraulische Steuerung verbindet und vernetzt sämtliche Schilde im Streb und sorgt für Funktionen wie Heben und Senken der Schildkappen, Rücken des Förderers und Voranschreiten in Richtung des Kohlenstoßes.

- **Systembeschreibung**

Hochleistungspumpen erzeugen für diese Herkulesaufgabe einen Setzdruck von bis zu 400 bar. Zusätzlich können über weitere Hydraulikzylinder erforderliche Nebenfunktionen, z. B. das seitliche Abdichten des Spalts zwischen den Schilden oder das Abfangen des Kohlenstoßes, aktiviert werden. Eine große Bedeutung hat das Schreitwerk, das den Schildausbau mit dem Strebförderer verbindet.

Sechs standardisierte Schildtypen sind bei der DSK im Einsatz:

Die 1,50 m breiten Standardschilde der DSK-Typen I bis IV mit einem Verstellbereich von 0,65 m (DSK I) bis 3,40 m (DSK IV) sowie die beiden 1,75 m breiten Schildtypen der Gruppen A und B für Mächtigkeiten bis 3,80 m. Die beiden gewaltigen Schildstempel des Gruppe-B-Schilds leiten zusammen eine Gewichtskraft von 850 t ins Gebirge ein. Das entspricht in etwa dem Gewicht von fünf Flugzeugen des Typs Boeing 747.

7541014/10787806875Biblio

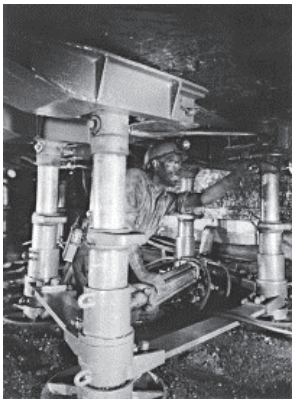


Abb. Fst-87: links: Zwei ungleiche Brüder – Standardschilde für Flözhöhen von 65 cm bis 3,8 m – rechts: 1970: Ausbaugestelle der Westfalia Becorit waren die ersten Schritte zur Strebmechanisierung. Jeweils vier Stempel bildeten eine Ausbaueinheit. [V36]

Um die freigelegte Hangendfläche nach dem Durchgang der Gewinnungsmaschine möglichst schnell wieder abzustützen, werden die Schilde nacheinander druckgesteuert eingefahren, dann über den Schreitzylinder, der im Schreitwerk sitzt, schleifend vorgezogen und sofort wieder verspannt. Dabei dient der Strebförderer als Widerlager.

Anschließend drücken die Schreitzylinder den Strebförderer für die nächste Gewinnungsfahrt in Richtung Kohlenstoß, wobei jetzt der Schildausbau als Widerlager dient. Diese Wechselwirkung ermöglicht ein ständiges Fortschreiten der gesamten Maschinerie in den vom Gewinnungsgerät freigelegten Bereich. Gesteuert werden diese Abläufe bei der DSK-Ruhr mittlerweile zu 100 Prozent über elektrohydraulische Steuerungen.

Das bedeutet, dass neben umfangreicher Sensorik jeder Schild mit einem eigenen PC ausgestattet ist. Die frei programmierbare elektrohydraulische Steuerung ermöglicht es, abhängig von der Geschwindigkeit des Gewinnungsgeräts mehrere Schilde gleichzeitig vorzuziehen. Beim Bewegen des Schildes wie auch beim Vorbeifahren des Gewinnungsgeräts versprühen jeweils bis zu 14 am Schild angebrachte Düsen einen feinen Wassernebel, um den aufgewirbelten Kohlenstaub zu binden.

Bei einer Streblänge von 400 m und einer Schildbreite von 1,75 m der DSK-Standardschilde A und B stehen bis zu 230 Schilde in Reih und Glied nebeneinander und sichern so die Strebfront – eine gigantische Maschinerie, verknüpft durch Elektronik und Hydraulik.

Die bis zu 28 t schweren Kolosse (Abb. Fst-87) stammen von der Deutschen Bergbau-Technik (DBT) in Lünen, die seit 2007 zum US-Konzern BUCYRUS International gehört und der weltweit größte Ausrüster für den Strebausbau ist. Ohne die Entwicklung des hydraulischen Schreitausbaus wäre die Produktivitätssteigerung im Abbau auf das Vielfache innerhalb der vergangenen 30 Jahre gar nicht möglich gewesen.
Erst die stempelfreie Abbaufront durch den Schildausbau hat es erlaubt, die Kohle voll mechanisiert abzubauen.

7541014/10787806875Biblio

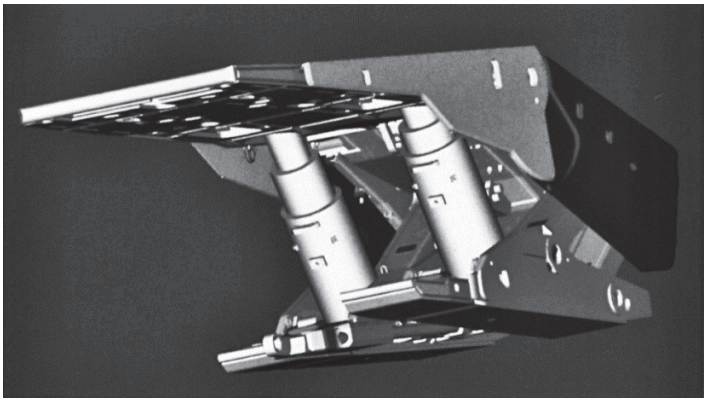


Abb. Fst-88: Ausbauschild der BUCYRUS (Simulation) [V53]

Technische Daten:

DSK-Gruppe B Standardschild

Stützkraft:	8.500 kN (850 Tonnen)
Ausbauwiderstand:	750 kN/m^2
Gewicht:	28 t
Verstellbereich:	1,60 m – 3,80 m
Transportlänge:	8,14 m
Kappenlänge:	5,83 m
Schildsteuerung:	vollautomatisch, frei programmierbar

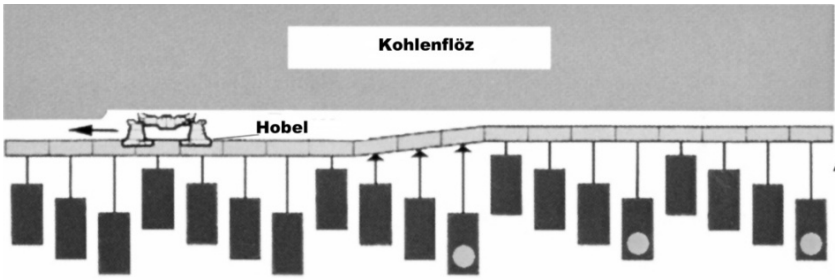


Abb. Fst-89: Schema des automatisierten Rückens in einem Hobelstreb [V53]

7541014/10787806875Biblio

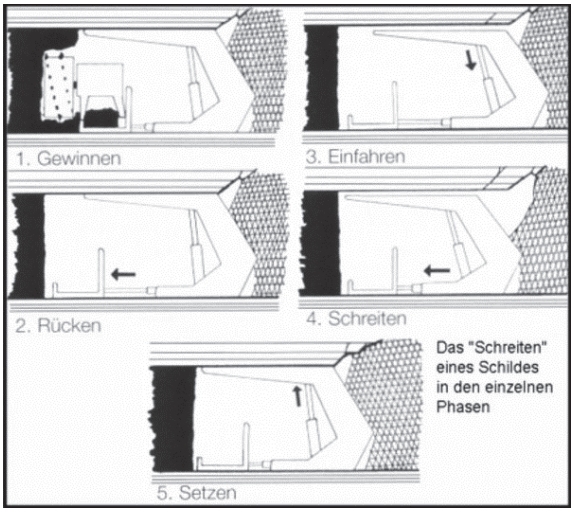


Abb. Fst-90: Arbeitsphasen des Schildausbaus

Abb. Fst-91: Strebausbau mit Panzerförderer und Walzenschrämlader – Der Schildausbau hat eine besondere Abstützung des Kohlenstoßes (Animation). [V53]

Abb. Fst-92: Blick in einen Steinkohlenstreb mit Schildausbau System BUCYRUS [V53]

5.1.4.2 Belegung der Gewinnungs- und Streckenbetriebe

Der hohe Kapitalaufwand in der Gewinnung durch Schildausbau, Kohlenhobel oder Walzenschrämlader erfordert eine Gewinnung quasi „rund um die Uhr".

Nur während der Nacht (i. d. R. von 11:00 bis 4:00) ist eine Reparaturschicht vorgesehen.

7541014/10787806875Biblio

Beim selbstschreitenden Schildausbau entfällt ohnehin die sonst übliche sog. „Rückerschicht“, d. h., den Panzerförder bis an die Kohlenfront verschieben.

Durch die langen Anfahrtsweg vom Schacht zum Abbau bzw. Vortrieb beträgt die Arbeitszeit vor Ort heute ohnehin nur etwa 6 Stunden und bei Temperaturen über 28 °C bisweilen nur 5 Stunden, so dass z. T. 4 bis 5 Schichten gefahren werden, da die Ablösung vor Ort erfolgen muss.

5.2 Transportsysteme im Steinkohlenbergbau

Täglich fördern riesige Bandanlagen Menschen und Material durch die Grubengebäude der Bergwerke. Aneinander gereiht könnten die Anlagen Flensburg und das 750 km entfernte München miteinander verbinden.

Die Förderung der Kohlen aus dem Abbaurevier heraus erfolgte zunächst unstetig, in der Regel durch Wagenförderung. Zunächst waren als Stetigförderer im untertägigen Steinkohlenbergbau für die Abförderung hinter den Gewinnungsbetrieben Plattenförderer eingesetzt.

Diese wurden im Wesentlichen bis zu einer Länge von 400 m betrieben. Neben dem erheblichen technischen Aufwand war der sehr große Anfall von Rieselgut ein Nachteil.

Im Erzbergbau wurde bereits schon sehr früh auf Bändern gefördert und gefahren, der Einsatz von Gurtförderern hatte sich insbesondere in Österreich bewährt. In den fünfziger Jahren wurden Gurtförderer im englischen Steinkohlenbergbau bereits erfolgreich eingesetzt. Auch in Deutschland lösten sie sehr schnell die Plattenbänder ab. Im Zuge der Leistungssteigerungen der Abbaubetriebe wurde zunehmend eine stetige Abförderung mit Gurtförderern realisiert. Man erkannte sehr bald weitere Vorteile der Gurtförderung, die die Möglichkeit eröffnete, von der söhligen zur flözgeführten Sohlenauffahrung überzugehen.

Die etwa zeitgleich aufkommenden Einschienenhängebahnsysteme ergänzten diese Entwicklung im Bereich des Materialtransportes. Die Länge der erforderlichen Strecken konnte verringert und sonst übliche Umschläge des Fördergutes reduziert werden.

Heutige Hochleistungsbetriebe sind im Abbaubereich ausschließlich über Gurtförderer an das Fördersystem angeschlossen. Die heutigen Förderer für den untertägigen Steinkohlenbergbau sind im Abbaubereich überwiegend mit Textilgurten und in den Hauptförderstrecken mit Stahlseilgurten ausgerüstet.

Teilweise wird die Förderung auch über Schrägschächte (Förderberge) mit Gurtförderern erbracht, die auf Grund der hohen auftretenden Zugkraft bei der Hubarbeit zur Förderung mit Stahlseilgurten ausgerüstet sind.

Trotz Unterschieden in Größe, Leistung und Verwendungszweck funktionieren alle Gurtförderer nach dem gleichen Prinzip. Sie bestehen unter anderem aus einem Traggerüst mit Tragrollen, über die der Gurt läuft, aus einem oder mehreren Antrieben, einer Umkehrstation und einem Abwurfkopf. Elektromotoren treiben die Fördergurte über Kupplungen, Getriebe und Antriebstrommeln an. Spann- und Speicherschleifen sorgen dafür, dass die erforderliche Mindestspannung im Fördergurt zur Aufrechterhaltung des Reibschlusses zwischen Gurt und Trommel erzeugt wird und die Achsabstände der Anlagen bei Bedarf ohne Gurtausbau verändert werden können.

7541014/10787806875Biblio

Die größte und leistungsstärkste Bandanlage der RAG fördert auf dem Bergwerk Prosper-Haniel in Bottrop über 3,8 km Länge (Förderberg) aus rund 780 m Tiefe zur Tagesoberfläche. Allein der Gurt wiegt zirka 800 t und ist ungefähr 7.500 m lang. 72 nebeneinander liegende Stahlseile, eingebettet in Deckplatten und Zwischengummi, sorgen für die notwendige Zugfestigkeit.

5.2.1 Entwicklung der Gurtförderer und der Komponenten

Hauptziele der Entwicklung der Gurtförderer waren, einen stetigen, unterbrechungsfreien Abbaufortschritt der Strebe zu ermöglichen, den Wartungsaufwand bei hoher Förderleistung zu verringern und die Personenfahrung im Abbaubereich zu ermöglichen.
Wesentlich für den wirtschaftlichen Einsatz der Gurtförderer war auch die bereits sehr frühzeitig erfolgte und praktizierte Normung fast aller Bauteile.

Im Folgenden wird die Entwicklung der Gurtförderer bzgl. der einzelnen Bauelemente, wie sie heute eingesetzt werden, aufgezeigt.

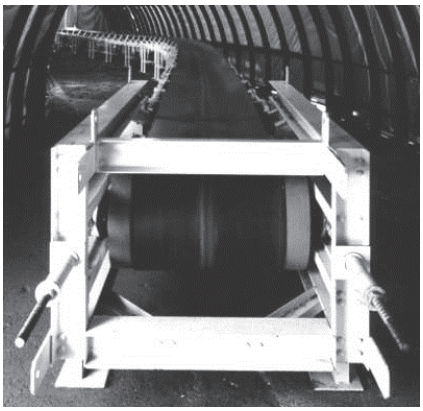


Abb. Fst-93a: Beispiel für ein Kurvenband [V41]

Heutige Gurtförderer im Abbaubereich haben in der Regel Gurte mit einer Breite von 1.200 mm und mehr. Sie sind entsprechend den Abbaulängen der Betriebe zwischen 1,5 km bis 4 km lang, je nach Zuschnitt des Baufeldes. Sie werden flözgängig geführt und sind in der Regel am Streckenausbau mit Ketten aufgehängt, was eine leichte Ausrichtbarkeit bei Gebirgsbewegungen ermöglicht. Sie fördern meist in Abbaurichtung, so dass sie mit dem Fortschritt des Strebes eingekürzt werden können. Um eine stetige Längenanpassung an den Abbaufortschritt des Strebes zu ermöglichen, sind die Gurtförderer mit Spann- und Speicherstationen nahe am Abwurf ausgerüstet. Hier ist in der Regel ein S-Antrieb hinter der Abwurftrommel zu finden.

Die Entwicklungen bzgl. der Gurte mit textilen Zugträgern führte neben der ständigen Erhöhung der auf die Breite bezogenen Bruchkraft von ursprünglich nur 400 Newton pro Millimeter (N/mm), die noch nach 1960 eingesetzt wurden, hin zu einer bezogenen Bruchkraft von heute 2.500 N/mm.
Bei heutigen Gurtbreiten von 1.400 mm bedeutet dies eine Bruchkraft von 3.500 kN. Merkmal der neuen Textilgurte ist der Übergang vom Mehrlagengurt hin zum Einlagengurt. Gründe hierfür liegen u. a. in dem etwas günstigeren Dehnverhalten und in einem etwas besseren Verhalten gegen Durchschläge.

7541014/10787806875Biblio

Die wesentlichen Entwicklungen der Stahlseilgurte erfolgten im Braunkohlenbergbau. Für den untertägigen Steinkohlenbergbau wurden diese insbesondere hinsichtlich der Materialien und des brandtechnischen Verhaltens angepasst.
Um die Gurtfördererlängen dem Abbaufortschritt der Strebe anzupassen, wurden zum einen Traggerüste der Anlage und Passstücke in den Gurt gesetzt bzw. herausgenommen, als Spann- und Speicherstationen noch nicht verbreitet waren. Dies geschah teilweise mehrfach am Tag.

Hier hat insbesondere im untertägigen Steinkohlenbergbau die Verbindungstechnik mit mechanischen Gurtverbindungen eine große Bedeutung erlangt. Die Entwicklung betraf den Aufbau der textilen Zugträger mit entsprechenden Querschüssen, die eine hohe Standfestigkeit gegen Auskämmen durch die mechanischen Gurtverbinder haben. Als Weiteres wurden die mechanischen Gurtverbindungen erheblich standfester durch den Einsatz von Klammern in Verbindung mit gleichzeitig pressenden Blechformteilen.

Abb. Fst-93b: Förderband mit Kettenaufhängung in der Flözstrecke [V41]

Wesentlich für den stetigen Abbaufortschritt der heutigen Hochleistungsstrebe war die Entwicklung der Spann-Speicherstationen, in denen bis zu 150 m Gurtlänge, d. h. entsprechend einem Abbaufortschritt von 75 m, zwischengespeichert werden kann.

Dabei wird die Anzahl der mechanischen Gurtverbindungen auf ein Minimum reduziert bzw. auf den Einsatz mechanischer Gurtverbindungen ganz verzichtet insofern, als der Aufwand für Vulkanisationen bei diesen großen Längen der Gurtstücke wirtschaftlich sinnvoll getragen werden kann. Teilweise wurden zusammenhängende Gurtwickel mit drei Transportgehäusen eingesetzt, wobei in der Mitte der Gurt in dem mittleren Gehäuse eingeschlagen aufgewickelt wurde.

Die beiden anderen Enden des Gurtes werden in den benachbarten Transportgehäusen aufgewickelt. Als Antriebe werden Asynchronmotore eingesetzt. Diese erzeugen sehr hohe Anfahrmomente, die ungünstig für das Anfahren der Gurtförderer sind. So wurden bereits frühzeitig Turbokupplungen zur Verringerung der Anfahrmomente bzw. zur Verlängerung des Hochlaufvorgangs der Gurtförderer eingesetzt. Zunächst wurden Kupplungen mit Konstantfüllungen und unterschiedlichen Ausbildungen von Verzögerungskammern entwickelt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fst-94: Kontrolle der Förderbandanlage in einer Richtstrecke durch einen Berg-Ing. [V41]

5.2.2 Bandspannstationen

Die Bandspannung ist eine äußerst wichtige Komponente eines jeden Bandsystems. Bandspannanlagen von BUCYRUS spannen das Band mit hoher Präzision und reagieren schnell auf die existierenden Bandbedingungen.

Es gibt je nach Anwendung verschiedene Ausführungen der Bandspannanlage.

Die Anforderungen werden beispielsweise wie folgt spezifiziert: ein oder zwei Zylinder, aktiver Verfahrweg (Bandspeicherung), Hydraulik- oder Elektrowinden, Drahtseilverhältnis. Jede Bucyrus-Spanntrommel wird für die maximale Kraft ausgelegt, die jeder Zylinder bzw. jede Winde erzeugen kann, wodurch Schwachstellen im gesamten Bandspannsystem verhindert werden. BUCYRUS entwickelt und befürwortet hauptsächlich Bandspannstationen mit Hydraulikzylindern. Alle Modelle sind für den robusten Einsatz in Bergwerken geeignet und so konstruiert, dass sie problemlos mit den anderen Komponenten eines Bandfördersystems zusammenarbeiten.

Schließlich wurden bei Hochleistungsanlagen füllungsgeregelte, wasserdurchströmte Turbokupplungen eingesetzt. Bei einer anderen antriebstechnischen Entwicklung wurden die Turbokupplungen durch Frequenzumrichter ersetzt, die die Asynchronmotore drehzahl- und lastgeregelt ansteuern. Bei Bedarf werden Zwischenantriebe in den Gurtförderer zusätzlich eingebracht, um die maximale auftretende Zugkraft im Gurt auf das zulässige Maß zu begrenzen.

5.2.3 Bandspeicheranlagen

Die wichtigsten Eigenschaften von BUCYRUS-Bandspeicheranlagen liegen darin, entsprechend dem jeweiligen Bedarf reaktionsschnell automatisch entsprechend Gurt einzufahren und zu speichern oder auch Gurt aus dem Speicher ins System abzugeben, wenn das Band verlängert wird. Durch ihren Einsatz entfällt die Notwendigkeit, das Band in Produktionsschichten zu verlängern oder zu verkürzen. Die Bandspeicherkapazitäten reichen von 90 m bis 610 m. Durch die von einer Speicheranlage vorgenommene Bandspannung wird die Übertragung des Antriebsmoments erleichtert; dies ist erforderlich, um ein übermäßiges Durchhängen des Bandes zwischen Tragerollen zu verhindern. Die Fa. BUCYRUS führt drei Bandspeicherdesigns in ihrem Angebot: elektrische und hydraulische Dauerspannungswinden oder Hydraulikzylinder.

Als Zwischenantriebe sind insbesondere in Deutschland vielfach Treibgurt-Antriebe (TT) eingesetzt. Bei TT-Antrieben wird der Fördergurt über eine Länge von z. B. 200 m über einen zweiten Trag- und Treibgurt geführt, der angetrieben wird.

7541014/10787806875Biblio

Durch das Aufliegen des Fördergurtes auf dem TT-Gurt kann der TT-Gurt den Fördergurt mitziehen und antreiben. Diese Technik wird insbesondere deshalb angewendet, um Übergaben zu vermeiden. Als Zwischenantriebe werden teilweise auch S-Antriebe eingesetzt. Der Gurt wird dabei S-förmig um die Antriebstrommeln gelenkt, damit er über die Umschlingung der Trommeln angetrieben werden kann.

Ein Nachteil solcher S-Antriebe ist, dass das Haufwerk an der ersten Trommel auf den in Förderrichtung folgenden Gurtabschnitt abgeworfen wird, damit der Gurt durch den S-Antrieb laufen kann.

S-Antriebe verringern jedoch nicht die Zahl der Übergaben. Die Übergaben und Reinigungseinrichtungen erfordern durch die Fortentwicklung deutlich weniger Personaleinsatz bei Wartung und Reinhaltung. Hier sind die Entwicklungen der Übergabeeinrichtungen hin zum Förderstrom in der Übergabe lenkenden Leitbleche wichtig.

Als Weiteres wurden die Abstreifer bzgl. der Reinigungsleistung und Standzeit deutlich verbessert. Hier sind zunächst die Verbesserungen der Leistenabstreifer mit dem Übergang von Gummileisten zu den PVC-Leisten, deren Formgebung und federnder Anbringung zu sehen. Ein weiterer Entwicklungsschritt war der Übergang insbesondere bei schwierigen Reinigungsbedingungen von Leisten- auf Lamellenabstreifer heutiger Bauart mit federnder Einzellagerung und in Stahlausführung.

Die Anforderungen an Tragrollen sind niedrige Laufwiderstände, lange Lebensdauer und geringer Wartungsaufwand. Wesentliche Entwicklungen betrafen hier die Auswahl neuer dauergefetteter und dichter staub- und wasserabweisender Lager. Heute werden ausschließlich Lager mit Käfigen aus Kunststoff ausgerüstet, um ein sicherheitlich unkritisches Verhalten bei Ausfall des Lagers zu erreichen.

Die Förderung aus heutigen Hochleistungsstreben erfolgt über einen gefesselten Übergang vom Strebförderer auf den Streckenförderer als Kratzerförderer mit Brecher. Ferner sind überwiegend mechanisierte Übergänge vom Streckenförderer auf den Gurtförderer realisiert. Die Mechanisierung betrifft hier den Längenausgleich des Gurtförderers infolge des Abbaufortschritts des Strebes. Üblicherweise wird er durch Rücken der Kehrtrommel des Gurtförderers gleichzeitig mit Rücken des Streckenförderers durchgeführt. Hierzu werden meist zusammenschiebbare Gurtförderer-Traggerüste eingesetzt.

Die Übergabe des Streckenförderers und die Kehrtrommel des Gurtförderers sind auf einem Raupenfahrwerk montiert. Das Rücken der Übergabe erfolgt gekoppelt zum Rücken der Streb-Strecken-Übergabe.

5.2.4 Personenfahrung auf Gurtförderern

Die Personenfahrung auf Gurtförderern, die gleichzeitig auch für die Produktenförderung genutzt werden, ist eine Besonderheit des untertägigen Bergbaus.
Die Mehrzahl aller Betriebe im untertägigen Steinkohlebergbau erreichen die Bergleute – zumindest in Teilen der Wegstrecke – über Gurtförderer.

Die Personenfahrung auf Gurtförderern erfolgt immer vorwärtsschauend. Wegen des erforderlichen Freiraums über dem Gurt wird überwiegend liegend oder sitzend gefahren. Die kniende und stehende Fahrhaltung tritt übergangsweise an den Abstiegen auf. Liegend wird überwiegend bei söhligen und aufwärtsführenden Anlagen, sitzend insbesondere bei abwärts gerichteter Fahrung gefahren.

7541014/10787806875Biblio

Gurtförderer erlauben den Transport von bis zu 900 Bergleuten pro Stunde bei einer Geschwindigkeit von 2,5 m/s. In Ausnahmefällen erfolgt auch eine Fahrung auf Gurtförderern bei einer Geschwindigkeit von 3,2 m/s. Die Personenfahrung kann je nach Einrichtungen und Platzverhältnissen am Gurtförderer gleichzeitig in Ober- und Untertrum in beide Richtungen erfolgen. Hier ist dann gleichzeitig der Transport von 1.800 Bergleuten pro Stunde an einer Anlage möglich.

Im Vergleich zur Fahrung zu Fuß ist die Personenfahrung auf Gurtförderern deutlich weniger unfallträchtig. Der heutige hohe sicherheitliche Standard wurde bereits früh planmäßig durch Schulungen, durch zwischen allen beteiligten Gruppen abgestimmte Einrichtungen, Beschilderungen und Verhaltensanweisungen erreicht. Dies gilt für die europäischen Reviere, deren Regularien für die Fahrung auf Gurtförderern sich in wesentlichen Punkten gleichen. Als Aufstiege werden seitliche und über dem Gurt angeordnete Bühnen verwendet.

Abb. Fst-95: Personenfahrt auf einem Zwei-Etagen-Förderband [V41]

Die wesentlichen sicherheitlichen Entwicklungen betrafen die Abstiege und die Sicherungen gegen Überfahrungen zum Ende des befahrbaren Bereiches der Gurtförderer. Als Abstiege sind vor allem seitliche Abstiege eingesetzt. Darüber hinaus werden bei Trummen ohne Produktenförderung auch Vor-Kopf-Abstiege bzw. Vor-Kopf-Rutschen eingesetzt. Insbesondere bei Trummen mit Produktenförderung und seitlichen Abstiegen sind die Anforderungen zur sicheren Vermeidung der Überfahrung groß. Hierfür werden mechanische Tore, die bei Überfahrung durch den Fahrenden geöffnet werden und dann das Abschalten des Gurtförderers auslösen, eingesetzt.

Als weitere zusätzliche Sicherung werden Netze über dem Trumm mit der Produktenförderung aufgehängt, die ebenfalls mit Schaltern verbunden sind und auslösen, sofern ein Bergmann daran zieht. Die jüngste Entwicklung ist durch den Einsatz von elektronischen Personenkennbausteinen gekennzeichnet. Diese elektronischen Bausteine werden entweder im Stiefelabsatz oder am Gürtel von den Bergleuten mitgeführt. Bei Überfahrung von entsprechenden elektronischen Überwachungsschranken wird der Gurtförderer stillgesetzt.

5.2.5 Gleisgebundene Streckenfördertechnik

Durch die weitestgehende Umstellung der Kohleförderung von gleisgebundener Wagenförderung auf Gurt- und Skipförderung nahm in den letzten 15 Jahren der Wartungs- und Instandsetzungsaufwand von Gleisanlagen immer mehr ab, so dass sich die Qualität der Gleisanlagen zunehmend verschlechterte.

7541014/10787806875Biblio

5.2.6 Grubenlokomotiven

Bis zu den 50er Jahren erfolgte die technische Entwicklung bei den Grubenlokomotiven nicht sehr innovativ.

Die ersten Aktivitäten bestanden in der Erarbeitung von Normblattentwürfen für die technischen Daten von Fahrdraht-, Batterie- und Druckluftlokomotiven. Es zeichnete sich bereits damals ab, dass die Zukunft den Diesel- und den Batterielokomotiven gehören würde.

5.2.6.1 Diesellokomotiven

In den 50er Jahren entwickelte sich im deutschen Steinkohlenbergbau ein großer Bedarf an neuen Diesellokomotiven mit größeren Zugkräften und Dienstgewichten, da die zu transportierenden Nutzlasten bei der Kohleförderung in Wagen anwuchsen.

Die Entwicklung leistungsstärkerer Dieselmotoren und verbesserter Steuerungs- und Sicherheitseinrichtungen mündete schließlich 1954 in die Erstellung nationaler Bauvorschriften für Diesellokomotiven. Erst zu Beginn der 80er Jahre sind diese Lokomotiven durch neue abgelöst oder ergänzt worden. Es wurden ausschließlich Fremdkraftbremsanlagen verbaut, meist als Federspeicherbremse.

Mit den Federspeicherbremsen sollten auch Notbremseigenschaften sichergestellt werden. 1987 ist der erreichte Stand der Technik in neue nationale Bauvorschriften für Grubenlokomotiven verankert worden.

Seit 1995 sind über die DIN EN 1889-2 zu Bauvorschriften für Lokomotiven europaweit einheitliche Bauvorschriften zu beachten.

Mit Forschungsmitteln ist die Lokomotive D 108 entwickelt worden. Ziel war es, vorhandene Komponenten – auch aus der übertägigen Industrie – zu einer modernen Lokomotive zusammenzufügen. Sie ist mit trockener Abgaskühlung und Abgaskatalysator sowie hydrostatischem Fahrantrieb mit Hochdrucksekundärregelung und dadurch mit Gleit- und Schleuderschutz ausgestattet worden.

Die Lokomotivgewichte sind von früher etwa 10 t bis 14 t auf 48 t als Einzellokomotive und 54 t als Gliederlokomotive (Trio-Lok mit 3 Einheiten) erhöht worden, um größere Massen transportieren zu können.

Darüber hinaus ermöglichten die Feinfühligkeit der Steuerungen und entsprechende Pflege des Gleises in Einzelfällen gegenüber der üblichen Anhängelastberechnung höhere Anhängelasten beziehungsweise größere Zuglängen.

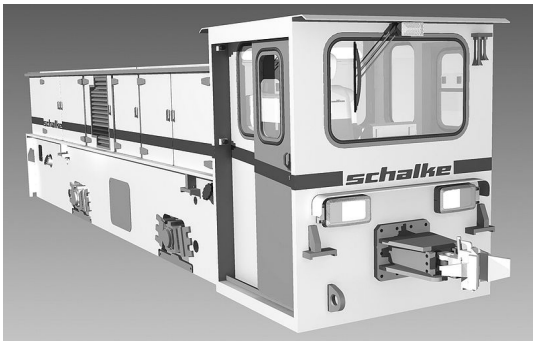


Abb. Fst-96: Diesel-Lok neuester Bauart – System RAG Schalker Eisenhütte [V41]

7541014/10787806875Biblio

5.2.6.2 Elektrolokomotiven

Bereits seit den 30er Jahren waren im Steinkohlenbergbau Elektrolokomotiven im Einsatz. Beginnend mit Fahrdrahtlokomotiven sind jedoch zunehmend Batterielokomotiven eingesetzt worden.

Die besonderen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Wettertechnik bei Fahrdrahtlokomotiven und die Unfallgefahr durch Berührung des Fahrdrahts waren hierfür ursächlich. Batterielokomotiven sind seitdem konsequent weiterentwickelt worden.

Aufgrund der gestiegenen Anforderungen in der Streckenfördertechnik (höhere Nutzlasten bei der Kohlenförderung und schnelleres Fahren bei der Personenbeförderung) ergab sich Mitte der 80er Jahre die Notwendigkeit, alte Batterielokomotiven mit Fahrschaltersteuerung durch eine neue Technik zu ersetzen. Dabei waren auch die geänderten nationalen Anforderungen an Grubenlokomotiven zu erfüllen (Einsatz von Sicherheitsfahrschaltungen usw.). Gleichzeitig sollte der Wartungsaufwand für die teure Gleichstromtechnik verringert werden.

Teure Instandsetzungen, bedingt durch den aufwändigen Bürstenapparat des Kollektors im Fahrmotor, sollten vermieden werden.

Es ist modernste Bahntechnologie (ICE-Technik) zum Einsatz gebracht worden. Drehstromasynchronmotoren mit sicherheitsgerichteter Doppelprozessorsteuerung übernehmen den Antrieb der Lokomotive.
Nutzbremsung, Gleit- und Schleuderschutz und Mehrfachtraktion gehören genauso wie eine umfangreiche Diagnoseeinrichtung zur Ausstattung der Lokomotiven.

Abb. Fst-96a:
RAG-Akku-Lok [V41]

Eine umfangreiche Anpassung der neuen Technik mit Umrichtersteuerung war nötig. Es wurde das System des Spannungszwischenkreisumrichters gewählt. Die Zwischenkreisspannung wurde durch die Batteriespannung bestimmt. Sie beträgt 216 V.

Diese eher niedrige Spannung machte eine Neuentwicklung der Fahrmotoren und aller anderen Komponenten unter den zusätzlichen Aspekten des Schlagwetter- und Explosionsschutzes notwendig.

7541014/10787806875Biblio

Diese Lokomotive ist bauart- und später nach Einführung der europäischen Maschinenrichtlinie baumustergeprüft und für den Betrieb im untertägigen Einsatz zugelassen worden. Dazu waren umfangreiche Anforderungen nach der Maschinenrichtlinie, der DIN EN 1889-2 und der EMV-Richtlinie zu erfüllen.

Seitdem wurden in drei Baulosen über 90 Lokomotiven dieses Typs in Dienst gestellt. Dabei gab es verschiedene Möglichkeiten der modularen Zusammenstellung der Lokomotive:

- als Lokomotive mit zwei Führerhäusern,
- als Doppellokomotive,
- oder als Einfach- bzw. Mehrfachlokomotive mit vorlaufenden Fahrerhäusern.

Außerdem ist durch die moderne Steuerung der Betrieb als Wendepersonenzug, d. h. jeweils eine Lokomotive an den Zugenden, möglich geworden. Lokomotivübergreifend sind Fernsteuerungen näher untersucht und eingeführt worden.
Der Verschiebebetrieb z. B. bei der Bergeförderung konnte so nachhaltig verbessert werden. Die Steuerbarkeit der Lokomotive von außen ermöglichte dem Lokomotivfahrer, die Be- und Entladevorrichtung selbst zu bedienen.

5.2.6.3 Materialwagen

Die Entwicklung der Materialwagen ist in den letzten 50 Jahren in zwei Schritten vollzogen worden; die Realisierung und Umsetzung wurden stets durch diverse Forschungsvorhaben begleitet. Bis etwa Ende der 60er Jahre ist das Material in modifizierten Förderwagen, die durch Umbau an die zu transportierenden Güter angepasst wurden, befördert worden. Mit dem Aufkommen der Einschienen-Hängebahnen im Vororttransport und der Einführung von einheitlichen Materialcontainern sind auch spezielle Materialwagen entwickelt und eingeführt worden, so dass ein durchgängiges Transportsystem, vom Materialplatz über Tage bis nach vor-Ort, realisiert werden konnte. Die ca. 3 m langen Container sind für eine Nennlast von 3.000 kg ausgelegt worden. Die zugehörigen Materialwagen können, je nach Spurweite des Gleises, einen oder zwei Container gleichzeitig auf der Ladeplattform aufnehmen. Die Wagen sind im Normaltransport üblicherweise mit zwei starren Achsen ausgeführt. Ein Materialzug besteht aus durchschnittlich 10 Wagen. Für Sondertransporte, z. B. dem Transportieren von schweren Ausbauschilden, sind ab etwa Mitte der 70er Jahre spezielle Tieflader mit Drehgestellen entwickelt und untersucht worden die in der Lage sind, auch 20 t schwere Lasten (z. B. Ausbauschilde) aufzunehmen.

5.2.6.4 Förderwagen

Die Entwicklung der Förderwagen bestand in den letzten 50 Jahren zunächst in einer stufenweisen Steigerung ihres Fassungsvermögens. Beginnend bei einem Nutzvolumen von 1,0 Kubikmeter ist auf herkömmlichen Schienensystemen (bis ca. 680 mm Spurweite) das Fassungsvermögen über 4,0 m^3 bis auf 7,0 m^3 je Wagen gesteigert worden.

Erst die Einführung eines Großzugsystems einer Spurweite von 1.000 mm ermöglichte Mitte der 80er Jahre einen weiteren Technologiesprung.
Mit je zwei Drehgestellen ausgestattete Großraumförderwagen mit Eigenbremsung ermöglichten jetzt ein Fassungsvermögen von 25,0 m^3.

7541014/10787806875Biblio

In den 60er Jahren ist Schritt für Schritt die Entwicklung und Untersuchung von Förderwagen mit Bodenentleerung (Bodenentleerer) begonnen worden.
Der Öffnungs- und Schließmechanismus erforderte unter den rauen Bedingungen des Grubenbetriebes jedoch einen erhöhten Wartungs- und Instandsetzungsaufwand, so dass sich diese Wagen nicht großflächig durchgesetzt haben.

Das Großzugsystem ermöglicht aber nicht nur größere Förderwagen, sondern bietet weiterhin die Vorteile, dass schneller gefahren werden kann und mehr Förderwagen gleichzeitig gezogen werden können. Bis zu 16 Wagen mit je 25 m³ Inhalt können auf der 1.000-mm-Spur gezogen werden. Die derzeit stärkste E-Lok mit einem Dienstgewicht von ca. 50 t ermöglicht dabei eine Fahrgeschwindigkeit von maximal 11 m/s.

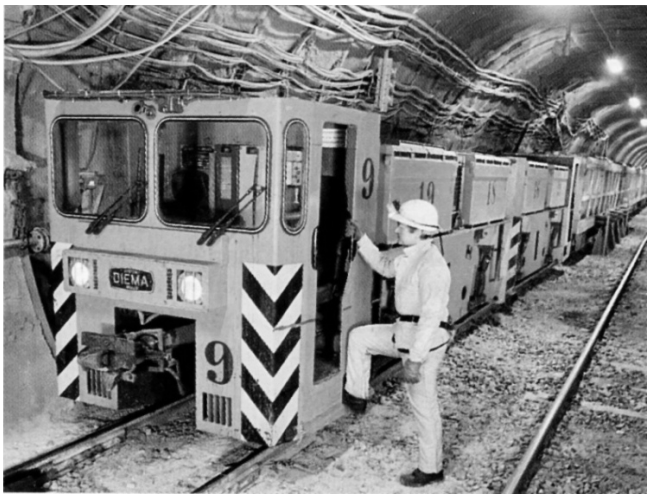


Abb. Fst-96b:
Akku-Lok mit Großraumwagenzug beim Bergetransport [V41]

5.2.6.5 Personenbeförderungen

Im Bereich der gleisgebundenen Personenbeförderungen sind in den zurückliegenden Jahrzehnten wesentliche Fortschritte erzielt worden. Neben neuen Technologien konnten insbesondere wesentliche Verbesserungen in den Bereichen Sicherheit und Ergonomie erzielt werden.

Ende der 70er Jahre war der Wunsch nach einer Steigerung der Beförderungskapazität immer größer geworden.

Die Bedeutung der Gleistechnik wird für den Steinkohlenbergbau in Deutschland immer mehr abnehmen. Bei Neuanlagen und Erweiterungen wird in Zukunft nur mit Förderbandtechnik oder mit mobiler Technik geplant.
Auf eine weitere Behandlung dieses Themenbereiches wird daher verzichtet.

Für den Personentransport wird auf verschiedenen Schachtanlagen die mobile Technik eingesetzt. Das setzt voraus, dass sich die Streckensohlen in einem Zustand befinden, der vertretbare Fahrgeschwindigkeiten zulässt.

7541014/10787806875Biblio

Heutige Personenfahrzeuge haben eine Größe erreicht, die es erlaubt, durchschnittlich 16 bis 18 Personen pro Wagen zu befördern. Die größten Wagen bieten Platz für bis zu 24 Personen.

Abb. Fst-97: Personaltransport mit mobilen Gelenk-Fahrzeugen [V41]

5.2.6.6 Einschienen-Hängebahnen mit Seilantrieb

Einschienen-Hängebahnen mit Seilantrieb sind Anfang der 60er Jahre als Transportsystem für Material und Personen im Vorortbetrieb eingeführt worden. Die Weiterentwicklung dieser zwangsgeführten Streckenfördertechnik ist seitdem durch eine Vielzahl von Forschungsprojekten begleitet worden. Aufgrund der im deutschen Steinkohlenbergbau typischen Sohlenhebung sind sie eine Entwicklung primär für den deutschen Bergbau. Parallel zur Einführung von Einschienen-Hängebahnen ist ein Materialcontainersystem entwickelt worden, welches erstmalig einen durchgängigen Transport von über nach unter Tage ermöglichte und somit auch die Lokomotivförderung nachhaltig beeinflusste. Die weiteren wesentlichen Entwicklungsschritte für Einschienen-Hängebahnen waren:

- Vereinheitlichung und Verstärkung des Schienensystems bis hin zu Normschienen, die Mitte der 70er Jahre eingeführt wurden.
- Vereinheitlichung und Verstärkung des Seilführungssystems (Ende der 70er Jahre).
- Entwicklung eines weitgehend einheitlichen Spleißverfahrens für Zugseile.
- Vereinheitlichung der Seilkonstruktionen. Nach Abschluss dieser Entwicklung sind nur noch drei Seilmacharten angewendet worden (Seale, Filier oder Warrington).
- Steigerung der Seilbruchkräfte durch Einführung von Drahtfestigkeiten bis 1960 N/mm² und durch den Einsatz von litzenverdichteten Seilen.
- Einführung von geometrisch einheitlichen Hubbalken, Kupplungen, Verbindungselementen und sonstigen Fahrzeugkomponenten.
- Verbesserung der Antriebshäspel und Seilspannstationen durch Vereinheitlichung und Einführung von elektrohydraulischen Antrieben. Hierdurch sind Steigerungen der Haspelzugkräfte von 1×30 kN (Einseilbahn) auf 2×30 kN (Zweiseilbahn) bzw. von 1×45 kN auf 2×45 kN möglich geworden.
- Steigerung der Nutzlasten und Schienenneigungen bis auf 35 gon.
- Einführung von frequenzgeregelten Umrichterantrieben.
- Entwicklung einer Transportfähre für Dieselkatzen auf Basis einer seilbetriebenen Einschienen-Hängebahn. Über ein Seilsystem können Dieselkatzen zur Schonung des eigenen Antriebs bergauf geschleppt werden.
- Erstellung eines umfassenden Normenwerkes für alle wesentlichen Komponenten des Systems.
- Erstellung von Richtlinien für die Errichtung, den Betrieb und die Überwachung von Einschienen-Hängebahnen.

7541014/10787806875Biblio

Ende der 70er Jahre waren allein im Ruhrbergbau rund 1.500 Einschienen-Hängebahnen mit einer Gesamtlänge von rund 2.000 km im Einsatz. Durch die verstärkte Einführung von Dieselkatzen zu dieser Zeit nahm dann ihre Anzahl jedoch stetig ab. Heute spielt diese Technik kaum noch eine Rolle.

5.2.6.7 Einschienen-Hängebahnen mit Eigenantrieb

Einschienen-Hängebahnen mit Eigenantrieb sind Anfang der 70er Jahre im deutschen Steinkohlenbergbau als Transportsystem für Material und Personen im vor Ort-Betrieb eingeführt worden. Ihre Weiterentwicklung wurde seitdem durch eine Vielzahl von Forschungsprojekten begleitet.

Aufbauend auf den in Lokomotiven eingesetzten Motoren, fanden zunächst nur Dieselkatzen Anwendung. Sie waren mit dieselmechanischen Antriebssystemen mit Steuerungen über Seilzüge ausgestattet und verfügten über eine unzureichende Leistung und Zuverlässigkeit. Erst mit der Entwicklung eines einheitlichen Dieselmotors, der 1976 veröffentlichten nationalen Bauvorschriften für Dieselkatzen und der Übernahme der Normbauteile von seilbetriebenen Bahnen ist das Blatt gewendet worden. Die dann einsetzenden wesentlichen Entwicklungsschritte für Dieselkatzen waren:

- Einführung eines einheitlichen Dieselmotors MWM D-916 in der Vierzylinder- (44 kW) und Sechszylinderversion (66 kW),
- Steigerung der Dieselmotorleistung auf 69 kW,
- Einführung von diesel-hydraulischen Antrieben mit pneumatischen, hydraulischen oder elektronischen Steuerungen,
- Steigerung der Anzahl der Reibradpaare (Antriebe) bis auf vier,
- Erprobung eines außen angreifenden Hilfsantriebes auf Linearmotorbasis in Steilstrecken,
- Entwicklung von aufgeteilten Antrieben in der Version 2 + 2. Zwei Antriebe sind auf dem Maschinenteil angeordnet, die anderen beiden befinden sich am entgegengesetzten Zugende. Diese neue Technologie ermöglichte eine nahezu gleichmäßige Krafteinleitung in das flexible Einschienen-Hängebahn-Schienensystem und bewirkte dadurch eine Laststeigerung großen Ausmaßes. Wegen der Brandgefahr sind die diesel-hydraulischen Antriebe jedoch von Mineralöl auf eine schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeit (HF-C) umgestellt worden.
- Entwicklung eines neuen Dieselmotors mit 130 kW Nennleistung. Er ermöglicht 3 + 3 Antriebe,
- Steigerung der Fahrgeschwindigkeit bis auf 4 m/s,
- Erstellung von Richtlinien für die Errichtung, den Betrieb und die Überwachung von Dieselkatzen.

5.2.6.8 Dieselkatzen – wichtigstes Transportsystem im Vor-Ort-Transport

Ende der 70er Jahre sind sogenannte Batteriekatzen eingeführt worden. Unter Verwendung von Dieselkatzen-Baukomponenten sind passende Elektroantriebe installiert worden. Um die Technik einfach und robust zu gestalten, sind Gleichstromantriebe ohne Energierückspeisung in die Batterie bei Talfahrt gewählt worden.

Die Konstruktionen wurden so ausgelegt, dass die Zugkräfte, die Fahrgeschwindigkeiten und die Eigengewichte vergleichbar zu den Dieselkatzen waren. Das zentrale Prob-

7541014/10787806875Biblio

lem bei Batteriekatzen war jedoch ihre Reichweite. Gegenüber der Dieselkatze ergibt sich hier ein enormer Nachteil, gerade bei Schienenneigungen größer als 10 gon. Zur Unterstützung des Elektroantriebes in der Steigung ist deshalb Mitte der 80er Jahre ein Stromschienensystem entwickelt und erprobt worden.

Die Stromschiene bestand aus einem Kastenprofil, welches unter einem pneumatischen Innendruck gehalten wurde, so dass kein Grubengas eindringen konnte. Der Innendruck wurde überwacht. Über eine Stromabnehmerkatze, die in das Kastenprofil eingriff, erfolgte die Stromzufuhr zur Unterstützung der Batteriekatze. Mitte der 90er Jahre gelang bei Batteriekatzen die Einführung der Drehstromtechnik.

Aufgrund des Reichweitenproblems herkömmlicher Batterien setzt sich die Dieselkatze gegenüber der Batteriekatze mehr und mehr durch.

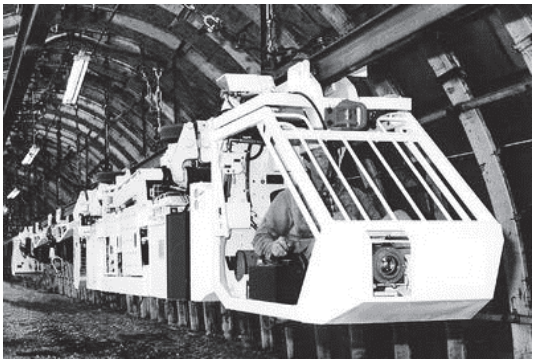


Abb. Fst-98: Einschienen-Hängebahn mit Dieselantrieb (sog. Dieselkatzen) [V41]

5.2.6.9 Rangier- und Steigkatzen

Im Rahmen umfangreicher Forschungsaktivitäten in den 80er Jahren wurde auch bei Rangierkatzen das Sicherheitsniveau angehoben. Entscheidend war die Konstruktion der Bremsbacken, deren Beläge bis dahin überwiegend aus Hartmetallsplittern bestanden.

Bei ordnungsgemäßen Schienenzuständen sind diese Bremsbeläge über einen überschaubaren Zeitraum sicherheitlich nicht zu beanstanden. Da jedoch, wo Einschienen-Hängebahnschienen mit feuchtem Staub belegt waren, z. B. in den Umschlagstellen im abwetterseitigen Vor-Ort-Bereich, setzen sich die relativ kleinen Zwischenräume zwischen den Hartmetallsplittern äußerst schnell mit Partikeln zu und gelangen beim Bremsvorgang nicht bis an den Schienensteg heran.
Verstärkt wird hierbei noch der Umstand, dass die Bremsbeläge beim Anhaltevorgang einige Zentimeter über den Schienensteg schleifen und so viele Fremdstoffe aufnehmen.

Die Forschungsergebnisse führten zur Bildung eines Fachkreises, der sich die Aufgabe stellte, nationale Bauvorschriften für moderne Rangierkatzen zu erarbeiten. Weiterführende praktische Forschungsarbeiten im Prüffeld ergaben, dass eine sinnvolle Lösung die Trennung der Fahrzeuge nach Leistungsvermögen sei.

Die bisher eingesetzten Rangierkatzen sollten in ihren zulässigen Grenzwerten eingeschränkt werden, während neu konstruierte Fahrzeuge unter erhöhten Einsatzbedingungen verwendet werden sollten. Diese neuen, leistungsfähigeren Fahrzeuge sollten die Bezeichnung „Steigkatzen“ erhalten.

7541014/10787806875Biblio

Das Ergebnis des Fachkreises endete in der Veröffentlichung nationaler Bauvorschriften für Rangierkatzen und Steigkatzen. Eines der hervorgreifenden Merkmale dieser neuen Steigkatzen war, dass beim Bremsvorgang zunächst der Zugverband über den Antrieb stillgesetzt wird, bevor die Bremsbacken aufgelegt werden. Auf diese Weise werden die Bremsbacken geschont und sind auch noch nach 7.500 Anhaltevorgängen funktionstüchtig. Die Rangierkatzen, die bis zu diesem Zeitpunkt im Einsatz waren, wurden erneut geprüft und den reduzierten Einsatzbedingungen angepasst. Hierbei ist insbesondere die Möglichkeit geschaffen worden, mit Hilfe einer verbesserten Steuerung das Anhalten des Zugverbandes vor Auflegen der Bremsbacken zu ermöglichen.

5.2.6.10 Schienenflurbahnen

Seit Anfang der 80er Jahre sind verstärkt Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der seilgetriebenen Schienenflurbahnen vorgenommen worden. Sie erfolgten vor dem Hintergrund, schneller zu fahren und, wenn möglich, auch höhere Lasten zu transportieren. Insbesondere das Thema, mit einem Seilantrieb Geschwindigkeiten größer als 2 m/s zu realisieren und somit eine schnelle Personenbeförderung zu ermöglichen, ist schrittweise angegangen worden. Im Gegensatz zu Schacht- oder Schrägförderanlagen sind Schienenflurbahnen in der Regel durch einen schwierigen Bahnverlauf mit Kurven, Sätteln und Mulden gekennzeichnet, was die Seilbruchgefahr erhöht und das Mitführen einer Notbremseinrichtung erfordert. Sie wird geschwindigkeitsabhängig ausgelöst und muss an der Schiene angreifen. Üblich sind Federspeicherbremsen mit hydraulischer Bremslüftung (sog. Notbremswagen).

Höhere Fahrgeschwindigkeiten erhöhen somit nicht nur die Anforderungen an den Seilantrieb, die Fahrzeuge sowie an das Schienensystem, sondern auch an die Notbremseinrichtungen. Im Betrachtungszeitraum ist in Zusammenarbeit mit einschlägigen Bergbauzulieferern und den Bergwerken eine schnell fahrende Personenbahn mit lastabhängiger Notbremseinrichtung entwickelt und erprobt worden.

Die mit ca. 350 kg Eigengewicht sehr leichten Fahrzeuge sind über gemeinsame Drehgestelle miteinander verbunden. Die Gewichtskräfte der Fahrerkabinen werden hier auf die Drehgestelle übertragen und erzeugen durch eine scherenartige Spreizung eine gewichtsabhängige Bremswirkung.

Zur Erhöhung des Fahrkomforts wurden die Tragrollen mit Kunststoff ummantelt, die Fahrerkabinen federnd aufgehängt und ergonomisch geformte Kunststoffsitze installiert, so das eine Fahrgeschwindigkeit von 4 m/s möglich war. Für den Materialtransport ist analog zur oben genannten Aufgabenstellung ein neuer Notbremswagen entwickelt worden.

Das Nutzen der Gewichtskraft zur Erzeugung einer entsprechenden Bremskraft konnte hier aufgrund des großen Abstandes zwischen der Ladeplattform und der Schienenoberkante nicht erfolgen. Als Steuerungsparameter ist deshalb die Schienenneigung herangezogen worden. Er wird an die Materialwagen mit niedriger Ladeplattform angekoppelt.

Neben der Bremskraft ist auch die Auslösegeschwindigkeit der Geschwindigkeitsüberwachung in Abhängigkeit von der Neigung gesteuert worden. Notbremswagen können bis 40° Neigung eingesetzt werden.

7541014/10787806875Biblio

Reißt hier z. B. das Zugseil, läuft der Zug zunächst mit einer Beschleunigung von 5,5 m/s² frei ab. Konventionelle Neigungsmesser reagieren darauf mit einer deutlichen Verfälschung des Messsignals. Es ist daher ein Verfahren entwickelt worden, das das Neigungsmesssignal von den Auswirkungen der Beschleunigung bereinigt. Das über ein Reibrad abgegriffene Geschwindigkeitssignal ist elektronisch differenziert und dem Neigungsmesssignal so überlagert worden, dass die Beschleunigung keine nennenswerten Auswirkungen mehr hat.

Ab Mitte der 70er Jahre sind Sessellifte zu Personenbeförderung im Steinkohlenbergbau eingesetzt worden. Die schrittweise Forschung und Entwicklung beinhaltete im Wesentlichen folgende Einzelschritte:

- Einführung von Sesselliften mit an das Seil fest angeklemmten Sesseln (diese Lifte ermöglichten Fahrgeschwindigkeiten bis 1,3 m/s, allerdings Steigungen bis 35°).
- Verbesserung der Technik durch die Einführung von Bahnen mit auf das Seil aufgesetzten Sesseln (diese Lifte ermöglichten im ersten Schritt Fahrgeschwindigkeiten bis 2 m/s bei Steigungen von max. 20° und waren kurvengängig).
- Optimierung der Bahnen mit lose aufgesetzten Sesseln bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 3,0 m/s und einer Steigung bis 25°. Einführung und Erprobung von automatischen Sesselmagazinen.
- Entwicklung eines eintrümmigen Liftes im Sinne eines Pendelförderers zur Platzeinsparung in Abbaubegleitstrecken. In allen Varianten hat sich der Sessellift als grubentauglich erwiesen, er gilt zwischenzeitlich als das sicherste Personenbeförderungssystem im abbaunahen Bereich.

5.2.6.11 Besonderer Einsatz einer Einschienen-Hängebahn

- **Mit 60 t Last bergab**

Erstmals musste auf dem Bergwerk West für einen Strebumzug ein Dieselkatzen-Schwerlasttransport mit DZ 2000 und 60 t Gesamtlast über einen Zwölf-Gon-Berg abwärts bewältigt werden.

Doch selbst eine Antriebsleistung von 130 kW, wie sie die DZ 2000 erreicht, sowie die Vorzüge der bis zu sechs variabel einsetzbaren, abklappbaren Antriebe, die eine Zugkraft von 120 kN schaffen, reichen für einen Schwerlasttransport mit diesen gewaltigen Dimensionen nicht aus.

Die maximal mögliche Steigung oder das Gefälle beträgt im voll beladenen Zustand fünf gon. Fachleute waren jedoch zuversichtlich, mit einigen Änderungen an der Maschine ist der Schildtransport zu schaffen. Zur Bewältigung des Schwerlasttransports im Zwölf-Gon-Berg wurden daher Hydromotoren mit höherem Schluckvolumen eingesetzt. Die Hauptpumpe arbeitete somit noch im Nennbereich.

Dadurch konnte bei der Abnahme der Maschine eine Zugkraft von 140 kN gemessen werden, die ausreichte, zwei Schilde mit jeweils 18,5 t und das zusätzliche Eigengewicht der Maschine inklusive der zwei Hubbrückenverbände von 23 t im Berg zu bewegen.

Der Strebumzug musste in zwei Phasen unterteilt werden. Die Schilde werden zunächst zwischengeparkt und repariert. Die Länge des Transportweges liegt einschließlich des Zwölf-Gon-Berges, je nach Ablagepunkt der Schilde, in der ersten Phase bei 800 m bis

7541014/10787806875Biblio

1.800 m. In der zweiten Phase muss eine Strecke von 2.000 m bis 3.000 m überwunden werden. Der Schwerlasttransport konnte bisher problemlos durchgeführt werden. Zurzeit werden acht bis zehn Schilde am Tag transportiert.

Ein Schwachpunkt des Systems ist jedoch der Schienenstrang. Die DZ 2000 darf mit sechs Antrieben nur auf der stärker dimensionierten I 140 V-Schiene gefahren werden. Die Standardschiene des Typs I 140 E ist beim Bremsen des beladenen Dieselkatzenzuges überfordert.
Sämtliche Bewegungsenergie wird beim Bremsvorgang schlagartig über den Schienenstrang abgebaut. Deshalb ist es zwingend vorgeschrieben, in den mit Standardschiene ausgerüsteten Bereichen auf vier Antriebe umzuschalten.

Das RAG-Bergwerk West hat alle Schwerlasttransportwege, die die DZ 2000 befährt, mit der schwerer dimensionierten Schiene ausgerüstet. Eine gute Entscheidung, denn die von der Mannschaft gesammelten Erfahrungen mit der Schiene sind durchweg positiv.

Um jedoch zukünftig den uneingeschränkten Betrieb der DZ 2000 auch auf dem Standard-Schienenprofil gewährleisten zu können, ist zurzeit ein System in der Entwicklung,

Abb. Fst-99:
Einschienen-Hängebahn (Dieselkatze) im Materialbahnhof [V41]

7541014/10787806875Biblio

das im Notfall ein weiches Abbremsen gestattet. Über geometrisch besonders gestaltete Bremszylinder werden die Bremsen so gesteuert, dass sie erst nach einer definierten Zeitspanne fallen.

- **Neue Dieselkatze – Kraftpaket ging auf die Strecke**

Die Leistungsdaten könnten einem Hochglanzkatalog der Automobilbranche entnommen sein. Vier-Zylinder-Reihenmotor, Direkteinspritzung, Abgasturbolader mit Ladeluftkühlung, Nennleistung 130 kW, Hubraum 6.640 cm^3. Garanten für Kraft und Schnelligkeit, die der Neuentwicklung wohl auch den Namen „Leopard“ bescherten.

Wer dabei an einen Rennboliden denkt, liegt allerdings falsch. Vielmehr handelt es sich um einen Vertreter der neuen Dieselkatzen-Generation „DZ 2000 3+3“, der auf dem Bergwerk Friedrich Heinrich/Rheinland seinen untertägigen Ersteinsatz absolviert. Den bewältigt der Leopard mit seiner beeindruckenden Zugkraft von 120 kN, die ihm eine Fahrgeschwindigkeit von 2,6 m/s pro Sekunde ermöglicht. Dabei bewegt die Dieselkatze scheinbar mühelos stolze 35.000 kg an Lasten, die sie bis zu einer Steigung von 5 gon aufnehmen darf. Bei einer Steigung von 20 gon sind es immer noch 26.000 Kilogramm, was einer Steigerung von jeweils 10.000 kg im Vergleich zum alten System entspricht.

Der untertägige Materialtransport ist heute geprägt von langen Transportwegen mit häufigen Richtungswechseln und entsprechenden Transportzeiten. Dazu kommt der steigende Bedarf einzelner Betriebspunkte sowie kurzzeitig auftretender Spitzenbedarf, wie beispielsweise bei Strebumzügen, die den Transport von Materialien mit unterschiedlichen Gewichten und Abmessungen erfordern.

Die Einführung der Quadro-Dieselkatze war bis jetzt der aktuelle Stand der Dieselkatzentechnik. Den gestiegenen Anforderungen an die Transporttechnik sollte mit ihr begegnet werden. Durch die Aufteilung der Antriebe im Zugverband erreichte man eine Steigerung des Leistungsvermögens. Dies war jedoch begrenzt durch die Auslegung des Dieselmotors, der nur eine Leistung von 60 kW erreichte. Zu wenig, um die heute geforderten Kenndaten in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Sicherheit zu erfüllen. Das machte die Entwicklung eines neuen Typs inklusive eines leistungsstärkeren Motors notwendig. In Zusammenarbeit mit einem Spezialunternehmen brachte die DSK deshalb ein Forschungsvorhaben auf den Weg, dessen Ergebnis nun in Form der neuen Dieselkatze zu bewundern ist. Die Anstrengungen scheinen sich gelohnt zu haben.

Trotz verdoppelter Motorenleistung beträgt der Schadstoffausstoß der „DZ 2000 3+3“ nur noch ein Viertel der Werte der bisher eingesetzten Dieselkatzen. Ein entscheidender Vorteil, der die Arbeitsbedingungen vor Ort ganz wesentlich verbessert. Zusätzlich bedeutet das für die Praxis, dass in Strecken, in denen bisher nur eine Dieselkatze fahren durfte, zukünftig zwei Maschinen des neuen Typs mit jeweils 130 kW eingesetzt werden können.

Eine weitere Reduzierung der Schadstoffbelastung ist beim Leoparden auch dadurch gegeben, dass der Dieselmotor in Pausenzeiten von der Fahrerkabine aus durch ein Elektro-Anlassersystem jederzeit stillgesetzt und wieder gestartet werden kann.

Die neue Generation der „DZ 2000 3+3“ verfügt über zusätzliche Leistungsreserven. Damit haben die Leoparden auf jeden Fall genug „Biss“, um auch mit zukünftig zu erwartenden Transportaufgaben fertig zu werden.

Quelle: 50 Jahre Kohleforschung der EGKS.

7541014/10787806875Biblio

5.2.6.12 Transportsysteme von der Gewinnung zu Tage

Im Fördersystem hat sich in den letzten Jahren Entscheidendes geändert. Wie bereits erwähnt, findet im deutschen Steinkohlenbergbau keine Wagenförderung mehr statt. Der Bandtransport hat sich auf allen Schachtanlagen durchgesetzt. Die Zwischenförderung zur Hauptfördersohle findet nicht mehr über Blindschächte, sondern über Bunker, Rolllöcher oder Bandberge statt. Die Situation „keine Leeren“, die den Steiger oft zur Verzweiflung gebracht hat, gibt es nicht mehr.

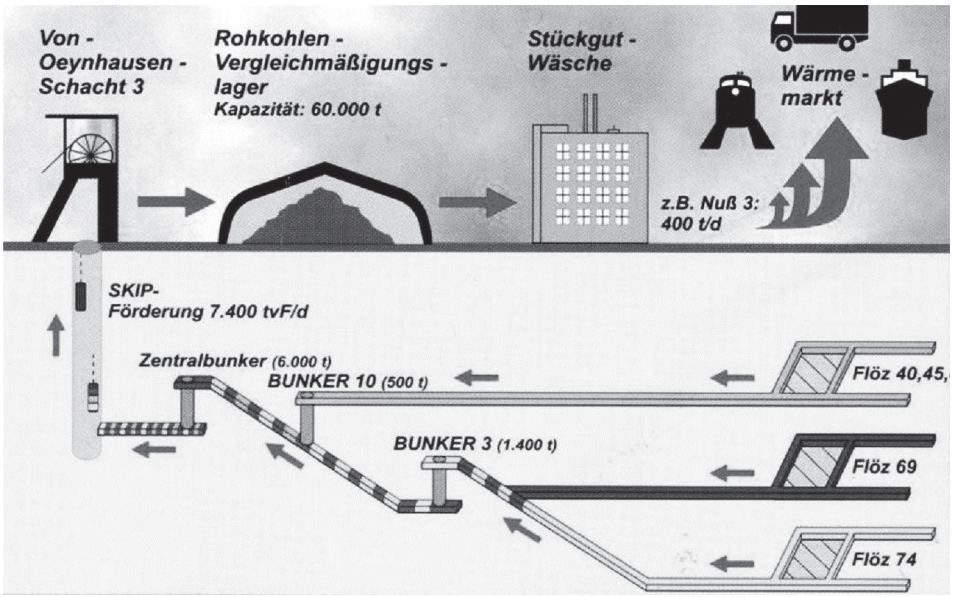


Abb. Fst-100: Heutiges Fördersystem am schematisch dargestellten Beispiel der Schachtanlage Ibbenbüren [V41]

Voraussetzung für die Funktion dieses System ist, dass am Schacht große Bunker vorhanden sind, damit eine Störung in der Skipförderung überbrückt wird. Dazu gehört aber insbesondere auch, dass eine gewissenhafte Kontrolle und Wartung der Bänder und ihrer Antriebe erfolgt.

Die Transportsysteme der einzelnen Schachtanlagen der RAG sind aufgrund unterschiedlicher Betriebsverhältnisse nicht gleich.

Bedingt durch die Anzahl der Schächte, Anlage der Sohlen, Schachtteufen usw., haben sich folgende Verfahren entwickelt:

- Skip-Schachtförderung, Kohlen-Bergetransport ausschließlich über Transportbänder, Rolllöcher, Zwischenbunker und Bandberge. Materialtransport mit der Einschienen-Hängebahn, Personaltransport über Bänder oder Einschienen-Hängebahn. **Hinweis:** Der Bergetransport über Bänder setzt Bergebrecher vor Ort voraus.
- Skip-Schachtförderung, Kohlentransport ausschließlich über Transportbänder, Rolllöcher, Zwischenbunker und Bandberge.
- Bergetransport aus den Gesteinsbestrieben mittels Lokbetrieb und Großraumförderwagen über den Wetter- und Seilfahrtschacht.

7541014/10787806875Biblio

– Materialtransport bis zu den Flözstrecken im Schienentransport und Übergabe auf die Einschienen-Hängebahn der Flözstrecken. Personaltransport mit Personenzügen.

  Hinweis: Der Bergetransport mittels Förderwagen bis zur Rasensohle setzt entsprechende Aufschiebevorrichtungen und einen Doppelschacht voraus, wenn der Bergetransport nicht über einen zweiten Schacht (z. B. Wetterschacht) erfolgt.

– Wie b) jedoch Bergetransport zur Rasensohle über eine Berge-Skip-Förderung z. B. während der Reparatur- und Wartungsschicht in der Nacht von ca. 11:00 bis 4:00 Uhr. Hierbei müssen folgende Einrichtungen am Schacht vorhanden sein: Bergebunker mit vorgeschaltetem Bergebrechen (wenn die Berge nicht schon vor Ort gebrochen werden) und Wagenentleerungseinrichtung (Kreiselkipper, Seitenkipper oder Einsatz von Förderwagen mit Bodenentleerung).

– Weitere Systeme sind möglich z. B. mit mobilen Untertage-Transportfahrzeugen (spezielle Lkw, Dumper, Radlader, Schwerlast-Trac, Schild- und Container-Transporter usw.).

– Hinweis zum Bergetransport:
  Der Bergeanfall aus den Flözstrecken geht in die Kohle, da hier der Bergeanfall, insbesondere bei hohen Flözen, im Verhältnis zum Kohlegewinnung sehr gering ist.

Wegen der unsicheren Verhältnisse bezüglich Einstellung der deutschen Steinkohleförderung werden nur noch Gesteinsstrecken an Anpassung an den derzeitigen Bedarf aufgefahren, so dass nur geringe Mengen Bergemassen anfallen.

6 Bewetterung[17)]

6.1 Begriffsbestimmungen

Mit dem Ausdruck „Wetter“ werden die im Untertage-Bergbau vorkommenden Gasgemische ohne Rücksicht auf ihre Zusammensetzung bezeichnet. Wenn die Wetter annähernd wie die atmosphärische Luft zusammengesetzt und deshalb für die menschliche Atmung gut geeignet sind, so sprechen wir von frischen oder guten Wettern.

Sind die Wetter infolge eines zu großen Gehaltes an unatembaren Gasen (CO_2, N_2, CH_4, H_2) nicht oder doch nur schlecht geeignet, die regelmäßige Atmung zu unterhalten, so heißen sie matte oder stickende Wetter.

Führen sie giftige Beimengungen (CO, H_2S, Stickoxyde), so werden sie böse oder giftige Wetter genannt.

Besitzen sie infolge Auftretens brennbarer Gase (CH_4, höhere Kohlenwasserstoffe, wie sie besonders bei Grubenbränden als Schwelgase auftreten, CO) die Eigenschaft der Explosionsfähigkeit, so nennt der Bergmann sie wegen der sich schlagähnlich äußernden Wirkung der Explosion schlagende Wetter.

Unter „Grubenbewetterung“ versteht man die planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft. In ähnlichem Sinne gebraucht man auch die Ausdrücke „Wetterwirtschaft“, „Wetterführung“ oder „Wettertechnik“.

17) Grundlagen dieses Abschnitts (6): [1] , Infomaterial der Gerätehersteller, der RAG und DSK

7541014/10787806875Biblio

6.2 Zweck der Grubenbewetterung

Der Zweck der Grubenbewetterung ist hauptsächlich:

- den in der Grube befindlichen Menschen zum Atmen Luft zuzuführen;
- die in der Grube auftretenden matten, giftigen oder schlagenden Wetter bis zur Unschädlichkeit zu verdünnen und fortzuspülen;
- in „heißen“ (tiefen) Gruben die Temperatur zu senken und insbesondere die schädlichen Wirkungen feuchtwarmer Wetterströme zu bekämpfen.

6.3 Luftbedarf für die Atmung

Der Mensch macht in der Ruhe 15 bis 20 Atemzüge in der Minute und atmet in dieser Zeit ungefähr 7 l bis 10 l Luft ein und aus. Bei der Arbeit und in Bewegung erhöhen sich die Zahl und Tiefe der Atemzüge.

Die Zahl der Atemzüge kann dann auf über 25 je Minute ansteigen und die je Atemzug eingeatmete Luft auf etwa 2,5 l. Auf diese Weise kann der Luftbedarf je Minute bei besonders schwerer Arbeit unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen für kurze Zeit 60 l und mehr betragen.

Eine solche Luftmenge würde für die Atmung sicher genügen, wenn es gelänge, sie stets als frische Luft bis zu den Atmungsorganen des Mannes heranzubringen; 1 m^3 in der Minute würde alsdann für mindestens 15 Menschen ausreichen.
Da aber die ausgeatmete Luft nicht von der einzuatmenden getrennt gehalten werden kann, sondern sich zum Teil immer wieder mit dieser mischt, muss die für einen Menschen zuzuführende frische Luftmenge erheblich mehr als 60 Liter in der Minute betragen.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass auch in solchen Gruben, in denen keine anderen Ursachen für die Wetterverschlechterung als die Atmung vorhanden sind, mindestens etwa 75 l, also ¾ m^3 je Kopf und Minute, zugeführt werden müssen.

Besser ist es mit Rücksicht auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Belegschaft freilich, wenn man auch unter den genannten günstigen Umständen 1 m^3 bis 2 m^3 je Mann und Minute erreicht.

6.4 Auftreten und Beseitigung nicht atembarer Gase

Die atmosphärische Luft, die in die Grube geführt wird, behält ihre ursprüngliche Zusammensetzung und Reinheit nicht bei.

Schon durch das Atmen der Menschen wird die Luft verschlechtert. Noch erheblicher wirken andere Ursachen:

- die Fäulnis und Zersetzung von Holz und sonstigen organischen Stoffen,
- die Oxydation von Kohle und anderen Mineralien (z. B. Schwefelkies),
- das Ausströmen von Gasen aus dem Nebengestein, der Kohle oder dem Grubenwasser,
- die Verbrennungsmotore,
- Sprengarbeit,
- Grubenbrände und Kohlenstaub- oder Schlagwetterexplosionen.

7541014/10787806875Biblio

Die Beseitigung aller für die Atmung ungeeigneten oder schädlichen Wetter, insbesondere des Grubengases, geschieht mit Ausnahme der Fälle, in denen das Grubengas abgesaugt wird, durch eine bis zur Unschädlichkeit gehende Verdünnung mit frischer Luft und ihre darauf folgende Entfernung aus dem Grubengebäude. Die Verdünnung des Methans muss nach den in Deutschland geltenden bergpolizeilichen Vorschriften so weit gehen, dass der Gehalt des Wetterstroms an keiner Stelle der Grube 1 % CH_4 erreicht.

6.5 Wetterbedarf

Welcher von den genannten drei Hauptzwecken der Wetterführung der wichtigste ist und die übrigen an Bedeutung überragt, lässt sich von vornherein nicht sagen.

Auf Salz- und Erzgruben von geringer Tiefe wird die Wetterführung dann ausreichend sein, wenn sie dem Sauerstoffbedarf der Menschen Rechnung trägt. In Schlagwettergruben ist gewöhnlich die völlige Beseitigung der Schlagwettergefahr der wichtigere Teil der Aufgabe und bestimmt die Größe der erforderlichen Wetterzufuhr. In heißen Gruben wird die Rücksicht auf das Einhalten erträglicher Temperaturen für die Bemessung der Wettermenge ausschlaggebend.

6.6 Auftreten von Grubengas

Methan (CH_4), Grubengas, auch Sumpfgas genannt, hat die Wichte 0,7168 g/cm³, ist also wesentlich leichter als Luft. Grubengas ist farb- und geruchlos, brennbar, nicht giftig, trotzdem aber wegen der bei höheren Konzentrationen möglichen Erstickungsgefahr nicht ungefährlich.

Mit dem Begriff Grubengas werden im Allgemeinen die im Kohlengebirge auftretenden brennbaren Gase bezeichnet. Da Grubengas jedoch überwiegend aus Methan besteht, werden diese Begriffe in der bergmännischen Praxis vielfach gleichbedeutend gebraucht.

Im Wasser ist Grubengas wenig, jedoch immerhin in dem Grad löslich, dass bei Druckentlastung oder Erwärmung des Wassers merkbare Mengen entweichen und z. B. Behälter oder Räume der Wasserhaltung erfüllen können.

Gelegentlich sind Beimengungen höherer Kohlenwasserstoffe in Grubenwettern festgestellt worden, insbesondere Äthan (C_2H_6), wodurch das Grubengas leichter entzündlich und explosionskräftiger wird. In vereinzelten Fällen sind Schwefelwasserstoff und Wasserstoff mit Grubengas vergesellschaftet.

6.6.1 Entstehung von Grubengas

Grubengas entsteht auch heute noch täglich bei der Vermoderung pflanzlicher Stoffe unter Luftabschluss und ist daher eine Folge der Inkohlung. Über die Einzelheiten der Entstehung und den Zeitpunkt der Bildung der Gase herrscht noch keine volle Klarheit.

Auf den ersten Stufen der Inkohlung herrscht neben der Bildung von Wasser die von Kohlensäure vor, die bei Braunkohlenlagerstätten überwiegt. Die wesentliche CH_4-Entwicklung ist mit dem geochemischen Umwandlungsprozess im Stadium der Steinkohlenbildung verknüpft.

7541014/10787806875Biblio

Nach neueren Auffassungen spielen bei der Inkohlung und der Methanbildung Druck und Temperatur eine entscheidende Rolle. Die Inkohlung kann demnach durch gebirgsbildende und sonstige tektonische Vorgänge stark gefördert werden. Der Überlagerungsdruck der Gebirgsschichten genügt allein offenbar nicht.

6.6.2 Vorkommen von Grubengas

Grubengas kann in jedem Gebirge auftreten, in dem organische Stoffe inkohlt sind. Man hat es daher gelegentlich in den verschiedensten Gebirgsformationen gefunden, z. B. im Buntsandstein, Zechstein, Jura und Tertiär.

Auf einzelnen Kalisalzgruben ist es sogar in größeren Mengen aufgetreten. Bei hohem Inkohlungsgrad führen auch Braunkohlen Grubengas, wie z. B. einige Braunkohlengruben im Sudetenland und in der Steiermark. Auch am Habichtswald bei Kassel ist Grubengas in der Braunkohle aufgetreten, darüber hinaus vereinzelt auf verschiedenen Ton-, Erz- und anderen Gruben.
Mehr oder weniger regelmäßig und allgemeiner verbreitet ist es aber nur im eigentlichen Steinkohlengebirge.

Auf primärer Lagerstätte kommt es in den Flözen selbst vor. Eine chemische Bindung des Methans an die Kohle ist sicherlich nicht anzunehmen, da durch sie die großen Grubengasmengen, wie sie im Betrieb täglich vorkommen, kaum zu erklären sind.

Als Möglichkeiten der physikalischen Gasbindung kommen vorwiegend eine Adsorption und eine Absorption in Betracht.

Unter Adsorption wird eine Gasanlagerung an der Kohlenoberfläche verstanden, wohingegen als Absorption eine „Lösung“ des Gases in der festen Kohlensubstanz in einer Art molekularer Durchdringung bezeichnet wird. Eine Bindung in Form von „freiem Gas“ als Porenfüllung dürfte wegen der Porenarmut der Kohle eine nur geringe Rolle spielen.

6.6.3 Schlagwetterexplosionen

Ausströmendes Grubengas verbrennt an der Luft nach bewirkter Entzündung mit hellblauer, wenig leuchtender Flamme.
Hat eine vorherige Mischung des Grubengases mit atmosphärischer Luft stattgefunden, so kann dieses Gasgemisch explodieren. Verbrennung und Explosion verlaufen unter der Voraussetzung gewöhnlicher Druckverhältnisse etwa nach folgender Formel:

$$CH_4 + 2O_2 + 8N_2 = CO_2 + 8N_2 + 2H_2O.$$

Wenn auf 1 Raumteil CH_4 2 Raumteile Sauerstoff, d. h. etwa 10 Raumteile atmosphärischer Luft entfallen, reicht der Sauerstoff gerade zur Verbrennung des vorhandenen CH_4 aus und wird dafür verbraucht.

Die Explosion ist dann am kräftigsten, wenn das Gemisch zu 1/11 aus Methan besteht, so dass sich das Gemisch mit dem größten Explosionsdruck bei normaler Luftzusammensetzung auf etwa 9 ½ % CH_4 und 90 ½ % Luft stellt. Ist der CH_4-Gehalt in dem Explosionsgemisch größer, wird infolge Sauerstoffmangels Kohlenoxyd gebildet und es bleibt ein Teil des Grubengases unverbrannt; ist er kleiner, bleibt Sauerstoff oder atmosphärische Luft im Überschuss.

7541014/10787806875Biblio

Ist der Methangehalt des Gemisches also größer oder kleiner als 9 ½ %, muss bei der Explosion entweder an der Reaktion nicht teilnehmendes Grubengas oder überschüssige atmosphärische Luft miterwärmt werden. Die Explosion wird deshalb schwächer.

6.6.4 Entstehungsursachen der Schlagwetterexplosionen

Die Schlagwetter werden in manchen Fällen durch offenes Licht entzündet. Es pflegt sich dabei um Gruben oder Grubenabteilungen zu handeln, in denen Schlagwetter bis dahin unbekannt waren und der Gebrauch offenen Geleuchtes erlaubt ist.

Auch ist es vorgekommen, dass unbefugt geöffnete Wetterlampen die Zündung von Schlagwettern bewirkt haben. Besonders häufig war die Wetterlampe die Ursache von Schlagwetterexplosionen.
Durch Einführung der elektrischen Grubenlampen (i. d. R. heute Kopflampen) ist diese Möglichkeit ausgeschlossen. Diese Lampen müssen absolut schlagwettergeschützt sein.

Mit einem erheblichen Prozentsatz ist ferner bei der Auslösung von Schlagwetterexplosionen die Sprengarbeit beteiligt, wobei sowohl die eigentliche Sprengflamme als auch die Zündung der Sprengladungen in Frage kommen.

Die Wettersprengstoffe und der starke Rückgang der Sprengungen in der Steinkohlengewinnung haben dazu geführt, dass in Deutschland in den letzten Jahrzehnten keine Schlagwetterexplosionen mehr aufgetreten sind.

Unter den sonstigen Ursachen von Schlagwetterexplosionen kommen zunächst Grubenbrände in Betracht. Wo die Kohle zur Selbsterhitzung neigt, können auch bei größter Vorsicht manchmal Grubenbrände nicht verhindert werden. Derartige Explosionen sind nicht so häufig, wie man zunächst annehmen könnte, vorgekommen

Eine andere, wenn auch seltene Ursache von Schlagwetterexplosionen, kann Funkenbildung sein. Wenn harte Gesteine gegeneinander gerieben werden, entstehen ebenso Funken, wie wenn Stahl auf harten Stein schlägt. Im Allgemeinen sind solche Funken, die z. B. bei der maschinellen Schräm- und Bohrarbeit, bei der Arbeit mit dem Abbauhammer und bei Auswurf von Schleuder- und Blasversatzmaschinen auftreten, ungefährlich.

Weitere Möglichkeiten sind Funkenbildungen beim Betrieb von Verbrennungsmotoren, bei elektrischen Motoren und Schaltanlagen, bei der Beschädigung von Stromkabeln und elektrischer Beleuchtung, soweit es sich bei den aufgezeigten Fällen um ungenügenden oder schadhaften Schlagwetterschutz handelt. Nicht zuletzt muss auf das Rauchen (trotz absoluten Verbots) unter Tage hingewiesen werden.

6.6.5 Mittel und Geräte zur Erkennung von Grubengas

Die sicherste Feststellung des Gehaltes der Wetter an Grubengas erfolgt durch chemische Analyse, deren Genauigkeit etwa 0,02 % beträgt. Es werden zu diesem Zweck Proben in Glasröhrchen genommen, die man durch Auslaufen von Wasser sich mit Gas füllen lässt.

Insbesondere pflegt man durch regelmäßig sich wiederholende Proben den Gasgehalt einzelner Teilströme sowie denjenigen des gesamten ausziehenden Stromes zu überwachen, um so die Wirkung der Wetterführung und die CH_4-Entwicklung im Verhältnis zur Wettermenge sicher beurteilen zu können.

7541014/10787806875Biblio

Für den Bergmann in der Grube genügt aber diese an sich unentbehrliche, nachträgliche Feststellung des Grubengasgehaltes nicht. Vielmehr muss er ein Mittel haben, um das Vorhandensein von Grubengas unmittelbar feststellen und den Prozentgehalt, wenn auch nur in roher Weise, abschätzen zu können. Dazu dienen als Handmessgeräte neben der Wetterlampe hauptsächlich das Interferometer, der Auer-Methanometer M 102, der Grubengasanzeiger Verneuil Typ V54 und als ortsfeste, schreibende Geräte der CH_4-Mono und das Inframeter.

- **Wetterlampe**

Die im Jahre 1815 von DAVY erfundene Wetterlampe, hat heute, von Ausnahmen abgesehen, ausgedient und wird schon als „Oldtimer" gehandelt.
Da sie aber heute noch zum Lehrplan der Auszubildenden im Bergbau gehört, soll sie nachfolgend kurz besprochen werden.

Bei der Wetterlampe macht sich der Umstand zu Nutzen, dass Methan an einer Benzinflamme mit blassblauer Farbe verbrennt.
Die Methanflamme, Aureole genannt, nimmt mit steigendem CH4-Gehalt in den Wettern an Breite und Höhe zu, bis bei etwa 5 % CH_4 die untere Explosionsgrenze erreicht ist und eine Verpuffung die Flamme zum Erlöschen bringt. Mit der Wetterlampe können daher Methangehalte bis 5 % nachgewiesen werden. Die untere Grenze mit der Wetterlampe erkennbarer CH_4-Gehalte liegt bei etwa 0,5 % und bei besonders geübten Personen sogar bei 0,3 %.

Die geringe Größe und Leuchtstärke der Aureole lassen CH_4-Gehalte um 1 % und darunter nur schwer erkennen, so dass man bemüht war, die Aureole durch Färbung besser sichtbar zu machen. Im Ruhrgebiet benutzt man die „von Rosen'sche Salzperle". Ein unverbrennlicher Stift mit angeschmolzener Kochsalzperle wird so tief in den Docht gesteckt, dass die Perle bei gewöhnlicher Flamme sich in deren dunklem (kaltem) Teil befindet.

Beim Kleinschrauben der Flamme zum Zwecke des Ableuchtens kommt die Perle in deren heißen Teil, verdampft hier und färbt die Benzinflamme gelb unter Bildung eines stärker gelb gefärbten schmalen äußeren Saumes. Auch eine etwaige Aureole wird gelb gefärbt, jedoch mehr graugelb, so dass sie sich von dem stark gelben äußeren Saum der Benzinflamme gut abhebt und auch bei sehr geringer Höhe deutlich erkennbar ist. Die Aureole hat je nach Grubengasgehalt die aus den Abb. Fst-101 u. 102 zu entnehmende Form und Größe. Zwischen 1 % und 2 % kann man auch die Helligkeit der Aureole zum Abschätzen zu Hilfe nehmen. Beispiele:

- Bei 1 % CH_4 ist die Grundflamme so hell im Vergleich zur Aureole, dass ein geringes Höherschrauben der Grundflamme genügt, um die Aureole durch die größer gewordene Helligkeit der Grundflamme unsichtbar zu machen.
- Bei 1,5 % CH_4 hat die Helligkeit der Aureole bereits so zugenommen, dass bei Höherschrauben der Grundflamme die Aureole erst um 10 mm klettert, bevor sie durch die Helligkeit der Grundflamme verdeckt wird.
- Bei 2 % CH_4 wächst die Aureole um rund 20 mm, bevor sie durch Vergrößerung der Grundflamme überstrahlt wird.
- Bei CH_4-Gehalten über 2 % ragt die Spitze der Aureole bis in den Lampenkorb, bevor sie unsichtbar wird. Bei genauer Kenntnis der gegenseitigen Beeinflussung von Grundflamme, Aureole und CH_4-Gehalt lassen sich mit der Wetterlampe mit Salzstift gute Messergebnisse erzielen.

7541014/10787806875Biblio

Heute werden ausschließlich elektrische Anzeigegeräte eingesetzt, z. B. das Auer-Methanometer M 102 oder vergleichbare Geräte. Die Wirkungsweise beruht darauf, dass bei der Verbrennung von CH_4 an einem aufgeheizten Draht Wärme frei wird, die Temperatur und der Widerstand des Drahtes sich erhöhen. Die Widerstandserhöhung des in eine abgeglichene Wheatston'sche Brücke eingebauten Verbrennungsdrahtes führt zu einer Verschiebung des Brückengleichgewichtes, so dass im Nullzweig der Brücke ein Strom fließt. Seine Größe ist ein Maß für den Methangehalt. Vorteile dieser Geräte sind die hohe Messgenauigkeit, die Nullpunktbeständigkeit, die kurze Messdauer (10 s), die geringe Abhängigkeit von Druck- und Temperaturschwankungen, der ebenfalls geringe Einfluss von Kohlendioxyd und Wasserdampf und die befriedigende Schlagwettersicherheit.
Wasserstoff und Kohlenoxyd werden mitgemessen, solange der O_2-Gehalt der Wetterprobe zur Verbrennung ausreicht. Außer dem Aufladen oder Auswechseln der Batterie fallen keine nennenswerten Wartungsarbeiten an.

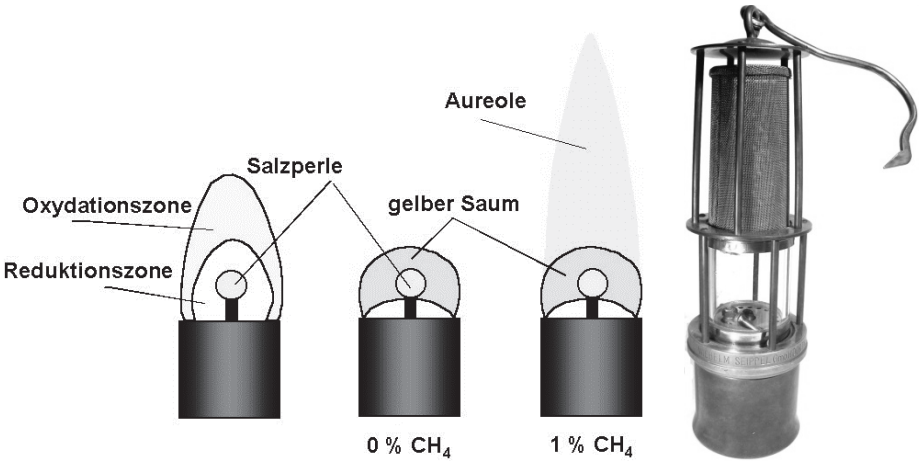


Abb. Fst-101: links: Die Aureole der Wetterlampe – rechts: Wetterlampe [1]

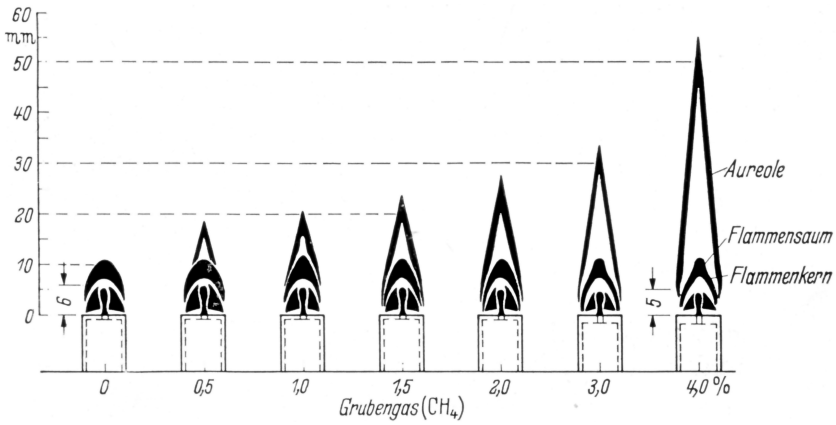


Abb. Fst-102: Form und Größe der Aureole in Abhängigkeit vom Grubengasgehalt der Wetter [1]

7541014/10787806875Biblio

Jeder aufsichtführende Bergingenieur muss ein entsprechendes Gerät ständig mit sich führen und an bestimmten Betriebspunkten Messungen durchführen und auf der aushängenden Wettertafel die gemessenen Werte eintragen.

6.6.6 Letzte Schlagwetterexplosionen

Trotz strengster Sicherheitsmaßnahmen zur Verhütung von Schlagwetterexplosionen gab es in Deutschland folgende Schlagwetterexplosionen:

1962 Grube Luisenthal in Völklingen/Saarrevier mit 299 Toten,
1966 Grube Rosenray in Kamp-Lintfort mit 16 Toten,
1976 Grube Sachsen in Hamm mit 3 Toten,
1979 Grube Hansa in Dortmund mit 7 Toten,
1986 Grube Camphausen in Querschied/Saarrevier mit 7 Toten,
1988 Grube Stolzenbach im Borkener Braunkohlenrevier mit 51 Toten.

6.6.7 Verhütung bzw. Bekämpfung von Schlagwetterexplosionen

Zur Verhütung von Schlagwetterexplosionen gibt es heute strenge Vorschriften, deren Einhaltung von einem für die Bewetterung zuständigen Bergingenieur (Wettersteiger) überwacht wird.

Grundlegende Maßnahmen sind:

- Ausreichende Verdünnung des aus der Kohle freiwerdenden Grubengases mit frischen Wettern,
- Gasabsaugung,
- Unschädlichmachen von Kohlenstaub durch Niederschlagen, Binden oder lnertisieren,
- Messtechnische Überwachung aller gefährdeten Grubenbaue auf Methan (CH_4),
- Schlagwetter- und explosionsgeschützte Ausführung elektrischer Anlagen, einschließlich automatischer Abschaltung beim Überschreiten von Grenzwerten,
- Verhinderung statischer Aufladung,
- Sachgemäße Sprengarbeit mit besonders geprüften Sicherheitssprengstoffen,
- Überwachung von Maschinen auf Heißlaufen; Kühlung von Schneidwerkzeugen durch Bedüsung.

Mit Hilfe von **Wassertrogsperren** (80 Liter) bzw. Zeilentrogsperren oder **Gesteinsstaubsperren** kann das Ausmaß einer Schlagwetterexplosion eingedämmt werden, weil dadurch eine anschließende Kohlenstaubexplosion unterbunden wird. Dabei handelt es sich um offene, mit Wasser gefüllte Tröge oder mit Marmorpulver behäufte Bretter, die unter den Firsten der Strecke angebracht werden. Bei einer Explosion werden die Behälter durch die Druckwelle heruntergeworfen bzw. zertrümmert und die nachfolgende Flammenfront wird durch das in der Luft zerstäubte Wasser bzw. den Gesteinsstaub gelöscht.

7541014/10787806875Biblio

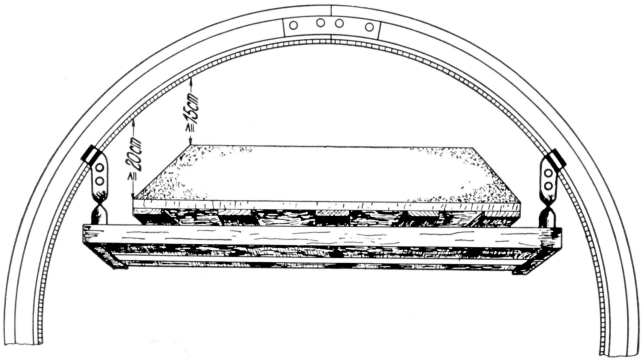


Abb. Fst-103:
Gesteinsstaubsperre [V1]

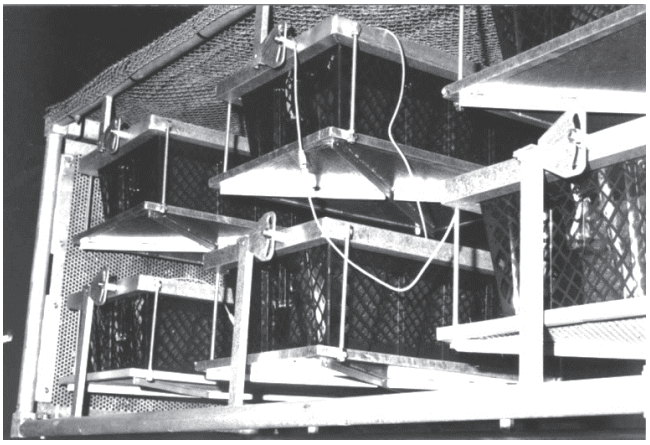


Abb. Fst-104:
Wassertrogsperre [V41]

Ein Beispiel für weitere Maßnahmen ist die **Druckwellenversiegelung**.
Die Funktionsweise entspricht weitestgehend der eines Rückschlagventils. Technisch wird dies erreicht, indem ein Durchgang, z. B. durch eine Brandmauer oder ein Schott, so im rechten Winkel zu dem darauf treffenden Gang steht, dass eine herannahende Druckwelle die Tür zuschlägt. Dabei werden in der Flucht der Druckwellenausbreitung vor und hinter dieser Tür Wasserbehälter angebracht, welche die Druckwelle aufreißt und deren Inhalt vernebelt. Dieses Prinzip wird auch im Bergbau angewendet.

Hierzu werden Gestelle verwendet, in denen offene Wannen mit Löschwasser über Kopfhöhe oder an den Wänden einer Verbindungsstrecke angebracht werden. Das Wasser dämpft nicht nur den Druckstoß, sondern kühlt, von der Druckwelle fein verwirbelt, die nacheilende Flamme stark ab.

6.6.8 Wetterkühlung – Maßnahmen

Mit zunehmender Teufe und steigenden Fördermengen entstehen immer höhere Temperaturen vor Ort; um diese in vertretbaren Grenzen zu halten, werden verstärkt Kälteanlagen über Tage und unter Tage vor Ort eingesetzt.

Auf ein „prima Klima“ an ihren Arbeitsplätzen unter Tage auf der Schachtanlage Rossenray können sich die Kumpel freuen. Dafür sorgt die über Tage neu in Betrieb genommene Großkälteanlage.

7541014/10787806875Biblio

Bereits im Vorfeld installiert wurden die übertägigen Kälteaggregate, die bis zu 750 m³ auf zweieinhalb Grad gekühltes Wasser pro Stunde in 885 m Tiefe fördern. Nach dem „freien Fall" des Kühlwassers im Schacht kommt es mit hohem Druck unter Tage an. Um diesen Druck zu reduzieren und dann anschließend das Kühlwasser im Grubengebäude bis zu den entferntesten Arbeitsplätzen zu transportieren, benötigt man ein Verteilersystem, den sogenannten Dreikammerrohraufgeber.

Zunächst wurden die noch vorhandenen alten Kältemaschinen ausgebaut. Damit wurde Platz geschaffen für Hochleistungspumpen mit jeweils 315 kW Leistung, die das Wasser auf den gesamten Grubenbetrieb verteilen, wo Kältemaschinen mit Kaltwassersystemen arbeiten.

- **Kältemaschinen**

Bedingt durch die geothermischen Tiefenstufen erhöht sich die Gebirgstemperatur um rund 3° pro 100 m Tiefe. Ein wesentlicher Einflussfaktor für die klimatische Belastung in den Grubenbauen.
Daneben sind die geographische Lage eines Bergwerks, die Teufe, die Gebirgstemperatur, die Feuchtigkeit der Grubenbaue, die Fördermenge je Betriebspunkt, die maschinellen Einrichtungen, die Hangendbehandlung, der Wettermassenstrom und die Art der Wetterführung ebenfalls von Bedeutung.

Zusätzlich beeinflussen sonstige Wärmequellen und Wärmesenken, z. B. Rohrleitungen, den Klimazustand in den Grubenbauen. Für den deutschen Steinkohlenbergbau haben sich mit der Mechanisierung der Gewinnung wesentliche Einflussfaktoren verändert.
Daher hatten beim Abschluss des Montanvertrages im Jahre 1952 klimatechnische Fragen in der Regel keine Bedeutung für die Betriebe des europäischen Steinkohlenbergbaus. Erst mit der zunehmenden Betriebspunktkonzentration, verbunden mit dem vermehrten Vordringen in größere Teufen, wurden immer größere Wärmemengen freigesetzt, die zu klimatischen Belastungen führten.

Die Einführung von Klimagrenzwerten in einigen europäischen Ländern spiegelt die Bemühungen wider, die ergonomischen Belastungen für die im Bergbau Beschäftigten auf ein erträgliches Höchstmaß zu begrenzen.

Inzwischen wurden Kältemaschinen auf Kaltwasserbasis entwickelt, die speziell für den Untertageeinsatz konstruiert sind. Es stehen Geräte mit hohen Leistungen für den Festeinbau und fahrbaren bzw. leichten Transport und auch für den Anbau an Arbeitsmaschinen und in Streben zur Verfügung.

Ganz besondere Erfolge konnte die WAT – Wärmeaustauschtechnik GmbH bei der Entwicklung von Wetterkühlmaschinen (Direktverdampfern), Kaltwasseranlagen, Eismaschinen, zentralen übertägigen oder kombinierten über- und untertägigen Kühlanlagen erzielen. Die Entwicklung der Eismaschine hat in den letzten Jahren im deutschen Steinkohlenbergbau die Klimatisierung des Abbaubetriebes und seiner Randbereiche revolutioniert.
Mit dieser neuen Technik ist es gelungen, im Streb auf eng begrenztem Raum mit kleinen Wärmetauschern große Kälteleistung freizusetzen. Die Erkenntnisse aus der Eistechnik sind inzwischen auf die Klimatisierung der Streben mittels Kaltwasser – insbesondere bei größerer Flözmächtigkeit – übertragen worden.

7541014/10787806875Biblio

Im deutschen Bergbau werden in großer Stückzahl neu entwickelte Strebteilkühler mit früher nie gekannten Kühlleistungen eingesetzt.

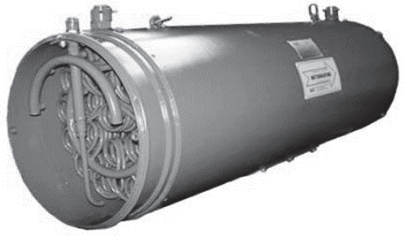
Eine der letzten Entwicklungen der Firma WAT beschäftigte sich mit der Umgestaltung der bisher gebräuchlichen Wetterkühler und Direktverdampfer. Die Form dieser Kühlelemente ist nicht mehr rechteckig, sondern angepasst an die Luttenleitungen rund oder oval. Diese runden Wetterkühler besitzen überragende Wärmeübertragungseigenschaften und werden bei vergleichbarer Kälteleistung mit geringeren Baumaßen geliefert.

Die Weiterentwicklung der schon beschriebenen Strebteilkühler zu Verdampfern und Wetterkühlern der Leistungsgruppe bis 400 kW ist ein weiterer Innovationsschritt, mit dem kostengünstig Wärmetauscher zur Verfügung gestellt werden.

Der **Wetterkühler (RWK)** ist ein ortsveränderliches Bauteil und dient ausschließlich zur Erzeugung von Kaltluft. Die warmen Wetter werden mit Hilfe eines Lüfters angesaugt und über die Kupferrohrwendeln geführt. Das Kühlmedium (Kaltwasser) gelangt über den Wassereintritt in den Kühler und wird in den Kupferrohrwendeln verteilt.

Beim Durchströmen der Kupferrohrwendeln nimmt das Kaltwasser die Energie der den Kühler durchströmenden warmen Wetter über das Kupfer auf. Die Wetter kühlen sich ab und werden durch eine Lutte an den zu kühlenden Ort transportiert. Das erwärmte Kaltwasser wird dann über den Wasseraustritt abgeführt. Entsprechend der Datentabelle hat die Maschine einen beachtlichen Wetterdurchsatz von 600 m³/h bis 850 m³/h bei einer Austrittstemperatur von 20 °C bis 21,4 °C.

Abb. Fst-105: Wetterkühler System WAT Typenreihe RWK – Systemdaten siehe Tabelle [V68]



Fst-106: Strebkühler System WAT Typenreihe SPK – Siehe Datentabelle [V68]

7541014/10787806875Biblio

Wetterkühler	RWK 350	RWK 450	RWK 1000	RWK 1200
Kühlleistung	350 kW	450 kW	250 kW	400 kW
Kaltwassereintrittstemperatur	5,0 °C	5,0 °C	max. 10,0 °C	max. 10,0 °C
Kaltwasseraustrittstemperatur	16,0 °C	16,0 °C	max. 22,3 °C	max. 22,3 °C
Kaltwassermassenstrom	7,6 kg/s	9,8 kg/s	4,9 kg/s	8,3 kg/s
Wettereintrittstemperatur/ relative Feuchte	30,0 °C **85,6 %**	30,0 °C **85,6 %**	30,0 °C **75 %**	30,0 °C **75 %**
Wetteraustrittstemperatur/ relative Feuchte	20,0 °C **97,5 %**	20,1 °C **97,5 %**	21,5 °C **95 %**	21,4 °C **95 %**
Wettervolumenstrom	10 m³/s	13 m³/s	11,5 m³/s	14,5 m³/s
• Lüfter	RKW 350	RKW 450	RWK 1000	RWK 1200
Erforderliche Antriebsleistung	30 kW	37 kW	35 kW	37 kW

Der **Strebkühler (SPK)** ist ein ortveränderliches Bauteil und dient ausschließlich zur Erzeugung von Kaltluft. Die warmen Wetter werden mit Hilfe eines Lüfters angesaugt und über die Kupferrohrwendeln geführt. Das Kühlmedium (Kaltwasser) gelangt über den Wassereintritt in den Kühler und wird in den Kupferrohrwendeln verteilt.

Beim Durchströmen der Kupferrohrwendeln nimmt das Kaltwasser die Energie der den Kühler durchströmenden warmen Wetter über das Kupfer auf. Die Wetter kühlen sich ab. Das erwärmte Kaltwasser wird dann über den Wasseraustritt abgeführt. Um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, wird der Kühler regelmäßig über eine Bedüsung gereinigt. Dieses Wasser läuft selbstständig ab, um ein Volllaufen des Elementes zu verhindern. Ebenso können durch die Revisionsöffnungen Reinigungsarbeiten und Reparaturen durchgeführt werden.

Strebkühler	SPK 22	SPK 35	SPK 50
Kälteleistung	11,8 kW	37,5 kW	95,6 kW
Kaltwassereintrittstemperatur	7,0 °C	7,0 °C	7,0
Kaltwasseraustrittstemperatur	12,1 °C	13,4 °C	15,4
Kaltwassermassenstrom	05 kg/s	1,4 kg/s	4,1
Wettereintrittstemperatur	32,1 °C	31,9 °C	32,0
Wetteraustrittstemperatur	18,3 °C	20,1 °C	19,7
Wettervolumenstrom	0,3 m³/s	0,9 m³/s	2,8
• Lüfter	SPDL02	ES3.5-11	ES5-40
Antriebsleistung		1,1 kW	4,0

7541014/10787806875Biblio

Der **Rückkühler (RK)** ist ein ortsfestes Bauteil und dient ausschließlich zur Rückkühlung von Kühlwasser, das für die Kondensatorkühlung von Wetterkühlmaschinen oder Kaltwassermaschinen gebraucht wird.

Zur Kühlung des warmen Wassers werden mit Hilfe eines Lüfters Wetter angesaugt und über die Kupferrohrwendeln geführt. Das Kühlwasser gelangt über den Wassereintritt in den Rückkühler und wird auf die Kupferrohrwendeln verteilt. Beim Durchströmen der Kupferrohrwendeln gibt das Kühlwasser seine Energie über das Kupfer an die den Kühler durchströmenden Wetter ab. Dabei erwärmen sich diese. Das abgekühlte Kühlwasser wird dann über den Wasseraustritt abgeführt.

Zur Intensivierung des Rückkühlvorgangs werden die Rohrwendeln dieses Wärmetauschers mit Wasser besprüht und nass gehalten. Diese Bedüsung erfolgt mittels einer Spritzwasserpumpe, die Bedüsungswasser aus der Bodenwanne des Rückkühlers über einen Schmutzfänger ansaugt und über die Bedüsungseinrichtung den Rohrwendeln zuführt. Das verdunstete Wasser muss aus dem Brauchwassernetz in der erforderlichen Menge ergänzt werden.

Am Austritt des Rückkühlers befindet sich ein Tropfenabscheiderelement. Das Element besteht aus einzelnen Lamellen, die so profiliert sind, dass die Wetter austreten können und das Bedüsungswasser zurückgehalten wird. Unterhalb von diesem Element befindet sich ein 1"-Auslass-Stopfen, um das Bedüsungswasser in die Bodenwanne abzuleiten

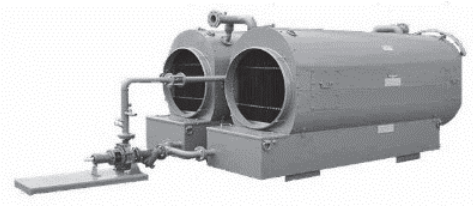


Abb. Fst-107: Rückkühler System MAK – Typenreihe RK – siehe Datentabelle [V68]

Rückkühler	RK 450	RK 600
Kühlleistung	470 kW	600 kW
Kaltwassereintrittstemperatur	42,0 °C	42,0 °C
Kaltwasseraustrittstemperatur	32,0 °C	32,0 °C
Kaltwassermassenstrom	11,25 kg/s	50,00 kg/s
Wettereintrittstemperatur/Relative Feuchte	30,0 °C/75 %	29 °C/75 %
Wetteraustrittstemperatur/Relative Feuchte	35,0 °C/94 %	33,7 °C/89 %
Wettervolumenstrom	10,0 m³/s	14,0 m³/s
• Lüfter	RK450	RK 600
Erforderliche Antriebsleistung	35 kW	37 kW

7541014/10787806875Biblio

Die **Kaltwassermaschine (KM)** ist eine zentrale Kälteanlage zur Erzeugung von Kaltwasser. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Schraubenverdichter, einem Ölabscheider (-sammler), dem Kondensator, dem Ölkühler und dem Vor- und Hauptverdampfer. Als Kältemittel wird R134A verwendet. Es ist unbrennbar, ungiftig und für den Betrieb unter Tage zugelassen. Die Modulbauweise der Konstruktionsteile gewährleistet eine weitgehende Auswechselbarkeit der Teile.

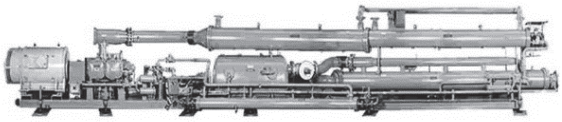


Abb. Fst-108: Kaltwassermaschine System MAK Typenreihe KM – siehe Datentabelle [V68]

Verdampfer	KM 1000	KM 2000	KM 3000
Kälteleistung	1030 kW	2040 kW	3285 kW
Verdampfertemp. am Verdichter	0,0 °C	0,0 °C	–0,14 °C
Kaltwassereintrittstemperatur	18,0 °C	18,0 °C	18,0 °C
Kaltwasseraustrittstemperatur	3,0 °C	3,0 °C	3,15 °C
Kaltwasser-Massenstrom	16,4 kg/s	34,5 kg/s	52,8 kg/s
• Kondensator	KM 1000	KM 2000	KM 3000
Kühlleistung	1285 kW	2530 kW	3950 kW
Kondensatortemperatur am Verdichter	42,0 °C	42,0 °C	43,0 °C
Kühlwassereintrittstemperatur	29,0 °C	29,0 °C	31,0 °C
Kühlwasseraustrittstemperatur	39,0 °C	39,0 °C	40,5 °C
Kühlwassermassenstrom	30,5 kg/s	60,3 kg/s	105,6 kg/s
• Kompressor	Typ Y 1	Typ XB 1	Typ XB 1
Antriebsleistung	260 kW	480 kW	835 kW

Abb. Fst-109: Kompakt-Kaltwassermaschine System MAK – Typ IDV 600 – siehe Datentabelle [V68]

7541014/10787806875Biblio

Die **Kompakt-Kaltwassermaschine IDV** ist eine im Vor-Ort-Betrieb mitgeführte Kälteanlage zur Erzeugung von Kaltwasser. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Schraubenverdichter, einem Ölabscheider (-sammler), dem Kondensator, dem Ölkühler und dem Vor- und Hauptverdampfer.

Die IDV 600 ist eine Kaltwassermaschine mit der Leistung von 600 kW, die zusammen mit einem Indirektverdampfer (IDV) zur Kompakt-Kaltwassermaschine vom Typ IDV 600 wird.

Verdampfer	IDV 350	IDV 600
Kälteleistung	350 kW	600 kW
Verdampfungstemperatur am Verdichter	5,3 °C	1,23 °C
Kaltwassereintrittstemperatur	19,0 °C	18,0 °C
Kaltwasseraustrittstemperatur	6,0 °C	5,0 °C
Kaltwassermassenstrom	6,95 kg/s	11,10 kg/s
• Kondensator	IDV 350	IDV 600
Kühlleistung	450 kW	784 kW
Kondensationstemperatur am Verdichter	42,0 °C	46,0 °C
Kühlwassermassenstrom	8,33 kg/s	19,44 kg/s
• Kompressor	IDV350	IDV 600
Antriebsleistung	87 kW	178 kW

- **Wetterkühlungsmaßnahmen am einziehenden Wetterschacht**

Um die Eintrittstemperaturen in der warmen Jahreszeit zu senken, sind auch Kühlungseinrichtungen am einziehenden Wetterschacht sinnvoll, um zu vermeiden, dass schon am Füllort Temperaturen über 28 °C auftreten, was eine Arbeitszeit von 7 Stunden bedeuten würde.

Für diese Anlagen wird auch Eis bzw. eiskaltes Wasser eingesetzt. In der Abb. Fst-110 wird schematisch eine solche Anlage gezeigt.

Einer der größten Kühlschränke Europas steht im Hammer Stadtteil Pelkum am Schacht Lerche des Bergwerks Ost. Doch dort kühlt er nicht etwa Fleisch, Käse oder Obst, sondern sorgt für eine angenehme Umgebungstemperatur in den Strecken und Streben des Bergwerks und schickt so den Bergleuten ein kühles Lüftchen.

Der „Kühlschrank“ ist nur eine Verniedlichung dessen, was dort am Schacht Lerche steht: eine hochmoderne Kälteanlage mit einer Kälteleistung von 20 MW oder 20 Mio W. Zur Verdeutlichung: 26.000 Haushaltskühlschränke erreichen in etwa die entsprechende Kälteleistung. Die Technik der Zentralkälteanlage befindet sich, recht unspektakulär, in einer mit grünem Stahlblech verkleideten Halle.

7541014/10787806875Biblio

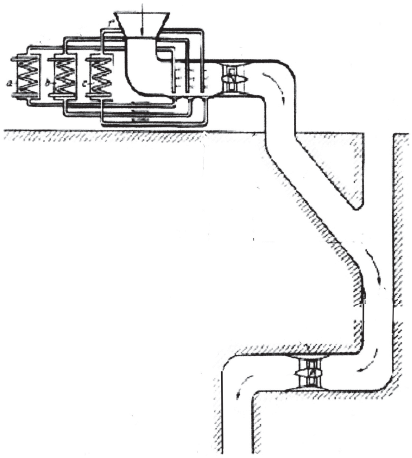


Abb. Fst-110: Wetterkühlung am einziehenden Schacht [1]

- **Ein überdimensionaler Kühlschank**

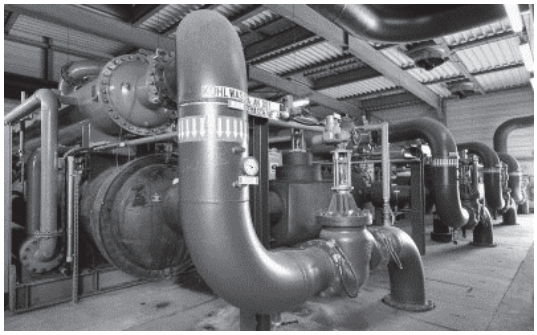


Abb. Fst-111: Kühlanlage am Wetterschacht Lerche der Schachtanlage Ost [V41]

Hier konzentrieren sich alle die Aggregate und Geräte, die die enorme Kälteleistung erbringen müssen. Kondensatoren, Verdampfer, Pumpen, Filter, Motoren und Rohre verteilen sich, nach Funktion geordnet, in der Halle.

Für alle diese Maschinen gilt ein Ziel: Kältemittel- und Wasserkreisläufe in Gang zu halten und die in ihnen enthaltenen Flüssigkeiten, Kältemittel und Wasser zu kühlen und damit die Temperatur der Wetter unter Tage angenehm frisch zu halten. Eine ähnliche Kälteanlage kühlt das Grubengebäude des Bergwerks Prosper-Haniel in Bottrop.

Freigelegte Gesteinsschichten erreichen in den Tiefen, in denen der Bergbau auf dem Bergwerk Ost Kohle fördert, eine Temperatur von zirka 65 °C. Ohne Kühlmaßnahmen steigt die Lufttemperatur im Grubengebäude auf unerträgliche Werte. Ein Arbeiten unter diesen Umständen wäre undenkbar. Deshalb unternimmt die RAG große Anstrengungen, um die klimatischen Schwierigkeiten zu meistern, die durch den Abbau in immer größeren Teufen entstehen.

Drei Kreisläufe sind für die gekühlte Luft im Grubenbetrieb verantwortlich: der Kältemittelkreislauf, der Kaltwasserkreislauf und der untertägige Wasserkreislauf. Im Kältemittelkreislauf wird das unter hohem Druck stehende Kältemittel, eine Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt, auf niedrigen Druck entspannt und bei niedriger Temperatur in vier Kältemaschinen verdampft und anschließend wieder verdichtet und verflüssigt.

7541014/10787806875Biblio

In diesem physikalischen Vorgang verdampft das Kältemittel bei 0 °C. Hierin liegt die enorme Energieleistung dieser Anlage, die sich daher größte Kälteanlage Europas im Steinkohlenbergbau nennen darf.

Kondensatoren, Verdampfer, Pumpen, Filter, Motoren und Rohre arbeiten für nur ein Ziel: die Temperatur der Wetter rund 1.500 m unter der Tagesoberfläche für den Bergmann angenehm frisch zu halten

Da bei jedem Kühlvorgang auch Wärme entsteht, wie man sie von der Rückseite jedes Haushaltskühlschranks her kennt, muss sie über drei Kühltürme abgeführt werden. Die Temperatur des Kältemittels wird an den zweiten Kreislauf, den Kaltwasserkreislauf, abgegeben. 1.400 m³ Kaltwasser in der Stunde, auf eisige 2 °C gekühlt, ergießen sich durch die Schachtleitung mit einem Durchmesser von 45 cm nach unter Tage.

Die Wärme des dritten, untertägigen Wasserkreislaufs strömt wieder nach über Tage, um dort wieder gekühlt zu werden und den Kreislauf neu zu beginnen. 1.400 m misst die Wassersäule im Schacht und baut dabei einen hydrostatischen Druck von maximal 140 bar auf, 50- bis 60-mal größer als der Druck, den ein Autoreifen aushalten muss. Ein sogenannter Dreikammer-Rohraufgeber baut die 140 bar hohen hydrostatischen Drücke auf 30 bar ab.

In einer weiteren Kammer des Dreikammer-Rohraufgebers wird der erwärmte zurückfließende untertägige Wasserstrom von 30 bar wieder auf 140 bar vorgespannt. Im Anschluss daran wird das erwärmte Kaltwasser in der Schachtleitung zu Tage gefördert. Wetterkühler in den Strecken, als letzte Stationen des untertägigen Kreislaufs, geben die Kälte an die umgebende Luft ab. Dabei erwärmt sich das Wasser auf 14 °C.

Es fließt zurück zum Dreikammer-Rohraufgeber, wird dort gegen 2,5 °C abgekühltes Wasser getauscht und beginnt erneut seine einzige Aufgabe, das Kühlen der Wetter im Grubengebäude des Bergwerks Ost, rund 1.500 m unter der Tagesoberfläche.

6.7 Wetterbewegung und Wetterführung

6.7.1 Wetterstrom

Zur Bewetterung eines Grubengebäudes muss ein ununterbrochen fließender Wetterstrom erzeugt werden.
Das Grubengebäude muss hierfür mindestens eine **einziehende** und eine **ausziehende Tagesöffnung** haben. Von der einen bis zur anderen soll der Strom einen bestimmten vorgeschriebenen Weg benutzen. Der Teil des Stromes, der zwischen der einziehenden Tagesöffnung und den Abbaubetrieben liegt, wird einziehender Strom genannt, dagegen die Fortführung bis zur zweiten Tagesöffnung ausziehender Wetterstrom.

Die Bewegung der Luft oder der Wetterzug geht wie jede Bewegung eines Körpers hervor aus der Störung des statischen Gleichgewichtes. Der Wetterstrom fließt, weil ein Druckgefälle, ähnlich dem Gefälle eines Flusses, besteht. Sorgt man dafür, dass die Größe des Druckunterschiedes den Druckverlusten des Wetterstromes entspricht, fließt in den betreffenden Systemen eine bestimmte, zeitlich gleichbleibende Wettermenge.

6.7.2 Saugende und blasende Bewetterung

Der zur Bewegung der Wetter erforderliche Antrieb ist an einer oder an mehreren Stellen des zu bewetternden Systems möglich. Man spricht von „saugender Bewetterung“,

7541014/10787806875Biblio

wenn ein an oder in Nähe der Ausströmöffnung des Systems angeordneter Antrieb, zumeist ein Hauptlüfter, den überwiegenden Anteil der zur Bewegung der Wetter nötigen Energie deckt. „Blasende Bewetterung“ liegt dann vor, wenn dieser Antrieb an oder in Nähe der Einziehöffnung des Systems steht.

Da bei saugender Bewetterung der Lüfter an der Ausziehöffnung einen Unterdruck gegenüber dem Atmosphärendruck erzeugt, ist hier auch die Bezeichnung „Depression“ üblich.

Bei blasender Bewetterung stellt sich hinter dem Lüfter an der Einziehöffnung ein Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck ein, den man zuweilen „Kompression“ nennt.

Für die Hauptbewetterung wird, zumal auf Steinkohlengruben, der saugenden Bewetterung der Vorzug gegeben. Der Grund hierfür ist folgender: Da die tiefste Sohle in der Regel die Fördersohle ist, müssen bei der allgemein üblichen Aufwärtsführung der Wetter diese infolgedessen durch den tiefsten Schacht, den Förderschacht, einziehen.

Bei blasender Bewetterung müsste alsdann der Förderschacht mit einem Lüfter versehen werden, was nur unter Zuhilfenahme von Schleusenvorrichtungen für die Förderkörbe möglich wäre. Der einziehende Förderschacht eignet sich infolgedessen schlecht zur Aufstellung eines Lüfters. Dieser wird daher an einen Ausziehschacht angeschlossen, der gar nicht oder nur aushilfsweise der Förderung dient und zudem nur bis zur ausziehenden Sohle, der Wettersohle, zu reichen braucht.

An der Ausziehöffnung einer Grube ist bei aufwärts gerichteter Wetterführung jedoch nur ein saugender Lüfter möglich. Aus den gleichen Erwägungen ist bei abfallender Bewetterung ein blasender Lüfter zweckmäßig.

Anders ist es dagegen bei der Sonderbewetterung, also bei der Bewetterung von nicht durchschlägigen, an die Hauptbewetterung in der Regel nicht angeschlossenen Strecken, Aufhauen u. dgl. mit Hilfe an Lutten angeschlossener Lüfter. Hier ist saugende und blasende Bewetterung verbreitet.

Zu beachten ist, dass eine adiabatische oder annähernd adiabatische Verdichtung der Wetter bei blasender Bewetterung eine Erhöhung der Temperatur verursacht, während eine Entspannung unter den gleichen Bedingungen bei saugender Bewetterung eine Verringerung der Temperatur nach sich zieht.

Bei einer Druckänderung um etwa 125 kg/m² kann bei adiabatischer Zustandsänderung mit einer Temperaturänderung von rd. 1 °C gerechnet werden.

6.7.3 Aufsteigende und abfallende Bewetterung

Das Wesen der heute allgemein üblichen aufsteigenden Bewetterung besteht darin, dass man die Wetter auf dem kürzesten Wege auf die tiefste Sohle bringt und sie von dort aufwärts durch die zu bewetternden Grubenbaue führt. Bei der abfallenden Bewetterung nehmen die Wetter den umgekehrten Weg.

Der Grund für die allgemeine Verbreitung der aufsteigenden Wetterführung ist in der Meinung zu sehen, dass Methan, da es leichter als Luft ist, durch einen in gleicher Richtung, also von unten nach oben, sich bewegenden Wetterstrom am besten fortgespült werden kann.

7541014/10787806875Biblio

Hiermit ist auch das Verbot der abfallenden Bewetterung durch die Bergbehörde begründet, wenn das Einfallen 10 g übersteigt. Auf holländischen Zechen durchgeführte Versuche haben jedoch ergeben, dass das Grubengas von Stellen niedrigen Unterdrucks zu Stellen höheren Unterdrucks abwandert, es also auch gegen die Richtung seines natürlichen Auftriebes fortgespült werden kann, wenn der durch den Lüfter verursachte Druckunterschied größer als der Auftrieb des CH_4-Luft-Gemisches ist.

Nach neuen Erfahrungen ist die Durchspülung der Firste bei abfallender Wetterführung besser als bei aufsteigender, so dass die gründliche Durchmischung des Grubengases mit den Wettern in allen normalen Fällen Anlass zur Bevorzugung der abfallenden Bewetterung sein dürfte. Bei CO_2-Ausströmung ist dagegen die aufsteigende Bewetterung günstiger.

Nachteilig bei der aufsteigenden Wetterführung ist allerdings die infolge der höheren Gebirgswärme in größeren Teufen stärkere Erwärmung der Wetter.
Diese gelangen daher mit höherer Temperatur in die Grubenbaue, als wenn sie diesen über eine obere Sohle zugeführt würden.

Ein weiterer, besonders in Großbetrieben der steilen Lagerung fühlbarer Nachteil ist die größere Staubentwicklung, wenn Wetterstrom und Förderung – wie es bei aufwärts gerichteter Wetterführung in der Regel der Fall ist – entgegengesetzt gerichtet sind. Beide Nachteile lassen sich durch abwärts gerichtete Wetterführung vermeiden.

Man wird sie aus diesem Grunde und auch wegen der Vorteile, die sie außerdem bietet, sicherlich auf Gruben, die mit klimatischen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, in Zukunft häufiger anwenden, als es zur Zeit der Fall ist.

- **Vorteile abfallender Bewetterung**

Bei abfallender Bewetterung gelangen die Wetter in den Bereich zunehmender Gebirgstemperaturen. Sie nehmen daher mehr Wärme und absolut auch mehr Feuchtigkeit auf als ein aufsteigender Wetterstrom, der in immer kühlere Zonen gelangt und deshalb die in den Wettern mitgeführte Wärme an das Gebirge abgeben kann. Dem abfallenden Wetterstrom ist das bei unausgekühlter Untersohle nicht möglich. Er erfährt zudem auf Grund der zunehmenden Teufe eine weitere Erwärmung in Form der Verdichtungswärme, während der aufsteigende Wetterstrom aus dem gleichen Grunde abgekühlt wird.

Der natürliche Auftrieb der Wetter in den Schächten kann somit bei abfallender Wetterführung verstärkt werden. Durch diesen Druckgewinn wird sich der Wirkungsgrad der Wetterführung in der Grube verbessern. Darüber hinaus werden bei regelbaren Lüftern Energieeinsparungen zumindest während der kälteren Monate des Jahres möglich sein.

Bei abfallender Bewetterung wird das Gebirge in Richtung auf die zukünftigen tieferen Grubenbaue ausgekühlt, ohne dass der einmal gewonnene Kältemantel wieder angewärmt wird, wie dies bei der aufsteigenden Wetterführung geschieht.
Bei ihr wird jede ausgekühlte Einziehsohle, wenn sie später nach Tieferlegen der Fördersohle die Aufgaben der (ausziehenden) Wettersohle übernehmen muss, wieder wärmer, da ihr die Abwetter der Abbaubetriebe mit dem von ihnen aufgenommenen Wärmeinhalt zugeführt werden. Der Kältemantel wird also nutzlos aufgezehrt.

Für den Betriebsablauf ist es dagegen bei abfallender Bewetterung günstig, dass die Wetter stetig zur Kühlung herangezogen werden und nicht sprunghaft wie bei der mehrmonatigen Vorkühlung einer neuen Einziehsohle – was bei aufsteigender Wetter-

7541014/10787806875Biblio

führung unumgänglich ist. Außerdem sind die Abwetter einer solchen in Auskühlung begriffenen, noch nicht fördernden Sohle für andere Abbaue nicht nutzbar und erhöhen den Anteil der „Sonstigen Ströme“, die bis zu 50 % als nutzlose Wettermengen zu bezeichnen sind. Diese Erhöhung steigert den Energieaufwand des Lüfters und verschlechtert den Wirkungsgrad der Wetterführung für die Zeit der Auskühlung der neuen tieferen Sohle.

Zugunsten der abfallenden Wetterführung sprechen aber noch weitere Vorteile klimatischer Art. Bei der aufsteigenden Bewetterung treffen die gesamten Einziehwetter auf die Gesteinswärme der tiefsten Sohle.
Hinzu kommen die Kompressionswärme und, wenn die tiefste Sohle Hauptfördersohle ist, die Oxydationswärme der geförderten Kohle sowie die Maschinenwärme der Fördermittel. Da die Wasserzuflüsse, soweit sie nicht auf höheren Sohlen abgefangen werden können, am tiefsten Punkt der Grube gesammelt werden, ist die tiefste Sohle – abgesehen von nassen Obersohlen bei Zechen ohne Deckgebirge – meist auch der feuchteste Grubenbau.

Angesichts der hohen Temperatur und der damit verbundenen Möglichkeit der Aufnahme beträchtlicher Feuchtigkeitsmengen kommt dies in der relativen Feuchte der Einziehwetter zunächst weniger zum Ausdruck, obwohl bei einer starken Druckerhöhung bei gleichbleibender absoluter Feuchte eine Erhöhung der relativen Feuchte eintritt.

Sobald jedoch die Wetter aufsteigen, sinken der Luftdruck und die Gesteinstemperatur. Es kommt in den meisten Fällen dann zu einem schwachen Temperaturabfall und trotz des sinkenden Luftdrucks zu einem erheblichen Anstieg der relativen Feuchte, was sich sehr ungünstig auf die klimatischen Verhältnisse auswirkt. Diese klimatischen Nachteile lassen sich durch den Übergang zur abfallenden Bewetterung in erheblichem Umfange einschränken. Für viele Gruben ist die abfallende Wetterführung auch insofern von Nutzen, als dann die klimatisch ungünstigen tieferen Sohlen mit ihren großen Querschnitten für das größere Volumen der Ausziehwetter zur Verfügung stehen.

Ein Nachteil der abfallenden Unterdruckbewetterung für eine ganze Grube ergibt sich aus den oben genannten Gründen für die aufsteigende Unterdruckbewetterung. Im erstgenannten Fall muss der Förderschacht mit Schleusenvorrichtungen für die Förderkörbe versehen werden. Deshalb wird man bei der abfallenden Bewetterung zweckmäßig zur Überdruckbewetterung übergehen.

Es ist natürlich auch möglich, nicht eine ganze Grube, sondern nur einzelne Wetterfelder abfallend zu bewettern. Von dieser Möglichkeit wird man vorzugsweise Gebrauch machen, wenn es sich um die Verbesserung der klimatischen Verhältnisse einzelner Abbaubetriebe handelt. Der oben genannte Nachteil hinsichtlich der Schleusenvorrichtung im Förderschacht entfällt dann.

Weiterhin kann bei abfallender Wetterführung die Sonderbewetterung der Aus- und Vorrichtungsbetriebe insofern Schwierigkeiten bereiten, als sie öfter an den Ausziehstrom angeschlossen werden müsste. In vielen Fällen dürfte es jedoch möglich sein, über bestehende Blindschächte oder Aufhauen Anschluss an den Frischwetterstrom zu erlangen.

Auf Ausführungen zur Wettermessungen und -kontrolle wird nicht eingegangen. Diese Arbeiten werden von besonderen Abteilungen ausgeführt, die über entsprechendes Fachpersonal mit speziellen Kenntnisse ausgestattet sind.

7541014/10787806875Biblio

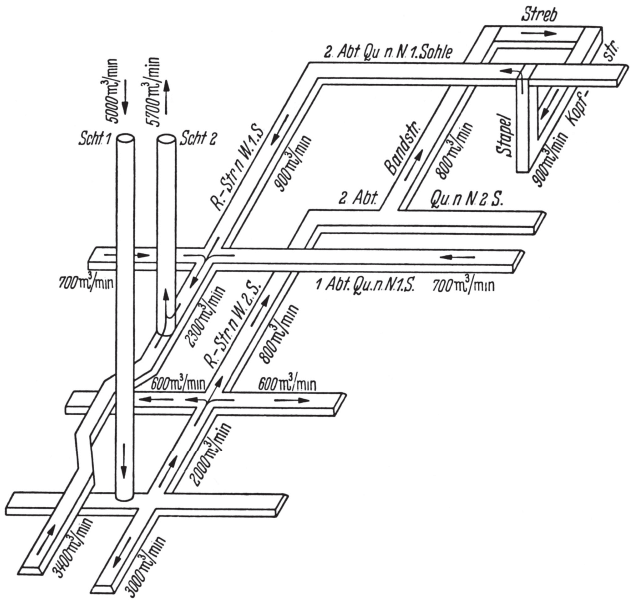


Abb. Fst-112: Beispiel für Wetterführung und Druckgefälle in einem Grubengebäude [1]

6.7.4 Künstliche Wetterbewegung mit Hilfe von Lüftern

Die Lüfter erzeugen die zur Wetterbewegung in der Grube notwendige Energie. Entsprechend ihrer Anordnung können sie saugend oder blasend wirken. Welche Wettermenge hierbei durch eine bestimmte Leistung des Lüfters in Bewegung gesetzt wird, hängt von der Kennlinie des Lüfters und der der Grubenweite entsprechenden Kennlinie des Grubengebäudes ab.

Die Lüfter haben die Eigentümlichkeit, dass sie die Verbindung der Grubenräume mit der äußeren Luft nicht unterbrechen. Vielmehr bleibt diese Verbindung stets offen, so dass auch bei Stillstand des Lüfters die in der Grube befindliche Luft durch ihn hindurch nach außen oder die atmosphärische Luft in die Grube gelangen und der infolge der natürlichen physikalischen Verhältnisse der Grube etwa bestehende Wetterzug andauern kann.

Es gibt zwei Arten von Lüftern: die Schraubenlüfter und die Schleuderlüfter.

Früher waren als Hauptlüfter nur Schleuderlüfter üblich. Sie haben daher noch eine weite Verbreitung.

Zz. werden jedoch vor allem Schraubenlüfter, deren Entwicklung durch bessere Wirkungsgrade und durch ein geringeres Baugewicht gegenüber den Schleuderlüftern Vorteile brachte, als Hauptgrubenlüfter eingesetzt. Es sind aber inzwischen in jüngster Zeit auch von den neueren Schleuderlüfterbauarten (z. B. Babcock) gleichhohe Wirkungsgrade wie bei den Schraubenlüftern erreicht worden.

6.7.4.1 Schraubenlüfter

Die Schraubenlüfter bestehen aus einem mehrflügeligen Laufrad und einem meist in Durchströmrichtung dahinter angeordneten, in manchen Fällen mit einem davor angeordneten, mehrflügeligen, feststehenden Leitrad, die zusammen in einem zylindrischen

7541014/10787806875Biblio

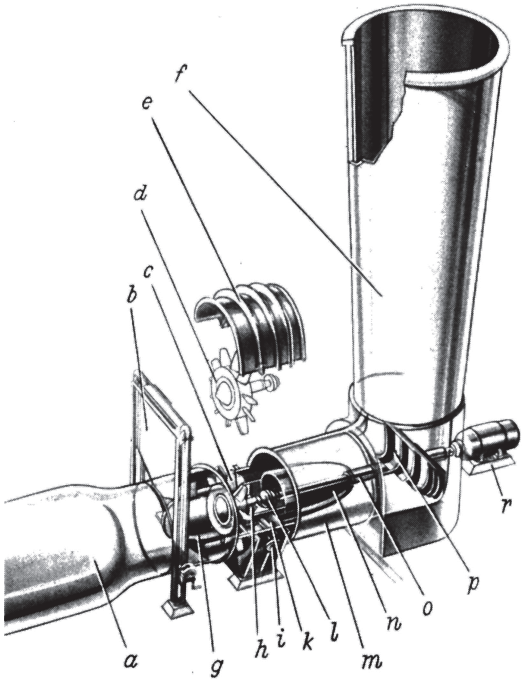
oder sich verjüngenden Gehäuse untergebracht sind. Die Luft strömt also axial durch das Gehäuse hindurch, weshalb diese Lüfter auch Axiallüfter genannt werden.

Die Querschnitte der Lauf- und Leitradschaufeln der Lüfter sind nach strömungstechnischen Gesichtspunkten ausgebildet. Zugleich ist die Nabe des Laufrades so ausgeführt, dass sie von dem Querschnitt des Lüfters einen bestimmten Anteil einnimmt. Auf diese Weise werden unliebsame Wirbelbildungen und Rückströmungen in der Nähe der Achse vermieden. Um die Luft möglichst wirbelfrei austreten zu lassen, wird der Nabenkörper in den meisten Fällen in Strömungsrichtung allmählich verjüngt (sogenannter Nabendiffusor).

Der Antriebsmotor wird meist als Flanschmotor in der Nabe angebracht, während er bei der Ausführung nach Abb. Fst-113 außerhalb des Luftstromes steht und durch eine Welle mit dem Laufrad auf der Austrittseite verbunden ist. Auch der Antrieb über ein Kegelradgetriebe ist möglich. Zur Erhöhung der Druckerzeugung können zwei oder mehrere Laufräder hintereinander auf der gleichen Achse angeordnet werden.

Die Wirkung der Schleuderlüfter besteht darin, dass in dem Laufrad die Druckerhöhung durch Zentrifugalkraft, also infolge Erhöhung des Potentials durch Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit in den Schaufelkanälen bewirkt wird.

Die neueren Schleuderlüfter haben meist rückwärts gekrümmte Schaufeln, deren Breitseite in der Achsrichtung liegt.



a Wetterkanal; *b* Wetterschieber; *c* Flügel; *d* Flügelrad; *e* Gehäusedeckel; *f* Diffusor; *g* Anströmhaube; *h* Lagerung; *i* Flügelverstellung; *k* Nachleitschaufeln; *l* Kupplung; *m* Nachstrecke; *n* Abströmhaube; *o* Wellenverkleidung; *p* Umlenkschaufeln; *r* Antriebsmotor

Abb. Fst-113: Beispiel für einen Überdruckschraubenlüfter mit den wesentlichen Bauteilen [1]

7541014/10787806875Biblio

6.7.4.2 Schleuderlüfter

Das Rad bewegt sich in einem Gehäuse; es ist meistens aus einer oder mehreren Radscheiben aufgebaut, an denen die Schaufeln befestigt sind.
An der Stelle, wo die Achse durch die Seitenwände geführt ist, befindet sich die Saugöffnung. Diese ist entweder nur an einer Seite des Lüfterrades oder auch beiderseits vorgesehen. Die Luft erfährt also eine Umlenkung um 90° (Abb. Fst-114).

Der Diffusor ist bei den Gleichdrucklüftern von ausschlaggebender Bedeutung. Zur Erzielung eines guten Lüfterwirkungsgrades muss er sehr sorgfältig ausgeführt werden.

In ihm wird die Geschwindigkeit des aus dem Leitrad austretenden Luftstromes möglichst ohne Ablösungserscheinungen verringert und in statischen Druck umgesetzt.

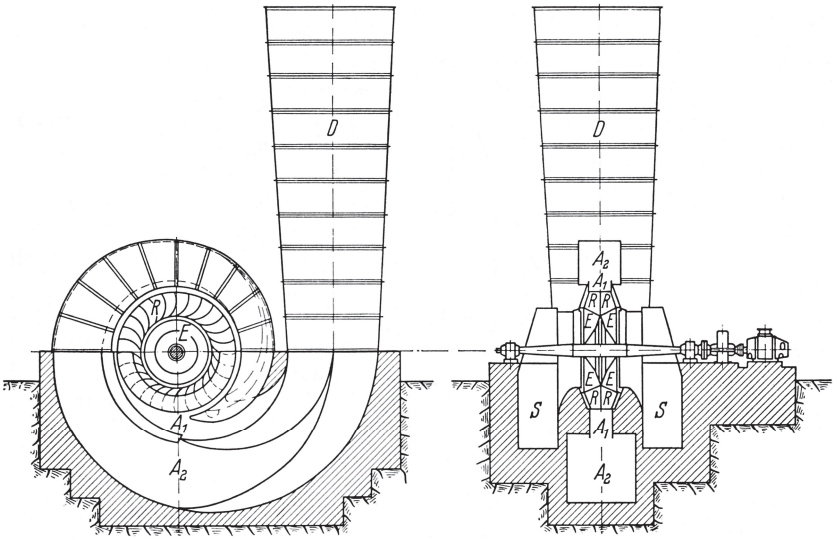


Abb. Fst-114: Beispiel eines Schleuderlüfters
S: Saugöffnung, *E*: Einlaufkegel, *R*: Laufrad – A_1 A_2: Auslaufspirale – *D*: Diffusor [1]

Um lange Schlote zu vermeiden, kann man den Diffusor, der heute meistens einen runden Querschnitt erhält, mit einem Kern versehen, so dass für die abströmende Luft nur ein Ringraum verbleibt. Dadurch kann die Neigung der Seitenflächen des Diffusors größer gewählt werden, ohne ein Ablösen der Luft von diesen Flächen und damit Wirbelbildungen befürchten zu müssen.

Auf die besonderen Details der Lüfter wie Überdruckschraubenlüfter, Gleichdruckschraubenlüfte, hintereinandergeschaltete Lüfter, Lüfter auf verschiedenen Schächten, Kenndaten, Kennlinien und Wetterumkehrvorrichtung wird nicht näher eingegangen.

6.7.4.3 Zusatzlüfter

Durch einen oder mehrere Zusatzlüfter kann die Wettermenge eines oder mehrerer Teilströme ohne Drosselung der übrigen Teilströme wirksam erhöht werden. Sollte der Hauptlüfter zur Verstärkung eines zu schwachen Teilstromes oder mehrerer solcher Teilströme herangezogen werden, müsste seine Druckerzeugung erhöht werden.

7541014/10787806875Biblio

Damit würde aber auch die Wettermenge der ausreichend versorgten Teilströme vergrößert, was nicht gewünscht wird.

Ein Zusatzlüfter ist besonders vorteilhaft, wenn der Wetterbedarf einer Abteilung bei weitem größer ist als der der übrigen Abteilungen und die in der zu schwach bewetterten Abteilung erforderliche Wettermenge nur einen geringen Teil der Gesamtwettermenge ausmacht. Dann können ganz erhebliche Drosselleistungen eingespart werden.

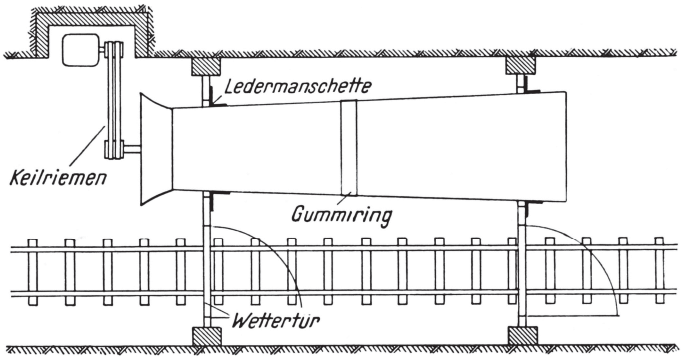


Abb. Fst-115:
Anordnung eines Zusatzlüfters [1]

6.7.5 Verteilung der Wetter in den Grubenbauen

Bei sehr kleinen, wenig ausgedehnten Gruben ist es möglich, dass ein einziger, ungeteilter Wetterstrom sämtliche Baue der Grube nacheinander bestreicht. Für größere Gruben ist ein solches Verfahren ausgeschlossen. Der Wetterweg würde für einen einzigen Strom viel zu lang werden; die Streckenquerschnitte wären fast durchweg zu eng, um die Gesamtwettermenge durchzulassen; die Wettergeschwindigkeiten müssten viel zu hoch werden. Die Widerstände und damit der Energiebedarf für die Bewegung der Wetter würden allzu sehr wachsen, und die Arbeitspunkte erhielten zwar sehr viele, zumeist aber nicht mehr ganz frische Wetter.

Ein einfaches Mittel zur Behebung dieser Schwierigkeiten ist die Teilung des Wetterstromes. Sie beginnt in der Regel schon im einziehenden Schacht, indem sich von hier aus die Ströme für die verschiedenen Sohlen abtrennen.
Diese Hauptströme verzweigen sich wieder in Teilströme nach den verschiedenen Richtstrecken und Querschlägen, aus denen weiter die einzelnen Abbaustrecken und Abbaubetriebe ihre Teilströme empfangen. Nach Bewetterung der Baue vereinigen sich die Teilströme allmählich wieder, um schließlich im ausziehenden Schacht den einheitlichen Ausziehstrom zu bilden.

7541014/10787806875Biblio

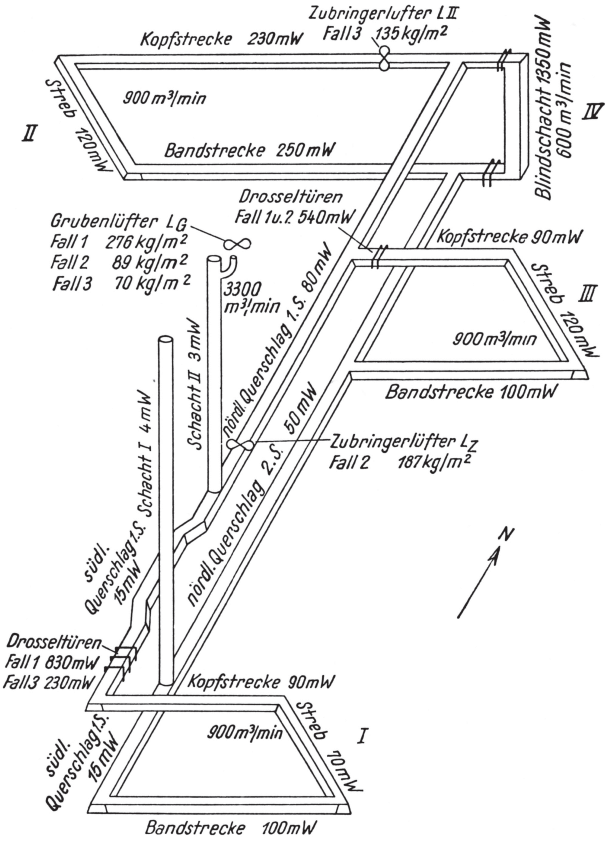


Abb. Fst-116:
Aufstellung mehrerer Zusatzlüfter und Anordnung von Drossel- und Wettertüren [1]

Die Teilung des Wetterstromes ergibt kurze Wetterwege, vergrößert die gleichwertige Öffnung der Grube, verringert die Wettergeschwindigkeiten und Widerstände und ermöglicht, die einzelnen Betriebsabteilungen mit frischen Wettern zu versorgen. Die einzelnen Teilströme sind so voneinander getrennt zu halten, dass nicht, beispielsweise durch unbeabsichtigte Verbindungen über den Alten Mann, gegenseitige Beeinflussungen entstehen und manche Betriebspunkte vielleicht gar unbewettert bleiben.

Durch scharfe Trennung der einzelnen Teilströme werden auch die Ausdehnung etwaiger Schlagwetterexplosionen und die Folgewirkungen von Bränden und plötzlichen Gasausströmungen bis zu einem gewissen Grade eingeschränkt.

Die Verzweigung des Wetterstromes ist jedoch auch mit Nachteilen verbunden. Je verzweigter die einziehenden Wetter geführt werden, umso geringer wird die Wettergeschwindigkeit und umso mehr wird ihnen Gelegenheit gegeben, Wärme aus dem Gebirge aufzunehmen.

Warme Gruben sollten die Bildung von Teilströmen daher auf ein durch Wettermenge, Wettergeschwindigkeit und Lage der Baue im Grubenfeld gegebenes Mindestmaß beschränken.

Der Aufteilung des Ausziehstromes steht im Wesentlichen nur der Nachteil gegenüber, mehr Wetterwege unterhalten zu müssen. Ihre Erwärmung ist hier zum Vorteil geworden, da sie den natürlichen Auftrieb erhöht.

7541014/10787806875Biblio

6.7.6 Maßnahmen zur Führung der Wetterströme

Ohne technische Maßnahmen zur Wetterverteilung im Bergwerk würden die Wetter immer auf direktem Weg vom Ein- zum Ausziehschacht ziehen. Damit die Wetterversorgung aber auch für Bereiche einer Schachtanlage gewährleistet ist, sind **Wetterbauwerke** erforderlich.

Im Prinzip soll ein solches Bauwerk den Wetterstrom aufteilen und bestimmte Teile der Wetter in abzweigende Grubenbaue strömen lassen. An die Konstruktion der Wetterbauwerke werden unterschiedliche Anforderungen gestellt. Ist die vollständige Trennung zweier Wetterwege gefordert, zum Beispiel zwischen Frisch- und Abwetter, werden sogenannte Wetterschleusen errichtet. Hierbei handelt es sich in der Regel um zwei Mauern mit druckentlasteten Wettertüren, die in geringem Abstand voneinander errichtet werden. Da der Wetterweg auch für die Fahrung und den Materialtransport genutzt werden muss, sind diese Türen besonders konstruiert. Die doppelte Ausführung wird deshalb gewählt, um nur eine bestimmte Wettermenge strömen zu lassen und um die Türen bei großen Druckunterschieden zwischen vorderem und hinterem Bauwerk überhaupt öffnen zu können, und zwar auch von Hand, wenn die pneumatische oder hydraulische Steuerung einmal defekt sein sollte. Beim Einsatz schienengebundener Transporteinrichtungen ist die Länge einer Schleusenkammer – und damit der Abstand der Wettertüren untereinander – von der Länge einer Transporteinheit abhängig.

6.7.7 Wettertüren

Zur Durchführung der planmäßigen Wetterleitung dienen in erster Linie die Wettertüren. Man unterscheidet zwischen Türen, die den Querschnitt der Strecke vollkommen verschließen und den Strom lediglich leiten, und Türen, die gleichzeitig den Strom teilen und zu diesem Zwecke eine in der Regel einstellbare Durchgangsöffnung für die Wetter besitzen. Man spricht demgemäß von Stromleitungs- oder Absperrtüren und von Stromverteilungs- oder Drosseltüren.

- **Ausführung von Wettertüren**

Während Wettertüren früher in der Regel aus Holz bestanden, werden sie heute aus Stahlblech hergestellt. Aus sicherheitlichen Gründen ist im Steinkohlenbergbau der Einbau von brandsicheren Stahltüren im einziehenden Wetterstrom allgemein und im ausziehenden Strom bei Hauptwettertüren vorgeschrieben.

Die Türen werden stets so aufgestellt, dass sie vom Wetterzug zugedrückt werden. Nur wo mit einer Wetterumkehr gerechnet werden muss, stellt man zwei nach entgegengesetzten Richtungen hin sich öffnende Türen auf, wobei dann wenigstens eine immer vom Wetterzug angedrückt wird.

In Hauptstrecken, in denen die Wettertüren dauernd nach beiden Seiten geöffnet werden müssen, werden häufig Drehtüren benutzt, die vom Wetterzug wieder zugedrückt werden.

Damit sich die Türen selbsttätig schließen, stellt man die Rahmen etwas schräg oder bringt die Angeln in versetzter Stellung an. Diese Mittel versagen jedoch, wenn die Tür über ein bestimmtes Maß hinaus geöffnet wird.
Es ist deshalb ratsam, außerdem Schließfedern oder Fallgewichte mit einer Zugeinrichtung oder an Stelle der erstgenannten Mittel Angeln mit steilgängiger Spirale, auf der

7541014/10787806875Biblio

sich das Türlager hochschiebt, vorzusehen. Stahltüren werden leichter windschief als Holztüren, so dass vielfach aus Dichtigkeitsgründen mit Stahlblech beschlagene Holztüren bevorzugt werden.

Die bei der Ausführung und Unterhaltung einer Wettertür aufzuwendende Sorgfalt hat sich in erster Linie nach deren Bedeutung für die Bewetterung zu richten. Während für Drosseltüren keine große Dichtigkeit erforderlich ist, muss für Absperrtüren eine sorgfältige Abdichtung vorgesehen werden. Zu diesem Zweck werden die gegen die Rahmen schlagenden Türkanten mit Leinwand-, Leder- oder Filzstreifen belegt, wovon letztere am häufigsten verwendet werden. Bei druckhaftem Gebirge ist es außerordentlich schwierig, eine dauernd dichte und gut schließende Tür zu erhalten.

In solchen Fällen kann das Mauerwerk durch eingelegte Holzklötze und verschiebbare Rahmen derart gestaltet werden, dass Rahmen und Tür bis zu einem gewissen Grade dem Druck nachgeben können. Meist ist in druckhaften Strecken eine dauernde Dichtigkeit nicht zu erreichen, so dass die Wettertüren von Zeit zu Zeit nachzuarbeiten sind.

Von größter Wichtigkeit sind bei rückläufiger Wetterführung die zwischen dem Einzieh- und Ausziehschacht vorhandenen Türen, da sie einen besonders großen Depressionsunterschied auszuhalten haben und von ihrer Dichtigkeit die gesamte Bewetterung der Grube abhängt. Man wählt hierfür Stahltüren, die in fester Mauerung verlagert sind und auch heftigen Stößen und Erschütterungen zu widerstehen vermögen. Wettertüren werden so hintereinander angeordnet, dass der Abstand mindestens eine Zuglänge beträgt. Plötzliche Kurzschlüsse werden dadurch vermieden.

Die Zahl der Wettertüren hängt von ihrer Bedeutung für die Wetterverteilung und dem Druckunterschied ab. Bei rückläufiger Wetterführung ist ein großer Anteil der Wetterverluste auf Kurzschlüsse durch Wettertüren zurückzuführen. Besonders zwischen dem Ein- und Ausziehschacht muss daher eine genügende Zahl von Wettertüren angeordnet werden.

Abb. Fst-117: Stahlwettertür der Fa. „Wetter Technik“ mit Hydraulik- oder Druckluft-Zylinder zur Türöffnung [Quelle: Wetter Technik]

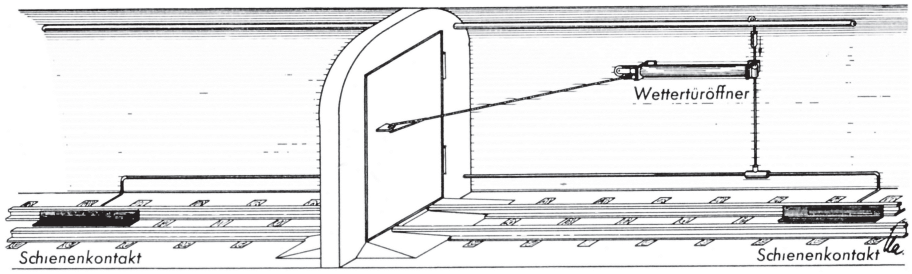


Abb. Fst-118: Wettertür mit selbsttätiger Öffnung über Schienenkontakt [1]

7541014/10787806875Biblio

- **Öffnen und Schließen von Wettertüren.**

Bei großen Druckunterschieden sind die Wettertüren schwer zu öffnen. Zur Erleichterung des Öffnens werden kleine Voröffnungsklappen angebracht, die einen Druckausgleich vor und hinter der Tür bewirken. Es sind eine Reihe von Wettertüröffnern entwickelt worden, die durch Hebelkraft, Drucklufteinrichtungen und hydraulische Türöffner (Abb. Fst-117 u. 118) das Öffnen der Wettertüren ermöglichen.

Das Öffnen ist ferner über Fernsteuerungen durch den Lok- bzw. Hängebahnfahrer möglich. Besonders wichtig sind Wettertüren mit einer selbsttätigen Öffnung bei der Lokomotivförderung und Einschienen-Hängebahnen. Bei Förderbändern sind spezielle Systeme erforderlich.

6.7.8 Bewetterung in der Aus- und Vorrichtung

Die Bewetterung von Streckenbetrieben aller Art gehört mit zu den schwierigsten Aufgaben des Bergbaus, weil die Wetter auf dicht beieinanderliegenden Wegen sowohl zu dem Arbeitspunkt hin, als auch zurückgeleitet werden müssen. Das ist umso weniger leicht, je weiter man für den Hin- und Rückweg der Wetter auf eine einzige Strecke angewiesen ist und je größer die Entfernung ist, auf welche die zu bewetternde Strecke gleichsam eine Sackgasse für die Wetterführung bildet.

Man kann verschiedene Arten der Bewetterung von Streckenbetrieben unterscheiden, die sämtlich das Kennzeichen zweier getrennter Wetterwege haben.

6.7.8.1 Sonderbewetterung

In der Regel bedient man sich zur Sonderbewetterung einer Luttenleitung, in die ein (oder mehrere) Lüfter, bei geringen Wettermengen ein sogenannter Sparlüfter, eingebaut ist. Die Lüfter weisen einen der Luttenweite entsprechenden Durchmesser auf und werden mit elektrisch oder mittels Druckluft angetrieben.

Der eine Wetterweg wird durch die Luttenleitung gebildet, der andere ist der zu bewetternde, nur einseitig an die durchgehende Wetterführung der Grube angeschlossene Grubenbau, also die Strecke, das Aufhauen, der Schacht, der Aufbruch usw.

6.7.8.2 Blasende und saugende Bewetterung

Bei jeder Sonderbewetterung unterscheidet man blasende oder saugende Bewetterung, je nachdem, ob die Wetter durch die Luttenleitung vor Ort ausgeblasen oder von dort abgesaugt werden (Abb. Fst-119).

Welche dieser Bewetterungsarten angewandt wird, richtet sich nach dem Zweck, den man mit der Sonderbewetterung verfolgt.

Sollen z. B. die klimatischen Bedingungen vor Ort verbessert werden, so empfiehlt sich **blasende Bewetterung**, da die Frischwetter durch den im Verhältnis zur Strecke geringen Luttenquerschnitt mit größerer Geschwindigkeit ziehen.
Die Wärmeaufnahme der Wetter ist also geringer, als wenn sie langsam durch die Strecke dem Betriebspunkt zuströmen, zumal wenn die Lutten wärmeisoliert sind.

Die blasende Bewetterung hat weiter den großen Vorzug, dass der Arbeitspunkt kräftig vom frischen Wetterstrom bespült wird. Der aus Lutten austretende Luftstrom bleibt zunächst, ähnlich wie ein Wasserstrahl, mehr oder weniger geschlossen. Die Wetter

7541014/10787806875Biblio

werden bis vor Ort geblasen und spülen etwa vorhandene schädliche Gase fort, selbst wenn das Luttenende mehrere Meter (8 m oder 10 m) weit zurückliegt.

Diesen beiden Vorteilen der blasenden Bewetterung steht der Nachteil gegenüber, dass sie eine Belästigung der vor Ort arbeitenden Belegschaft durch Staubaufwirbelung oder auch durch Zugluft hervorrufen kann. Abhilfe ist jedoch durch sogenannte Wetterrichter möglich, die auf die vor Ort mündende Wetterlutte aufgesetzt werden. Durch geeignetes Drehen oder Verstellen dieser Geräte kann der Wetterstrom so gelenkt werden, dass eine Belästigung der Ortsbelegschaft nicht mehr auftritt.

Bei der Sonderbewetterung mit druckluftbetriebenen Sparlüftern spricht noch zugunsten der blasenden Bewetterung, dass die kühlende Wirkung der trockenen Druckluft dem Betriebspunkt zugutekommt.

Die **saugende Bewetterung** ist dann vorzuziehen, wenn schädliche Gase entfernt werden sollen. Das trifft besonders für Betriebspunkte zu, in denen mit dem Auftreten von Schlagwetteransammlungen zu rechnen ist. Handelt es sich um die Einleitung der Bewetterung eines aus irgendeinem Grund völlig mit Grubengas erfüllten Ortes, kommt nur saugende Bewetterung in Frage. Auch in langen Gesteinstrecken wird man zuweilen saugende Bewetterung vorziehen, weil bei ihr die Sprenggase abgesaugt werden, während sie sich bei blasender Bewetterung über die ganze Streckenlänge verteilen, sofern nicht besondere Vorkehrungen zur Niederschlagung der Schießschwaden getroffen wurden.

Da sich bei der saugenden Bewetterung die Saugwirkung nur in unmittelbarer Nähe des Luttenendes bemerkbar macht, besteht die Gefahr, dass sich vor Ort Schlagwetter ansammeln, die nahezu unbewegt stehenbleiben können.

Zur Reinhaltung des Ortes muss daher eine fliegende blasende Lutte kleinen Durchmessers mit einem Sparlüfter eingebaut werden. Diese blasende Lutte braucht im Allgemeinen nicht länger als 10 m zu sein.
Sie wird zweckmäßig an dem der saugenden Lutte gegenüberliegenden Stoß angebracht und folgt dem Ortsstoß unmittelbar. Ein Überschneiden der beiden Lutten auf eine Länge von etwa 5 m ist unbedingt erforderlich, um Kurzschlüsse und Wetterkreisläufe zu vermeiden.

Diese Art der Bewetterung ist zz. in den Streckenbetrieben des Oberbergamtsbezirkes Dortmund vorgeschrieben.

Die saugende und blasende Bewetterung in der vorbeschriebenen Art ist heute in Aufbrüchen allgemein üblich, wenn nicht ein durchgehendes Vorbohrloch vorhanden ist.

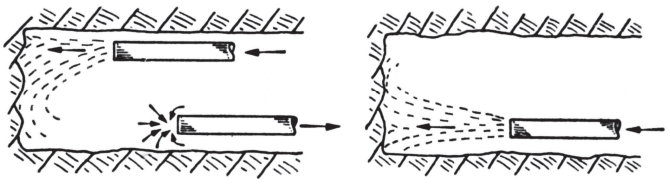


Abb. Fst-119: Wirkung der saugenden und blasenden Luttenbewetterung [1]

6.7.8.3 Betrieb von Sonderbewetterungsanlagen

In maschinentechnischer Hinsicht ist unter einer Sonderbewetterungsanlage eine Vereinigung von Lüftern und Lutten zu verstehen. Beide stellen im Betrieb ein geschlossenes Ganzes dar. Für die Planung der Anlage ist aber eine getrennte Betrachtung von Lutten und Lüftern zweckmäßig

7541014/10787806875Biblio

Ausschlaggebend ist zunächst der Druck- und Mengenbedarf der Sonderbewetterungsanlage, da von diesen beiden Größen die Wahl des Lüfters abhängt.

- **Luttenlüfter**

Als Luttenlüfter werden durchweg Schraubenlüfter (Axiallüfter) benutzt. Neuzeitliche Luttenlüfter liefern je nach Luttendurchmesser und Leitungslänge Wettermengen zwischen 25 m^3/min und 500 m^3/min. Bei langen Luttenleitungen werden häufig zwei oder mehrere Lüfter hintereinandergeschaltet.

Hierbei addieren sich die von den einzelnen Lüftern erzeugten Drücke bei gleichen Wettermengen. Eine Vergrößerung der Wettermenge erreicht man durch die Nebeneinanderschaltung zweier Lüfter, indem sich die Wettermengen der einzelnen Lüfter bei gleicher Druckerzeugung addieren.

Abb. Fst-120:
Wetterlutte in einer Flözstrecke [V41]

6.7.8.4 Luttenarten

Man unterscheidet zwischen Flach- und Spirallutten für die Bewetterung. In Flachlutten herrscht Überdruck, in Spirallutten dagegen Unter- oder Überdruck. Eine außen aufgeschweißte Spirale aus Federstahldraht verstärkt die Spirallutte. Mechanisch anspruchsvolle Orte, Abzweige und Kurven gehören zu ihrem Einsatzgebiet.

Die Haut der Lutte besteht aus einem Polyestergewebe, auf das eine Schmelzwalze eine Schicht aus Polyvinylchlorid (PVC) aufbringt. Diese Konstruktion macht die Lutte extrem robust. Selbst nach einer Beschädigung im rauen Grubenalltag reißt das Material nicht endlos weiter auf. Der Fachmann nennt das „Weiterreißfestigkeit“. Das Material einer Lutte ist schwer entflammbar, kälte- und wärmebeständig und durch die Kombination der Materialien antistatisch.

Das gleiche Material verwendet man bei der Fertigung von Wasserbehältern. Auch Lutten finden ihren Einsatz nicht nur im Steinkohlenbergbau: Weltweit setzt die Industrie Lutten von unterschiedlicher Beschaffenheit und in unterschiedlichen Größen im Tunnelbau, im Erz-, Salz- und Graphitbergbau für die Bewetterung ein.

Flachlutten messen im Durchmesser von 200 mm bis 3.500 mm und werden in Einzellängen von zehn bis 100 mm gefertigt. Spirallutten zeichnen sich durch eine außen umlaufende Spirale aus Federstahldraht aus. Der Spiralabstand bestimmt den zulässigen Unterdruck im Betrieb der Lutte und verstärkt sie gegen mechanische Einflüsse. Sie

7541014/10787806875Biblio

wird in Einzellängen von 5 m bis 10 m mit einem Durchmesser von 150 mm bis 2.400 mm hergestellt.

Auf den RAG-Bergwerken verwendet man fast ausschließlich Flachlutten mit einem Durchmesser von 1.000 mm bis 1.600 mm.

Für den konventionellen Vortrieb werden in der Regel Einzellängen bis 20 m verwendet, bei maschinellen Vortrieben, in Verbindung mit einem Luttenspeicher, beträgt die Einzellänge 100 m.

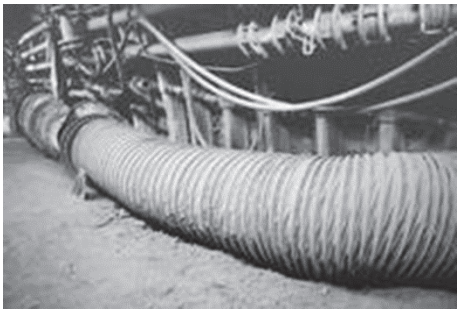


Abb. Fst-121: Bei engen Querschnitten, wie z. B. in Flözstrecken, müssen die Lutten teilweise auch auf der Streckensohle verlegt werden. [V41]

6.8 Wasserhaltung

Die „Wasserhaltung“ oder die „bergmännische Wasserwirtschaft“ umfasst alle Fragen, die sich mit der Bedrohung der Grubenräume durch das Auftreten von Wasser, mit den Maßnahmen und Vorrichtungen zur Fernhaltung der Wässer von den Grubenbauen, mit der Ausrichtung der Grube im T-Hinblick auf die Wasserhaltung und mit der Wasserhebung aus den Bauen beschäftigen.

Die gründliche Behandlung dieser Fragen liegt freilich vielfach nicht mehr im Rahmen rein bergmännischer Betrachtungen. Ganz besonders gilt dies für die maschinentechnische Seite der Wasserhebung. Es muss deshalb in dieser Beziehung auf eingehendere Literatur verwiesen werden.

Für den heutigen deutschen Steinkohlenbergbau ist das Grubenwasser, abgesehen von Schachtteufungen, kein besonderes Problem. Das anfallende Wasser wird in Sumpfstrecken und in den Schachtsümpfen gesammelt und zu Tage gepumpt.

Das Wasser kann z. B. bei der Kohlenwäsche und anderen Arbeiten, die kein gereinigt Wasser erfordern, bedenkenlos eingesetzt werden.

7 Grubensicherheit und Grubenwehr

Die Grubensicherheit im deutschen Bergbau ist führend in der ganzen Welt. Dies gilt nicht nur für Arbeitsunfälle, sondern insbesondere die Vorkehrungsmaßnahmen bei Gasunfällen und Grubenbränden.

In Deutschland konnten aus diesem Grund in den letzten mehr als 20 Jahren große Bergbauunglücke vermieden werden. Die ist neben der Einführung der Filterselbstretter der vorbildlich funktionierenden Grubenwehr zu verdanken.

7541014/10787806875Biblio

7.1 Selbstretter

Seit Ende der fünfziger Jahre ist – beginnend im deutschen Steinkohlenbergbau – jeder Bergmann mit einem Filterselbstretter ausgerüstet, der ständig am Gürtel mitgeführt wird (Abb. Fst-122). Im beatmeten Filterselbstretter wird durch katalytische Oxidation das giftige Kohlenmonoxid (CO) der Brand- oder Explosionsschwaden in Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt.

Bis heute wurden in rund 600 Fällen mehr als 7.500 Geräte zur Flucht benutzt. Rund 25 v. H. der mit Filterselbstrettern ausgerüsteten geflüchteten Bergleute wurden dadurch vor tödlichen oder vor schweren Vergiftungen bewahrt. Voraussetzung für die Einsetzbarkeit des Filterselbstretters, der eine Haltezeit von 90 Minuten hat, ist ein genügender Rest-Sauerstoffgehalt in den Wettern. Wo dies nicht in jedem Falle gewährleistet ist, sind Sauerstoffselbstretter erforderlich, die unabhängig von der Umgebungsatmosphäre den Gerätträger mit Sauerstoff versorgen und gleichzeitig die Ausatemluft von Kohlendioxid reinigen. Dabei wird der Sauerstoff-Vorrat entweder gasförmig in Druckgasflaschen mitgeführt oder in chemisch gebundener Form im Gerät.

Im Steinkohlenbergbau werden Sauerstoffselbstretter nur in Ausnahmefällen eingesetzt, beispielsweise bei Gasausbruchsgefahr oder als Notfallgeräte für die Grubenwehr.
Daneben sind sie vor allem im Salz-, Erz- und Braunkohlentiefbau üblich, wo aufgrund geringerer Bewetterung im Brand- oder Gasausbruchsfall Sauerstoffmangel unterstellt werden muss.

Aus Gründen des Gewichtes werden sie auf den eingesetzten Fahrzeugen oder in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes bereitgehalten.

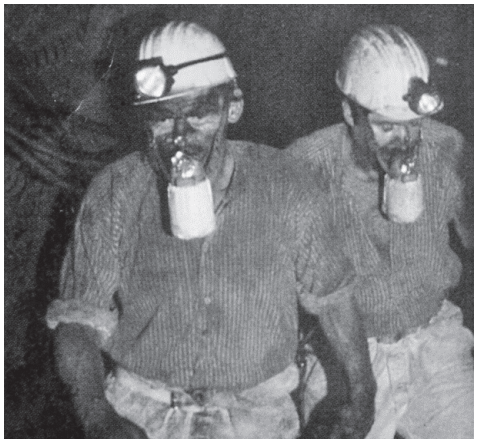


Abb. Fst-122: Bergleute mit Filterselbstrettern [V41]

7.2 Grubenrettungswesen

7.2.1 Entwicklung

Die Wurzeln des betrieblichen Atemschutzes liegen im Bergbau. Sie lassen sich zurückverfolgen bis auf Alexander von Humboldt. Alexander von Humboldt forderte bereits 1799, aufgrund seiner Erfahrungen als preußischer Oberbergmeister, die Vorhaltung von Atemschutzgeräten für den untertägigen Bergbau sowie die Unterweisung der Bergleute im Gebrauch dieser Geräte.

7541014/10787806875Biblio

Knapp einhundert Jahre später – 1897 – wurde in Deutschland auf der Zeche Shamrock in Herne erstmals eine Rettungstruppe mit Atemschutzgeräten ausgerüstet.

Unmittelbarer Anlass für die Organisation des betrieblichen Atemschutzes mit Hilfe von Hauptstellen waren tragische Grubenunglücke im In- und Ausland. So in Nordfrankreich, wo am 10. März 1906 über 1.000 Bergleute starben.
Danach wurden Hauptstellen für das Grubenrettungswesen gegründet. Die ersten Gründungen erfolgten 1907 in Leipzig und 1910 in Essen für den Steinkohlenbergbau.

Der Auftrag war, eine einheitliche Ausrüstung und Schulung der Wehrmitglieder zu gewährleisten, Revisionen in den entstehenden Rettungsstellen der Bergwerke durchzuführen und bei Bränden und anderen Katastrophen, die den Einsatz von Grubenwehrmitgliedern mit Atemschutz erforderten, die Einsatzleitungen zu beraten.

Im Steinkohlenbergbau werden Sauerstoffselbstretter nur in Ausnahmefällen eingesetzt, beispielsweise bei Gasausbruchsgefahr oder als Notfallgeräte für die Grubenwehr. Daneben sind sie vor allem im Salz-, Erz- und Braunkohlentiefbau üblich, wo aufgrund geringerer Bewetterung im Brand- oder Gasausbruchsfall Sauerstoffmangel unterstellt werden muss. Aus Gründen des Gewichtes werden sie auf den eingesetzten Fahrzeugen oder in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes bereitgehalten.

7.2.2 Aufgaben der Grubenwehr

„Die Grubenwehr wird unter Tage zur Rettung und Bergung von Menschen und zur Erhaltung von Sachwerten nach Explosionen sowie bei Grubenbränden und anderen Ereignissen eingesetzt, bei denen eine Gefährdung durch schädliche Gase, Sauerstoffmangel oder Grubenwasser eintreten kann."
Dieser Satz leitet seit Jahrzehnten jede Neuausgabe des „Plans für das Grubenrettungswesen" als Grundlage für Stärke, Ausbildung, Ausrüstung und gegenseitige Hilfeleistung von Grubenwehren im deutschen Steinkohlenbergbau.

Neben Maßnahmen nach diesem Plan, beruht ein erfolgreiches Rettungswerk auf zwei weiteren Komponenten, nämlich den Sofortmaßnahmen des vorläufigen Einsatzes unmittelbar nach Eintreten des Ereignisses und den bereits vorab getroffenen Vorkehrungen zur sicheren Flucht, d. h. Selbstrettung der Belegschaft.

Ferner sind für eine Tätigkeit im Grubenrettungswesen Grundkenntnisse über die unter Tage auftretenden Gase sowie Gasgemische und ihre möglichen Wirkungen erforderlich.

Die Zuständigkeit für Maßnahmen nach einem Grubenunglück ist begründet in der Verantwortung des Unternehmens für Sicherheit und Ordnung im Betrieb einschließlich der hieraus abzuleitenden Planung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, zur Rettung von Verunglückten und zur Hilfeleistung für und durch Nachbarwerke (§ 61 Bundesberggesetz).

7.2.3 Ausbildung

Die Grundausbildung der Grubenwehrmitglieder soll bei der zuständigen Hauptstelle für das Grubenrettungswesen durchgeführt werden.

Die Ausbildung umfasst mindestens 40 h und gliedert sich in einen theoretischen und praktischen Teil. Die Dauer der Ausbildung im Atemschutz beträgt hiervon nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz BGR 190 mindestens 20 h.

7541014/10787806875Biblio

Wird die Grundausbildung innerhalb der Grubenwehr durchgeführt, so sind die Ausbildungszeiten innerhalb eines halben Jahrs abzuleisten und zu dokumentieren. Zusätzlich wird jedes Grubenwehrmitglied zum Nothelfer ausgebildet.

Abb. Fst-123: Grubenwehr bei der Ausbildung [V41]

Bei Grubenunglücken leistet die Grubenwehr auf benachbarten Bergwerken Hilfe nach dem Hilfeleistungsplan.

Seit Ende der 1980er Jahre ist auch die Abseiltechnik ein fester Bestandteil im Ausbildungsprogramm der Grubenwehren im Steinkohlenbergbau. Da der Einsatz dieser Technik ein regelmäßiges und zeitaufwändiges praktisches Üben voraussetzt, ist die Ausbildung aller Wehrmitglieder allerdings nicht sinnvoll.
Vielmehr sollten innerhalb der Grubenwehren Gruppen von 10 bis 15 Personen zusammengestellt werden, die bereit sind, sich intensiver mit dem Auf- und Abseilen bei Rettungsaktionen zu beschäftigen.

7.2.4 Tauchausbildung

Das Tauchwesen der Grubenwehr hat den Zweck, bei Ereignissen mit Gefährdungen durch Wasser die Rettung von Menschen und die Erhaltung von Sachwerten zu ermöglichen.

Der Plan für das Tauchwesen regelt das Tauchen durch Grubenwehrtaucher mit Leichttauchgeräten in Tiefen und über Tauchzeiten, die – auch bei Wiederholungstauchgängen – keine Haltezeiten gemäß der Auftauchtabelle erforderlich werden lassen.

7.2.5 Ausrüstung

Alle Grubenwehrmänner sind mit Atemschutzgeräten vom Typ BG4 ausgerüstet. Mit diesem umluftunabhängigen Atemschutzgerät ist eine Einsatzzeit von maximal vier Stunden möglich. Die Atemluft wird im Kreislauf geführt. Andere Atemschutzgeräte, z. B. der Feuerwehr, geben die verbrauchte Atemluft nach außen ab. Mit diesen Geräten können nur Einsätze bis zu einer Stunde durchgeführt werden.

Gegen offene Flammen schützt sich der Grubenwehrmann durch eine Flammschutzkleidung bestehend aus Frottee-Unterwäsche, zweiteiligem Anzug aus zweilagigem NOMEX III sowie Kopfhaube und Handschuhe aus gleichem Material. Die Kommunikation mit der Bereitschaftsstelle erfolgt durch ein mitgeführtes Telefonsystem (Abb. Fst-124).

7541014/10787806875Biblio

7.2.6 Organisation

Im Ereignisfall wird der Grubenwehreinsatz von der Bereitschaftsstelle unter Tage durch den Oberführer geleitet. Ein Grubenwehrtrupp besteht aus einem Truppführer und vier Wehrmännern. Für jeden eingesetzten Grubenwehrtrupp wird ein Reservetrupp an der Bereitschaftsstelle vorgehalten, der den eingesetzten Trupp absichert.

Abb. Fst-124: links: Grubenwehrmann in voller Ausrüstung – rechts: Atemschutzgerät Typ BG4 [V41]

Abb. Fst-125: Deutsche Grubenwehr beim österreichischen Grubenrettungstag in Tirol [V41]

7541014/10787806875Biblio

8 Bergschäden

- **Wenn sich die Tagesoberfläche senkt**

Überall wo Bergbau betrieben wird, wird ein mineralischer Rohstoff oder fossiler Brennstoff – wie z. B. Kohle – abgebaut. Dabei werden Gesteinsmassen bewegt und zu Tage gefördert. Beeinflusst wird dadurch das ursprüngliche physikalische Gleichgewicht im Gebirgskörper. Das kann zu unterschiedlichen Auswirkungen führen.

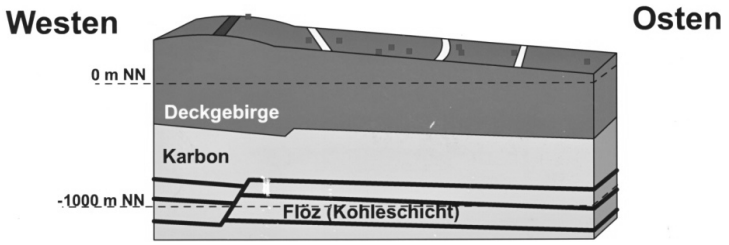
Im Steinkohlenbergbau verfüllen sich die durch den Abbau der Kohle entstandenen Hohlräume sofort selbst, wenn das Gebirge nicht mehr durch den Ausbau der Strecke oder im Streb gestützt wird. Im Anschluss daran senken sich die darüber liegenden Gesteinsschichten. Als Folge bilden sich an der Tagesoberfläche weiträumige Senkungsmulden. Diese Senkung ist um etwa 10 % bis 20 % geringer als die Dicke des abgebauten Flözes. Der Senkungsbereich über Tage wandert in dem Maße, wie sich der untertägige Abbaubetrieb fortbewegt.

Allerdings ist damit zu rechnen, dass mit immer mächtigeren Deckschichten die Absenkungen (Bergschäden) immer geringer werden. Unmittelbar unter den Städten des Ruhrgebietes findet außerdem kein Bergbau mehr statt. Die Senkungen sind hier abgeklungen.

Entstehung und Folgen

- **Erdschichten unter Tage (A)**

Unter der grün dargestellten Tagesoberfläche lagert das etwa 400 m dicke Deckgebirge. Es besteht aus Kalk-, Mergel-, Sand- oder Kiesablagerungen. Darunter schließt das Steinkohlengebirge an, in dem die Kohlenflöze (hier als schwarze Striche dargestellt) eingebettet sind.

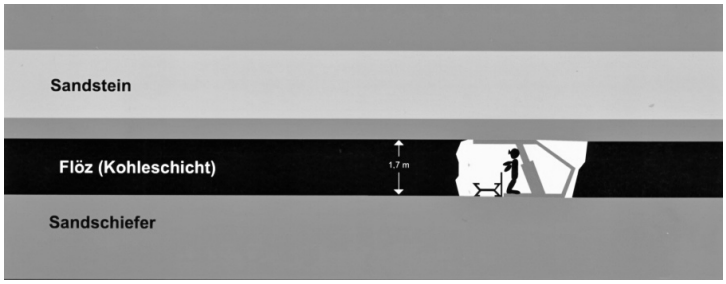


A

- **Abbau der Kohle (B)**

Der Querschnitt durch die Gesteinsschichten in vergrößertem Maßstab zeigt, dass über dem 1,7 m mächtigen Flöz Sandschiefer und anschließend Sandstein lagern. Die Kohle wird über die ganze Breite der Bauhöhe von 330 m hereingewonnen. Die gesamte maschinelle Einrichtung arbeitet sich im Flöz nach links vor.

7541014/10787806875Biblio

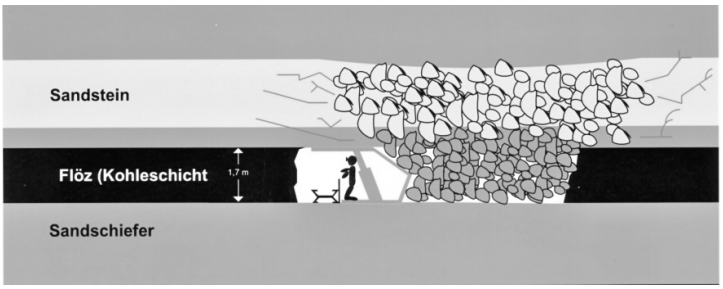


B

- **Einbruch der Deckschicht (C)**

Wie die Situationsaufnahme nach dem Abbau von einigen Metern zeigt, bricht die Sandschieferschicht unmittelbar hinter den Schilden in den freigelegten Hohlraum. Im ersten Moment füllt der Bruch den Raum.

Mit dem weiter fortschreitenden Abbau brechen auch die direkt über dem Sandschiefer liegenden Schichten, legen sich nun auf den Bruch und verdichten das Gestein wieder zu einem kompakten Gebirgskörper. Alle oberhalb liegenden Schichten verändern in diesem Prozess ihre Lage und sinken nach unten. Diese Senkung setzt sich kontinuierlich bis nach über Tage fort.



C

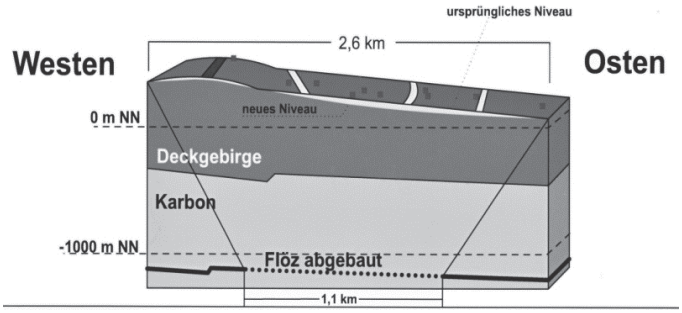
Die Bewegungen im Gebirgskörper haben sich unter einem Winkel von 56° zu allen Seiten fortgesetzt. So ergibt sich der Einwirkungsbereich an der Tagesoberfläche mit einer Ost/West-Erstreckung von 2,6 km.

- **Absenkungen (D)**

Die Absenkungen (D) sind als gelbe Fläche unter der grünen Tagesoberfläche überhöht dargestellt. Zu sehen ist, dass die Senkungsmaße direkt über der Abbaufläche größer und zum Rand hin immer geringer werden. Im Maximum betragen sie 0,7 m.

7541014/10787806875Biblio

D

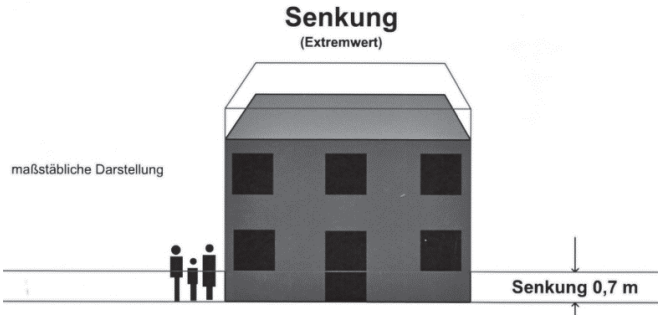


Werden durch die Auswirkungen des Abbaus Gebäude beschädigt, handelt es sich um einen Bergschaden. Was passiert nun mit einem Gebäude im maximalen Senkungsbereich?

- **Bergsenkung (E)**

Nehmen wir ein typisches zweistöckiges Gebäude mit einer Höhe von 6 m und einer Breite von 10 m. Durch die grüne Strichführung ist die ursprüngliche, und mit einer roten Silhouette die neue Lage dargestellt. Im Einwirkungsbereich der dargestellten Bergsenkung würde ein Gebäude maximal um 0,7 m abgesenkt (E).

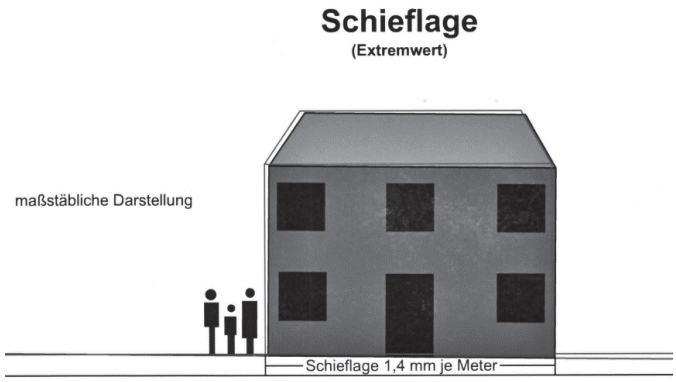
E



- **Schieflage (F)**

Auch bei der Darstellung einer möglichen Schieflage ist durch die grüne Strichführung die ursprüngliche und mit einer roten Silhouette die neue Lage gekennzeichnet. Die Schieflage beträgt im Extremfall 1,4 mm/m. Das bedeutet, dass sich bei einem zehn Meter breiten Gebäude höchstens eine Schiefstellung (F) von 1,4 cm ergeben kann.

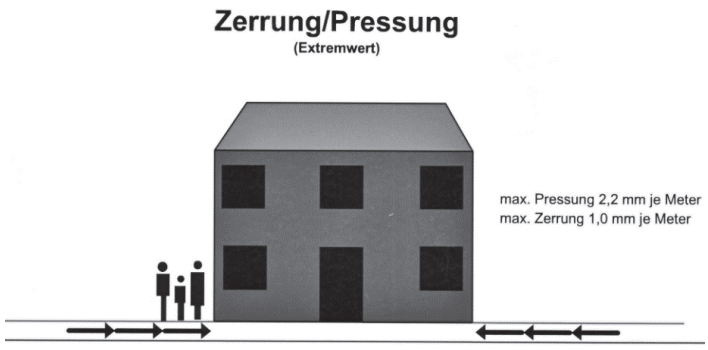
7541014/10787806875Biblio



F

- **Zerrung (G)**

An der Tagesoberfläche ergeben sich neben den vertikalen Senkungen auch horizontale Bodenbewegungen. Dabei werden die Gebäude direkt oberhalb der Abbaufläche gepresst und im Randbereich gezerrt. Für den Abbau in Flöz betragen die maximalen Werte bei einer Pressung 2,2 mm/m – bei einer Zerrung 1,0 mm/m (G).



G

Alle Abb. zu „Bergschäden“ [V41]

7541014/10787806875Biblio

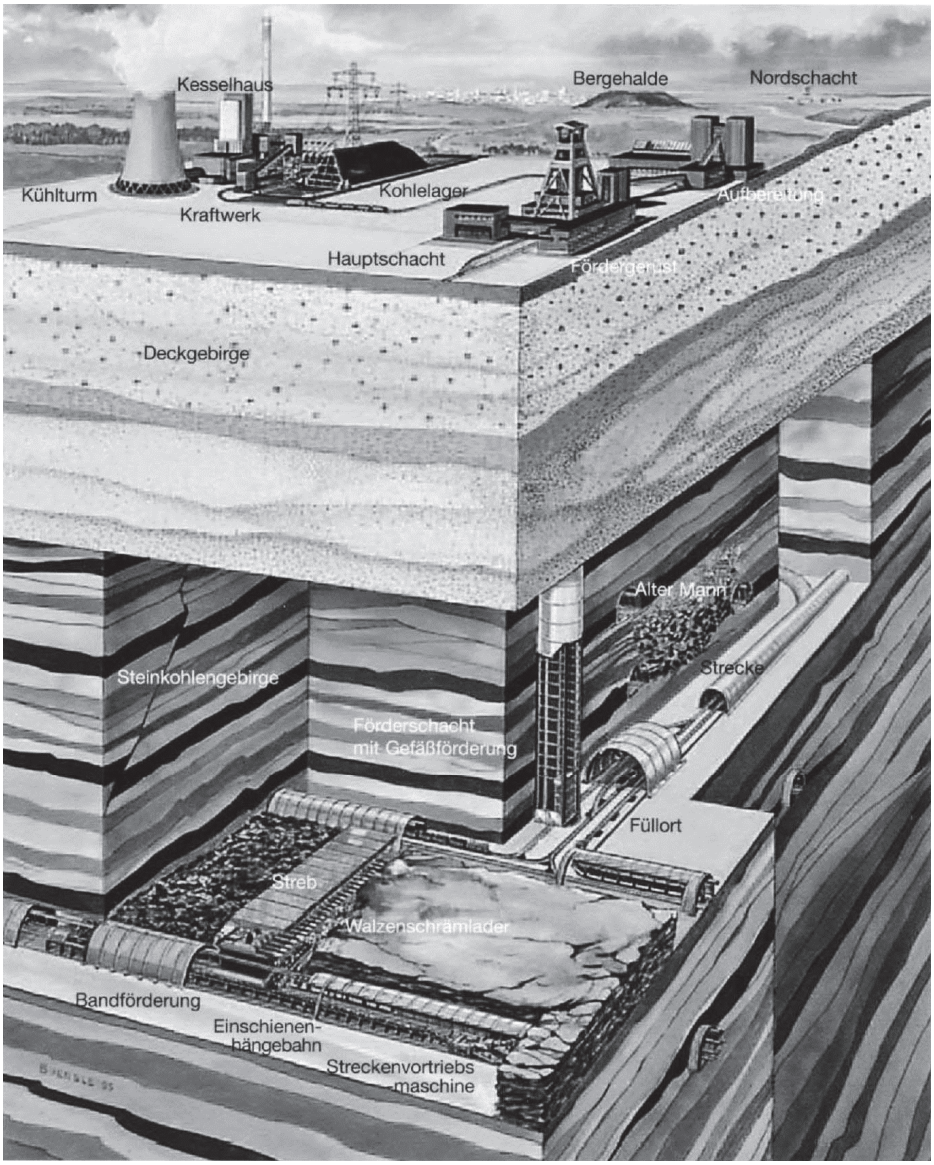


Abb. Fst-126: Schematische Darstellung eines Grubengebäudes [V41]

7541014/10787806875Biblio

Fs Bergbau auf Salz

1840 veröffentlichte der Chemiker Justus v. Liebig unter dem Titel „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ sein grundlegendes Werk, das für die Landwirtschaft der Folgezeit und dann auch indirekt für die Entstehung und Entwicklung des Kalibergbaus immense Bedeutung erlangte. Liebig stellte fest, dass die Ernährung der Pflanzen nicht auf dem Humus, sondern auf bestimmten mineralischen Stoffen im Boden basiert. Nach seiner inzwischen bewährten Lehre gehört Kali neben Stickstoff und Phosphorsäure zu den Hauptnährstoffen der Pflanzen, mit denen der Boden ausreichend versorgt sein muss, um gute Erträge hervorbringen zu können.

1 Entstehung von Kali und Salz

Zur Zeit des Perm und der Trias bedeckte das Zechsteinmeer weite Gebiete Südeuropas und des Mittelmeerraumes. Von hier strömte das Salzwasser in Buchten und seichte Nebenmeere. Beinahe ganz Deutschland und der Alpenraum waren zeitweise von riesigen Salzseen bedeckt. Diese waren zeitweise durch Landzungen vom übrigen Ozean abgetrennt. Damit aus diesen abgetrennten Meeresbecken Salzlager entstehen konnten, war trockenes, regenarmes Klima die Voraussetzung. Wenn mehr Wasser verdunstete als über die Landzunge oder Bodenschwelle (Barre) nachfloss, konnte sich das im Meerwasser enthaltene Salz am Meeresboden ablagern. Diese „Barrentheorie“ von Carl Ochsenius ist heute allgemein anerkannt, obwohl es darüber hinaus weitere Theorien über die Entstehung der Salzlager gibt.

Doch zurück zu unserem salzhaltigen Binnenmeer. Je mehr Flüssigkeit verdampfte, umso stärker nahm die Konzentration der im Meerwasser gelösten Mineralien bis zur Sättigung zu. Nach der Auskristallisation schließlich sank das Steinsalz auf den Meeresboden und bildete dort eine Schicht aus Salzkristallen. Im Heilbronner Raum ist diese Schicht z. B. beinahe ohne Verunreinigungen abgelagert worden. Das Heilbronner Steinsalz ist deshalb sehr rein. Im Bad Reichenhaller Gebiet wurden während der Ablagerung der Salzkristalle immer wieder Sand und Ton vom umgebenden Festland in das Meeresbecken eingeschwemmt. Dabei entstand ein Mischgestein aus Steinsalz, Ton und Gips, welches als Haselgebirge bezeichnet wird und ein Salzgehalt von im Mittel 50 % aufweist.

Überall, wo Salz unter wasserdurchlässigen Schichten lagerte, kann es im Laufe der Erdgeschichte durch Grundwasser wieder aufgelöst werden. Im Heilbronner Raum liegen wasserdichte Anhydritschichten unmittelbar über dem Salz.

Im Bad Reichenhaller und Berchtesgadener Raum hat sich durch die Auflösung randlicher Bereiche der Salzvorkommen ein wasserundurchlässiger Tonmantel um die Lagerstätten gebildet. Die Anhydritschichten und der Tonmantel verhinderten eine weitere Auflösung bzw. Ausschwemmung der Salzlagerstätten. Es blieben ausgedehnte Salzlagerstätten erhalten, deren Vorräte noch für Generationen reichen werden.

Deutschland verfügt über zahlreiche und teilweise sehr mächtige Steinsalz- und Kalivorkommen. Zu nennen sind hier die Lagerstätten im Werra-Fulda-Revier (HE/TH), im Heilbronner Revier (BW), am Niederrhein bei Rheinberg (NRW), Vorkommen in Stetten (BW), Sigmundshall (NI), Bernburg (ST), Berchtesgaden, Bad Reichenhall, Epe (NRW) sowie kleinere Vorkommen, die vornehmlich im Solebetrieb arbeiten.

7541014/10787806875Biblio

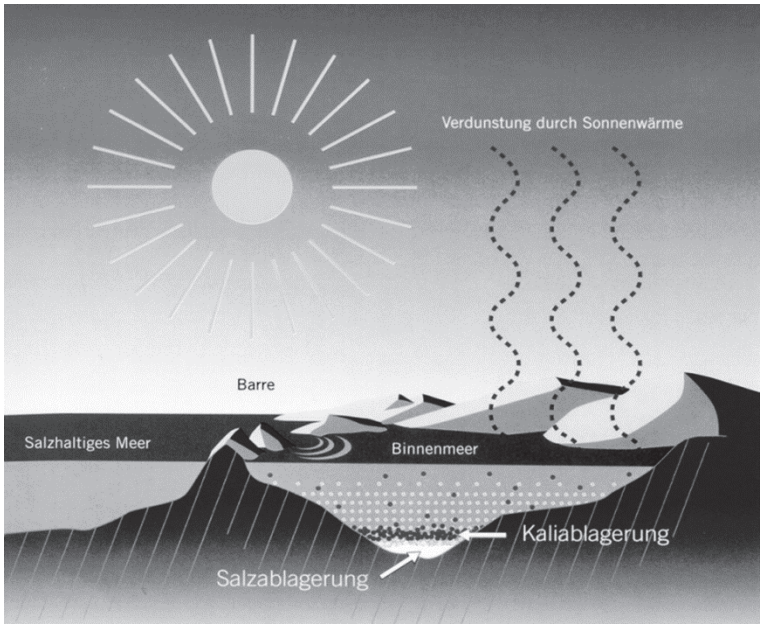


Abb. Fs-1: Ergänzende Darstellung zur Barrentheorie [27]

Unter Kali werden umgangssprachlich insbesondere die Mineralien Kaliumchlorid und Kaliumsulfat verstanden. Die deutschen Lagerstätten weisen im Vergleich zu den Lagerstätten in anderen Teilen der Erde die Besonderheit auf, dass sie neben kalihaltigen Mineralien wie Sylvinit und Carnallit auch Magnesiumverbindungen, im Wesentlichen Magnesiumsulfat (Kieserit), enthalten. Aufgrund dieser Einzigartigkeit der deutschen Rohsalze können neben Standardprodukten auch hochwertige Spezialitäten für landwirtschaftliche und industrielle Anwendungen produziert werden, die in dieser Vielfalt von keinem anderen Kaliproduzenten weltweit geboten werden.

Die deutschen Lagerstätten enthalten als einzige auf der Welt, wegen der besonderen Bedingungen bei der Entstehung, neben den Kalisalzen auch Kieserit. Dies ermöglicht, die wichtigen Pflanzennährstoffe Kalium, Magnesium und Schwefel gleichzeitig zu gewinnen und zu besonders hochwertigen Mineraldüngern zu verarbeiten.

7541014/10787806875Biblio

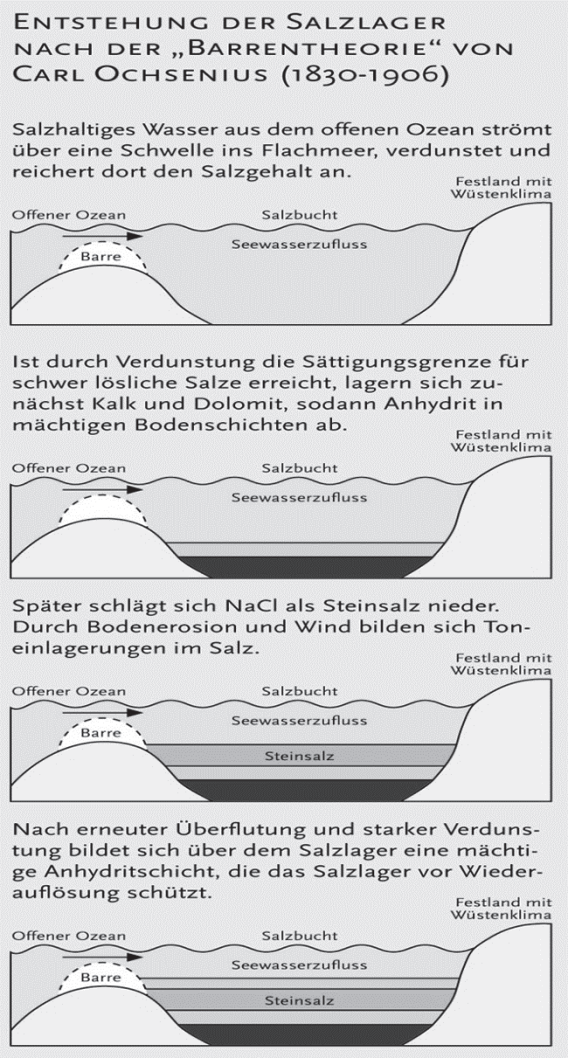


Abb. Fs-2: Schematische Darstellung der Barren-Theorie [27]

2 Kali-Lagerstätten in Deutschland

Die Steinsalz- und Kalivorkommen Deutschlands konzentrieren sich wie bereits erwähnt in Norddeutschland, einzelne bedeutende Lagerstätten in Nordrhein-Westfalen, in Baden-Württemberg und in Sachsen-Anhalt. Es handelt sich um Salzlagerstätten unterschiedlicher Entstehung und geologischer Einstufung.

2.1 Abbauverfahren

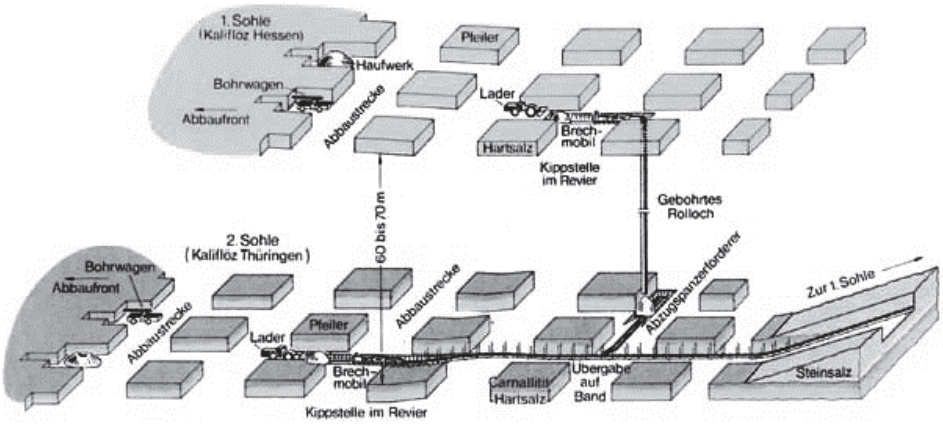
In den deutschen Kalibergwerken sind im Wesentlichen zwei Verfahren zu unterscheiden, und zwar ein Verfahren für die am weitesten verbreitete flache Lagerung und ein Verfahren für die steile Lagerung im Hannoverschen Revier.

7541014/10787806875Biblio

Die in der **flachen Lagerung** angewandten Abbauverfahren sind dem Kammerpfeilerbau zuzuordnen („room-and-pillar"-Bau, „Kurzpfeilerbau" oder „Quadratpfeiler-Örterbau"). Dabei handelt es sich um eine Bauweise, bei der Pfeiler zur Stützung des Gebirges stehenbleiben. Die Pfeilerabmessungen und Abbaubreiten werden durch Teufe, Baumächtigkeit und die von der Salzart abhängigen Gesteinsparameter bestimmt.

Im Hauptanwendungsgebiet des Verfahrens, im Werra-Fulda-Revier, betragen die Abbaubreiten 8 m bis 20 m und die Abbauverluste 24 bis 60 v. H. In mächtigen Carnallitit-Abbaufeldern, beispielsweise in den Staukuppenbereichen im Beckenzentrum des Flözes „Thüringen", steigen die Abbauverluste noch weiter.

Bei allen Abbauverfahren in der flachen Lagerung wird ohne Versatz gearbeitet. Zur Sicherung der Streckenfirste werden mit Spezial-Bohrwagen jährlich über eine Million Firstanker gesetzt.



Zweisohlenbau in der flachen Lagerung

Abb. Fs-3: Beispiel für den Zweisohlenbau – die Sohlen können durch Rolllöcher oder Bandberge verbunden sein [27]

Soweit zwei übereinanderliegende Kalilager gleichzeitig abgebaut werden, wird das Rohsalz entweder aus dem unteren Lager mit ansteigenden Schrägbändern abgefördert, die an die Bandanlagen im Bereich des oberen Lagers angeschlossen sind, oder das im oberen Lager gewonnene Kalirohsalz wird den im Bereich des unteren Lagers installierten Hauptbandanlagen über Rolleicher zugeführt.

In der steilen Lagerung, im Hannoverschen Revier, wird überwiegend der Schweben-Strossen-Bau mit Versatz möglichst als Kammer-Trichterbau angewandt, der die volle Nutzung der wirtschaftlichen Schwerkraftförderung im Abbau ermöglicht.

Dabei entstehen Abbaukammern bis zu 200 m Höhe, bis zu 100 m Länge und – je nach Lagermächtigkeit und Einfallen – bis zu 20 m Breite und mehr. Zwischen den Kammern bleiben Begrenzungspfeiler von 10 m bis 12 m Stärke stehen.

Zur Abbauvorbereitung wird zuerst das steilstehende Kaliflöz auf der oberen und auf der unteren Hauptsohle durchfahren und zwischen beiden im Nebengestein eine wendelartige Fahrverbindung mit etwa 15 v. H. Steigung hergestellt. Von dieser Wendel-

7541014/10787806875Biblio

strecke aus werden im Abstand der vorgesehenen Strossenhöhe von 20 m bis 25 m Horizontalstrecken im Lager bis zur vorgesehenen Abbaugrenze aufgefahren. Meist werden unmittelbar über der unteren Hauptsohle Sammeltrichter für das bei der Gewinnung herabstürzende Haufwerk angelegt.

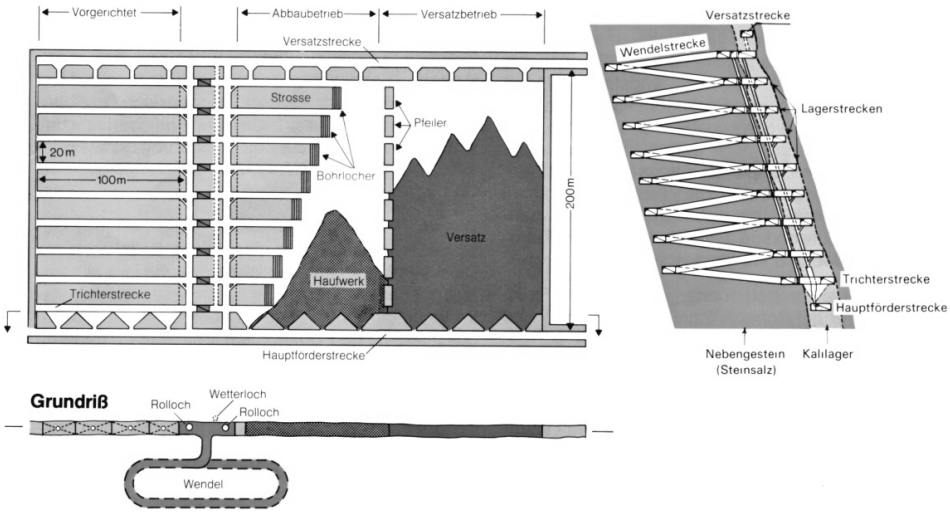


Abb. Fs-4: Beispiel für die steile Lagerung mit Trichterbau und Wendeltreppe [1]

Der Abbau beginnt auf den unteren Sohlen. Er bewegt sich rückwärts im strossenartigen Verhieb in Richtung auf die Wendelstrecke. Das Haufwerk wird aus den Sammeltrichtern oder Ladeörtern abgezogen und von dort an die Streckenförderung übergeben.

Nach dem Leerfördern des Abbaus wird Versatzmaterial, überwiegend Verarbeitungsrückstand, über dicht nebeneinander angelegte Löcher von der oberen Hauptsohle aus in den Hohlraum verstürzt. Ein Planieren des Versatzes erfolgt nicht.

2.2 Gewinnungstechnik

Bei der Gewinnung von Kalirohsalzen dominiert in Deutschland die Bohr- und Sprengtechnik. Unter den herrschenden Lagerstättenbedingungen erwies sie sich bisher im Regelfall gegenüber anderen Techniken als überlegen.

Das schließt die Anwendung von Alternativen, wie schneidende (z. B. im Heilbronner Revier, wo auf schneidende Gewinnung umgestellt wird) oder solende Gewinnung, nicht aus.

Bei der Bohr- und Sprengtechnik werden heute sehr leistungsfähige mobile Großgeräte eingesetzt. In den Streckenvortrieben stellen Großlochbohrwagen die Einbrüche von 7 m Länge mit Durchmessern von 0,28 m bis 0,5 m her. Sprenglochbohrwagen, zum Teil mit computergesteuerter Führung der Lafetten, bohren mit Luft-Wasser-Spülung die Sprengbohrlöcher. Das Bohrschema kann mittels Diaprojektor auf die Ortsbrust projiziert werden. Die Vorschubgeschwindigkeit beim Sprenglochbohren beträgt bis zu 15 m/min.

7541014/10787806875Biblio

Großloch- und Sprenglochbohrwagen haben sowohl Diesel- als auch Elektroantrieb. Der Dieselmotor erlaubt einen schnellen Wechsel des Einsatzortes, hat aber den Nachteil der Wetterbelastung durch die Abgase.

Die Sprengarbeit ist ebenfalls mechanisiert. Sprengfahrzeuge, die jeweils zu Schichtbeginn aus Untertage-Silos mit losem Sprengstoff „betankt" werden, versorgen die Sprengorte. Mit Hilfe von Druckluft werden die Sprengbohrlöcher über Ladeschläuche mit Sprengstoff gefüllt. In steilstehende Bohrlöcher, zum Beispiel im Strossenbau, wird der Sprengstoff eingerieselt.

Die Verwendung losen Sprengstoffs vereinfacht den Transport und vermeidet das zeitaufwändige Einführen einzelner Patronen. Gezündet wird mit elektrischen Zeitzündern.

Diesel- oder elektrobetriebene, gummibereifte Frontschaufellader mit Schaufelinhalten zwischen 5 t und 20 t nehmen das gesprengte Rohsalz vor Ort auf und transportieren es zu den Revierkippstellen. Von dort wird es nach Vorzerkleinerung meist auf Bandanlagen zum Schacht gefördert.
Über mehrere hundert km Förderbandanlagen sind in den Bergwerken im Einsatz. Sie bilden die Hauptschlagadern zwischen Abbaurevier und Förderschacht.

Der hochmechanisierte Betrieb unter Tage braucht eine leistungsfähige Infrastruktur: Sprengstoff und Dieseltreibstoff gelangen durch Fallleitungen im Schacht nach unter Tage und werden dort in Silos und Tanklagern gespeichert. Tankfahrzeuge versorgen die Maschinen in den Revieren mit Treibstoff.

Dem Personen- und Materialtransport dienen serienmäßige Straßenfahrzeuge, die mit speziellen umweltfreundlichen Dieselmotoren ausgerüstet sind. Mehr als 100 km misst das unterirdische Streckennetz der großen Kalibergwerke. Zur Sicherheit des Verkehrs und zur Schonung der Fahrzeuge muss es dauernd instand gehalten werden. Die zahlreichen Bohrwagen, Lade- und Transportfahrzeuge sowie die elektrischen Anlagen und Geräte werden in Untertage-Werkstätten gewartet und repariert.

Zur Erhöhung der Sicherheit am Arbeitsplatz und zur besseren Betriebsorganisation wurde drahtloser Sprechfunkverkehr eingeführt, so dass heute fast jeder Arbeitsplatz über Funk erreichbar ist.

Die Schachtförderanlagen sind überwiegend mit Gefäßen ausgestattet, die bis zu 50 t Nutzlast haben. Eine leistungsfähige Schachtförderanlage hat eine Kapazität von mehr als 30.000 t Rohsalz je Tag.

Zur gleichmäßigen Rohsalzversorgung der sonn- und feiertags durchlaufenden – vollkontinuierlich arbeitenden – Fabrikanlagen über Tage wurden auf fast allen Werken unter Tage im Füllortbereich Großbunker angelegt, deren größter eine Speicherkapazität von 80.000 t besitzt. Zur Entspeicherung dieses Bunkers ist ein elektrisch betriebener Schaufellader mit 30 t Schaufelinhalt eingesetzt.

Wegen der mit zunehmender Teufe höheren Gebirgstemperaturen und der Arbeitsmaschinen mit Dieselantrieb kommt der Wetterführung im Kalibergbau besondere Bedeutung zu. Ziel ist es, die Arbeitsbedingungen unter Tage so human wie möglich zu gestalten. Zu den zahlreichen Maßnahmen gehören die Klimatisierung von Arbeitsplätzen und der Einsatz leistungsstarker Grubenlüfter. Diese liefern bis zu 30.000 m³ Frischwetter je Minute. Mehrere im Verbund geschaltete Lüfter führen einzelnen Bergwerken bis zu 55.000 m³/min zu.

7541014/10787806875Biblio

3 Werra-Fulda-Kalirevier

Im Jahr 1861 nahm die erste Produktionsstätte für Kaliumchlorid in Staßfurt ihren Betrieb auf. Dies war die Geburtsstunde der Kaliindustrie. In den folgenden Jahrzehnten wurden weitere Kalireviere erschlossen und eine Vielzahl neuer Kaliwerke gegründet.

Das Naturprodukt Kali war nun in großen Mengen verfügbar, um die Nahrungsmittelproduktion für die wachsende Bevölkerung steigern zu können.

Heute wird Kali in Deutschland in 5 Bergwerken der K+S KALI GmbH gewonnen und an drei Standorten verarbeitet.

Bei der Aufbereitung der Rohsalze zu hochwertigen Mineraldüngern wird keine chemische Umwandlung eingesetzt. Daher ist ein großer Teil der Produkte für den ökologischen Landbau zugelassen.

3.1 Entwicklung im Werra-Kalirevier[18)]

Die Entwicklung zeigt u. a., wie das Salz eine ganze Region geprägt hat.
Mit dem Teufen des Schachtes Kaiseroda begann die Epoche 1895, nachdem nördlich des Harzes bereits zahlreiche Vorkommen erschlossen wurden. Im Jahr 1900 nahm mit Bernhardshall das erste Kaliwerk in der Region die Förderung auf. 1901 folgte Kaiseroda.

Dann ging es Schlag auf Schlag. Goldgräberstimmung hatte die Region erfasst.
Mehr als 20 Schächte wurden bis zum Jahr 1914 im rasch entstehenden Werra-Revier begonnen.

Das nötige Kapital ließ sich vor allem bei Industriellen aus dem Ruhrgebiet und anderen Industriezentren, nur selten aber in der Region, mobilisieren. In rascher Folge entstanden nach Bernhardshall und dem Werk Kaiseroda mit dem späteren Standort Merkers die Werke Alexandershall, Wintershall, Hattorf, Sachsen-Weimar (Unterbreizbach), Heiligenroda (Springen) und Großherzog von Sachsen (Dietlas).

Heute steht das Werra-Revier in der Kalisalzproduktion in Europa an erster Stelle. Etwa 1.000 km² umfasst das Kalirevier.

Zum Vergleich: das Rheinische Braunkohle- und das Saarrevier messen jeweils nur rund 600 km². Das Werk Werra K+S KALI GmbH ist eines der größten Bergwerke der Welt und – bezogen auf die Ausdehnung der Grubenfelder und die Förderleistung – das größte Kaliwerk überhaupt.

Rund **21 Millionen Tonnen** kali- und magnesiumhaltige Rohsalze werden im Werra-Revier jährlich abgebaut und zur Weiterverarbeitung in den Fabriken Hattorf, Wintershall und Unterbreizbach zu Tage gefördert.

Unter den in Deutschland gewonnenen Rohstoffen ist Kali für den Export am bedeutendsten. Kaliprodukte werden in etwa 70 Länder exportiert und als Veredlungsprodukte für Ernährung, Landwirtschaft, Industrie und Medizin eingesetzt.

18) Der gesamte Abschnitt „Werra Salzrevier“ lag der K+S AG zur Prüfung und Freigabe vor.

7541014/10787806875Biblio

Bis 1918 war das „Deutsche Reich“ der einzige Kaliproduzent der Welt. Heute steht Deutschland in der Weltproduktion an dritter Stelle. Alleine die K+S-Gruppe ist mit 21 Mill. t Rohsalz daran beteiligt. Die deutschen Lagerstätten enthalten als einzige auf der Welt neben den Kalisalzen auch Kieserit, also magnesium- und schwefelhaltiges Kali.

Das Verbundwerk Werra wird unterteilt in den hessischen und den thüringischen Teil. Betrieben werden:

3 Förderschächte, und zwar Hattorf und Grimberg im hessischen Teil sowie Unterbreizbach 1 im thüringischen Teil.

4 Seilfahrt- und Materialschächte, und zwar Herfa und Ransbach im hessischen Teil sowie Unterbreizbach 2 im thüringischen Teil.

Dazu kommt das Besucherbergwerk Merkers.

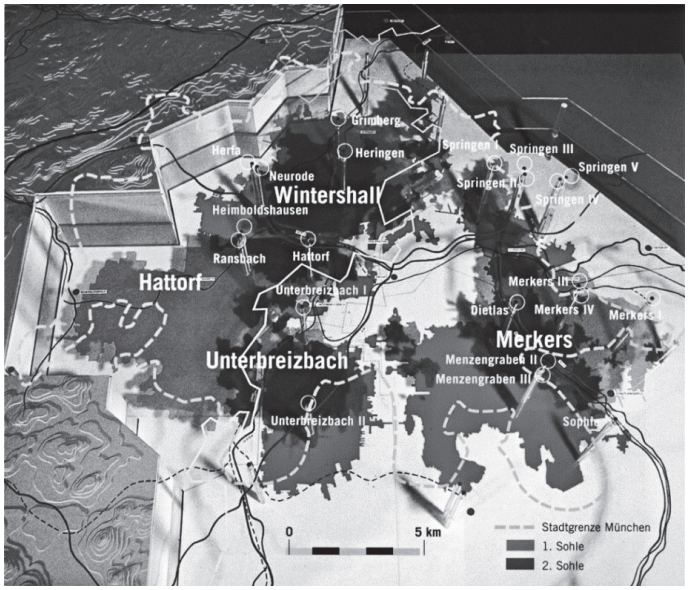


Abb. Fs-5: Werra-Kali-Revier-Lageplan [27]

3.2 Lagerstätte

Die flach gelagerten Flöze mit einer Mächtigkeit von bis zu 8 m befinden sich innerhalb eines ca. 300 m mächtigen, kompakten Steinsalzschicht in einer Tiefe von bis zu 1.200 m. Darüber liegende wasserundurchlässige Tonschichten schützen die Lagerstätte vor Grundwasser.

Das obere Lager, das im Nordosten des Reviers etwa 400 m und im Südwesten etwa 1.000 m unter der heutigen Erdoberfläche liegt, heißt „Flöz Hessen“. Es besteht aus Hartsalz, zum Teil auch aus Carnallitit.

Das untere Lager liegt etwa 60 m tiefer. Es heißt „Flöz Thüringen“ und besteht zum überwiegenden Teil aus Carnallit. Beide Flöze erstrecken sich über 1.000 km² in Hessen und Thüringen.

7541014/10787806875Biblio

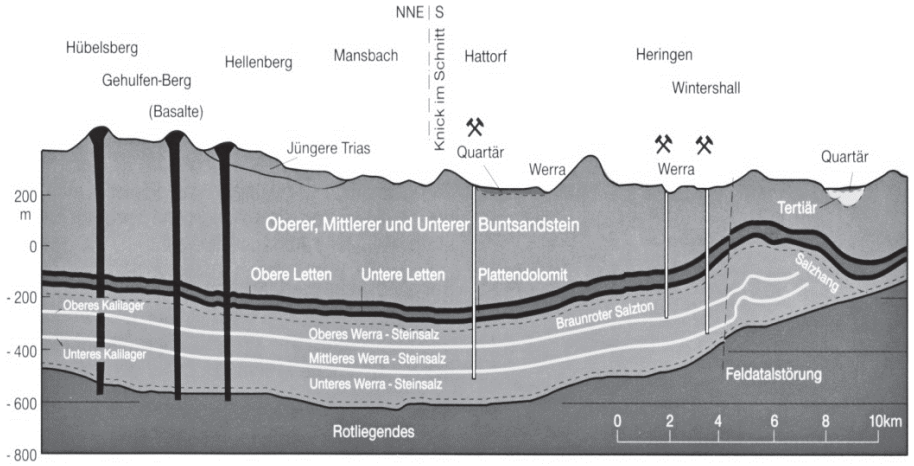


Abb. Fs-6a: Längsschnitt durch das Werra-Ulster-Salzlager [27]

Die Flöze bestehen aus Hartsalz, Carnallit und Sylvinit.

Abb. Fs-6b: links: Hartsalz – Mitte: Carnallit – rechts: Sylvinit [27]

3.3 Abbauverfahren

Bei der K+S Kali GmbH wird das **Room-and-Pillar-Abbau-Verfahren** (Kammer-Pfeilerbau) angewendet, wobei die Gewinnung in Bohr- und Sprengtechnik erfolgt.

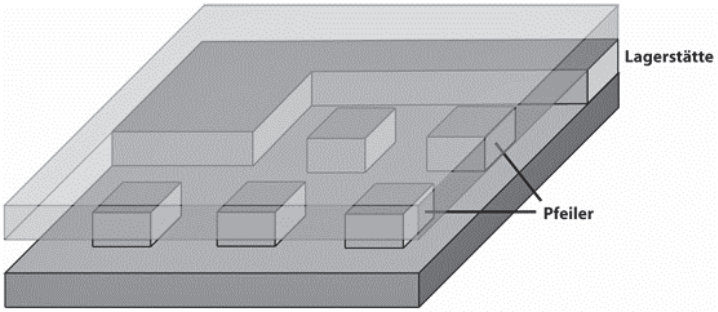


Abb. Fs-6c: Das Room-and-Pillar-Verfahren in vereinfachter Darstellung [1]

7541014/10787806875Biblio

Bei diesem Abbauverfahren wird jeder Hohlraum ringsherum von Sicherheitspfeilern eingefasst. Diese Pfeiler bilden die Begrenzungen der einzelnen Abbaukammern. Die Pfeiler müssen bestimmte Abmessungen haben, damit sie die Hangendschichten entsprechend stützen. Der Abbau der Lagerstätte mittels Kammer-Festen-Bau verhindert die Setzungen.

Zuschnitt und Verfahrenstechnik beim Room-and-Pillar-Abbauverfahren sind abhängig vom Regelwerk, der Gebirgsmechanik und den Betriebsmitteln (Geräteeinsatz). Quadratische Festen haben gewöhnlich eine Kantenlänge von etwa 10 m bis 45 m.

Das Verfahren ermöglicht die Entzerrung der einzelnen Arbeitsvorgänge (Bohren, Sprengen, Berauben, Ankern, Laden und Fördern). So können die jeweiligen Geräte (Großbohrlochwagen, Sprenglochbohrwagen, Fahrlader usw.) zwischen den Örtern wechseln. Die Vortriebe haben i. d. R. eine Breite von 6 m bis 16 m. Die Abschlaglänge beträgt gewöhnlich 7,00 m, die sich aus der Dimensionierung der Bohrgeräte ergibt.

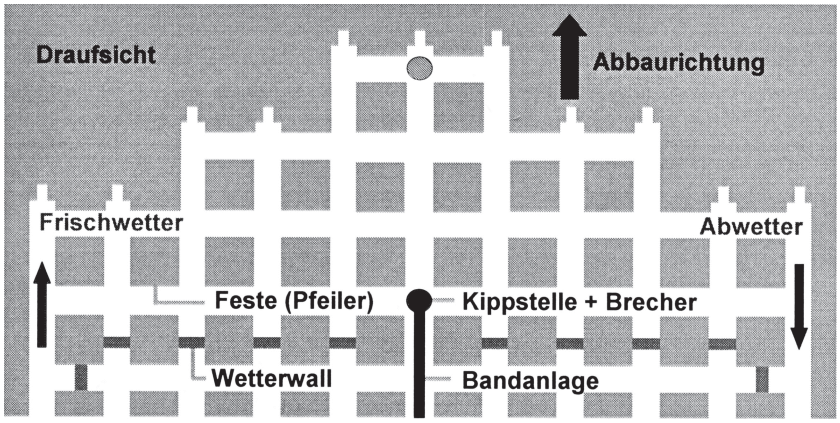


Abb. Fs-7: Das Room-and Pillar-Verfahren im Kalibergbau [27]

3.4 Größe der Abbaukammern

Die Größe der Abbaukammern ist abhängig von der Größe der Lagerstätte und der Tragfähigkeit des Gebirges. Die größten Abbaukammern entstehen im Steinsalz.

Im ungarischen Steinsalzbergbau erreichte eine Abbaukammer eine Höhe von 147 m und eine Breite von 47 m.

Zunächst werden Förderstrecken mit einer Breite von 8 m bis 16 m hergestellt – wobei diese Strecken auch Gewinnungsörter sind –, davon gehen rechtwinklig in regelmäßigen Abständen sogenannte Kammerstrecken ab, die dann in weiteren Arbeitsphasen zu Abbaukammern erweitert werden. Diese können eine Länge von 140 m bis 600 m haben. Wobei die Breite 12 m bis 22 m und die Höhe bis zu 40 m betragen kann (zur Gewinnungstechnik später).

3.5 Schachtanlagen

Zum Verbund des Werkes Werra gehören 8 Schachtanlagen mit insgesamt 15 Schächten, die betrieblich von Bedeutung sind.

7541014/10787806875Biblio

Auf der thüringischen Seite liegen drei Anlagen, und zwar Merkers I–IV, Menzengraben II + III (die Schächte dienen als Wetterschächte und ferner als Untertage-Deponien), Unterbreizbach I + II. Die Schächte sind unter Tage verbunden.

Auf der hessischen Seite liegen der Doppelschacht Herfa, der Schacht Werra, der Schacht Grimberg, der Schacht Hattorf und der Doppelschacht Ransbach. Das sind insgesamt 7 Schächte, die ebenfalls unter Tage verbunden sind.

Die gesamte Rohsalzgewinnung wird über drei Schächte mit angeschlossenen Verarbeitungsbetrieben gefördert. Die maximale Teufe der Schächte beträgt 600 m bis 1.100 m.

Seilfahrt (Personenbeförderung) und **Materialtransport** erfolgen über vier Schächte.

Zur **Bewetterung** dienen 9 einziehende und 6 ausziehende Schächte. Für Beschäftigte unter Tage, und hier besonders die Mannschaften vor Ort, ist eine ausreichende Wetterzufuhr zur Erzielung einer vertretbaren Temperatur (max. 28 °C) und Ableitung der Sprengschwaden und Auspuffgase der Diesel-Fahrzeuge und Geräte, die aber zunehmend durch E-Antrieb ersetzt werden, erforderlich.

Insgesamt werden durch das Bewetterungssystem 100.000 m³/min Luft bewegt. Die Lüfter für diese beachtliche Luftmenge haben einen Durchmesser von 4 m. Die Steuerung erfolgt wie im Steinkohlenbergbau über Wettertüren und Wettermauern bzw. Wetterdämme. Wo erforderlich, werden zur Sonderbewetterung Wetterlutten und Streckenlüfter eingesetzt.

Die Arbeitszeit vor Ort beträgt im Normalfall 7,5 Stunden einschl. 30 Minuten Pause. Dazu muss für An- und Abfahrt zum Ort eine Stunde gerechnet werden.

Abb. Fs-8: Lüfter eines ausziehenden Wetterschachtes [27]

3.6 Personal- und Geräteeinsatz

Der Personalbestand lag im Jahr 2009 bei insgesamt ca. 4.200 Mitarbeitern, davon

ca. 2.000 Mitarbeiter im Untertagebetrieb (Gewinnung + Entsorgung),
ca. 1.750 Mitarbeiter in der Weiterverarbeitung,
ca. 190 Mitarbeiter der Verwaltung,
ca. 265 Auszubildende.

7541014/10787806875Biblio

Beachtlich ist die Zahl der Auszubildenden, das sind mehr als 6 % der Gesamtbelegschaft.

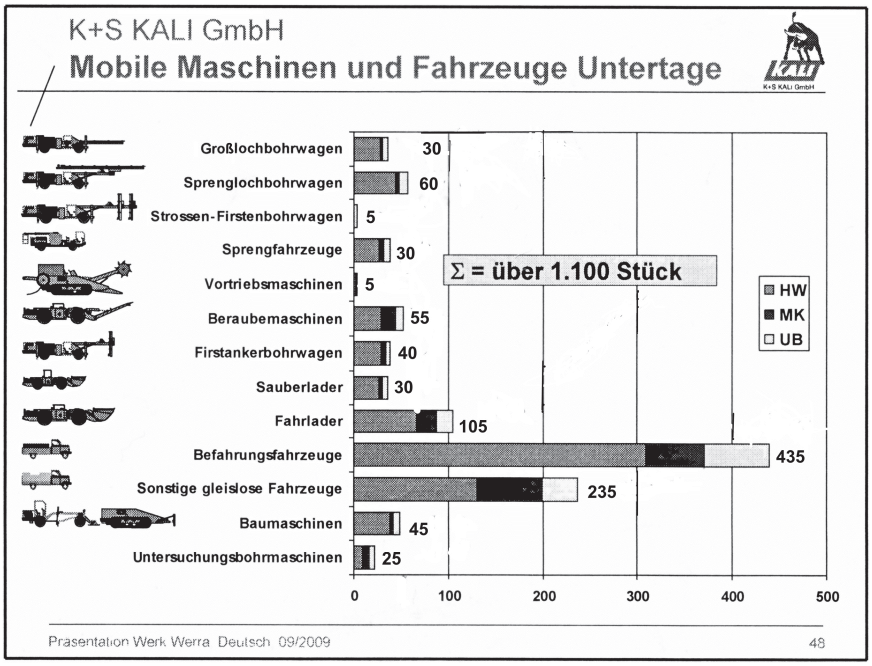
Anmerkung zur folgenden Tafel von 09/2009:

Die Geräteanzahlen können sich durchaus ändern und enthalten auch die Geräte, welche sich in der Wartung oder Reparatur befinden.

Die Abkürzung bedeuten:

HW – Hattorf-Wintershall,
MK – Merkers,
UB – Unterbreizbach.

Die in der Gewinnung, dem Material- und Personaltransport eingesetzten Geräte sind der folgenden Tafel zu entnehmen.



Leistungen und Materialverbrauch

Tagesförderung ca.:	69.000	t Kali + 29.000 t Steinsalz
Leistung ca.:	68	t je Mann und Schicht
Streckenauffahrungen ca.:	156	km im Jahr
Streckensystem gesamt zz. ca.:	600	km
Bandanlagen gesamt zz. ca.:	150	km

Energie und Materialverbrauch

Jahres-Stromverbauch ca.:	222.000	kWh
täglicher Sprengstoffverbrauch ca.:	37	Tonnen
täglicher Dieselverbrauch ca:	21.840	Liter
jährlicher Firstankereinbau ca.:	947.450	Stück

7541014/10787806875Biblio

3.7 Von der Kaue zum Vortriebsort

Der Arbeitstag der Bergleute beginnt vor jeder der drei Schichten in der „Kaue“, in der sie ihre Arbeitskluft anlegen.

Zur persönlichen Ausrüstung, die von der K+S zur Verfügung gestellt wird, gehören neben dem Arbeitsanzug Sicherheitsarbeitsschuhe, Arbeitshandschuhe, Sicherheitshelm, die Kopflampe und der Selbstretter, der den Bergmann im Ernstfall bis zu 50 Minuten mit Sauerstoff versorgt.

Die Farbe seines Helmes zeigt an, welche Aufgabe der Bergmann hat: Die Aufsichten tragen weiße Helme, die Schlosser blaue, die Elektriker grüne, die Männer, die das Salz gewinnen, gelbe, die Kräfte der Grubenwehr rote und die Sicherheitsbeauftragten orangefarbene. Diese Kennzeichnung wird auch im Steinkohlenbergbau so angewandt.

Über die Schächte Ransbach und Herfa fahren ca. 1.200 Bergleute ein, die im Grubenbetrieb der hessischen Standorte Wintershall und Hattorf arbeiten, über den Schacht Unterbreizbach II die ca. 300 Bergleute, welche im Thüringer Teil des Reviers arbeiten.

Die Förderkörbe mit vier Etagen bringen jeweils 98 Männer auf die Arbeitssohle.
Der Transport in das Arbeitsrevier erfolgt mit Personenfahrzeugen und dauert je nach Entfernung ca. 30 Minuten.
Vor Ort kontrolliert der Steiger, ein Bergbauingenieur, das Revier und teilt anschließend seine Männer auf die verschiedenen Betriebspunkte zur Arbeit ein.

Abb. Fs-9: Der Abteilungssteiger bespricht mit seinen Leuten den Einsatz. [27]

3.8 Gewinnungszyklus

Die Gewinnung findet in einem bestimmten Zyklus statt. Auch wenn die Sprengarbeit jeweils während des Schichtwechsels erfolgt, muss dies nicht bedeuten, dass der Zyklus in allen Örtern mit Laden und Abtransportieren beginnt. Es kann bei jeder Schicht der von der Vorschicht beendete Arbeitsstand fortgesetzt werden. Die Sprengungen erfolgen grundsätzlich nur während des Schichtwechsels.

7541014/10787806875Biblio

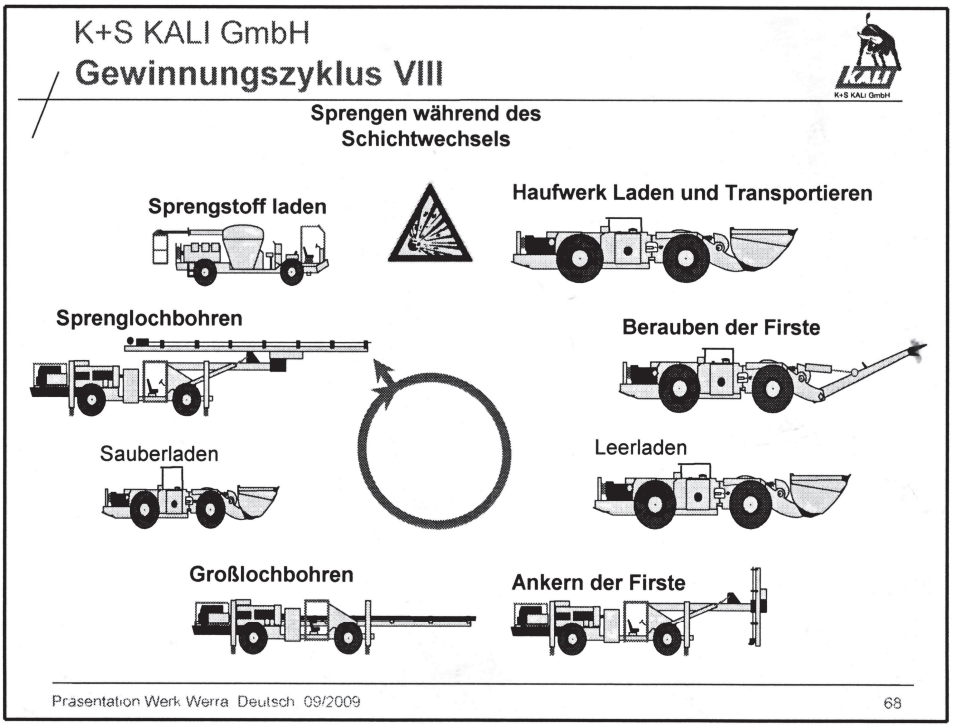


Abb. Fs-10: Der Gewinnungszyklus [27]

3.8.1 Beschreibung der Gewinnungszyklen

Für die nähere Beschreibung der einzelnen Gewinnungsarbeiten wird beispielhaft mit dem Schritt **Großlochbohrungen** begonnen.

Der Vortrieb ist sauber geladen und durch Anker gesichert. Die Vorbereitung der Sprengarbeiten, bei denen das anstehende Salzgestein aus der Lagerstätte gelöst wird, vergrößert sein Volumen um das etwa das 1,5-Fache.

- **Vorgeben der Strecke**

Zunächst kommt der Großlochbohrwagen zum Einsatz. Die Großlochbohrungen ersetzen das sog. Einbruchsprengen. Alle folgenden Sprenglochbohrungen können dadurch parallel gebohrt werden, was das Bohren vereinfacht.

Für den „Einbruch“ werden drei Löcher mit einem Durchmesser von je 280 mm auf eine Länge von 7 m in die Ortsbrust gebohrt. Das Gestein soll sich bei der Sprengung in diese Hohlräume ausbreiten können.

Der Bediener des Geräts gibt mit seiner Bohrung vor, wie die Strecke vorgetrieben wird. Er muss sich am Lagerstättenverlauf orientieren.
Im Flöz „Hessen“ markiert zum Beispiel ein natürlicher, dunkler Tonstreifen den oberen Rand der Lagerstätte. Den unteren zeigen drei Linien im Salz, die sogenannten „Würmer“ (s. Abb. Fs-11b) an.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-11a: Großlochbohrwagen [27]

Der Steiger gibt dem Fahrer des Großlochbohrwagens die Mitte der Strecke vor, nachdem er sich an Messpunkten des „Markscheiders“ orientiert hat, wie der auf unter Tage spezialisierte Vermessungsingenieur genannt wird.

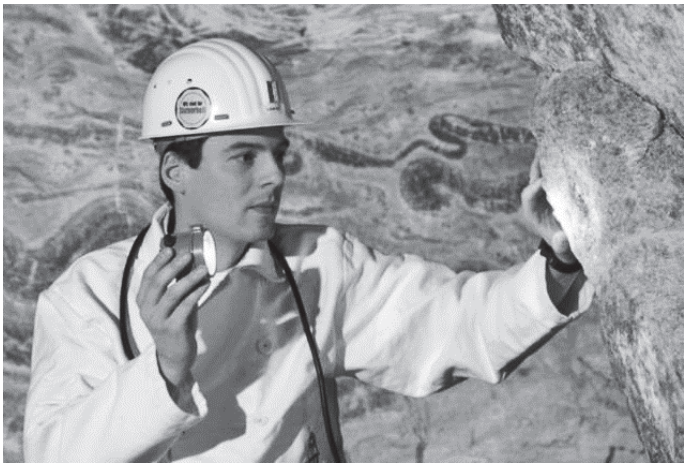


Abb. Fs-11b: Der Bergingenieur prüft den Flözverlauf. [27]

- **Bohren der Sprenglöcher**

Sind die Großbohrungen fertiggestellt, kommt der Sprenglochbohrwagen. Der Bohrhauer bohrt etwa 60 Löcher von 35 mm Durchmesser, ebenfalls 7 m tief, ins Gestein.

Computergesteuerte Bohrwagen, an deren Entwicklung K+S maßgeblich beteiligt ist, arbeiten mit höchster Präzision nach einem vorgegebenen Bohrschema (s. Abb. Fs-12a), nach dem die Bohrpunkte automatisch angefahren werden. Der Bohrgeräteführer kann jedoch auch manuell eingreifen.

Mit dem Bohrwagen werden 7 m tiefe Bohrlöcher hergestellt und im nächsten Arbeitsgang mit Sprengstoff gefüllt.

7541014/10787806875Biblio

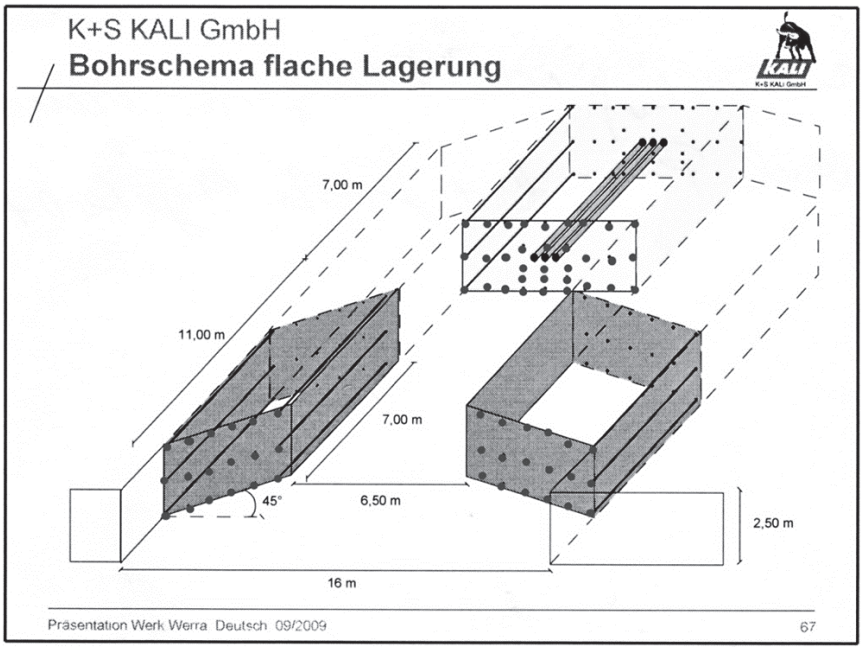


Abb. Fs-12a: Bohrschema [27]

Abb. Fs-12b: Bohren der Sprenglöcher [27]

- **Laden der Sprenglöcher**

Die Sprengarbeit ist mechanisiert, denn der Sprengstoff (ANFO) wird nicht wie früher als Patrone mit dem Ladestock ins Bohrloch geschoben, sondern in loser Form mit Hilfe eines Sprengstofffahrzeugs pneumatisch in die Bohrlöcher geblasen.

Der Sprenghauer führt zunächst den Ladeschlauch ein, der mit Zündern (sog. Millisekundenzündern) versehen ist, und füllt die Bohrlöcher mit gekörntem Sprengstoff. Der Ladeschlauch wird zeitversetzt am Schichtende zentral gezündet. Damit sich das Salz bei der Sprengung nach und nach löst, beginnt man an den Großbohrlöchern mit der

7541014/10787806875Biblio

Stufe 0. Danach werden die Stufen nach einem bestimmten System z. B. bis zur Stufe 11 vergrößert (sie auch Kap. F „Grundlagen der Sprengtechnik“). Die Stufen und damit auch die Bohrlochanordnungen sind den jeweiligen Querschnitten angepasst.

Damit die Ladung bei der Zündung nicht „ausblasen“ kann, werden die Bohrlöcher mit „Besatz“ abgeschlossen. Dieser Besatz (z. B. ein feuchtes Sand/Lehm- oder Tongemisch) kann von Helfern mit dem Ladestock oder auch über das Sprengfahrzeug eingebracht werden.

Anschließend werden die Zünddrähte verbunden und an die Hauptleitung angeschlossen und die Ladung für das Sprengen vorbereitet.

Abb. Fs-13: Beim Laden der Sprenglöcher durch den Sprenghauer wird der Sprengstoff über das Sprengfahrzeug eingeblasen. [27]

Abb. Fs-14: Der erforderlich Sprengstoff wird mit Spezialfahrzeugen angeliefert. Diese werden aus einem Sprengstoffbunker am Schacht beladen. [27]

Hinweis*:* Wenn dieser Arbeitsschritt am Schichtende liegt, wird sich die Mannschaft mit allen anderen Bergleuten der Schicht zum Schacht begeben. Vom Schacht aus werden über eine Fernzündanlage die Ladungen aller Örter, die zur Sprengung vorbereitet sind,

7541014/10787806875Biblio

gezündet. Diese werden, um zu starke Erschütterungen zu vermeiden, zeitlich versetzt. Pro Abschlag werden etwa 300 t bis 1.000 t Salz herausgelöst.

Es kann nun die Seilfahrt erfolgen – Ein- und Ausfahrt der Schichten. Während des Schichtwechsels werden die Sprengschwaden über die Wetterführung entfernt.

- **Laden und Transportieren**

Das Haufwerk wird nun von schweren Diesel- oder Elektro-Radladern, bzw. auch Fahrlader genannt, durch die Gewinnungsstrecken zu den Kippstellen der Förderbänder transportiert. Über 150 km dieser Bänder sind davon eingesetzt. Die Bänder fördern das Material zum Zentralbunker der Förderschächte, von wo es mit Gefäß-Fördereinrichtungen (Skipförderern) zu Tag gefördert wird.

Diese Radlader bzw. Fahrlader haben Tragfähigkeiten von 9 t bis 20 t, was einem Volumen von bis zu 15 m^3 entspricht. Der schwerste Radlader ist ein Caterpillar CAT 992G mit einer Tragfähigkeit von 30 t. Er ist als Bunkerlader eingesetzt. Er wurde in Einzelteile in die Unter-Tage-Werkstatt gebracht und in vier Wochen zusammengesetzt.

Abb. Fs-15: Radlader beim Salztransport in einer 35 m hohen Salzkammer [27]

Abb. Fs-16: Förderbänder an beiden Seiten der Förderstrecke [27]

7541014/10787806875Biblio

- **Berauben**

Beim Berauben werden durch das Sprengen evtl. gelockerte Schalen an den Stößen und dem Hangenden beseitigt und damit eine evtl. Gefahr für die Bergleute verhindert.

Abb. Fs-17: Berauberfahrzeug für schlagende Beraubung im Einsatz [27]

Abb. Fs-18: Fahrlader bei der Förderung des Restmaterials [27]

Nach dem **Sauberladen** folgt der Arbeitsschritt **Firstanker setzen**, dabei werden als Anker 1,2 m lange Spreizhülsenanker eingesetzt. In Abhängigkeit vom Zustand des Hangenden können die Anker auch verlängert werden (Abb. Fs-19).

Die Anker verbinden die einzelnen Salzschichten in der Firste miteinander und geben ihnen so mehr Festigkeit.

7541014/10787806875Biblio

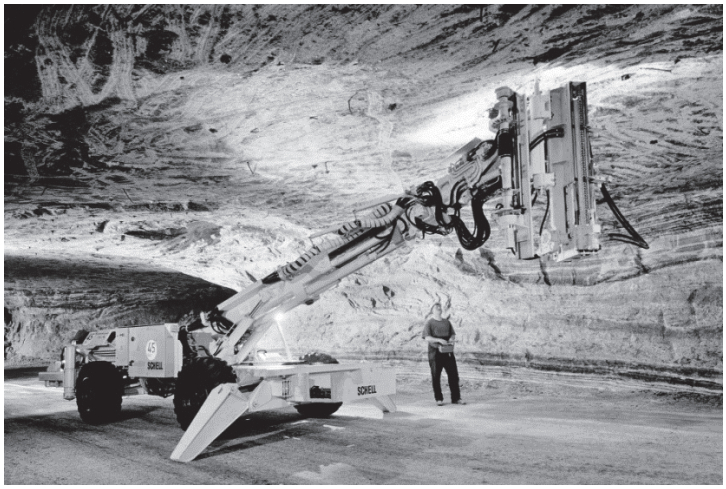


Abb. Fs-19: Ankersetzgerät mit Anker-Magazin und Fernbedienung [27]

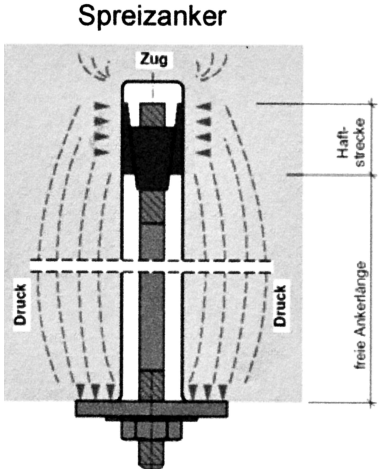


Abb. Fs-20: Spreizhülsenanker [2]

3.8.2 Einrichtungen in Schachtnähe

Der gewaltige Gerätepark von mehr als 1.100 Fahrzeugen, Radladern, Bohrgeräten und Spezialgeräten erfordert eine leistungsfähige Werkstatt für die Reparaturen und die laufende Wartung. Für den Transport in eine Über-Tage-Werkstatt müssten die meist sehr großen Geräte zerlegt, über Tage wieder montiert, für den Transport nach unter Tage nochmals zerlegt und dann wieder montiert werden. Dieser Aufwand wäre unvertretbar.

In abgebauten Salzkammern sind neben dem Salzbunker die Werkstätten, die Reservefahrzeuge, die Ersatzmaschinen sowie das Sprengstofflager und die Materiallager untergebracht.

In den Werkstätten arbeiten erfahrene Maschinen- und Elektrotechniker, die sich mit den Unter-Tage-Spezialgeräten auskennen. Ferner sind auch viele Auszubildende beschäftigt, die hier eine praxisnahe Ausbildung erfahren.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-21: Die Unter-Tage-Werkstatt [27]

3.8.3 Verwahrung

Über Tage hat sich das ehemalige Kaliwerk Merkers zum modernen Gewerbegebiet gewandelt. Unter Tage aber geht der Bergbau weiter. Allerdings wird kein Kalisalz mehr gefördert. Die Bergleute sichern Altlasten, die der intensive Salzabbau seit den fünfziger Jahren verursacht hat. Inzwischen konnte die Jahresleistung auf über 2 Mio. t gesteigert werden und die dringendsten Probleme gelöst werden.

Mindestens 30 Mio. t Steinsalz müssen in 15 Mio. m^3 unterirdischer Hohlräume versetzt werden, um sie zu stabilisieren.

Grundlage für die Arbeiten ist eine Anordnung des Thüringer Bergamtes Erfurt von 1993. Das Abbau-Verfahren entspricht weitgehend dem der Kaligewinnung. Steinsalz wird im Nordosten des Grubenfeldes durch Bohren und Sprengen gewonnen. Ferner werden Teilschnittmaschinen eingesetzt.
Lader bringen das Salz zu Kippstellen. Im Brecher wird es auf eine Körnung von maximal 200 mm zerkleinert und dann über Förderbänder mehr als 10 km weit unter Tage transportiert.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-22a: Teilschnittmaschine für die Salzgewinnung bei den Versatzarbeiten [27]

Abb. Fs-22b: Ferngesteuerte Schubraupe bei den Versatzarbeiten [27]

Mit Hilfe von Radladern sowie funkferngesteuerten Raupen werden die die 6 m bis 10 m hohen Strecken mit angefeuchtetem Steinsalz verfüllt. Dort härtet es aus und stabilisiert die geschwächten Pfeiler.

Für das von einzelnen Bereichen des Grubengebäudes ausgehende Gefährdungspotenzial wurden Gutachten erstellt. Einer entsprechenden Prioritätenreihenfolge nach werden die Hohlräume verfüllt. Dabei ist es erklärtes Ziel, die Verwahrungsarbeiten möglichst schnell voranzubringen. Dennoch werden die anstehenden Sanierungsarbeiten, die sich nicht nur auf das Versetzen von Hohlräumen beschränken, noch mindestens ein Jahrzehnt in Anspruch nehmen.

7541014/10787806875Biblio

3.8.4 Bedeutung der Vorratsbunker unter Tage[19)]

Bunker erfüllen in Grubenbetrieben eine Reihe von Aufgaben. Die Vergleichmäßigung der Förderströme in Menge und Qualität ist eine davon. Die diskontinuierliche Zuförderung aus den Abbaurevieren erfordert Zwischenspeicher, die eine möglichst gleichmäßige Auslastung der Gurtbandanlagen und gleichmäßige Wertstoffgehalte ermöglichen. Zur Sicherstellung der Versorgung der Produktionsanlagen über Tage auch am Wochenende sind wegen der Betriebsweise der Gruben Bunker notwendig. Sie sind schachtnah angeordnet. Schließlich müssen verschiedene Salzarten unter Tage gemischt werden, um ein optimales Rohsalz für die weitere Verarbeitung in den Fabriken zur Verfügung zu stellen.

3.8.4.1 Vorhandene Bunker in der K+S-Gruppe

Zurzeit sind in den Bergwerken der K+S-Gruppe ca. 40 Bunker in Betrieb mit einer Gesamtspeicherkapazität von 560.000 t. Die Bunker sind hinsichtlich Größe, Form und technischer Ausstattung sehr unterschiedlich.

Bei der Planung der Bunker spielen folgende Punkte eine entscheidende Rolle: Das Nutzvolumen wird je nach Zweck des Bunkers festgelegt. So ist bei Hauptbunkern nahe den Förderschächten der Bedarf der Fabriken über Tage am Wochenende maßgebend.

Die langjährigen Erfahrungen mit den verschiedenen Salzarten zeigen, dass diese sich als Schüttgut sehr unterschiedlich verhalten. Deswegen müssen je nach Salzart spezielle Bunkerbauarten gewählt werden. Insbesondere wirken sich die Fließeigenschaften der Salze auf die Wahl der Entspeicherungsorgane und die geometrische Form der Bunker aus.

Die Lage der Bunker im Grubengebäude wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Meist liegen sie nahe den Hauptbandachsen oder in Schachtnähe. Die großen Hohlräume müssen aus gebirgsmechanischen Gründen so geplant und hergestellt werden, dass starke Konvergenzen und Gebirgsbewegungen über die Betriebszeit der Bunker weitgehend ausgeschlossen sind. Dabei spielt neben der Anordnung in Bezug auf bereits vorhandene Hohlräume die Geologie eine wichtige Rolle. Abstand zu hangenden oder liegenden Schutzschichten sowie zu wenig standfesten Gesteinen wie z. B. Anhydrit ist zu beachten.

19) Der Inhalt diese Abschnitts ist auszugsweise dem Aufsatz „Moderne Bunkergestaltung in den Bergwerken der K+S-Gruppe“ in der Zeitschrift „Kali und Steinsalz, Heft 3/2004“ mit freundlicher Genehmigung entnommen.

7541014/10787806875Biblio

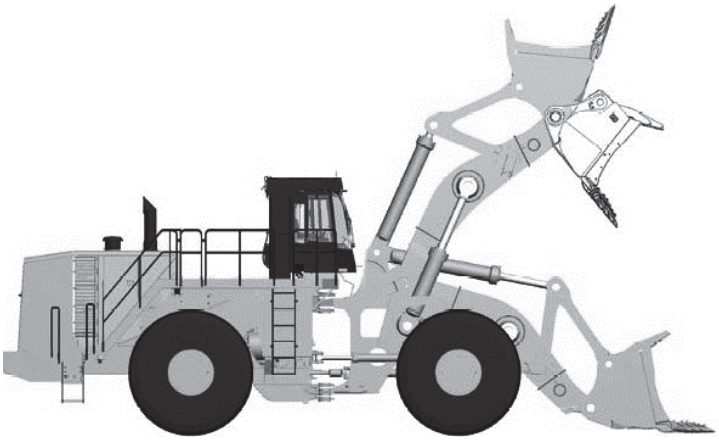


Abb. Fs-22c: Radlader CAT 992 G mit einer Traglast von 30 t und einem Schaufelinhalt von ca, 12 m³. Die Motorleistung beträgt 640 kW (832 PS). Er ist als Bunkerlader eingesetzt – (Systemdarstellung). [CAT]

Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Planung von Bunkern ist die Aufgabe, die der Bunker zu erfüllen hat. Im Gegensatz zu Bunkern, die zur Vergleichmäßigung oder Dosierung im Durchlauf betrieben werden, lagert Salz in Vorratsbunkern über längere Zeiträume. Erfahrungsgemäß bedeuten längere Lagerzeiten auch Schwierigkeiten beim Entspeichern. Diesem Umstand muss durch die Wahl geeigneter Bunkerformen und entsprechender Be- und Entspeicherungsorgane Rechnung getragen werden.

Schließlich ist ein wesentliches Kriterium die Wirtschaftlichkeit. Bei der Planung sind bergmännische Herstellungskosten und Investitionskosten für maschinelle und elektrotechnische Ausstattung der Bunker zu betrachten. Weiterhin sind die zu erwartenden Betriebskosten zu berücksichtigen.

Bis vor einigen Jahren plante und baute man Bunker im Kali- und Steinsalzbergbau weitgehend auf der Basis von Erfahrungen. Zum Teil wurde bei der Ausführung der maschinellen Einrichtungen auch auf Wissen entsprechender Lieferfirmen zugegriffen.

3.8.4.2 Beispiele genutzter Bunker

- **Hartsalzbunker Neuhof-Ellers**

Zur Versorgung der Fabrik am Wochenende wurde Anfang der 70er Jahre ein Steilbunker nahe des Förderschachtes Neuhof errichtet.

Bei einer Höhe von ca. 50 m fasst der Bunker rund 27.000 t. Die Bespeicherung erfolgt über eine verfahrbare Gurtbandanlage am Kopf des Bunkers.
Als Austragsorgane sind unter den Austragsschlitzen zwei Stegkettenförderer montiert. Das Salz muss frei zu den Auslaufschlitzen fließen.

- **Sylvinitbunker in Zielitz (ZI)**

Zur Speicherung für die Wochenenden sind zwei Großbunker mit einem Fassungsvermögen von je 35.000 t gebaut worden. Die Bespeicherung erfolgt über Rolllöcher, die Entspeicherung über Schwingrinnen.

7541014/10787806875Biblio

Je Bunker sind 8 Schwingrinnen installiert. Auch hier, wie bei allen Steilbunkern, muss das Salz aufgrund der Schwerkraft nachlaufen.

- **Mischsalzbunker im Werk Werra-Grube Hattorf (HA)**

Ein schwieriges Schüttgut – carnallitisches Rohsalz – fördert die Grube Hattorf. Zur Bevorratung für die Wochenenden wird hier in Kammern mit einer Länge von 80 m bei 20 m Breite und 15 m Höhe Salz gelagert. Die Bespeicherung erfolgt über reversierbare Gurtbandanlagen an der Kammerfirste. Carnallitisches Rohsalz neigt sehr stark zum Verbacken.

Eine Entspeicherung ähnlich den oben vorgestellten Steilbunkern führt zu erheblichen Problemen. Die Entspeicherung erfolgt hier durch einen Radlader der Firma Caterpillar Typ CAT 992 mit einem Schaufelinhalt von 30 t.

- **Feldbunker für Hartsalz in Neuhof-Ellers (NE)**

Als Feldbunker zur Vergleichmäßigung und Dosierung verfügt die Grube Neuhof-Ellers über einen weiteren Hartsalzbunker. Dieser Bunker mit einem Fassungsvermögen von rund 8.000 t ist ebenfalls als Steilbunker ausgeführt. Die Bespeicherung erfolgt über Rolllöcher.

Zur Entspeicherung sind hier zwei breite Kettenförderer parallel direkt im Bunker eingebaut.

- **Erfahrungen, Vor- und Nachteile der vorgestellten Bunker**

Im Rahmen verschiedener Projekte waren ab dem Jahr 2001 eine Reihe neuer Bunker in verschiedenen Bergwerken zu planen und zu errichten. Um hierfür ein optimales Konzept zu erstellen, wurde im Februar 2002 ein Kompetenzzentrum Bunker bei der K+S-Gruppe gegründet.

Dieses ist interdisziplinär zusammengesetzt. Die Gruppe führte als Erstes eine Datensammlung und Analyse der zurzeit betriebenen und z. T. auch stillgelegten Bunker durch.

Als Beispiel einige Erfahrungswerte zu den oben vorgestellten Bunkern: Die beschriebenen Steilbunker sind alle für mannlosen Betrieb geplant, zeitweise ist auch der Betrieb mannlos möglich.

Ungünstige geometrische Form und Austragsgestaltung führen jedoch mehr oder weniger häufig zu Problemen bei der Entspeicherung, insbesondere nach längeren Ruhephasen. Es bilden sich Brücken und Schlote sowie Wächten. Häufig rutscht das gespeicherte Material nicht mehr selbständig nach. In einzelnen Fällen kam es in der Vergangenheit durch einstürzende Brücken auch zur Zerstörung von Entspeichereinrichtungen.

Auf weitere Beschreibungen wird hier nicht eingegangen.

7541014/10787806875Biblio

3.9 Technik über Tage

Die Anlagen und Tätigkeiten über Tage umfassen:

- die gesamte Weiterverarbeitung des geförderten Materials,
- Prüf- und Untersuchungslabore,
- Verpackung,
- Verladeeinrichtungen,
- Transporteinrichtungen,
- Werkstätten,
- Rückstandsbeseitigung.

3.9.1 Weiterverarbeitung

Auf die Produktion und die übrigen Betriebseinrichtungen über Tage kann hier nur kurz eingegangen werden.

Bei der Aufbereitung und Produktion werden folgende Verfahren angewendet:

Die **Heißverlösung** – sie basiert auf dem temperaturabhängigen Lösungsverhalten des Rohmaterials.

Das **Flotationsverfahren** – es beruht darauf, dass die zu trennenden Minerale in einer gesättigten Salzlösung suspendiert werden, in die Luft eingeblasen wird.

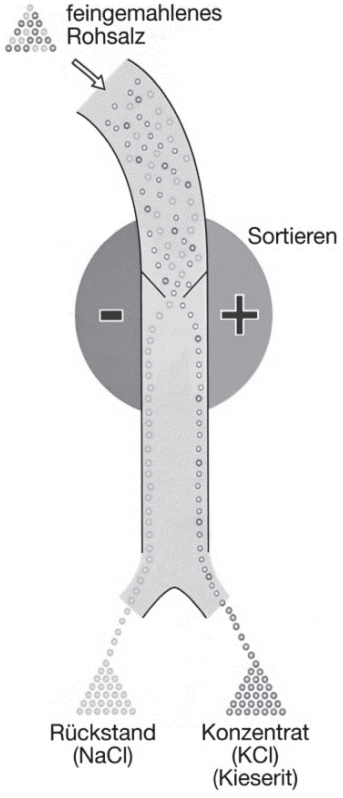
Das **ESTA®-Verfahren** – eine Entwicklung von K+S. Dabei wird zunächst das Rohsalz zu einer Korngröße von einem Millimeter fein aufgemahlen, damit das Mineralgemisch in seine Bestandteile aufgeschlossen werden kann. In einem nächsten Schritt werden die Salze mit oberflächenaktiven Substanzen in einem „Fließbett“ bei genau definierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit behandelt, so dass sie sich selektiv gegeneinander elektrisch positiv bzw. negativ aufladen. Auf diese Weise geladen, rieseln die Salzkristalle durch einen „Freifallscheider“. Dieser besteht im Wesentlichen aus zwei Elektroden, zwischen denen ein elektrisches Hochspannungsfeld vorhanden ist.

Hier werden die unterschiedlich elektrisch geladenen Kristalle zur Anode bzw. Kathode abgelenkt. Unterhalb der Freifallscheider werden die wie „von Geisterhand“ sortierten Mineralien getrennt aufgefangen.

Zu den rd. 20 Fertigprodukten des Kaliwerkes Werra gehören u. a.: Düngemittel für die Landwirtschaft, Einsatzstoffe für die Industrie und Auftaumitteln für den Winterdienst sowie hochreine Salze für Lebensmittel und die Pharma-Industrie.

Neben dem sogenannten 60er Kali, das zu 95 % aus Kaliumchlorid besteht, gibt es als feines, staubfreies und granuliertes Salz Kaliumsulfat, das neben Kali auch Schwefel als weiteren wichtigen Pflanzennährstoff enthält. Es wird ebenfalls in feiner und granulierter Form hergestellt.

7541014/10787806875Biblio



Magnesium- und schwefelhaltige Produkte, wie Kornkali, Patentkali oder der Golfplatzdünger Gazon, gehören ebenso zum Angebot wie die Magnesiumsulfatprodukte Kieserit, Magnesiumsulfat wasserfrei und Bittersalz.

Magnesiumchloridlösung wird für verschiedene Anwendungen in der Industrie, aber auch bei der Feuchtsalzstreuung – zusammen mit Auftausalz – eingesetzt.

Auch eine weitere Produktgruppe aus dem Werk Werra muss ganz besondere Anforderungen in punkto Qualität und Reinheit erfüllen: die hochreinen Salze (Kaliumchlorid, Kaliumsulfat und Natriumchlorid). Sie werden in Wintershall und Bittersalz (Magnesiumsulfat) in Hattorf in höchsten Reinheitsstufen hergestellt.

Hochreine Salze von K+S leisten einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung und Wiederherstellung der Gesundheit. Sie werden in der Pharma- und Lebensmittelindustrie eingesetzt und finden sich zum Beispiel in Infusionslösungen und Standard-Injektionen, sie dienen als Trägerlösungen für Arzneimittel und sind in Mineraldrinks, Sportlernahrung und diätetischen Lebensmitteln enthalten.

Abb. Fs-22d: Das ESTA®-Verfahren – schematisch dargestellt [27]

Ein weiterer Anwendungsbereich für Kaliumsulfat und Magnesiumsulfat liegt im industriellen Bereich, wo sie in vielfältigen Prozessen als Zusatz- oder Hilfsstoffe gebraucht werden. Hier reicht die Bandbreite von der Baustoff- und Futtermittel-Industrie über die Zellstoff- und Waschmittel-Herstellung bis hin zu Kunststoffen, Leder und Viskose. Bei einer Rohsalzgewinnung von ca. 24.4 Mio. t betrug der Anteil der Fertigprodukte ca. 3,3 Mio. t/a (Stand 2006).

Abb. Fs-23: Verladebahnhof der K+S Werk Zielitz [27]

7541014/1078780687 5Biblio

3.9.2 Rückstandsbeseitigung

3.9.2.1 Entwicklung

Nach dem 2. Weltkrieg und der Teilung Deutschlands wurden einvernehmliche Abstimmungen über die Salzwassereinleitung zunehmend schwerer und brachen schließlich ganz ab. 1968 wurde in den Thüringer Betrieben auch die Versenkung von Kaliabwässern eingestellt. Die Abwässer waren bis dahin – wie in Hessen – in den Plattendolomit „versenkt“ worden, ein mit Hohlräumen durchsetztes Gestein, das in 500 m Tiefe zwischen tonhaltigen Schichten eingeschlossen ist. Die ostdeutschen Kaliwerke des Werra-Reviers leiteten fortan ihre Abwässer ausnahmslos in den Fluss und steigerten gleichzeitig ihre Produktion bis 1988 stetig.

Die Werke in Hessen hielten dagegen die behördlich vorgegebenen Grenzwerte ein, nach denen es ihnen gestattet war, die Werra um einen Chloridgehalt von 973 mg/l „aufzusalzen“. Die Einhaltung dieser Vorgaben war nur möglich durch die weitere Versenkung von Salzabwässern und durch die Einführung der elektrostatischen Aufbereitung (ESTA®).

Beim ESTA®-Verfahren wird nach Zerkleinerung und Konditionierung des Rohsalzes in einem 1. Verfahrensschritt Steinsalz trocken abgetrennt und anschließend aufgehaldet. Die Steinsalzhalden in Wintershall und Hattorf sind sichtbare Zeichen eines konsequenten Gewässerschutzes.

3.9.2.2 Versenkung der Rückstände

Bei der Verarbeitung von Rohsalzen fallen unvermeidbar salzhaltige Abwässer an. Diese werden soweit wie möglich im Produktionsverfahren wiederverwendet. Die übrigen Abwässer werden in dafür angelegten Teichen zunächst geklärt und dann, den gesetzlichen Auflagen entsprechend, kontrolliert und dosiert an den Vorfluter abgegeben. Im Kalirevier an der Werra und der Fulda stellt die Beseitigung solcher Abwässer durch Versenkung in den Plattendolomit eine Besonderheit dar.

Der Plattendolomit ist eine sehr poröse geologische Schicht in ca. 400 m Tiefe oberhalb des Salzlagers. Mächtige wasserdichte Tonschichten trennen ihn von dem darüber liegenden und Süßwasser führenden Buntsandstein sowie von dem darunter liegenden Salzlager.

Das Versenkungsgebiet wird durch ein enges Netz von Kontrollbrunnen überwacht. Mit Einführung des ESTA®-Verfahrens konnte der Anfall salzhaltiger Abwässer in den Werken der K+S KALI GmbH drastisch verringert werden.

7541014/10787806875Biblio

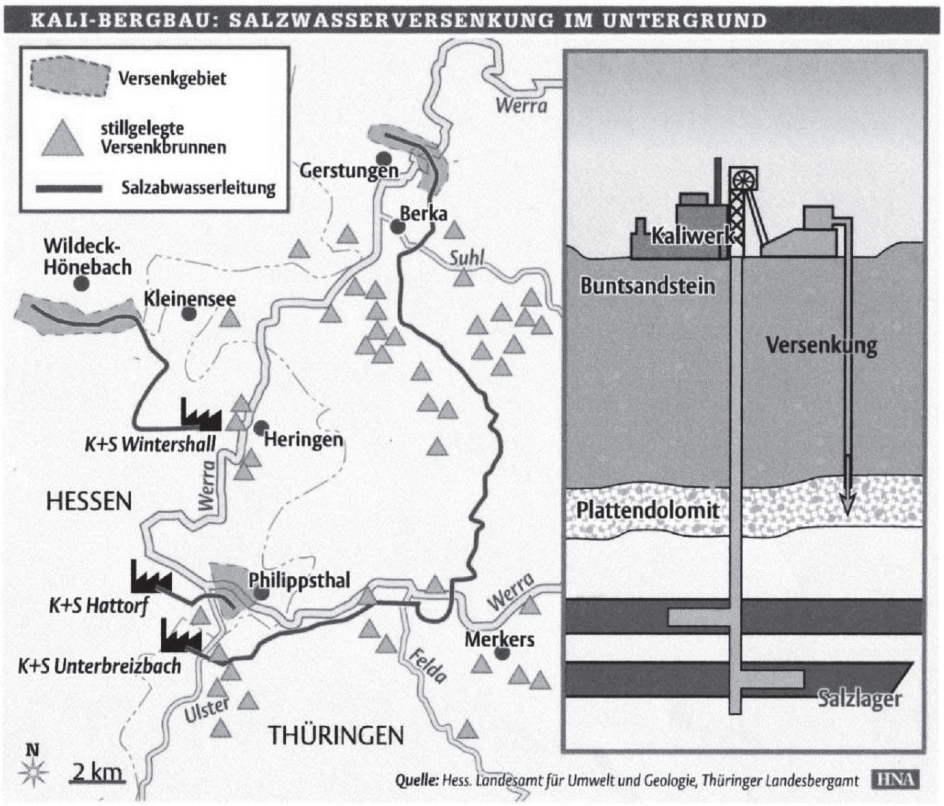


Abb. Fs-24: Rückstandsbeseitigung durch Tiefenversenkung, Aufhalden und Einleitung in die Werra [27]

3.9.2.3 Aufhaldung

Durch die Versenkung hat die Menge des trocken anfallenden Rückstandes zugenommen. Der gesamte feste Rückstand wird aufgehaldet oder, wenn es die geologischen Gegebenheiten wie in Niedersachsen zulassen, zum Verfüllen der beim Abbau des Rohsalzes entstehenden Hohlräume genutzt. Die Rückstandshalden werden so hoch wie möglich aufgeschüttet, um Fläche zu sparen.

In den K+S-Werken konnte nach Einführung des energiesparenden ESTA®-Verfahrens und nach Optimierung der Energieerzeugung in den Kraftwerken durch die Kraft-Wärme-Kopplung der Brennstoffverbrauch und entsprechend auch der Ausstoß von Kohlendioxid erheblich verringert werden.

7541014/10787806875Biblio

Der Untergrund wird gegen Versickern von versalzenem Niederschlagswasser geschützt. Das Haldenwasser wird in Ringgräben gesammelt und über Ausgleichsbecken kontrolliert abgeleitet.

Abb. Fs-25: Rückstandshalden – schematische Darstellung [27]

3.10 Umweltschutz und Renaturierung

- **Vermeidung von Umweltschäden**

An allen in- und ausländischen Standorten bemüht sich die K+S-Gruppe um sicheres und umweltverträgliches Produzieren und Wirtschaften. Dazu zählen die Schonung von Ressourcen, die Begrenzung von Emissionen sowie die Vermeidung von Abfällen durch umweltschonende Anlagen und Verfahren. Dazu gehört das ESTA®-Verfahren, das von K+S patentierte elektrostatische Aufbereitungsverfahren. Es wurde bereits ausführlich beschrieben.

Abb. Fs-26: Kalihalde mit Ablaufgräben [27]

7541014/10787806875Biblio

- **Höchste Energieeffizienz dank Kraft-Wärme-Kopplung**

Für die Herstellung unserer Spezial- und Standarddüngemittel und Salzprodukte sind eine Vielzahl von Aufbereitungsschritten und ein hoher Energieeinsatz notwendig. Die für den Produktionsprozess erforderliche Energie – Strom und Wärme – wird fast ausschließlich aus Erdgas erzeugt. Lediglich für Raumwärme werden in geringem Umfang Heizungsanlagen mit leichtem Heizöl betrieben, die einen niedrigeren Wirkungsgrad haben.

Alle K+S-Standorte verfügen über eigene Kraftwerke, die mit modernsten Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung ausgestattet sind. An den Standorten Neuhof-Ellers und Zielitz sowie im Verbundwerk Werra wurde die Brennwerttechnik eingeführt.

Hier wird die Restwärme der Kraftwerksabgase zum Aufwärmen von Kesselspeisewasser oder zur Beheizung des Förderschachtes genutzt. Dank erfolgreicher Optimierungsmaßnahmen liegt der Wirkungsgrad unserer Kraftwerke inzwischen bei über 90 %.
Die Standorte arbeiten so energieeffizient, dass sich nach heutigem Stand der Technik selbst durch weitere Investitionen keine spürbaren Emissionsminderungen mehr erreichen lassen.

Damit tragen diese Anlagen bereits seit Jahren erheblich zu den deutschen Klimaschutzzielen bei. K+S ist seit 1996 Partner der zwischen der Bundesregierung und der deutschen Industrie vereinbarten Selbstverpflichtung zur Klimavorsorge.

- **Abfälle langzeitsicher entsorgt**

Der Geschäftsbereich Entsorgung und Recycling betreibt zwei Unter-Tage-Deponien (Herfa-Neurode und Zielitz) sowie vier Unter-Tage-Verwertungen. Die eingelagerten Abfälle werden der Biosphäre langzeitsicher entzogen – eine Leistung, die keine übertägige Deponie erbringen kann. Da die Nachsorgefreiheit gewährleistet ist, fallen langfristig keinerlei Sanierungs- oder Unterhaltskosten an. Auswirkungen der eingelagerten Abfälle auf Mensch und Umwelt sind ausgeschlossen.

Das Salzgestein ist gas- und flüssigkeitsdicht und gewährleistet den vollständigen Einschluss der Abfälle. Die Salzlagerstätten sind durch wasserundurchlässige Tonschichten überlagert, die das darunter liegende Salz sicher von den grundwasserführenden Schichten trennen. Dadurch ist der dauerhafte Abschluss der Abfälle von der Biosphäre gewährleistet.

Nach Beendigung des Betriebes werden die zugehörigen Schächte wasserdicht und langzeitsicher nach dem Stand der Technik verschlossen.

Die Verwertungsanlagen sind nach Bergrecht zugelassen, die Deponien nach Abfallrecht genehmigt. Alle Betriebe entsprechen den Vorgaben der EU-Gesetzgebung und der Deponie- beziehungsweise der Versatzverordnung.
Im Rahmen der aufwändigen Genehmigungsverfahren wurde in mehreren Gutachten die geologische, hydrogeologische, bergtechnische und geomechanische Eignung der Standorte nachgewiesen.
Die Betriebe werden regelmäßig durch staatliche Aufsichtsbehörden kontrolliert, sind als Entsorgungsfachbetriebe zertifiziert und verfügen über zertifizierte Qualitätsmanagementsysteme.

Für die untertägige Beseitigung in den Deponien eignen sich anorganisch toxische Abfälle, die nicht explosiv, selbstentzündlich, radioaktiv, ausgasend und nicht selbstgängig brennbar sein dürfen.

7541014/10787806875Biblio

Außerdem werden keine freien Flüssigkeiten eingelagert und die Stoffe dürfen nicht reaktionsfähig mit dem Salzgestein sein. In Frage kommen beispielsweise Verbrennungsrückstände, arsen- oder quecksilberhaltige Abfälle, PCB-Transformatoren, Kondensatoren sowie kontaminierte Böden und Bauschutt. Bei Bedarf können bereits eingelagerte Stoffe ohne größeren Aufwand wieder auf die Erdoberfläche zurückgeholt werden. Dies geschieht momentan mit ausgedienten Trafos, nachdem eine Aufbereitung und Verwertung des Kupferanteils aufgrund stark gestiegener Kupferpreise mittlerweile wirtschaftlich geworden ist.

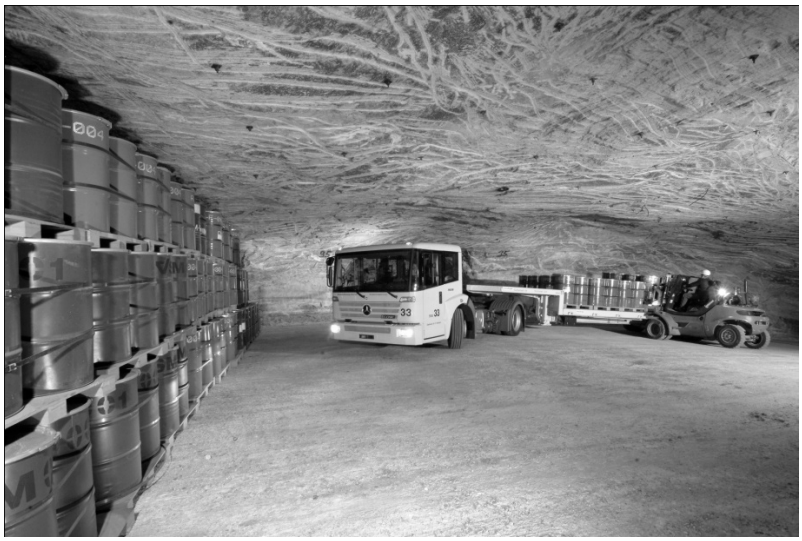


Abb. Fs-27: In ihrer Verpackung, sog. Big-Bags, oder in Fässern (wie im Bild gezeigt) oder auch Stahlblech-Containern können die Abfälle sicher transportiert und eingebracht werden. Die Einlagerungskammern gleichen einem aufgeräumten Lagerhaus. [27]

Die genehmigten Einlagerungshohlräume beider Unter-Tage-Deponien reichen bei den derzeitigen Einlagerungsmengen mehrere Jahrzehnte aus.

Aufgrund des Kaliabbaus entstehen kontinuierlich weitere Hohlräume, die nach Erweiterung der entsprechenden Genehmigung ebenfalls für die Abfalleinlagerung genutzt werden können. Somit stehen standsichere und wasserdichte Hohlräume für einen Einlagerungszeitraum von weit über 200 Jahren zur Verfügung.

Zugelassene bergbaufremde Abfälle werden hier zur Verfüllung dafür geeigneter Hohlräume verwendet.
Durch spezielle Verfahren wird eine Stützwirkung erreicht, die die Stabilität der Hohlräume über extrem lange Zeiträume, das heißt viele tausend Jahre hinweg, sichert. Für die untertägige Verwertung geeignet sind Klärschlammverbrennungsaschen, Filterstäube, Rauchgasreinigung von Hausmüll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen, verunreinigte Böden und Bauschutt sowie Eindampfrückstände von Deponiesickerwässern. Bei der Verwertung unter Tage werden die stofflichen Eigenschaften der Abfälle genutzt, um einige ältere Grubenbereiche zu stützen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-28: Ist eine Einlagerungskammer mit Abfällen gefüllt, wird der Bereich mit einer Mauer verschlossen. Neben der Verpackung und der Abschottung durch die geologischen Schichten sorgt diese Maßnahme für zusätzliche Sicherheit. [27]

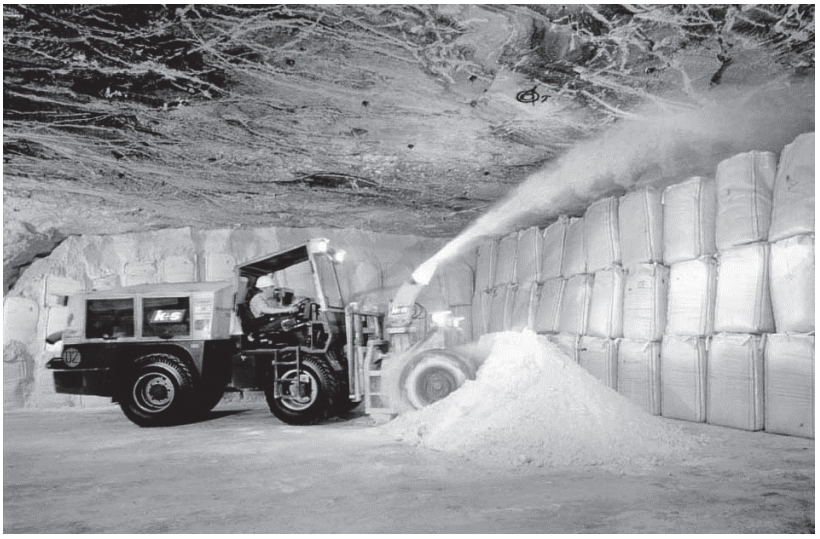


Abb. Fs-29: Beim Stapelversatz dienen Big-Bags mit Abfällen als ‚Bausteine'.
Die Verschleuderung der Lücken mit Salz sorgt für die Anbindung an das Gebirge. [27]

- **Haldenbegrünung durch Baustoffrecycling**

Mittels dieser Aktivität sollen die Halden mit Boden und Bauschutt abdeckt werden. K+S hat sich für diesen inaktiven Standort entschieden, da er in einem dicht besiedelten städtischen Raum liegt, der ein großes Potenzial an Boden- und Baustoffmengen bietet.

7541014/10787806875Biblio

Zusätzlich sind sehr gute, direkte Anbindungen an Wasserstraße, Schiene und Straße gegeben. Außerdem gab es am Haldenfuß genügend Platz für die notwendige technische Infrastruktur. Für die Haldenabdeckung werden unterschiedlichste Bodenarten (Steine, Sand, Kies usw.) und Bauschutt verwertet.

Nach der vollständigen Abdeckung kann Niederschlagswasser nicht mehr an die Rückstandshalde gelangen. Somit wird die Entstehung von salzhaltigen Haldenwässern vermieden. Außerdem fügt sich die abgedeckte Halde in das Naherholungskonzept der umgebenden Städte und Gemeinden ein.

Die Abdeckung der Halde wird in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Mengen an Abdeckungsmaterialien in 15 bis 25 Jahren fertiggestellt sein.

- **Haldenerweiterungen und Naturschutz**

Auf den Standorten des Geschäftsbereichs Kali- und Magnesiumprodukte werden die bei der Rohsalzverarbeitung unvermeidbar anfallenden Rückstände aufgehaldet. In den Jahren 2003 und 2004 hat K+S die Genehmigungen erhalten, die Haldenflächen an den Kali-Standorten Neuhof-Ellers und Hattorf zu erweitern.
Damit haben die zuständigen Behörden in Hessen und Thüringen klare Rahmenbedingungen für die Fortführung der Betriebe geschaffen.

Am Standort Hattorf kann die Halde bis zum Jahr 2025 wachsen und bietet Platz für weitere 100 Mio. t Rückstand.

Um möglichst wenig Fläche in Anspruch nehmen zu müssen, ist eine kompakte Haldenform geplant. Dies hat den Vorteil, dass die durch Niederschläge entstehenden Haldenwässer minimiert werden. Am Standort Neuhof-Ellers reicht die genehmigte Erweiterungsfläche bei der derzeitigen Produktionsmenge aus, um bis zum Jahr 2035 jährlich 2 Mio. t Rückstand aufzuhalden.

Bereits während des Genehmigungsverfahrens, an dem unter anderem das Regierungspräsidium bzw. Landesverwaltungsamt beteiligt war, hat K+S eine Vielzahl von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen auf den Weg gebracht, um den Eingriff in die Natur zu kompensieren. So wird K+S einen Biotop-Verbund zwischen dem Dreienberg und dem Landecker Berg herstellen und das auf dem ehemaligen Grenzstreifen entstandene „grüne Band“ durch Neuanlage von Biotopen erhalten.

Eine sogenannte „Fischtreppe“ in der Werra für das Wehr im Bereich des Flusskraftwerkes Harnrode verbessert die Durchgängigkeit der Werra für Fische und Kleintiere. An den Ufern der Lüder ist ein sechs Hektar großer Auenwald entstanden.
In einer gemeinsamen Aktion pflanzten Schüler, Mitglieder des Angelsportvereins und Mitarbeiter des Forstamtes Fulda über 20.000 Bäume und Sträucher.
Im Ergebnis sind Lebensräume entstanden, die in Zukunft eine große Artenvielfalt und eine hohe Anzahl von Pflanzen und Tieren beheimaten sollen.
Auch für die Menschen sind diese Räume bei ihrer Suche nach Erholung von Bedeutung. K+S hat die Projekte unter Beteiligung der umliegenden Gemeinden, der zuständigen Behörden und Verbände vorbereitet und geplant.

Insgesamt hat K+S für diese Maßnahmen Aufwendungen in Höhe von 7 Mio. € vorgesehen. Auf diese Weise ist eine zunehmende Akzeptanz der für den Betrieb notwendigen Halden bei der Bevölkerung erreicht worden.

7541014/10787806875Biblio

An zwei Standorten werden derzeit Projekte zur Haldenbegrünung durchgeführt. Allerdings eignen sich hierfür nicht alle Haldenstandorte. Durch die Begrünung kann Niederschlagswasser nicht mehr an die Rückstandshalde gelangen. Somit wird die Entstehung von salzhaltigen Haldenwässern vermieden

Abb. Fs-30: Begrünung eine Kaliabraumhalde der ehemaligen Kaliwerkes Friedrichshall in Lehrte [27]

- **Verwahrung**

Sofern eine sinnvolle Nachnutzung der Bergwerke nicht möglich ist, werden die Schächte mit Hartgesteinsmaterial verfüllt und die Grubenhohlräume der Bergwerke mit steiler Lagerung geflutet, man spricht von Verwahrung. Die oberirdischen Flächen werden genau untersucht und aufgespürte Altlasten beseitigt. Zurzeit werden in Niedersachsen acht Standorte verwahrt; bei elf Standorten ist die Verwahrung bereits abgeschlossen.

3.11 Erlebnis-Bergwerk Merkers

Nachdem die Salzreserven im Bereich der Schachtanlage Merkers erschöpft waren, wurde sie 1991 in eins der größten Besucherbergwerke umfunktioniert.

Fast einen Kilometer tief geht es unter die Erde – in ein stillgelegtes Salzbergwerk. Noch bis vor zehn Jahren wurde hier Salz abgebaut. Die Kaligrube Merkers im Werratal an der hessisch-thüringischen Grenze ist jetzt für die Öffentlichkeit zugänglich und bietet ein großartiges Erlebnis der unterirdischen Art.

Wie für echte Bergleute gibt es für die Besucher auch die richtige Ausrüstung. Ohne Helm und Geleucht kommt hier niemand runter. Durch den Schacht geht es mit dem Förderkorb ab ins Salz.
90 Sekunden später und 400 Meter tiefer herrschen ganzjährig Temperaturen von über 20 Grad. Im Grubenwagen (offener Lkw) geht es insgesamt 20 km durch das schier endlose unterirdische Salzlabyrinth in der Größe einer Stadt wie Kassel.

Die über die Grenzen Thüringens hinaus bekannte Kristallgrotte ist einer der Höhepunkte auf der Tour durch das Erlebnis-Bergwerk Merkers, das heute zur K+S-Gruppe gehört. 800 m unter der Erdoberfläche wurde 1980 bei bergmännischen Arbeiten der Hohlraum entdeckt, der sich bei näherer Erkundung als einzigartige Schatzkammer erwies.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-31: Um das Erlebnis Kristallgrotte für die Besucher noch eindrucksvoller zu gestalten, setzt eine Licht- und Toninstallation die Kristalle in Szene. Das Salz glitzert und funkelt im Scheinwerferlicht und die musikalische Untermalung sorgt für eine besondere Stimmung. [27]

Abb. Fs-32: Riesen-Salzkristalle [27]

7541014/10787806875Biblio

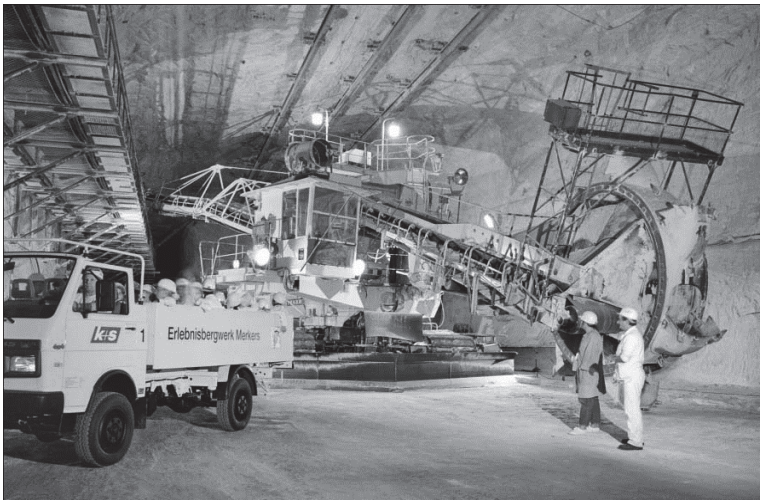


Abb. Fs-33: Der ehemalige Großbunker des Bergwerkes ist ein durch seine Abmessungen beeindruckender Hohlraum, in dem sich noch heute der größte untertägig eingesetzte Schaufelradbagger der Welt befindet. [27]

4 Kaliwerk Sigmundshall

Das Kaliwerk Sigmundshall der K+S Kali GmbH mit den Schächten Sigmundshall, Weser und Kolenfeld befindet sich nordwestlich von Hannover bei Wunstorf. Der Salzstock, aus dem seit nunmehr 110 Jahren Kalisalz abgebaut wird, erstreckt sich vom Steinhuder Meer über eine Länge von 12 km in südöstlicher Richtung bis in das Deistervorland bei Barsinghausen.

Abb. Fs-34: Gesamtansicht des Salzwerkes Sigmundshall mit Schacht und Rückstandshalde [V40]

7541014/10787806875Biblio

4.1 Förderung und Rückstandsmengen

Abgebaut wird das Sylvinitlager (Flöz Ronnenberg) mit 2 m bis 30 m Mächtigkeit und durchschnittlichen K_2O-Gehalten um 17 %, und seit 2001 das Hartsalzlager (Flöz Staßfurt) mit 11,6 % K_2O und 32,7 % Kieserit. Die Tagesförderung liegt heute bei 12.000 t Rohsalz.

Die Förderung erfolgt über Schacht Sigmundshall (Schachtkapazität 650 t/h) aus Tiefen zwischen 350 m und 1.400 m. Für die Grubenbewetterung sorgt ein Grubenlüfter mit einer installierten Leistung von 1,2 MW, der eine Wettermenge von 27.000 m^3/min durch das Grubengebäude befördert. Das entspricht einer Menge von 36.000 t Luft/Tag (also der 3-fachen Rohsalzförderung), die außer zur Wärmeabfuhr auch deshalb erforderlich ist, weil zahlreiche Dieselfahrzeuge im Einsatz sind und weil die Explosionsschwaden aus den Abbaubetriebspunkten entfernt werden müssen.

Hartsalz und Sylvinit werden getrennt und alternierend gefördert und verarbeitet. Das sylvinitische Rohsalz wird in einem Heißlösebetrieb und in einer Flotationsanlage verarbeitet.

Für das kieseritische Hartsalz wurde 2001 eine elektrostatische Aufbereitungsanlage (ESTA®-Anlage) in Betrieb genommen.

Ab 2001 besteht die Förderung jeweils zur Hälfte aus Hartsalz und aus Sylvinit (Gerland, 2000). Der Anfall von Rückständen aus der Sylvinitverarbeitung beläuft sich somit auf ca. 1,0 Mill. t/a. Beim Hartsalz mit Kieseritgehalten von 32,7 % und Sylvinitanteilen von 18,3 % ergibt sich ein Rückstandsanteil von 49 %, also rund 700.000 t/a.

4.2 Abbauverfahren

Im Laufe der über hundertjährigen Geschichte wurde mit dem abwärts geführten Weitungsbau eine Teufe von 1.400 m erreicht.

Der Abbau der steilstehenden Lager im norddeutschen Raum erfolgt fast ausschließlich durch das im Kalibergbau bewährte Trichterbauverfahren.
So entstehen Abbaukammern von 140 m bis 600 m Länge, 12 m bis 22 m Breite und 5 m bis 40 m Höhe. Zur Erhaltung der Standsicherheit werden zwischen den Abbaukammern Salzpfeiler belassen. Diese Sicherheitspfeiler haben je nach Abbau eine Teufe von 8 m und eine Breite bis zu 56 m. Der eigentliche kammerartige Abbau erfolgt entweder im firstenbauartigen Verhieb oder im Strossenbauverfahren.

Beim Firstenkammerbau wird das Abbaustreckensystem im Liegenden der abbauwürdigen Salzpartie aufgefahren. Der Abbau der Kammern wird in mehreren seriellen Arbeitsphasen durchgeführt. In der Hauptabbauphase wird die sog. „Hohe First“ durch Steilsprengen im Rückbau hereingewonnen. Hierbei wird das Salz von der Firste nach unten gesprengt. Bei Anwendung des Strossenbauverfahrens wird die Kammereinbruchstrecke im Hangenden der abbauwürdigen Salzpartie aufgefahren. Der Abbau der Kammern erfolgt nach Erweiterung der Kammerstrecke und Herstellung eines Strossenkeils im Prinzip wie in einem Steinbruch. Es werden ca. 80° geneigte Strossenbohrlöcher von oben nach unten gebohrt. Anschließend erfolgt das Absprengen der Strosse.

7541014/10787806875Biblio

4.3 Erweiterungsarbeiten[20)]

Zur Vermeidung von Förderengpässen in der Rohsalzversorgung des Werkes ist für Aufschluss der zwischen der 1.150-m-Sohle und der 1.400-m-Sohle liegenden Vorräte eine Vielzahl von Aus- und Vorrichtungsgrubenbauen erforderlich, und zwar:

- söhlige Auffahrung der Lager- und Bandstrecken,
- geneigte Auffahrung für die Wendeln zwischen den Hauptsohlen,
- seigere bzw. tonlägige Bohrungen für die Kipp- und Wetterlöcher.

Wegen der sehr guten Entwicklung der Nachfrage auf dem Weltkalimarkt stand das Kaliwerk vor der Aufgabe, weitere Gewinnungsmöglichkeiten zu suchen. Das Salzvorkommen erstreckt sich vom Steinhuder Meer über eine Länge von 12 km in südöstlicher Richtung bis in das Deistervorland bei Barsinghausen.

Im Laufe der über hundertjährigen Geschichte wurde mit dem abwärts geführten Weitungsbau eine Teufe von 1.400 m erreicht. Dazu musste der Aus- und Vorrichtungsvorlauf der Grube vergrößert werden. Die hierfür notwendigen Transportkapazitäten zur Überwindung größerer Entfernungen standen nicht zur Verfügung bzw. waren aufgrund des Einachsantriebes der bislang eingesetzten Muldenkipper nur bis zu einer Steigung von maximal 15 % einsetzbar.

Der Einsatz von Bandanlagen kam aufgrund der geologischen Verhältnisse mit der streichenden Auffahrung von Einstreckensystemen nicht in Betracht.

4.4 Anforderung an die Fahrzeugtechnik

Aus den zu bewältigenden Transportaufgaben und den grubenspezifischen Randbedingungen leiten sich die Anforderungen an die Fahrzeugtechnik ab. Neben der als Grundvoraussetzung anzusehenden untertägigen Zulassungsfähigkeit der Maschinen sind die hohen Umgebungstemperaturen und die staubige Atmosphäre am Einsatzort zu nennen.

Zu einem erfolgreichen Einsatz sind niedrig bauende Bergbauspezialgeräte mit geringer Fahrzeugabmessung und eine hohe Wendigkeit erforderlich. Die Fahrzeugkomponenten müssen außerdem für den Schachttransport zerlegbar und im Anschluss zügig wieder montierbar sein. Aufgrund der fehlenden Erfahrung mit dieser neuen Gerätetechnik, insbesondere mit Elektronik- und Steuerungskomponenten, müssen die Fahrzeugmontage sowie die späteren Wartungs- und Reparaturarbeiten durch den Lieferanten erfolgen.

20) Dieser Abschnitt (Kaliwerke Sigmundshall) enthält Texte und Abb. aus Beiträgen von Dr.-Ing. Tegtmeier (K+S) in den Zeitschriften „Kali und Steinsalz“ sowie „Bergbau“ mit freundlicher Genehmigung der K+S.

7541014/10787806875Biblio

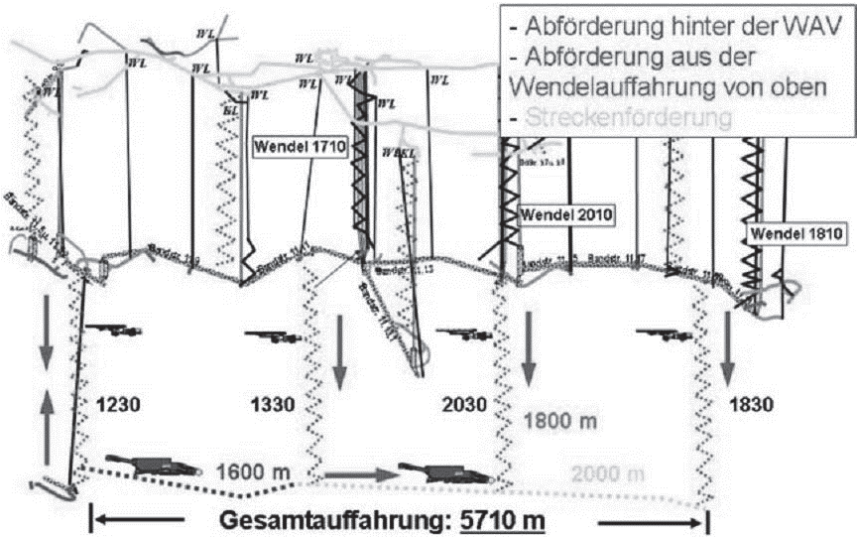


Abb. Fs-35: Transportaufgaben der Radlader-Muldenkipper-Gerätekombination bei der Aus- und Vorrichtung [V40]

Unter Berücksichtigung aller vorgenannten Randbedingungen sollen die Fahrzeuge beim Einsatz in Steigungen von 18 % möglichst hohe Nutzlasten bei maximaler Geschwindigkeit transportieren.

Unter dem Blickwinkel der Wirtschaftlichkeit bei diesen Einsatzbedingungen sind geringe Betriebskosten und Verfügbarkeiten von mind. 85 % gefordert.
Diese Anforderungen könnten neben den Bergbauspezialgeräten auch Baumaschinen erfüllen. Mittlerweile sind die Baumaschinen neben dem Erdbau und der übertägigen Gewinnung auch erfolgreich im Tunnelbau sowie vereinzelt in untertägigen Bergbaubetrieben eingesetzt. Hierbei entscheiden die Zuverlässigkeit, der Service und die Effizienz über den Erfolg am Markt.

4.5 Technische Daten und Leistungsparameter

Unter Berücksichtigung aller oben genannten Anforderungen wurde die Angebotspalette des Baumaschinenmarktes gesichtet. Aufgrund der Forderung nach hoher Wendigkeit fokussierte sich die Suche auf knickgelenkte 2-Achs-Muldenkipper. Sie vereinen gegenüber 3-Achs-Fahrzeugen zudem den Vorteil, auf festem Untergrund den Fahrbahnbau und die Reifen, z. B. beim Befahren der Wendel, zu schonen.

Dieses Antriebskonzept wird leider seit dem Jahr 2000 nur noch von der Fa. Volvo angeboten.

Als großer Vorteil erwies sich darüber hinaus, dass für die gesamte Dumper-Flotte eine Niedrigbauweise, als eine von vielen Ausrüstungsoptionen, angeboten wird. Der knickgelenkte 2-Achs-Dumper kann werksseitig statt mit einer Standardhöhe von 3.470 mm niedrig bauend mit einer Gesamthöhe von 3.048 mm ausgeliefert werden.

7541014/10787806875Biblio

Ein nächster Punkt war die Auswahl des geeigneten Ladegerätes. Die vorhandenen Fahrlader sind für Beladehöhen von 2.800 mm nicht geeignet. Alle Standardradlader mit einem Einsatzgewicht zwischen 18 t und 19 t besitzen eine Kabinenhöhe von 3.360 mm und 3.500 mm.

In der Vergangenheit konnten niedrigere Fahrzeughöhen nur durch das Einkürzen des Schutzdaches und dem damit verbundenen Entfernen der Fahrzeugscheiben realisiert werden. Einzig die Fa. Volvo konnte eine Komfortkabine in Niedrigbauweise für die Radlader anbieten.

Weiterhin musste das Muldenvolumen, aufgrund der geringen Schüttdichte des Salzes, von 14 m³ auf 15,5 m³ vergrößert werden. Dies wurde durch die Erhöhung der Bordwand um 200 mm bei gleichzeitiger Verlängerung der Mulde um 400 mm realisiert.

Konfrontiert mit den restlichen Anforderungen, enthalten in einer 4-seitigen technischen Spezifikation, begannen die Preisverhandlungen und endeten mit einer Full-Service-Langzeitmiete.

4.6 Einsatzerfahrung im Kaliwerk Sigmundshall

Nach der Auslieferung der Fahrzeuge erfolgte in Zusammenarbeit mit dem TÜV Nord die Erstabnahme des Gerätesatzes, bestehend aus einem Radlader und einem Dumper.
Hierbei wurde neben dem Abgasverhalten der wassergekühlten 6-Zylinder-Dieselmotore ein besonderes Augenmerk auf die Bremsanlage gelegt.
Nach der Anzeige bei der Bergbehörde stand dem Einsatz der Baumaschinen nichts mehr im Wege.

Aufgrund der untertägigen Gegebenheiten wurden die Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge auf 30 km/h und ihr Einsatz auf Steigungen von max. 16 % begrenzt.

Die Gerätekombinationen, bestehend aus je einem Dumper und einem Radlader, werden seit 6 Monaten in der Vorrichtung des Hartsalzreviers, der Wendelauffahrung zwischen der 1.150- und der 1.400-m-Sohle sowie bei der Auffahrung von Bandstrecken eingesetzt.

Hierbei wurden durch die Dumperfahrer, welche auch den Radlader bei der Beladung bedienen, über eine söhlige Entfernung von 1.000 m Transportleistungen von 100 t/h bis 120 t/h erzielt. In Abhängigkeit von der Haufwerkslage sind zur Beladung der 24 t fassenden Mulde zwischen 4 und 5 Ladespiele notwendig. Zur kollisionsfreien Be- und Entladung des Dumpers ist eine Firsthöhe von mindestens 5,2 m notwendig.

Zu den werksseitigen Modifikationen der Volvo-Geräte gehören niedrigere Fahrerhäuser, Achsölkühlung, Feuerlöschanlagen, Kühler, Luftfilter und Klimaanlagen mit höherer Leistung sowie weitere Details für den Unter-Tage-Einsatz.

Hierbei ist zu bedenken, dass die Maschinen in Tiefen von 1.400 m und mehr bei Gebirgstemperaturen von maximal 55 °C arbeiten werden – und das bei sehr staubhaltiger Grubenluft, in drei Schichten, sieben Tage die Woche.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-36: Der Dumper A 25 D 4x4 mit Wendeeinrichtung/Hauler A 25 D 4x4 kann dank einer patentierten Wendeeinrichtung in weniger als einer halben Minute auf nur 9,5 m Breite um 180° drehen und seine Fahrtrichtung ändern. [V40]

Datentabelle A25D

Motor	Motor Volvo D9A AAE2	SAE J 1349, netto 223 kW
Nutzlast	24,0	t
Muldeninhalt – gehäuft	13	m^3
Gesamtgewicht	43.470	kg
Höchstgeschwindigkeit	53	km/h

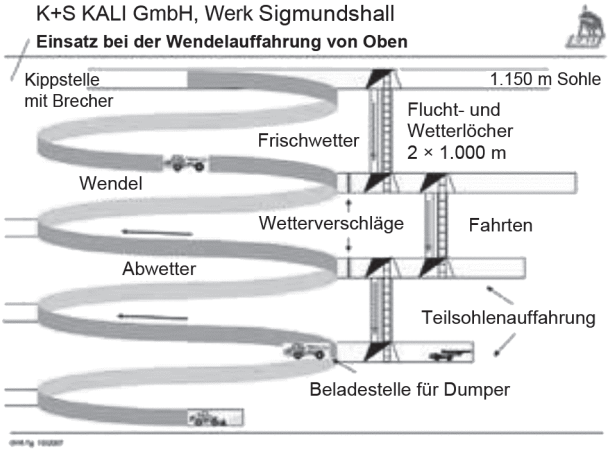


Abb. Fs-37: Einsatz in der Wendelstrecke von der 1.450-m-Sohle zur 1.400-m-Sohle [V40]

7541014/10787806875Biblio

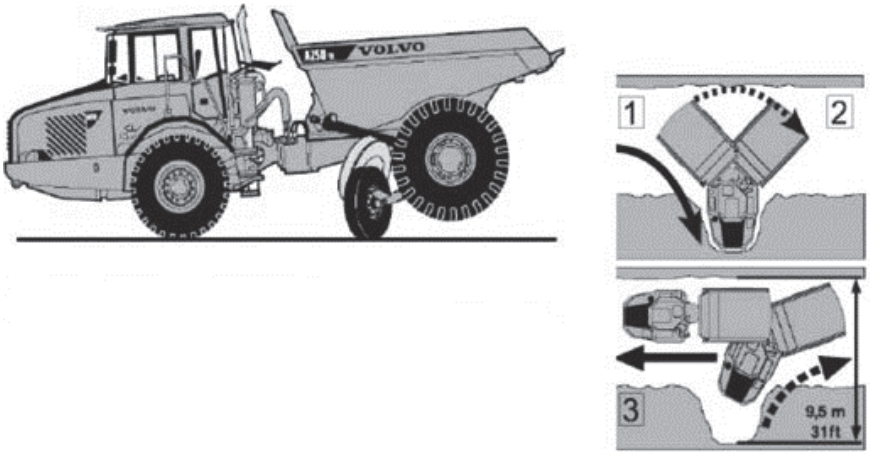


Abb. Fs-38: System der Wendeeinrichtung beim VOLVO A25D [VOLVO]

Der Knicklenker verfügt über eine von Volvo-Ingenieuren entwickelte, patentierte Wendevorrichtung, mit der in nur 25 s auf lediglich 9,5 m Stollenbreite um 180° gedreht wird. Eine hydraulisch absenkbare Stütztraverse hebt den leeren oder auch den beladenen Hinterwagen an.

Wird bei blockierten Vorderrädern die Knicklenkung betätigt, rollt der Hinterwagen auf zwei unter der Stütztraverse angeordneten Rädern um den maximal möglichen Knickwinkel des Rahmens zur Seite.

Abb. Fs-39a: Radlader L 110 E beim Beladen des Dumper A 25 D [VOLVO]

7541014/10787806875Biblio

Datentabelle L 110 E

Motor	Volvo	470 PS (230 kW)
Gewicht – leer	18,2	t
Schaufelinhalt	3,4	m^3
Fahrzeughöhe	3,09	m
Steigfähigkeit	35	%
Wenderadius	5,73	m
Fahrgeschwindigkeit	36	km/h
Wetterbedarf	345	m^3
Sonstiges	Knicklenkung	

Der im Zuge der Lade- und Transporttätigkeit entstehende Staub stellte, ebenso wie die hohen Einsatztemperaturen, für die Fahrzeuge kein Problem dar. Die Fahrzeuge zeichnen sich gegenüber den Bergbauspezialgeräten durch ihren hohen Fahrkomfort und den sehr niedrigen Schallpegel aus. Einhergehend mit dem niedrigen Dieselverbrauch von weniger als 15 l/Bh ist der geringe Schadstoffausstoß der verbauten Niederemissionsmotore zu erwähnen.

Abb. Fs-39b: Der A25D beim Abkippen des Materials [VOLVO]

Mit der erforderlichen Wettermenge von 504 m^3/min für den Dumper und 345 m^3/min für den Radlader weisen die Maschinen einen sehr geringen Wetterbedarf im Vergleich mit dem von 636 m^3/min für einen konventionellen 12-t-Fahrlader auf.

7541014/10787806875Biblio

Ein ganz besonderes Merkmal stellt die Tunnelwendevorrichtung des Dumpers dar. Sie erlaubt auch unter den beengten Verhältnissen eines Einstreckenvortriebes mit einer entsprechend gestalteten Wendenische ein problemloses Wenden des fast 9 m langen Fahrzeuges.

In den zurückliegenden 10 Monaten absolvierten die bisher eingesetzten Volvo-Baumaschinen insgesamt 7.000 Betriebsstunden. Während dieser Zeit standen die Maschinen, mit Ausnahme von Wartungs- und Inspektionsarbeiten, lediglich an 9 Schichten durch Defekte nicht zur Verfügung. Dies entspricht einer Verfügbarkeit von 98 %. Die aufgrund der räumlichen Enge zu befürchtenden Schäden an den Fahrzeugen verbunden mit Ausfällen blieben bisher aus.
Die 1.800 m lange Wendel, in der die Dumper ihre Last bei einer Steigung von 16 % aufwärts befördern, führt zu einem Drittel durch Nutzmaterial und zu zwei Dritteln durch Steinsalz.

Mit den Volvo-Dumpern kann künftig viel besser und zügiger als mit den bisher eingesetzten Fahrladern gearbeitet werden.

Trotz seiner hohen Nutzlast begnügt sich der kompakt gebaute A25 D (4x4) mit nur 3,2 m Kurveninnenradius, was ideal zum Befahren der 7 m breiten Stollen der Wendel ist. Die Untertageversion des A25D (4x4) kann die Wendel stets vorwärts befahren, also mit optimaler Sicht für den Fahrer.

Die gesamte VOLVO-Flotte bei den Salzwerken Sigmundshall besteht zz. aus 4 Dumper A25D und 2 Radladern L 110 D.

4.7 Leistung und Personal

Die Jahresförderung beträgt etwa 2,5 Mio. t Rohsalz. Daraus entstehen 236.000 t Kaliprodukte und 286.000 t Kieserit. Die Belegschaft beträgt etwa 800 Beschäftigte, davon ca. 420 unter Tage.

4.8 Halde

Die Rückstandshalde des Kaliwerkes wurde mit dem Beginn der Rohsalzverarbeitung angelegt, also Anfang des 20. Jahrhunderts, und ist seit dem zu ihrer heutigen Größe angewachsen (ca. 15 Mill. m^3, 135 m Endhöhe über Terrain, derzeit etwa 0,36 km^2 Basisfläche).

Die Halde besteht aus den Rückständen der Kalisalzverarbeitung, also im Wesentlichen aus Steinsalz, das nach verschiedenen Verfahren von dem Kaliummineral Sylvinit abgetrennt wird. Da nur ein Teil der anfallenden Rückstände als Versatz in die ausgebeuteten Kaliabbaue zurückgebracht werden kann, wird der Rest bisher auf Halde gelegt.

Dies geschieht über Bandförderanlagen, die bis zum Haldenplateau hinaufreichen. Mit der Begründung, die Versickerungsrate von Niederschlag auf der Halde zu vermindern, um die Haldenfläche wieder nutzbar zu machen, verfolgt K+S die „Dünnschicht-Abdeckung“ mit einem REKAL/Asche-Gemisch sowie sonstige verschiedene Projekte zur Abdeckung und Begrünung von Halden.

7541014/10787806875Biblio

4.9 Geschlossene Rohstoffkreisläufe

Seit rund 30 Jahren wird im Werk Sigmundshall das Schmelzsalz Montanal, ein Spezialprodukt, das die Sekundäraluminiumindustrie in großen Mengen für ihre Produktion benötigt, hergestellt. Im Jahr 1995 wurde zusätzlich eine REKAL-Anlage in Betrieb genommen, in der die beim Aluminium-Schmelzprozess entstehende Salzschlacke aufgearbeitet und zu 100 % verwertet wird.

Im Recyclingprozess fallen Aluminiumgranulat, das an die metallurgische Industrie verkauft wird, sowie die Düngemittel Kaliumchlorid und Ammonsulfat an.
Ein während des Recyclingprozesses entstehendes Gasgemisch wird im Werk Sigmundshall als Ersatz für Erdgas eingesetzt.
Der verbleibende Rückstand – im wesentlichen Natriumchlorid und Aluminiumoxid – wird als Substrat zur Abdeckung der Rückstandshalde eingesetzt, wodurch in dem abgedeckten Bereich 80 % weniger Haldenabwasser entstehen.

Dieses Projekt ist ein weiteres gutes Beispiel für die enge Kooperation zwischen den beiden Geschäftsbereichen Entsorgung und Recycling sowie Kali- und Magnesiumprodukte. Die REKAL-Anlage und die Montanalproduktion sind in die Strukturen und den Produktionsprozess des Kaliwerks Sigmundshall eingebunden; die Aktivitäten werden über die K+S Entsorgung GmbH gesteuert. Weiterer Vorteil ist die kostenseitige und organisatorische Optimierung der Logistik, da paarige Transporte verwirklicht werden konnten: Montanal wird beim Kunden angeliefert und im Gegenzug werden Salzschlacken abgeholt.

5 Bergbau auf Steinsalz

5.1 Allgemeines und Vorkommen

Schon 1000 v. Chr. wurde Salz in Hallstatt/Österreich bergmännisch gewonnen. Um Salz, das weiße Gold, gab es politische Verwicklungen und kriegerische Auseinandersetzungen. Salzgewinnung und Salzhandel ließen viele Verkehrswege und Städte entstehen.

„Unter allen Edelsteinen ist Salz der kostbarste." Mit diesem Satz würdigte Justus v. Liebig die elementare Bedeutung von Natriumchlorid (NaCl) – auch Kochsalz, Meersalz, Steinsalz, Siedesalz oder einfach Salz genannt. Denn das Salzwasser des Meeres ist Ursprung allen Lebens und bis heute ist ohne Salz kein Leben möglich. Die Naturwissenschaften haben zahlreiche Einsatzbereiche für Salz gefunden.

Die Gewinnung von Natriumchlorid in fester Form erfolgt durch bergmännischen Abbau, durch Eindampfen von Sole oder von Meerwasser, wobei man je nach Gewinnungsart von **Stein-**, von **Siede-** oder **Meersalz** spricht. Der Verwendung nach unterscheidet man Salz in die Sorten **Speisesalz**, **Gewerbesalz**, **Industriesalz** und **Auftausalz**.

Die Produktion von Salz aus Steinsalz und Solung betrug 2010:

- Welt-Salzproduktion ca. 220 Mio. t,
- in Europa ca. 56 Mio. t,
- in Deutschland ca. 17 Mio. t.

7541014/10787806875Biblio

Deutschland verfügt über zahlreiche Salzvorkommen u. a. in Norddeutschland, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen-Anhalt.

Folgende Standorte werden näher beschrieben:

Steinsalzförderung

- Heilbronn – Südwestdeutsche Salzwerke AG,
- Rheinberg am Niederrhein – (Bergwerk Borth K+S-Gruppe),
- Stetten bei Haigerloch – (Wacker-Chemie),
- Bernburg – K+S-Gruppe.

Soleförderung

- Berchtesgaden (Südwestdeutsche Salzwerke GmbH),
- Epe bei Ahaus (Bergwerk Epe-Solway),
- Bernburg – K+S-Gruppe.

5.2 Bergmännische Gewinnung

Um Steinsalz bergmännisch zu gewinnen, werden zur Erschließung der Lagerstätten in der Regel zwei Schächte niedergebracht, die unter Tage durch Strecken verbunden werden.

Die Salzgewinnung erfolgt durch Bohren und Sprengen und teilweise durch Schneiden (z. B. bei den Südwestdeutschen Salzwerken Heilbronn), jeweils unter Einsatz gleisloser mobiler Großgeräte hoher Leistungsfähigkeit. Zur Herstellung der Sprenglöcher dienen elektrohydraulisch arbeitende, mit Dieselfahrantrieb ausgerüstete Bohrwagen.

Die Sprengarbeit ist mechanisiert. Der Sprengstoff wird wie bei der Kaligewinnung in loser Form mit Hilfe von dieselbetriebenen Sprengstoffladegerätefahrzeugen angeliefert, pneumatisch in die Bohrlöcher eingeblasen und elektrisch mit Schlagpatronen gezündet.

Das Abfördern des losgesprengten Haufwerks erfolgt mit dieselbetriebenen Frontschaufelfahrladern oder mit Elektrohydraulik-Baggern in Kombination mit dieselbetriebenen Absetzmuldenkippern mit Nutzlasten bis 50 t. Das Haufwerk wird unter Tage in Revierbrechstationen zerkleinert und dann über nachgeschaltete Förderbandanlagen zum Förderschacht transportiert.

Bei der schneidenden Gewinnung werden elektrohydraulisch arbeitende CM-Geräte (Continuous-Miner) oder Teilschnittmaschinen eingesetzt.

Die Verfahren zur bergmännischen Steinsalzgewinnung richten sich nach der Mächtigkeit und dem Einfallen der Lagerstätte.

Der Abbau der steilstehenden Lager im norddeutschen Raum erfolgt ausschließlich durch das im Kalibergbau bewährte Trichterbauverfahren.

In der flachen Lagerung ist der versatzlose Kammerbau mit Längspfeilern das vorherrschende Abbauverfahren. Bei dieser Gewinnungsmethode werden, ausgehend von einer Förderstrecke, rechtwinklig hierzu in bestimmten Abständen sogenannte Kammerstrecken aufgefahren, die dann in weiteren Abbauphasen durch Bohr- und Sprengarbeit auf die endgültigen Abbaukammerquerschnitte erweitert werden. So entstehen

7541014/10787806875Biblio

Abbaukammern von 140 m bis 600 m Länge, 12 m bis 22 m Breite und 5 m bis 40 m Höhe. Zur Erhaltung der Standsicherheit werden zwischen den Abbaukammern Salzpfeiler belassen. Diese Sicherheitspfeiler haben je nach Abbauteufe 8 m bis 56 m Breite. Der eigentliche kammerartige Abbau erfolgt entweder im firstenbauartigen Verhieb oder im Strossenbauverfahren (s. Abschnitt 4.2 Abbauverfahren).

5.3 Steinsalzbergwerk Heilbronn[21)]

Das Steinsalzbergwerk Heilbronn befindet sich im nördlichen Baden-Württemberg, etwa 50 km nördlich von Stuttgart, und ist direkt am Neckar gelegen. Es wurde im Jahr 1885 von der damaligen Salzwerk Heilbronn AG in Betrieb genommen und mit dem benachbarten Bergwerk in Bad Friedrichshall-Kochendorf im Jahr 1971 zur heutigen Südwestdeutschen Salzwerke AG fusioniert. Nicht zuletzt die strategisch günstige Lage am Neckar führte zu einem wirtschaftlichen Aufschwung, da ein großer Teil der Produktion, insbesondere das aufbereitete Industriesalz für die Chloralkalielektrolysen, über den Wasserweg transportiert werden kann. Daneben verfügt das Werk über einen Gleisanschluss sowie über einen ausgezeichneten Autobahnanschluss nach allen Richtungen. Dies kommt einer besonders schnellen Versorgung der Kunden mit dem zweiten Produktzweig zugute, dem Auftausalz für den Winterdienst.
Ein dritter Teil der Salzproduktion wird in der nahegelegenen Saline Bad Friedrichshall zu hochreinem Speise- und Gewerbesalz verarbeitet.

Das Steinsalz wird aus einer Lagerstätte des Mittleren Muschelkalks in etwa 200 m Teufe gewonnen. Von der Gesamtmächtigkeit von rund 40 m wird der untere Teil mit etwa 10 m Abbauhöhe im Kammerfestenbau in zwei Schritten abgebaut. Beim Vortrieb der Abbau- und Einbruchstrecken mit Bohr- und Sprengarbeit kommt der Kanoneneinbruch zum Einsatz, da der Schrämeinbruch schon seit Jahren eingestellt wurde.

Im zweiten Schritt, dem Hereingewinnen des sogenannten Firstensalzes, kommen neben den Bohr- und Sprengfahrzeugen Planierraupen, Beraubegeräte und Ankerbohr- und -setzwagen zum Einsatz. Im Förderbetrieb werden neben Dieselladern zunehmend Elektrogroßlader eingesetzt, die das Rohsalz auf Walzenbrechanlagen und nachgeschaltete Bandanlagen aufgeben.

Bereits unter Tage erfolgt im schachtnahen Bereich eine erste Aufbereitung des Rohsalzes durch selektive Zerkleinerung und Siebung. Neben der immer schon erfolgten Rückführung der unter- und übertägigen Steinsalzaufbereitungsrückstände in die leeren Abbaukammern wird seit dem Jahr 1987 eine Untertagedeponie betrieben, bei der eine Vollverfüllung der Hohlräume praktiziert wird.

21) Grundlage dieses Abschnitts sind Veröffentlichungen aus den Fachzeitschriften „Kali und Steinsalz“ bzw. „World of Mining“, die freundlicherweise von Herrn Dr.-Ing. Gerd Bohnenberger, Bergwerksdirektor der Südwestdeutschen Salzwerke AG, Heilbronn, zur Verfügung gestellt wurden, sowie die Informationsbände 1–3 zum 125-jährigen Bestehen der Bergwerke Heilbronn und Informationsschriften der Südsalz. Der gesamte Abschnitt „Südsalz“ lag der Südsalz GmbH zur Prüfung und Freigabe vor.

7541014/10787806875Biblio

5.3.1 Geologie

Neben der beschriebenen vorteilhaften Verkehrslage waren die günstigen geologischen Bedingungen bis zum heutigen Tag ausschlaggebend für einen erfolgreichen Bergwerksbetrieb.

Das südwestdeutsche Steinsalzvorkommen gehört der geologischen Formation des Mittleren Muschelkalks und damit einer Unterabteilung des Trias an.

Im Raum Heilbronn ist das Steinsalzlager flach gelagert und befindet sich in einer Teufe von etwa 200 m. Es hat eine Gesamtmächtigkeit von bis zu 40 m.

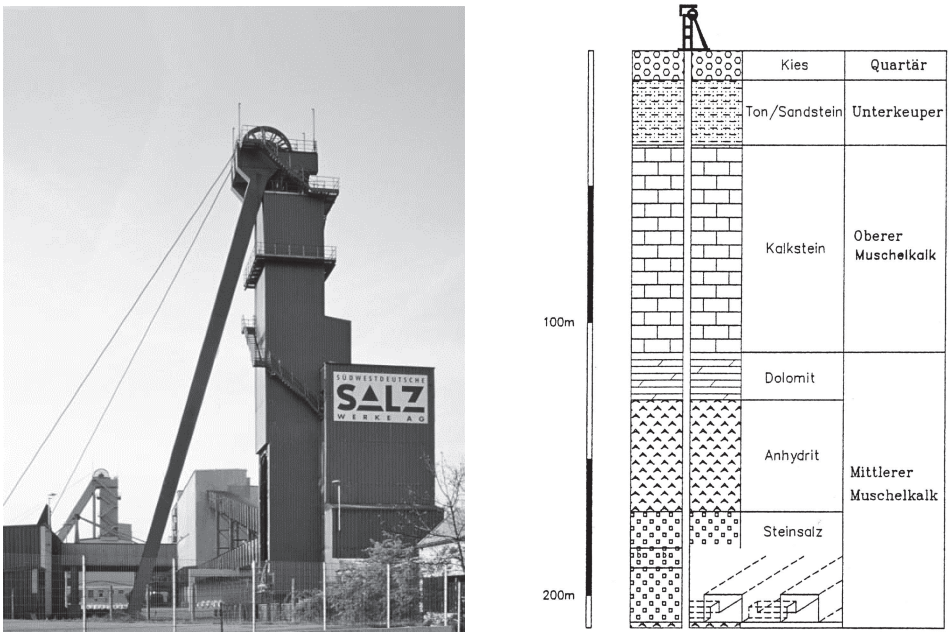


Abb. Fs-40: rechts: Geologisches Profil im Bereich Heilbronn – links: Förderschacht Franken und im Hintergrund Schacht Heilbronn [19]

Darüber befindet sich eine rund 50 m mächtige Anhydritschicht, die das Salzlager vor den in den höheren Horizonten anstehenden Gebirgswässern schützt.

Das Salzlager besteht aus drei einzelnen Lagerstättenteilen, die unmittelbar aufeinander folgen. Aus qualitativen Gründen wird allerdings ausschließlich das untere Lager mit einer Abbauhöhe von heute etwa 10 m abgebaut. Bei der derzeitigen jährlichen Gewinnungsmenge von rund 3 Mio. t reichen die bekannten Vorräte für weitere 60 Jahre Abbautätigkeit aus.

5.3.2 Abbauverfahren

Da das Steinsalzvorkommen im Heilbronner Raum nach bisherigem Aufschlussstand nur wenige und lokal begrenzte geologische Anomalien aufweist, lässt sich im Großen und Ganzen eine regelmäßige Abbauführung einhalten. Angewendet wird der Kammerfestenbau mit langgestreckten Festen und firstenartigem Verhieb.

7541014/10787806875Biblio

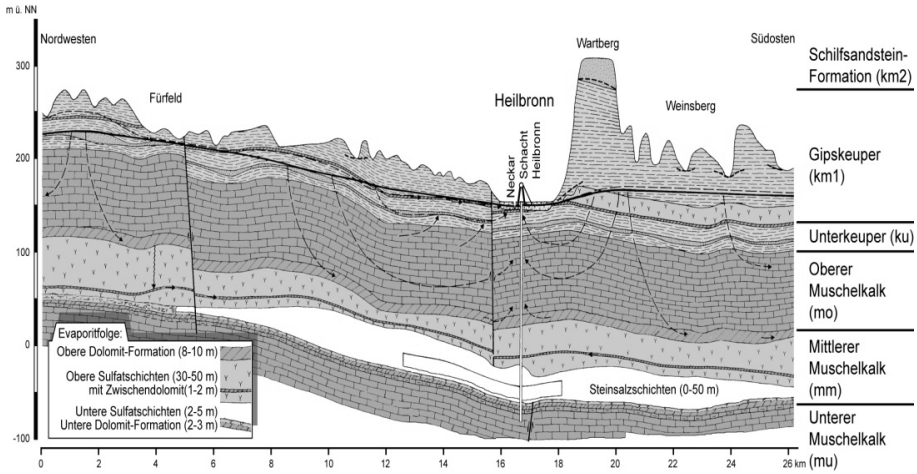


Abb. Fs-41: Geologisches Längsprofil im Bereich Heilbronn [19]

Zunächst wird im unteren Teil des Salzlagers eine zentrale Abbaustrecke vorgetrieben, von der rechtwinklig sogenannte Einbruchstrecken angesetzt werden. Über der Abbaustrecke, die als Frischwetterstrecke dient, wird eine Wetterstrecke zur Abführung der verbrauchten Wetter mitgeführt.

Zur Sonderbewetterung der Einbrüche wird eine Verbindung zwischen Abbau- und Wetterstrecke durch Großbohrlöcher hergestellt. Daneben werden am südlichen und nördlichen Ende des Abbaureviers Begleitwetterstrecken aufgefahren.

Sind die Einbruchstrecken mit einer Breite von 15 m und einer Höhe von 5 m bis auf die Endlänge von etwa 200 m aufgefahren, so wird in einem zweiten Gewinnungsschritt das in der Firste noch anstehende abbauwürdige Salz mit weiteren 5 m Mächtigkeit hereingewonnen. Dies erfolgt im Rückbau und ermöglicht so gleichzeitig eine Magazinierung des Haufwerks in der endgültigen Kammer von 200 m Länge, 15 m Breite und 10 m Höhe (Abb. Fs-36).

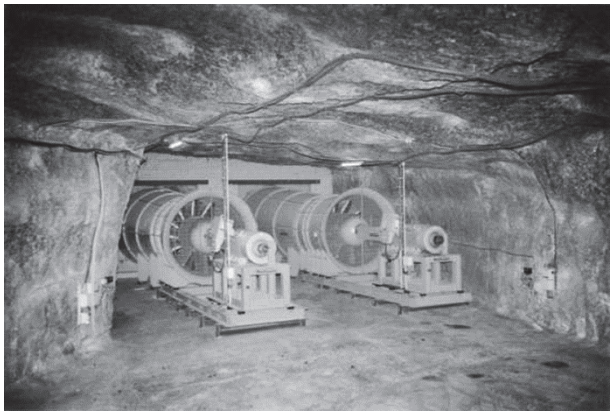
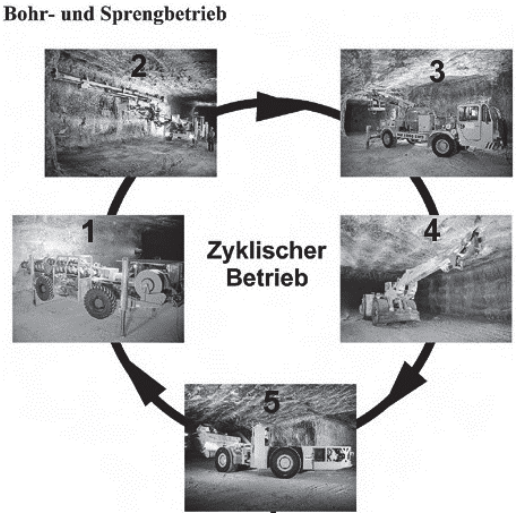


Abb. Fs-42: Lüfter unter Tage [19]

7541014/10787806875Biblio

5.3.3 Gewinnung

Beim Vortrieb der Abbau- und Einbruchstrecken werden Bohr- und Sprengarbeit mit Schrämeinbruch (bis 2007) und Kanoneneinbruch eingesetzt.



1: Großlochbohrung

2: Sprenglöcher bohren

3: Laden u. Sprengen

4: Berauben

5: Haufwerk laden u. abfahren

Sprengen im Schichtwechsel – nach **3**

Abb. Fs-43: Zyklischer Arbeitsablauf [19]

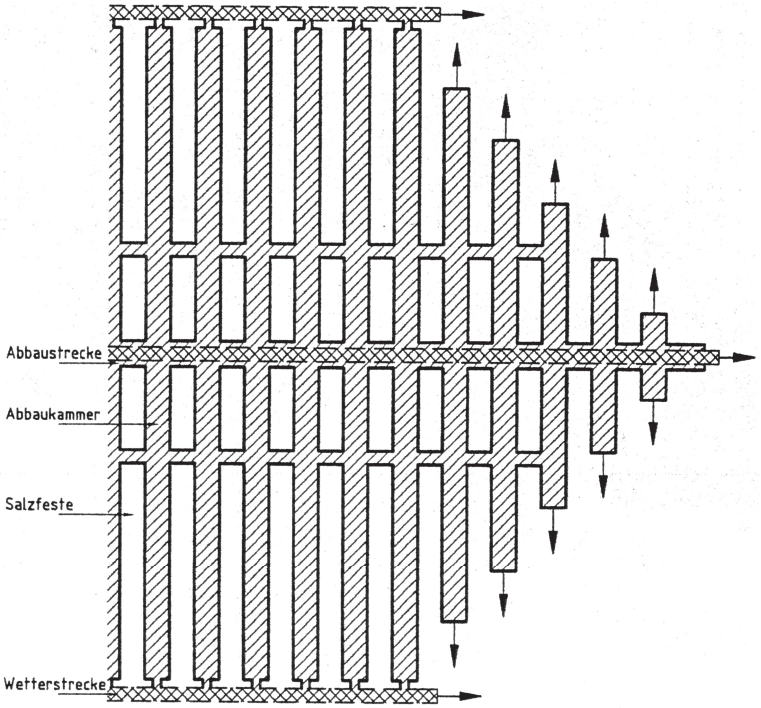
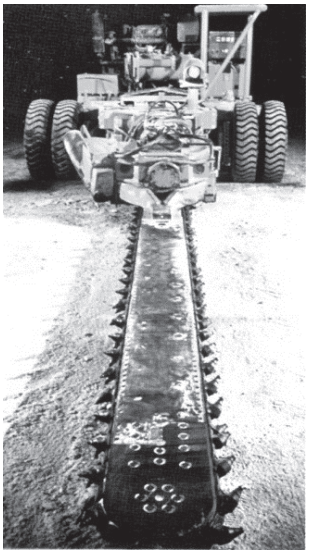


Abb. Fs-44: Abbauverfahren im Grundriss [19]

7541014/10787806875Biblio

Beim Schrämeinbruch wurde zunächst in der Sohle ein Schrämschlitz von etwa 4 m Tiefe und 17 cm Höhe über die gesamte Streckenbreite hergestellt. Anschließend wurde eine Bohrlochreihe schräg zum Schrämschlitz gebohrt und erhielt die niedrigsten Zündzeitstufen, so dass hier eine Art Keileinbruch bei der Sprengung erzielt wurde.



Eingesetzt wurden seit dem Jahr 1976 Maschinen der amerikanischen Firma Goodman. Um den in allen Richtungen schwenkbaren Ausleger läuft eine mit Rundschaftmeißeln besetzte Kette.

Die Maschinen sind seit 2007 nicht mehr im Einsatz.

Abb. Fs-45: Einbruch-Schrämmaschine System „Goodman“ (heute bei SWS nicht mehr im Einsatz) [19]

Das aktuelle Verfahren ist der Einbruch auf Großloch, das sogenannte Kanonenverfahren. Hierbei werden 7 m lange Abschläge erzielt. Das Großloch mit einem Durchmesser von 45 cm wird mit Bohrwagen der Firma Schell hergestellt.

Der besondere Vorteil des Kanoneneinbruchs mit einem Großbohrloch liegt in der Abschlaglänge von 7 m und daraus resultierend eine Haufwerksmenge von etwa 1.100 t/Abschlag.

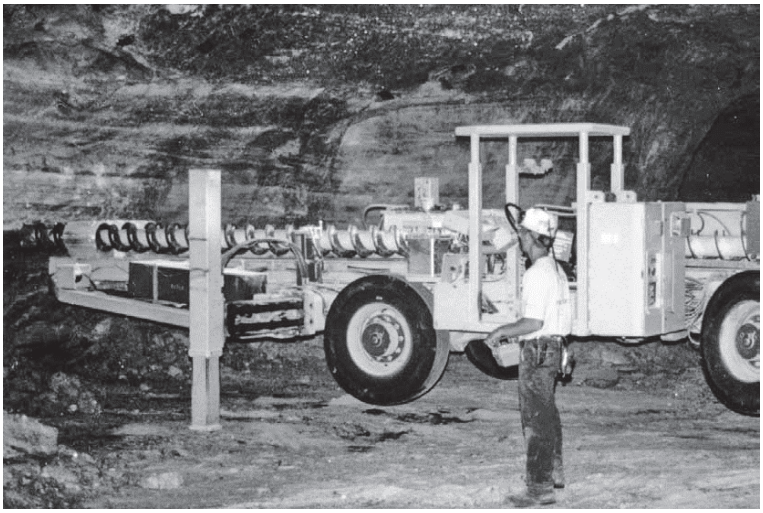


Abb. Fs-46: Beispiel für einen Großlochbohrwagen System SMAG B 280 S [19]

7541014/10787806875Biblio

Techn.-Daten GB3:

Gewicht	14,5	t
Breite	3,00	m
Länge	10,25	m
Fahrgeschwindigkeit max.	18	km/h
Bohrtiefe	7,50	m
Bohr-Ø max.	500	mm
Antrieb Diesel./Elektro	86/63	PS/kW

Der Großlochbohrwagen SMAG Typ GB 280 S wird zum Bohren von Einbruchslöchern eingesetzt, um den Sprengeffekt zu verbessern. Er bohrt bis zu 3 Löcher mit einem Durchmesser von je 280 mm bzw. 350 mm gleichzeitig. Bei Bedarf können Großlochbohrwagen auch mit nur einer Bohrschnecke bis 500 mm bestückt werden.

Der Bohrablauf erfolgt automatisch mittels einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Je nach Einsatzgebiet kann das Fahrzeug z. B. für gasgefährdete Gruben mit Prognose- und Firstbohreinrichtung oder in Ex-Schutz-Ausführung geliefert werden.

Dies ist für das Heilbronner Abbauverfahren besonders vorteilhaft, da nicht nur das Herausfahren des Einbruchsalzes über diese Sohle erfolgt, sondern im zweiten Abbauschritt auch das Herausfahren des Firstensalzes. Ein weiterer entscheidender Vorteil des Schrämeinbruchs ist der geringere Feinsalzanteil im Haufwerk, der für den nachfolgenden Aufbereitungsprozess unerwünscht ist und teilweise unter Tage als Bergeversatz verkippt werden muss.

Bei beiden Einbruchsverfahren werden Sprenglochbohrwagen vom Typ Salzgitter BW 50 mit Programmsteuerung eingesetzt (Abb. Fs-47). Durch den Einsatz dieser Geräte ist es gelungen, die Produktivität in der Gewinnung weiter zu verbessern, da die Bohrleistungen gesteigert werden konnten, die Bohrgenauigkeit größer wurde und somit Bohrlöcher eingespart wurden. Außerdem ist der Ausbruch profilgenauer, was eine Verringerung der Beraubearbeiten zur Folge hat.

Abb. Fs-47: Sprenglochbohrwagen System SMAG Typ BW 50/51 [19]

7541014/10787806875Biblio

Technische Daten BW 50:

Breite	19,8	m
Höhe	2,89	m
	1,70	m
Bohrtiefe max.	8,00	m
Fahrgeschwindigkeit	18	h/km
Antriebsleistung	D 63/E 45	kW

Die Vorteile beim Einsatz des BW 50/51 sind:

- Gewährleistung einer geraden Ortsbrust nach dem Sprengen und eines effektiven Sprengergebnisses durch eine rechnergesteuerte Bohrtiefenüberwachung,
- minimaler Personalaufwand durch Rechnerüberwachung,
- elektronische Parallelführung; sie ermöglicht Sprengstoffeinsparungen, Reduzierung der Bohrlochanzahl und einen hohen Abschlagwirkungsgrad,
- hohe Wiederholungsgenauigkeit durch einfach zu erstellende Bohrprogramme,
- Standard-Funkfernsteuerung.

Die Sprengarbeit erfolgt mittels Sprengstofffahrzeugen vom Typ Dietlas SLF 1800 mit Hubbühne (Abb. Fs-48). Eingesetzt wird ANC-Sprengstoff in der Regel ohne Schlagpatrone mit Zündung aus dem Bohrlochtiefsten. Lediglich bei den Schräglöchern im Schrämeinbruch werden Schlagpatronen eingesetzt.

Im zweiten Gewinnungsschritt, dem Hereingewinnen des Firstensalzes, werden ebenfalls Sprenglochbohrwagen und Sprengfahrzeuge eingesetzt. Hierzu ist es erforderlich, zunächst mit einer Planierraupe das hereingesprengte Haufwerk einzuebnen.

Abb. Fs-48: Sprengstoffladewagen mit Hebebühne Typ SLF 1800 [19]

7541014/10787806875Biblio

Während das Berauben der temporären Einbruchfirste hauptsächlich manuell erfolgt, werden zur Sicherung der endgültigen Strecken- und Kammerfirsten Beraubegeräte auf Raupenfahrwerk mit Teleskopausleger und hydraulischem Hammer verwendet. Die Firsten bleiben in der Regel ausbaufrei, lediglich bei geologischen Unregelmäßigkeiten wird nach Bedarf Ankerausbau mit einem Ankerbohr- und -setzwagen eingebracht.

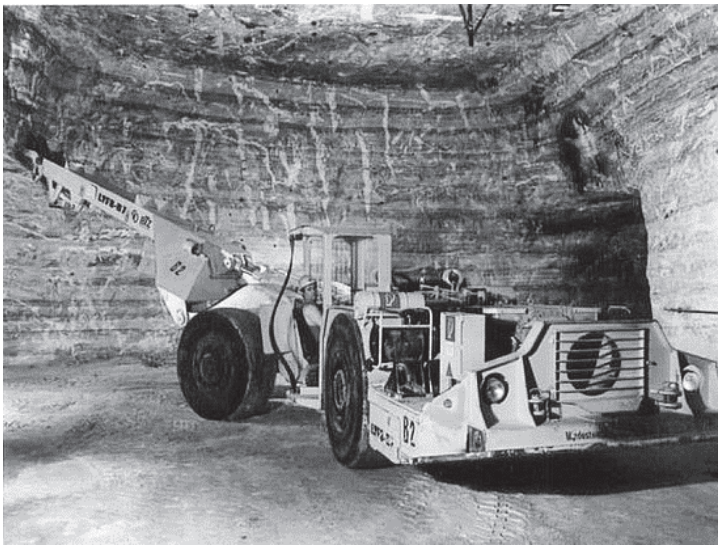


Abb. Fs-49: Beispiel für ein Beraubungsfahrzeug BAT Typ LFT 8 B [BAT] (nicht bei Südsalz im Einsatz)

Technische Daten LFT 8 B:

Gewicht	22,6	t
Motorleistung D	147	kW
L/B/H	13/2,95/2,3	m
Hydraulikraubhammer	2 Zylinder	

5.3.4 Förderung

Zur Förderung des Rohsalzes aus Strecken und Kammern werden überwiegend noch Dieselgroßlader eingesetzt. Die SWS setzt zz. Groß-Fahrlader der GHH (Gutehoffnungshütte) mit Elektro- oder Dieselantrieb ein. Die Fahrlader verfügen über eine Nutzlast von 20 t.

Seit dem Jahr 1997 werden die vorhandenen Dieselfahrlader sukzessive durch Elektrogroßlader vom Typ GHH LF 17.2 ersetzt – (Abb. Fs-50 der verbesserte Typ 17/2.1). Die Schaufelnutzlast dieses Ladertyps, von dem inzwischen drei Geräte im Einsatz sind, beträgt 20 t. Angetrieben wird der Lader durch einen Elektromotor mit 320 kW Antriebsleistung, der über eine 250 m lange Schlepptrosse versorgt wird.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-50: Fahrlader GHH 17/2.1(GHH-Werksaufnahme) [GHH]

Technische Daten GHH 17/2.1 (verbesserte Daten gegenüber Typ 17/2):

Nutzlast	20	t
Motorleistung E	320	kW
Leergewicht	58,5	t
Fahrgeschwindigkeit max.	25	km/h
L/B/H	13/4/3	m

Bei der Anschaffung liegen die Vorteile zunächst beim Dieselader, da nicht nur das Grundgerät selbst preiswerter ist, sondern beim Elektrolader außerdem eine Elektrostation vorzusehen ist. Im Einsatz selbst weist der Elektrolader jedoch durchweg Vorteile auf. Die Aufnahme des Haufwerks ist durch die größere Reißkraft an der Schaufel besser.

Merkmale: Permanenter Allradantrieb, Knicklenkung, wirtschaftlicher Betrieb unter allen Bedingungen, Vortrieb aller Räder in die eingeschlagenen Fahrtrichtung, Bodenkontakt der Räder unter extremen Fahrbahnverhältnissen, niedriger Schwerpunkt und ausgezeichnete Fahrstabilität.

Vorteile des Elektroantriebs:

- Betanken entfällt,
- keine Abgase,
- geringere Lärmentwicklung,
- geringerer Energieverbrauch,
- geringere Betriebskosten.

Nachteile des Elektroantriebs:

- Das E-Kabel behindert die Flexibilität.
- Aufgrund der elektrischen Infrastruktur kann nicht in allen Eisatzfällen die erforderliche Energie zur Verfügung gestellt werden.
- Aufbereitung.

7541014/10787806875Biblio

5.3.5 Aufbereitung

Das Rohsalz wird von den Ladern an zentralen Kippstellen abgekippt und durch Walzenbrecher auf bandgängige Korngröße zerkleinert. Über Bandförderanlagen gelangt es zu einer schachtnahen untertägigen Aufbereitungsanlage. Bereits in der untertägigen Aufbereitung erfolgt eine Klassierung und Sortierung des Rohsalzes.

Bei der Sortierung durch selektive Zerkleinerung wird der Umstand genutzt, dass die Nebenbestandteile Ton und Anhydrit sich schwieriger zerkleinern lassen als das grobkristalline Steinsalz. Durch mehrstufige Prallzerkleinerung und anschließende Absiebung kann somit die Reinheit des Rohsalzes schon unter Tage erhöht werden. Auch erfolgt unter Tage ein Heraussieben und Bevorraten von Auftausalz für den Winterdienst.

Über die Schachtförderanlagen Franken und Heilbronn werden das Zwischenprodukt „teilaufbereitetes Industriesalz“ sowie das Endprodukt „Auftausalz“ in 18- beziehungsweise 10-t-Skips nach über Tage gefördert. Über Tage wird das Industrierohsalz in Schwertrübe-Zyklonanlagen auf eine Reinheit deutlich über 99 % aufbereitet und anschließend in Schiffe oder Bahnwaggons verladen.

5.3.6 Deponie

Bei einer Gewinnungsmenge von etwa 3 Mio. t wird jährlich ein Hohlraum von mehr als 1 Mio. m^3 geschaffen. Nach 125-jährigem Abbau (2010) beträgt der Hohlraum im Bergwerk Heilbronn mehr als 30 Mio. m^3. Ein Teil davon wird mit den unter- und übertägig anfallenden Steinsalzaufbereitungsrückständen wieder verfüllt, was zur Folge hat, dass das Steinsalzbergwerk Heilbronn keine übertägige Haldenwirtschaft betreiben muss.

Ein weiterer Teil der Grubenräume wird für die Infrastruktur wie Fahrwege, Bandanlagen, Werkstätten, Materiallager und für ein Untertagearchiv genutzt. Dennoch bleibt der überwiegende Teil der Kammern leer stehen.

Zur Nutzung dieser Hohlräume als Untertagedeponie wurde im Jahr 1986 ein abfallrechtliches Planfeststellungsverfahren zur Beseitigung von Rückständen der Rauchgasreinigung von Müllverbrennungsanlagen durchgeführt.

5.3.7 Untertagedeponierung

Seit dem Jahr 1987 werden diese Rückstände von Verbrennungsanlagen aus Deutschland und den Nachbarländern in geeigneten Verpackungen wie Big Bags, Containern oder Fässern hauptsächlich per Bahn auf dem Werksgelände Heilbronn angeliefert. Die Behälter werden mit Gabelstaplern auf Paletten über den Schacht nach unter Tage transportiert und dort mit Lastkraftwagen in den Deponiebereich verbracht.

In der Deponiekammer erfolgt zunächst vom Kammerende beginnend eine fünffache Stapelung der Behälter bis zum Kammeranfang.

Im nächsten Schritt wird mit den Steinsalzaufbereitungsrückständen eine Rampe am Kammeranfang aufgeböscht, und die Behälter werden mit etwa 1 m Rückständen überdeckt. Auf diese Ebene werden anschließend die nächsten Behälterlagen eingestapelt, und im letzten Schritt erfolgt eine Vollverfüllung des Hohlraums durch Einschleudern von Steinsalzaufbereitungsrückständen.

7541014/10787806875Biblio

Nach über zehnjährigem erfolgreichem Betrieb der Untertagedeponie wurde im Jahr 1998 nach Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens mit Umweltverträglichkeitsprüfung und Öffentlichkeitsbeteiligung eine Erweiterung der Untertagedeponie genehmigt. Die Genehmigung umfasst sowohl eine Erweiterung der Stoffpalette auf etwa 240 verschiedene Abfallschlüsselnummern als auch eine räumliche Erweiterung um rund 9 Mio. m^3 (s. Ausführungen K+S Werra-Verbundwerk).

5.3.8 Vom Sprengen zur schneidenden Gewinnung

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurde eine Reihe von Optimierungsmaßnahmen bei der Bohr- und Sprengarbeit durchgeführt.

Als negative Begleiterscheinung des sprengtechnischen Abbauverfahrens hat sich in den letzten Jahren die Wahrnehmbarkeit der Sprengungen an der Tagesoberfläche herausgestellt. Die Notwendigkeit, im Zuge des Abbaufortschritts den Abbau unter oder in der Nähe von Wohnbebauungen zu betreiben, führte zunehmend zu Anfragen und vereinzelten Beschwerden aufgrund der Sprenggeräusche und -erschütterungen.

Auch wenn durch kontinuierlich aufzeichnende Sprengerschütterungsmessgeräte und eine Reihe von Gutachten nachgewiesen werden konnte, dass die untertägigen Sprengungen nicht zu Schäden an Gebäuden an der Tagesoberfläche führen, so werden sie von der Bevölkerung zum Teil als subjektiv belästigend empfunden und erschweren die Akzeptanz der Bergbautätigkeit in der Öffentlichkeit.

Eine weitere negative Folge der Verwendung von Sprengstoffen sind die bei den Sprengungen freiwerdenden Schadgase. Ihretwegen ist es notwendig, nach der Sprengung Wartezeiten einzuhalten, bis durch die Bewetterung eine Verdünnung auf unschädliche Konzentration eingetreten ist.

Seit Jahren gibt es innerhalb der EU Bestrebungen, die hierfür geltenden Grenzwerte deutlich herabzusetzen, und das, obwohl alle bisherigen umfangreichen Untersuchungen eindeutig belegen, dass die geltenden Grenzwerte für den Schutz der Beschäftigten völlig ausreichend sind. Es kann somit aber nicht mehr ausgeschlossen werden, dass durch eine Herabsetzung der Grenzwerte in der Zukunft der sprengtechnische Abbau deutlich erschwert wird. Es wurde daher nach alternativen Gewinnungsverfahren gesucht, die ohne Sprengarbeit auskommen und möglichst auch eine weitere Verbesserung der Produktivität bringen sollten.

Die erfolgreiche Inbetriebnahme von Trommelfräsmaschinen – so genannten Continuous Minern (CM) – im englischen und nordamerikanischen Steinsalzbergbau gaben den Ausschlag, die Einsetzbarkeit dieser Maschinen in der Heilbronner Lagerstätte zu untersuchen.

Mit Unterstützung durch das Institut für Bergbaukunde I der RVVTH Aachen wurde eine Konzeption für den Ersteinsatz eines Continuous Miners erarbeitet und nach Zustimmung durch den Aufsichtsrat im Jahr 2005 die Investitionsmaßnahme eingeleitet.

5.3.8.1 Inbetriebnahme des ersten Continuous Miners (CM1)

Im Mai 2006 wurde der erste Continuous Miner im Steinsalzbergwerk Heilbronn in Betrieb genommen (Abb. Fs-51). Es handelt sich um eine Maschine vom Typ ABM 30-CM der damaligen Voest-Alpine Bergtechnik GmbH, Zeltweg, Österreich (heute Sandvik Mining and Construction GmbH, Sandviken, Schweden).

7541014/10787806875Biblio

Die Maschine verfügt über eine 7,2 m breite Schneidwalze mit einem Durchmesser von 1,2 m, mit der eine Schneidhöhe von 5,3 m erreicht wird. Sie ist damit die derzeit größte Trommelfräsmaschine weltweit.
Das geschnittene Material wird über Ladesterne und Kettenförderer abtransportiert. Zur Staubniederschlagung ist auf der Maschine ein Nassentstauber montiert.

Die gesamte installierte Antriebsleistung beträgt 770 kW, wobei allein auf den Schneidmotor 400 kW entfallen. Zur Stromversorgung ist auf der Maschine ein 10-kV/1-kV-Transformator installiert.

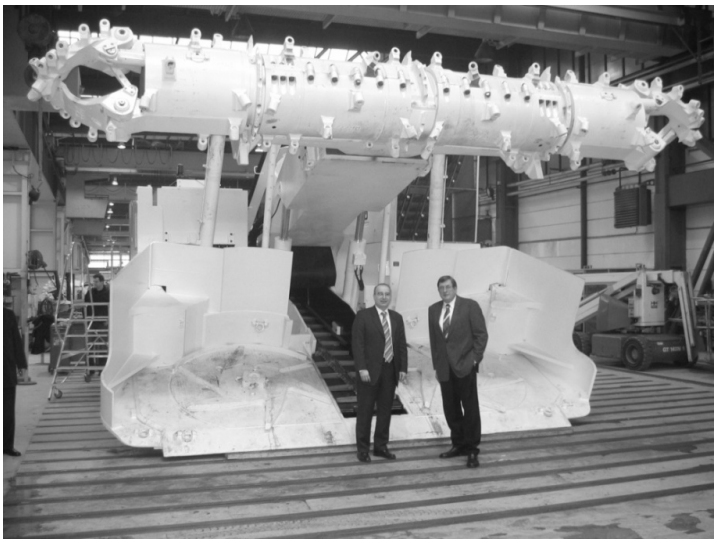


Abb. Fs-51: Continuous Miner Typ ABM 30-CM – Besichtigung bei der Fa. Sandvik Mining and Construction GmbH, Sandviken, Schweden [19]

Zur Abförderung des Schneidsalzes musste für die möglichen Gewinnungsmengen des Continuous Miners ein ausreichend leistungsfähiges Fördersystem gefunden werden. Da die in den konventionellen Abbaurevieren eingesetzten Fahrschaufellader mit 17 t eine zu geringe Nutzlast hatten, wurden für den CM-Betrieb sogenannte Schiebekastenfahrzeuge vom Typ SKA-30.1 der GHH Fahrzeuge GmbH, Gelsenkirchen, mit einer Nutzlast von 30 t beschafft (Abb. Fs-52).
Durch ein teleskopierbares Muldenteil können sowohl das Be- als auch das Entladen bei einer Streckenhöhe von etwa 5 m problemlos erfolgen.

Für die gewählte Kombination aus Continuous Miner und Schiebekastenfahrzeugen war das Abbauverfahren entsprechend anzupassen. Unter Beibehaltung des bisherigen Kammerfestenbauverfahrens und der hierfür anzuwendenden Dimensionierungsregeln wurde vom firsten- auf den strossenartigen Verhieb übergegangen.

Auf der gesamten Feldeslänge wird zunächst die obere Scheibe mit zwei nebeneinanderliegenden Schnitten hereingewonnen. Nach Rückbau der Bandanlage einschließlich Kippstelle erfolgt anschließend der Abbau der unteren Scheibe. Es werden somit Kammern mit einer Breite von 14 m und einer Höhe von 10 m aufgefahren.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-52: GHH Schiebekastenfahrzeug Typ SKA 30.1 mit einer Nutzlast von 30 t [19]

Der diskontinuierliche Förderbetrieb hinter der Gewinnungsmaschine mit den mobilen Schiebekastenfahrzeugen bietet den Vorteil, dass ein Abbauzuschnitt mit mehreren parallelen Strecken gewählt werden kann.

Im ersten CM-Revier wurden daher fünf parallele Strecken aufgefahren, wobei die mittlere Strecke der Abförderung dient und die beiden äußeren Strecken als Abwetterstrecken fungieren. Die ersten Monate des Betriebseinsatzes galten der Einarbeitung der Mitarbeiter, der Abstimmung der Betriebsabläufe und dem Erkennen von Schwachstellen. So wurden im Laufe der Zeit verschiedene technische und betriebliche Modifizierungen und Optimierungen vorgenommen.

Abb. Fs-53: Der SKA 30.1 beim Abkippen in den Salzbunker [19]

7541014/10787806875Biblio

Zu den technischen Maßnahmen gehörten unter anderem die Installierung einer Schneidautomatik, die Optimierung der Schneidtrommelkonfiguration und des Einbaus eines vibrationsunempfindlichen Transformators. Der Erfolg der Maßnahmen und der Zugewinn an Erfahrungen zeigten sich in einer Verbesserung der Verfügbarkeiten und Leistungsdaten des CM-Abbaureviers, wie die Entwicklung der durchschnittlichen Monatsmengen verdeutlicht.

5.3.8.2 CM1-Einsatz bei der Streckenauffahrung

Die Notwendigkeit der Auffahrung einer neuen 4,2 km langen Verbindungsstrecke zwischen den Bergwerken Heilbronn und Kochendorf führte zu der Überlegung, für einen Teil der Streckenauffahrung den Continuous Miner einzusetzen.
Laut der geologischen Prognose war mindestens auf den ersten 2,5 km mit einer Salzmächtigkeit zu rechnen, die einen uneingeschränkten Einsatz des CM mit einer Streckenbreite von 2×7 m = 14 m ermöglichte.

Um auf der einen Seite unvermindert hohe Gewinnungsmengen aus dem CM-Betrieb zu erhalten und andererseits einen höheren Vortriebsfortschritt zu erzielen, wurde die Zahl der parallel aufzufahrenden Strecken von fünf auf drei und später auf zwei reduziert.

Mit einer täglichen Fördermenge von rund 6.000 t und einer auf das Drei-Streckensystem bezogenen täglichen Vortriebsleistungen von etwa 13 m wurden die Zielvorstellungen zunächst voll erreicht.

Aufgrund geringer werdender Salzmächtigkeit musste allerdings im Laufe der Streckenauffahrung unter Berücksichtigung der gebirgsmechanischen Vorgaben die Streckenbreite von 14 m auf 10 m reduziert werden.

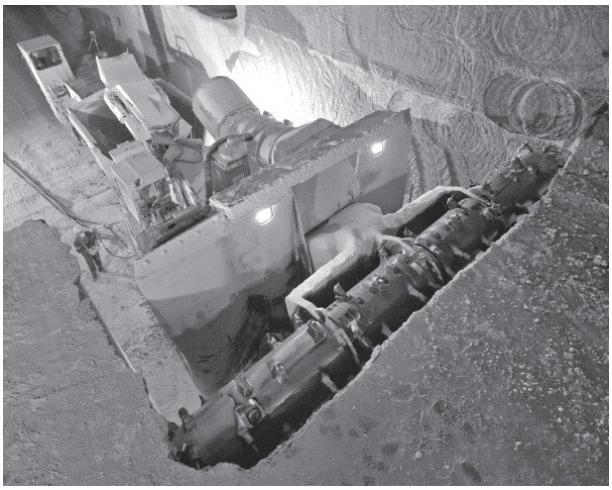


Abb. Fs-54: Der CM1 im praktischen Einsatz [19]

Es stellte sich sehr schnell heraus, dass bei dieser Streckenbreite der CM-Einsatz technisch und wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll ist. Es wurde daher entschieden, den CM nicht weiter für die Streckenauffahrung, sondern wieder im regulären Abbau einzusetzen. Die Streckenauffahrung wurde mit einer Teilschnittmaschine fortgesetzt.

7541014/10787806875Biblio

5.3.8.3 Inbetriebnahme des zweiten Continuous Miners (CM2)

Insgesamt war die Einführung der schneidenden Gewinnung mit dem ersten CM äußerst erfolgreich verlaufen. Trotz vereinzelter Rückschläge durch technische Defekte (unter anderem Schäden am Schneidtrommelgetriebe und am Raupenfahrwerksantrieb) wurde im Jahr 2008 mit 960.000 t die angestrebte Abbaumenge von etwa 1 Mio. t fast erreicht. Ohne die schwierigen geologischen Umstände in der Verbindungsstrecke wäre sie sogar überschritten worden.

Erfreulich entwickelten sich auch die spezifischen Abbaukosten des CM-Reviers im Vergleich zu denen der Bohr- und Sprengreviere.
Mit Ausnahme der Abschreibungen lagen im Jahr 2008 bei allen Kostenarten die CM-Kosten auf die Tonne bezogen unter den Bohr- und Sprengkosten. Die Entscheidung für den Technologiewechsel hat sich auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht als richtig erwiesen.

Seine Fortsetzung wurde daher bereits im August 2007 eingeleitet und eine zweite Maschine derselben Bauart – vom Hersteller Sandvik jetzt als MB 770 bezeichnet – in Auftrag gegeben. Dabei wurden die im Betriebseinsatz der ersten Maschine gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt und verschiedene technische Modifikationen – unter anderem bei der Schneidautonnatik, der Maschinensteuerung, der Spannungsversorgung sowie beim Staubschutz der Hydraulikaggregate – vorgenommen.

Abb. Fs-55: Die CM2 Sandvik Typ MB 770 im Einsatz [19]

Entgegen den anfänglichen Bedenken gegen eine Nassentstaubung waren die Erfahrungen positiv, sodass auch auf der zweiten Maschine eine Nassentstaubungsanlage installiert wurde. Ebenso hatten sich die beiden Schiebekastenfahrzeuge zur Abförderung bestens bewährt. Daher wurden auch für den zweiten CM-Betrieb zwei Fahrzeuge desselben Typs von GHH beschafft. Im November 2008 wurde das zweite CM-Revier im Bergwerk Heilbronn in Betrieb genommen. Dabei war ein großer Vorteil, dass die vorgesehene Bedienmannschaft bereits im Vorfeld in die Fahrweise der Maschine und den Betriebsablauf eingewiesen werden konnte. Dadurch gelang es, den Abbaubetrieb in kürzester Zeit auf volle Leistung hochzufahren. Bereits im Dezember konnte eine Monatsleistung von über 100.000 t erreicht werden.

7541014/10787806875Biblio

Im Januar 2009 wurde vom CM2 die bisher höchste monatliche Abbaumenge des CM1 von 110.000 t deutlich übertroffen.

5.3.8.4 Ausblick

Im Jahr 2008 wurden im Bergwerk Heilbronn über 3,8 Mio. t Steinsalz abgebaut. Davon wurden bereits fast 30 % schneidend mit dem Continuous Miner hereingewonnen.

Mit dem Betrieb von zwei CM-Revieren werden im Jahr 2009 planmäßig rund 50 % der Gewinnungsmenge mit schneidender Technik erzielt werden. Der Anteil der bohr- und sprengtechnisch abgebauten Mengen wird sich damit innerhalb von drei Jahren halbiert haben.

Die in jeder Hinsicht positiven Ergebnisse des Technologiewechsels vom Sprengen zum Schneiden geben Veranlassung diesen Trend fortzusetzen.

Unter anderem als Ergebnis einer Diplomarbeit wurden mögliche weitere Optimierungspotenziale definiert.

Dabei handelt es sich im Wesentlichen um folgende Punkte:

- Einrichtung eines kontinuierlichen oder eines diskontinuierlichen Fördersystems.
- Installierung einer Trocken- oder einer Nassentstaubungsanlage.
- Erhöhung der Streckenanzahl bei diskontinuierlicher Förderung.
- Modifizierungen bei der Bewetterung.

Sollten sich die bisherigen positiven Erfahrungen weiter bestätigen, so ist davon auszugehen, dass mittel- bis langfristig eine Komplettumstellung vom Sprengen zum Schneiden stattfinden wird. Bohr- und Sprengarbeit wird dann allenfalls noch zur Deckung von Bedarfsspitzen und für Sonderzwecke eingesetzt werden.

5.3.9 Ein Schacht wird abgeteuft

Der vermutlich letzte Schacht in Deutschland, der Schacht „Konradsberg“, wurde bei den „Südwestdeutschen Salzwerken AG“ 2005/2004 abgeteuft.

Die beiden Schächte „Heilbronn“ (geteuft 1883–1885) und „Franken“ (geteuft 1971–1972) befinden sich im Heilbronner Industriegebiet direkt am Neckar und dienen der Förderung, der Wetterführung, der Seilfahrt sowie dem Deponie- und Materialtransport.

Da die Schächte während der Woche überwiegend für die Förderung benötigt werden, war es ausschließlich am Wochenende möglich, Materialtransporte wie Großteile von Fahrladern oder Bohrwagen im Schacht „Franken“ durchzuführen.

Der Salzabbau hat sich in den letzten Jahrzehnten in nordwestlicher Richtung des Grubenfeldes entwickelt und befindet sich heute in knapp 8 km Entfernung von den Schächten „Heilbronn“ und „Franken“ in der Nähe der Ortsteile Kirchhausen und Biberach.

7541014/10787806875Biblio

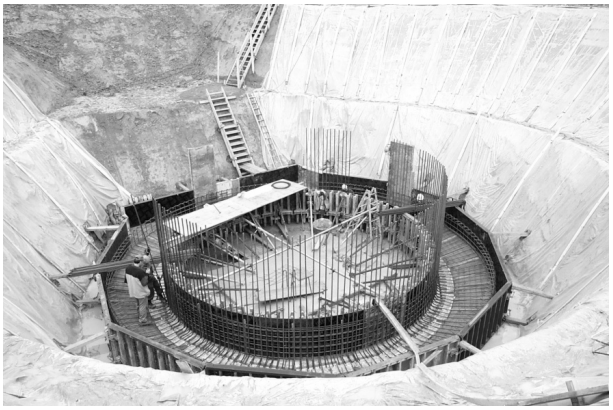


Abb. Fs-56: Fundament für Schachtkeller [19]

Diese Entfernung wird in den nächsten Jahren abbaubedingt weiter zunehmen und damit in Bezug auf ausreichende Bewetterung und Stromversorgung für die Abbaureviere höhere Anforderungen stellen. Dieser Umstand war Anlass, Überlegungen hinsichtlich eines neuen Schachtes in unmittelbarer Nähe der Abbaureviere anzustellen.

Das Ergebnis ist der Ende September 2004 fertiggestellte Versorgungsschacht auf der Biberacher Gemarkung Konradsberg vor den Toren Kirchhausens. Dieses Gelände ist gleichzeitig auch Namensgeber für den neuen dritten Heilbronner Schacht.

Der Schacht „Konradsberg“ wird wohl auf absehbare Zeit der letzte Bergwerksschacht auf deutschem Boden sein. Er reicht auf 240 m Teufe hinab und hat einen Durchmesser von sechs Metern.

Mit einem symbolischen „ersten Spatenstich“ wurde am 16. Mai 2003 der Teufbeginn des Schachtes von der Südwestdeutsche Salzwerke AG feierlich begangen. Der 1. Kübelzug erfolgte am 3. Dezember 2003 auf der Schachtbaustelle.

Der Durchschlag, die Verbindung von Schacht und Bergwerk, wurde nach 287 Arbeitstagen am 14. Juli 2004 realisiert. Mit dem entscheidenden Abbau des Teufgerüstes wurden bis 30. September 2004 die Abteufarbeiten zum neuen dritten Schacht der SWS erfolgreich abgeschlossen.

Die feierliche Einweihung des Schachtes erfolgte am 2. Oktober 2004, um dann abschließend in den Monaten Oktober und November das Schachtgelände rekultivieren und an die bisherigen Grundstückseigentümer zurückführen zu können.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-57: Die 4-etagige Arbeitsbühne wird in den Schacht gehoben. [19]

- **Abteufarbeiten im Detail**

Die Abteufarbeiten des Schachtes, die im Mai 2003 begannen, verliefen in insgesamt fünf Abschnitten. Bereits im ersten Bauabschnitt musste sich die Teufmannschaft nach Beendigung der Baggerarbeiten für den Schachtkeller einer großen Herausforderung stellen.

- **Bauabschnitt 1**

Der Schachtkeller wurde in offener Bauweise hergestellt, wobei die aufzubauenden runden Schalungselemente mit einer Höhe von 7,5 m gewaltige Ausmaße erreichten.

Dazu kamen die 48 Tonnen schweren Winden, die jeweils mit einem 44 mm starken und 750 m langen Seil für die Montagebühne und für den Seilfahrt- und Bergekübel ausgerüstet sind.

Sie wurden mit Spezialtransportern von der Schachtanlage Primsmulde im Saarland nach Heilbronn gebracht und parallel zu den Schachtbauarbeiten aufgebaut. Gleichzeitig zu dem Windenaufbau wurden in dieser Bauphase die elektrischen Schaltanlagen für die Versorgung der Teufgeräte installiert. Um im Zeitplan zu bleiben und zu gewährleisten, dass die Betonarbeiten aus einem Guss erfolgen, wurde auf der Baustelle rund um die Uhr gearbeitet.

Direkt nach der im Juli 2003 erfolgten Fertigstellung des Schachtkellers wurde mit den Arbeiten für den Ausbau des Schachtplatzes begonnen.

Hierbei musste das Gelände so angehoben und mit einer Oberflächenentwässerung versehen werden, dass anfallendes Niederschlagswasser direkt der öffentlichen Kanalisation zugeführt wird. Für die sichere Stromversorgung wurde das Trafo- und Schalthaus bis zum 8. August 2003 errichtet. Im Anschluss an diese Arbeiten konnte termingerecht der zweite Bauabschnitt beginnen

7541014/10787806875Biblio

- **Bauabschnitt 2**

In dieser Phase wurde die Schachtröhre bis maximal 50 m unter Geländeoberfläche mit Hilfe eines Turmdrehkrans und eines Kleinbaggers abgeteuft.
Abschnittsweise wurde alle 2,5 m die Seitenwand mit einer bis zu 30 cm dicken Spritzbetonschicht gegen Steinfall gesichert.

Nachdem auf diese Weise die lockeren Gesteinsschichten abgetragen wurden und man in 30 m Tiefe auf festes, selbst mit einem Hydraulikhammer nicht mehr zu lösendes Gestein gestoßen war, musste der Teufbetrieb auf Bohr- und Sprengtechnik umgestellt werden.

Am 2. September 2003 erfolgte die erste Sprengung. Im Abstand von zwei Tagen fanden bei ungestörten Gebirgsverhältnissen die weiteren Sprengungen statt, wobei jeweils 180 m^3 Festgestein gelöst wurden, was einem Gewicht von 400 t entspricht. Mit Erreichen einer Teufe von 50 m war der Vorschacht Mitte Oktober 2003 fertiggestellt.

An diese Arbeiten schloss sich bei gleichzeitiger Demontage des 25 m hohen Turmdrehkrans nahtlos die Montage der Teufeinrichtung an.
Im Wesentlichen besteht sie aus der vieretagigen Arbeitsbühne, Schachtabdeckung, Teufgerüst, Kippeinrichtung mit Bergebox und Fördermaschine.

- **Bauabschnitt 3**

Zu Beginn des dritten Bauabschnitts konnte so am 23. Oktober 2003 die zusammengebaute, 45 t schwere Arbeitsbühne in einem Stück in den Schacht eingehoben und im Schachtkragen abgehängt werden.

In den folgenden acht Tagen bis zum 31. Oktober wurde das 39 m hohe Teufgerüst errichtet, das von vielen als der „Eiffelturm von Heilbronn“ bezeichnet wurde, und zeitgleich der Turmdrehkran abgebaut. Nachdem alle für das bergmännische Schachtteufen erforderlichen Maschinen und Einrichtungen aufgebaut waren und die Sicherheitsabnahme durch Sachverständige und Bergbehörde erfolgreich verlaufen war, wurde am 3. Dezember 2003 auf der Schachtbaustelle „Konradsberg“ der sogenannte 1. Kübelzug gefeiert.

Ab dem 4. Dezember wurde das Teufen mit der bergmännischen Teufausrüstung durchgeführt, wodurch die Arbeiten wesentlich schneller, sicherer und effektiver ausgeführt werden konnten. Planmäßig wurden die Teufarbeiten alle 25 m bis 30 m eingestellt, um auf den Arbeitsschritt Verpressen umzustellen.

7541014/10787806875Biblio

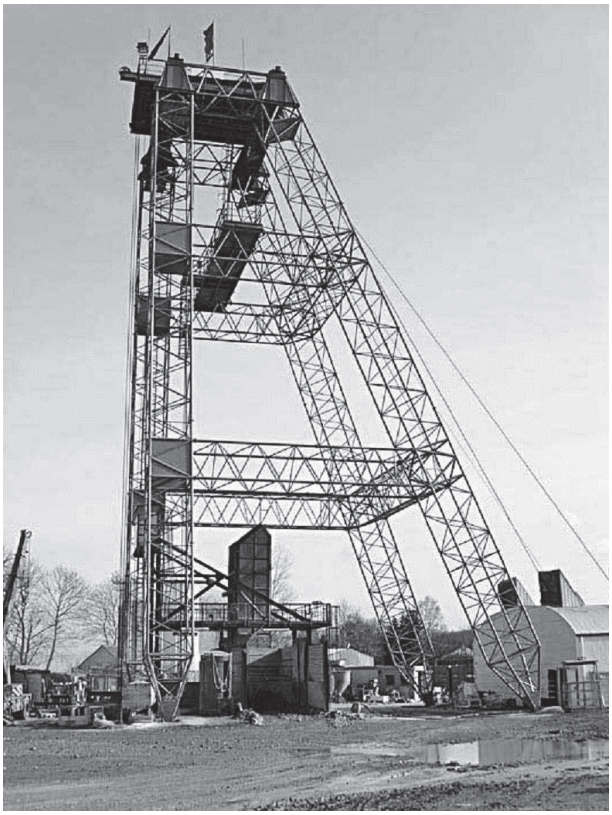


Abb. Fs-58: Abteufgerüst der Fa. Deilmann-Haniel für den Schacht Konradsberg [19]

- **Bauabschnitt 4**

Der sich anschließende vierte Abschnitt des Bauvorhabens sah in der Endstufe den fertiggestellten wasserdichten Schachtausbau vor.

Auf dem Weg dorthin wurde nach Erreichen des vorgesehenen Fundamentbereiches innerhalb der wasserabdichtenden Anhydritschicht über dem Salzlager Ende März 2004 in Abstimmung mit dem Geologischen Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau und dem Schachtbauunternehmen Deilmann-Haniel die genaue höhenmäßige Lage des Fundamentes bei 167 m festgelegt.

Es folgte eine Reihe wesentlicher Arbeitsschritte: Einbringung eines aus Stahlbeton bewehrten Stützringes, gebirgsschonende Erstellung des Konturausbruchs des Fundaments, die Montage einer Treufelrinne zu der Ableitung des von oberhalb zulaufenden Wassers, Einbringung und wasserdichte Verschweißung des Stahlblechmantels sowie Einbau des Betons. Der zwischen dem Stahlblechmantel und der vorläufigen Stoßsicherung aus Spritzbeton verbliebene Ringraum wurde in mehreren Abschnitten mit Asphalt aufgefüllt.

- **Bauabschnitt 5**

Nachdem der Schacht wasserdicht ausgebaut war, konnte die fünfte und letzte Bauphase der Teufarbeiten beginnen.

7541014/10787806875Biblio

Das dabei anfallende salzhaltige Gestein wurde zur Verwertung ins Versatzbergwerk geschafft. Am 14. Juli 2004 war es dann geschafft.

Um 10:34 Uhr erfolgte die entscheidende Sprengung. Die Verbindung von Schacht und Bergwerk, der sogenannte Durchschlag, wurde nach 287 Arbeitstagen erfolgreich hergestellt und in einem kleinen Festakt gewürdigt.

- **Abschließende Arbeiten**

In den folgenden Wochen wurden die Anschlüsse zur Wetterstrecke sowie zum Füllort in der Kammer 103 Nord im Revier NW 8 herausgebrochen und profiliert. Die großzügige Dimensionierung des neuen Füllortes mit einer freien Höhe von 8,5 m und einer Breite von 15 m wird die zukünftigen Transporte von Großmaterial am Schacht „Konradsberg“ vereinfachen. Nachdem der 10 m tiefe Schachtsumpf fertiggestellt war, begann der Rückbau des Fördergerüstes mit dem anschließenden Ausfördern der Teufbühne.
Mitte September 2004 wurde das Teufgerüst nach Dortmund verladen und dort für den nächsten Einsatz zwischengelagert.

Am 2. Oktober 2004 konnte die Geschäftsleitung der SWS AG auf dem geräumten Schachtplatz die Einweihung des Schachtes zusammen mit der Belegschaft im Rahmen einer „Betriebs-Hocketse“ feiern.

Bis Mitte November dauerte der Rückbau des Schachtgeländes. Große Teile der Schotter- und Kiesflächen mussten wieder entfernt werden.
Anschließend wurde das Geländeprofil der ursprünglichen Form angeglichen und der in Mieten zwischengelagerte Mutterboden aufgetragen.
Parallel zu den Rückbauarbeiten wurde die elektrotechnische Ausrüstung im Trafo- und Schalthaus komplettiert, so dass ab Mitte November auch die seit langem geplante Energieversorgung in Betrieb gehen konnte.
Abschließend erfolgten die Einzäunung des Schachtgrundstücks und die endgültige Abdeckung des Schachtes. Damit steht der Schacht „Konradsberg“ uneingeschränkt z. B. für Wetterführung und Schachttransporte zur Verfügung.

5.3.10 Untertage-Abfalldeponie und Versatz

Die UEV (Umwelt Entsorgung und Verwertung GmbH) ist ein Tochterunternehmen der Südwestdeutsche Salzwerke AG (SWS). Sie vermarktet die Hohlraumressourcen der SWS AG Heilbronn und Bad Friedrichshall-Kochendorf.

Die Genehmigung der Landesbergdirektion zur Ablagerung von Abfällen in der Untertagedeponie Heilbronn umfasst etwa 500 verschiedene Schlüsselnummern. Vor der Einlagerung eines Abfalles ist die Landesbergdirektion entweder im Anzeigeverfahren oder im Zulassungsverfahren einzuschalten.

Neben Aufbereitung, Schüttgutabwärtsförderung, Konditionierung und Versatz ist auch die Deponierung eine der Kernkompetenzen dieses Unternehmens. Als Abfallstoffe bieten sich dafür u. a. Rauchgasreinigungsrückstände, belastete Böden, Bauschutt sowie eigene oder kundenseitige Salzverarbeitungsrückstände an.

Eingangskontrollen sorgen für einen störungsfreien und sicheren Betrieb. Als Verpackungsmittel eignen sich Big Bags, Fässer oder Container.

7541014/10787806875Biblio

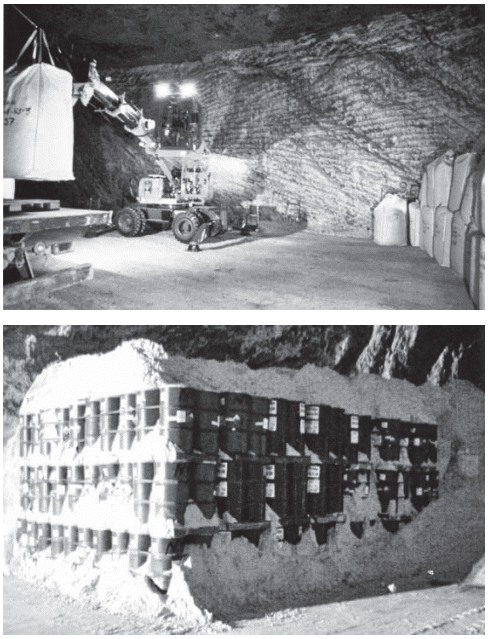


Abb. Fs-59:
Einlagerung von Big Bags (links) – Einlagerung von Fässern (rechts) [19]

5.3.11 Abfallverwertung als Versatz

Die Zielhierarchie des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes schreibt den Vorrang der Abfallverwertung vor der Abfallbeseitigung fest. Folgerichtig wurde auch die Dienstleistungspalette des Versatzbergwerkes Bad Friedrichshall-Kochendorf, das als Verwertungsanlage gilt, konsequent ausgebaut.

Seit mehreren Jahren werden Filterstäube und ähnliche Stoffe in einer Konditionierungsanlage abgepackt und unter Tage eingebaut.
Jährlich werden etwa 780.000 t bergbaufremde Abfälle als Versatzmaterial verwertet. Davon sind etwa 300.000 t Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen. Schüttgüter können per Bahn oder Lastkraftwagen angeliefert werden. Die Entladung erfolgt in einem 200 m³ fassenden Tiefbunker, der zur Vermeidung von Emissionen eingehaust wurde. Eine integrierte Berieselungsanlage und eine Entstaubungsanlage verhindern wirkungsvoll das Entstehen bzw. das Austreten von Staub.

Die vorhandene Schachtförderanlage musste von aufwärts- auf abwärtsgerichtete Förderung umgebaut werden. Dazu waren völlig neue Be- und Entladeeinrichtungen notwendig.
Da es sich bei den vorgesehenen Schüttgütern zum Teil um bindige, zu Anbackungen neigende Stoffe handelt, mussten neue Fördergefäße installiert werden. Hierfür wurden Schwenkgefäße ausgewählt, die durch ihre Geometrie und Öffnungsmechanismen keine behindernden Verengungen besitzen. Die Leistung der neuen Schachtfördereinrichtung einschließlich der vor- und nachgeschalteten Transporteinrichtungen beträgt 400 t/h.

Nach der untertägigen Entladung erfolgt der Transport der Schüttgüter über eine 3,5 km lange Bandanlage in den Versatzbereich.

7541014/10787806875Biblio

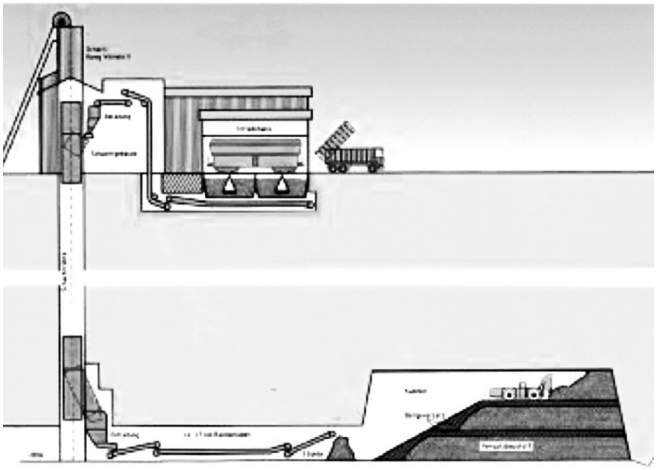


Abb. Fs-60:
Schematische Darstellung der Abwärtsförderung für Schüttgüter [19]

5.3.12 Unter-Tage-Archiv

Bereits im Zweiten Weltkrieg wurden in den Bergwerken Heilbronn und Kochendorf Kunstgegenstände, Lizenzen und Patentschriften, Modelle und Originalmaschinen, aber auch sonstige Wertgegenstände und Hausrat in Kisten eingelagert und nach Kriegsende den rechtmäßigen Eigentümern unversehrt zurückgegeben.

Seit über 100 Jahren wird im Verbundbergwerk Heilbronn/Kochendorf Salz abgebaut. In 200 m Tiefe und mit ca. 1.800 Abbaukammern ist dabei ein Streckennetz entstanden, das dem darüber liegenden Straßennetz der Stadt Heilbronn entspricht.

Jede dieser Kammern ist 200 m lang, 15 m breit und 10 m bis 20 m hoch. Gleichgroße Pfeiler zwischen den Kammern stützen das Gebirge unter und über dem Salzlager. Die ältesten Kammern stehen seit über einhundert Jahren ohne technische Stützen standsicher und trocken.

Es können aufbewahrt werden:

Akten, die gesetzlichen Aufbewahrungsfristen unterliegen, beispielsweise

- Akten, die Sicherheitsbestimmungen unterliegen,
- Röntgenbilder,
- elektronische Datenträger,
- Bücher,
- Wertgegenstände jeglicher Art,
- Kunstgegenstände, z. B. Bilder, Skulpturen,
- Materialproben von Weltraumsatelliten.

7541014/10787806875Biblio

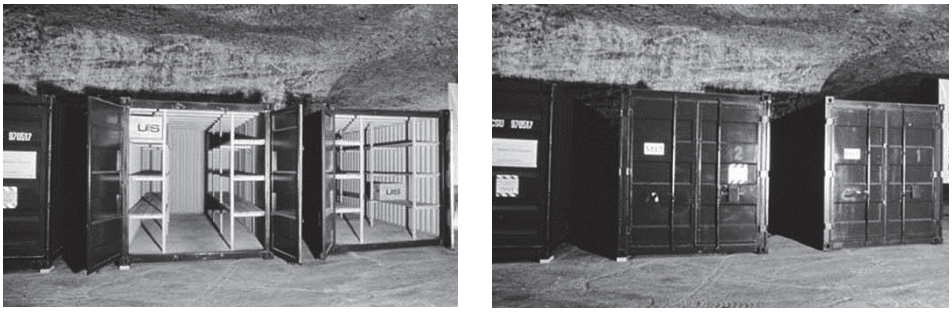


Abb. Fs-61: Unter-Tage-Archiv [19]

Vorteile der Unter-Tage-Archive bei Südsalz:

- standsicher,
- trocken,
- erdbebensicher,
- gleichbleibende Temperatur von 18–22 °C,
- gleichbleibende Luftfeuchtigkeit,
- ungezieferfrei,
- frei von Elektrosmog,
- sicher vor Wassereinbruch,
- sicher vor Naturkatastrophen.

5.3.13 Besucherbergwerke

Die Welt des Salzes, des sogenannten weißen Goldes, ist sagenumwoben – doch sie muss kein Geheimnis bleiben.

Das Salzbergwerk Berchtesgaden, die Alte Saline Bad Reichenhall und das Salzbergwerk Bad Friedrichshall sind drei beliebte Freizeitattraktionen zu den Themen Salz und Sole – interessante, sich ergänzende und lohnende Ausflugsziele für Jung und Alt.

In den Salzbergwerken Berchtesgaden und Bad Friedrichshall können die Besucher tief in das Bergwerk einfahren und so hautnah die Geschichte, aber auch die heutigen Abbaumethoden im Salzbergbau kennen lernen. Fachkundige Bergleute führen die Gäste durch die Welt unter Tage. Daneben werden auch Veranstaltungen und Konzerte durchgeführt. Auf Wunsch gibt es spezielle Führungen mit anschließendem Essen im Berg.

In den unterirdischen Stollen und im Salzmuseum der Alten Saline in Bad Reichenhall ist Erstaunliches und Wissenswertes über die Historie der Solegewinnung und Salzverarbeitung und die Faszination des technischen Fortschritts zu sehen. Und Gesundheitsbewusste genießen ihren Aufenthalt im Heilstollen des Salzbergwerkes Berchtesgaden.

7541014/10787806875Biblio

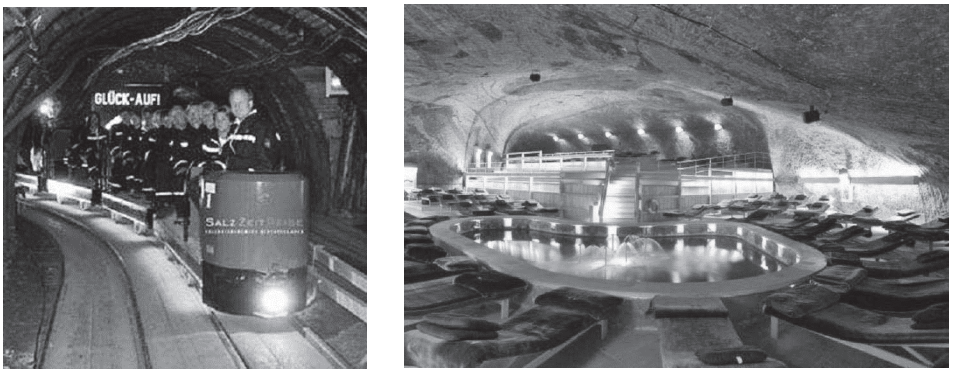


Abb. Fs-62: links: Fahrt mit der Stollenbahn – rechts: Im Heilstollensaal [19]

5.4 Steinsalzbergwerk Stetten[22)]

5.4.1 Geschichtliche Entwicklung

Das Steinsalzbergwerk Stetten ist das älteste noch produzierende Bergwerk, in dem Salz nach dem bergmännischen Verfahren gewonnen wird. Gleichzeitig ist es aber auch eines der modernsten Salzbergwerke Deutschlands. Mit einer Produktionszeit von mehr als 150 Jahren kann es auf eine lange Geschichte zurückblicken.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts ordnete der preußische König Friedrich Wilhelm IV. – angeregt durch die guten Erträge der Salinen im Großherzogtum Baden und im Königreich Württemberg – „die Durchforstung der unterirdischen Bodenschätze in den Hohenzollerischen Landen“ an.

Bereits 1852 und 1853 waren zwei Bohrungen in der Nähe von Stetten erfolgreich; es wurden Salzlagen verschiedener Mächtigkeit in unterschiedlichen Teufen angetroffen. Daraufhin beschloss man, mit dem Salzabbau zu beginnen, denn Salz war zur damaligen Zeit gleichzusetzen mit „weißem Gold“. Der lebensnotwendige Rohstoff war ein begehrtes Handelsgut und ein eigenes Salzbergwerk somit ein großes Stück Unabhängigkeit und Reichtum.

1854 wurde zwischen den beiden vorangegangenen Probebohrungen unter Leitung des Preußischen Staates mit dem Abteufen des ersten Schachtes begonnen, welcher allerdings nicht direkt im Salz, sondern in der sogenannten Auslaugungszone endete – aus heutiger Sicht ein großer Vorteil, da man auf den wasserdichten Ausbau des Schachtes verzichten konnte.

Nach einer erfolglosen dreijährigen Suche wurde im Juli 1857 endlich durch eine vom Schacht aus in Richtung Süden vorgetriebene Strecke die Lagerstätte gefunden und die Salzförderung begonnen.

Kurz danach wurde 1858 auch der Salinenbetrieb eröffnet. Im Jahre 1859 kam das erste königlich-preußische Siede- und Gewerbesalz in den Handel. Wurde das Salz zu Beginn

22) Der gesamte Abschnitt „Steinsalzbergwerk Stetten“ lag der Wacker AG zur Prüfung und Freigabe vor.

7541014/10787806875Biblio

noch mittels Wasserschlitzverfahren abgebaut, stellte man ab 1877 auf den sogenannten Örterbau und ab 1955 auf den bis heute angewandten Kammer-Festen-Bau um. Auch der Transport unter Tage veränderte sich.

Nachdem die Strecken zu den Abbaugebieten unter Tage zunehmend länger wurden und ein Transport des gewonnenen Materials per Hand zu beschwerlich war, ging man 1875 zum Pferdewagen-Transport über. Danach folgte ab 1932 der Transport durch Fahrdrahtlokomotiven und ab 1961 durch moderne Elektrozüge.

Abb. Fs-63: Fahrtdrahtlokomotive ab 1961 [32]

Neben Abbau- und Transporttechnik veränderten sich im Laufe der Zeit auch die Besitzverhältnisse. Nach dem Ersten Weltkrieg ging das Salzbergwerk Stetten in die Preussag AG über. Ab 1924 pachtete die Dr. Alexander Wacker-Gesellschaft für elektrochemische Industrie mbH das Salzbergwerk Stetten, um so ihren steigenden Bedarf an Steinsalz für die Chloralkali-Elektrolyse decken zu können. Dies markierte einen wichtigen Wendepunkt in der Geschichte des Salzbergwerkes Stetten: der mittlerweile unrentabel gewordene Salinenbetrieb wurde komplett eingestellt. Das Ende der Speisesalzproduktion war somit erreicht, und der Eintritt in die moderne Gewerbe- und Industriesalzproduktion begann.

1960 kaufte das Unternehmen, welches nun Wacker Chemie GmbH hieß, das Salzbergwerk Stetten auf. Heute firmiert das Unternehmen unter der Bezeichnung „Wacker Chemie AG“.
Es folgte eine ständige Modernisierung des Bergwerkes.
1992 wurde zur Aufbereitung des Chemiesalzes eine Elektrosortierung installiert. Sie wurde im Jahre 2004 durch eine weniger energieaufwändige Magnetsortierung abgelöst.

Die Steinsalzlagerstätte Stetten ist heute durch zwei Rampen und einen Schacht erschlossen. Der Schacht von 1854 wird dabei nur noch zu Bewetterungszwecken verwendet, während über die Rampe nach wie vor die Förderung des Salzes mittels Bandanlage stattfindet.

5.4.2 Zugänge zum Unter-Tage-Betrieb

Der Zugang zum Salzlager erfolgte ursprünglich über einen Seigerschacht, der heute nur noch zur Bewetterung, Wasserhaltung, Energieversorgung und als zusätzlicher Rettungsweg dient.

Zwischen 1966 und 1968 wurde ein zweiter Zugang als Rampe abgeteuft und von diskontinuierlicher Schachtförderung des abgebauten Salzes auf kontinuierliche Bandförderung umgestellt, die um ein Vielfaches leistungsfähiger war. Außerdem wurden im Laufe der Zeit die Anlagen zur Aufbereitung des Salzes nach unter Tage verlegt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-64: Der Eingang zur zweiten Rampe [32]

Die damals für die Planung Verantwortlichen entschieden sich dafür, die geforderte Fördermenge von mindestens 400 t/h nicht mehr über eine senkrechte Schachtförderung, sondern mittels Förderband sicherzustellen.

Die damaligen Haushaltsmittel führten jedoch zu einer kompromisslosen Anpassung der Abmessungen des Schrägschachtes an die Erfordernisse des Förderbandes. Der Schrägschacht verfügt daher nur über einen Querschnitt von 8 m² bei einem Gefälle von 17,5° (circa 32 %). Er ist daher nur mit Spezialfahrzeugen befahrbar und genügt daher, mit Ausnahme seiner Funktion als Förderschacht, den heutigen betrieblichen Anforderungen nicht mehr.

Der vom Juni 2007 bis August 2008 als dritter Zugang errichtete Clarastollen ist ca. 900 m lang und weist eine Neigung von circa 6° (10 %) bei einer Lichtraumprofilhöhe von 4,50 m auf. Der Stollen entlastet den existierenden Schrägschacht, der früher für Material-, Personen- und Gerätetransporte genutzt wurde. Mit einem Querschnitt von 36 m² und einem Gefälle von maximal 10 % ist der neue Zugang somit für normale Straßenlastkraftwagen benutzbar. Jeweils zwei 40 m lange Ausweitungsstrecken ermöglichen sogar einen Lkw-Betrieb im Gegenverkehr.

Besonders von Vorteil ist, dass durch die Rampe aufgrund ihres großen Querschnittes und ihr vergleichsweise geringes Gefälle große Maschinen für den Abbau unzerlegt nach unter Tage gelangen können (Abb. Fs-65).

Abb. Fs-65: Einfahrt des Clarastollens. Die Abmessungen erlauben das Befahren mit einem schweren Dumper Typ CAT 740. [32]

7541014/10787806875Biblio

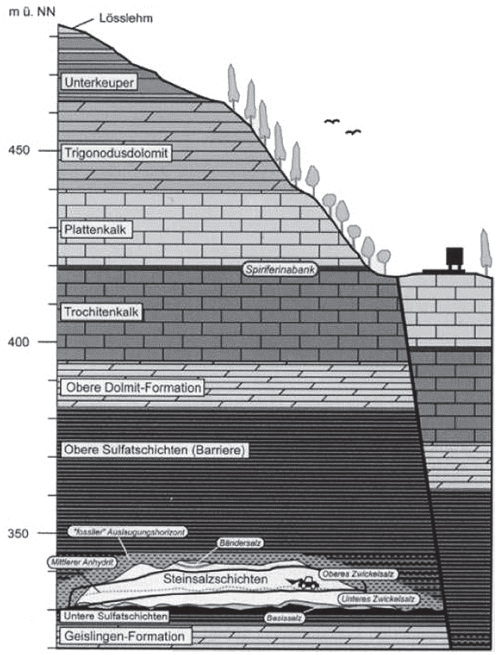
Die technischen Daten des CAT 740 (Ejector)

Motorleistung:	360 kW	Nutzlast:	39,5 t
Muldeninhalt:	24 m^3	zul. Gesamtgewicht	72,6 t
Länge/Breite/Höhe.	10,9/3,75/3,52 m	max. Geschwindigkeit	54,7 km/h

Vor der Inbetriebnahme des Clarastollens 2008 mussten alle Maschinen komplett in Einzelteile zerlegt werden, um über den 32 % steilen Schrägschacht nach unter Tage zu gelangen. Erst an Ort und Stelle konnten sie im Bergwerk montiert werden.

5.4.3 Geologie

Unter Tage ist die flözartige Lagerstätte durch im Abstand von ca. 500 m in Richtung Nord-Süd verlaufende Strecken in mehrere Abbauschnitte unterteilt. Das Grubenfeld entwickelte sich seit Beginn der Abbautätigkeit immer weiter in Richtung Süden. Die momentane Ausdehnung beträgt etwa 10,5 km^2.



Das Salz der Steinsalzlagerstätte Stetten stammt aus der Muschelkalk-Serie und ist vor ca. 250 Mio. Jahren entstanden. Die Lagerstätte besitzt eine Mächtigkeit von 5 m bis maximal 15 m und befindet sich, abhängig von der über der Lagerstätte vorhandenen Topografie, in einer Tiefe von lediglich 100 m bis 150 m unter Gelände. Sie ist durch eine großtektonische Störung (Flexur) in Nord- und Südfeld unterteilt. Über dem Salz befindet sich eine wasserdichte Barriereschicht aus Anhydrit und Tonstein. Der Aufbau des Deckgebirges über der Lagerstätte ist in Abb. Fs-66 dargestellt.

Abb. Fs-66: Das geologische Profil des Salzvorkommens Stetten [32]

5.4.4 Abbau- und Gerätetechnik

Abgebaut wird das Salz im sogenannten Kammer-Festen-Bau. Dazu werden (wie bereits unter „Bergbau von Kali“ beschrieben) entlang der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Hauptvorrichtungsstrecken, welche in Stetten als „Straßen“ bezeichnet werden, im Achsabstand von 20 m Abbaukammern im 90°-Winkel zur Hauptvorrichtungsstrecke erstellt.

7541014/10787806875Biblio

Die Abbaukammern haben im Endzustand eine Breite von 12 m, eine Höhe von maximal 7 m und sind, abhängig vom Abstand zweier benachbarter Straßen, rund 250 m lang. Die Abbaukammern selbst werden aus arbeitssicherheitstechnischen und wettertechnischen Gründen im Abstand von 35 m untereinander durch Querschläge verbunden. Falls die Geomechanik es erfordert, kann die Abmessung einer Abbaukammer auch reduziert werden. Der reguläre Achsabstand zweier Kammern von 20 m ergibt sich aus 12 m als Kammerbreite und 8 m Breite für die Festen, welche aus Stabilitätsgründen nicht hereingewonnen werden. Durch diese Abbauweise werden nur in etwa 30 % der Lagerstätte genutzt. Dies dient der Sicherheit; ein zusätzlicher Ausbau der entstandenen Hohlräume ist nicht notwendig.

Die Abbaukammern werden in mehreren Schritten aufgefahren. Zu 99 % erfolgt dabei deren Herstellen und somit die Gewinnung des Salzes durch Bohr- und Sprengarbeit. Nur zu einem sehr geringen Teil wird im Bergwerk Stetten das Salz auch schneidend gewonnen.

Die Herstellung der Abbaukammern durch Bohren und Sprengen gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte, die ständig wiederholt werden, bis die Kammer ihre maximale Länge von rund 250 m erreicht hat. Der Arbeitszyklus läuft wie nachfolgend beschrieben ab (siehe auch SWS-Heilbronn).

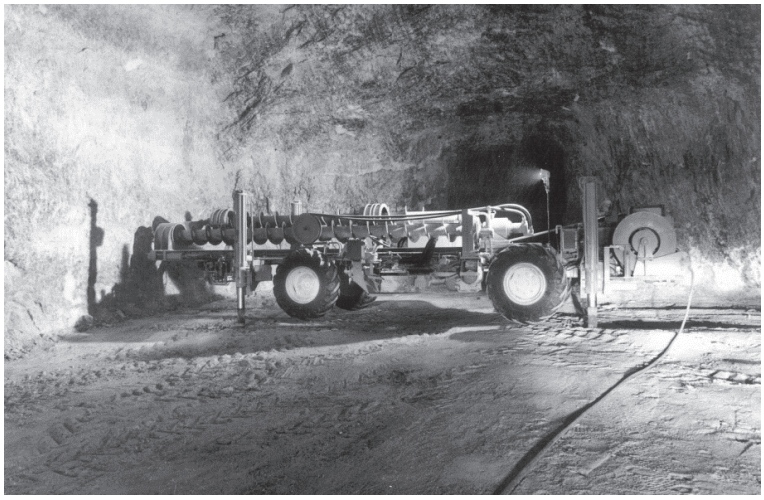


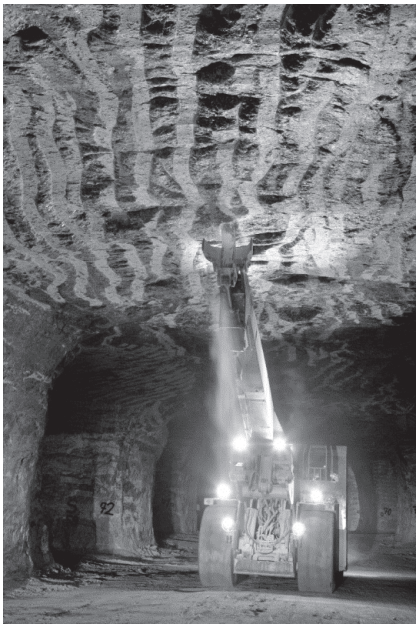
Abb. Fs-67: Herstellung der Großlochbohrungen [32]

Zunächst wird mithilfe eines Großlochbohrwagens ein Großbohrloch mit 42 cm Durchmesser und 7 m Länge erstellt. Die Neigung des Bohrloches und somit der spätere Verlauf der Abbaukammer richtet sich nach dem Verlauf der Lagerstätte.
Nach dem Abbohren des Großbohrloches werden exakt parallel zu diesem die Sprengbohrlöcher nach einem vorgegebenen Raster durch einen computergesteuerten Bohrwagen erstellt. Sie haben ebenfalls eine Länge von 7 m; ihr Durchmesser beträgt 35 mm. Die Bedienung des Sprengbohrlochwagens und die Herstellung der Sprengbohrlöcher erfolgen durch nur einen Mitarbeiter.

7541014/10787806875Biblio

Einzelarbeitsplätze sind im Salzbergwerk Stetten die Regel. Für das Abbohren eines Sprengbohrloches werden ca. 45 Sekunden benötigt. Die Sprengbohrlöcher werden danach nach einem vorgegebenen Schema mit elektrischen Zündern und losem Sprengstoff gefüllt. Das Einführen der Zünder ins Bohrlochtiefste erfolgt mit einem Ladeschlauch, die Befüllung mit losem Sprengstoff durch Einblasen. Die Zünderdrähte werden anschließend zu einem Zündkreis verbunden. Dann ist der Abbauort für die Sprengung fertiggestellt. Die Sprengung der so vorbereiteten Abbauorte erfolgt am Ende der Schicht. Nach der Sprengung werden die entstandenen Sprengschwaden durch die Bewetterung verdünnt und ziehen ab.

Abb. Fs-68: Bohren der Sprenglöcher [32]



Zur Bewetterung des Bergwerkes werden in Stetten pro Minute ca. 8.000 m³ Frischluft durchs Grubengebäude geblasen. Die Frischwetter gelangen über den Senkrechtschacht ins Bergwerk, die Abwetter über die Rampe wieder nach über Tage.

Vor dem Laden des durch die Sprengung entstandenen Haufwerkes werden zunächst lose Gesteinsbrocken an den Stößen und an der Firste mithilfe eines Beraubefahrzeuges entfernt. Die sog. „Kanone“, also der neu geschaffene Hohlraum, wird so gesichert.

Abb. Fs-69: Berauber-Fahrzeug in Aktion [32]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-70: Radlader Typ CAT 980 G II beim Laden und Abfahren [32]

Technische Daten des Radladers CAT 980 G II

Motorleistung:	224/305 kW/Ps	Einsatzgewicht:	29 t
Schaufelinhalt:	max. 5,7 m³	Geschwindigkeit:	37,5 km/h

Abb. Fs-71: Aufbereitungsanlage unter Tage. Die Aufbereitung des hereingewonnenen Salzes erfolgt komplett unter Tage. Dadurch werden nicht verwertbare Anteile, die bei der Aufbereitung anfallen, nicht unnötig nach über Tage gefördert, sondern vor Ort zum Wegebau oder als Versatz verwendet. [32]

Das gewonnene Haufwerk wird mit Fahrladern aufgenommen, zu Walzenbrechern transportiert und dort auf eine Korngröße < 200 mm zerkleinert, damit es für den weiteren Transport mittels Förderband geeignet ist. Nach dem Herstellen der Kanone werden die sogenannten Abklappen hereingewonnen, d. h., die Kanone wird auf den endgültigen Querschnitt der Abbaukammer vergrößert.

Dazu werden die Arbeitsschritte Bohren, Sprengen, Berauben und Laden wiederholt. Allein auf das Herstellen eines Großbohrloches kann bei diesem Arbeitsschritt verzichtet werden, da die Kanone selbst nun die Funktion der freien Fläche übernimmt, in die sich das gesprengte Material ausbreiten kann.

7541014/10787806875Biblio

Durch diese immer wiederkehrenden Schritte werden die Abbaukammern in Teilstücken von 7 m Länge nach und nach aufgefahren. Pro Gesamtabschlag werden so ca. 1.000 t Salz gewonnen.

Abb. Fs-72: Brechanlage [32]

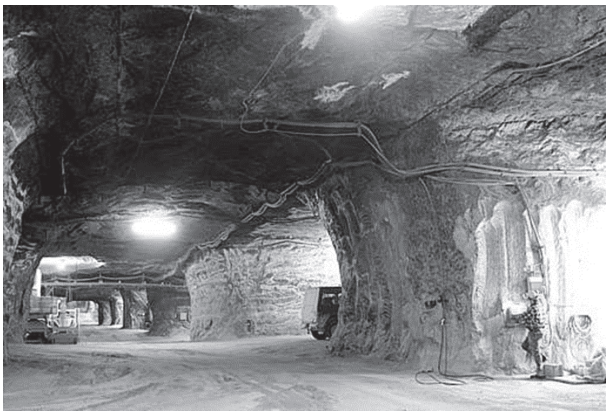


Abb. Fs-73: Das Unter-Tage-Strecken- und Kammersystem [31]

5.4.5 Besondere Anforderungen an die Lade- und Transportgeräte

An die Dumper werden im Salzbergwerk besondere Ansprüche an die Leistung gestellt. Die Fahrer der knickgelenkten Dumper mit Allradantrieb fahren in Spitzenzeiten die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 35 km/h voll aus, um möglichst schnell an ihr Ziel, den Brecher, zu gelangen.

Um den Transport effizient abzuwickeln, wird die Strecke mit einem eigenen Wasserwagen besprüht und die Fahrbahn immer wieder mal planiert.

Was die Maschinentechnik anbelangt, müssen im Untertagebau besondere Vorkehrungen getroffen werden – allen voran bei der Motorentechnologie müssen Dieselmotoremissionen so gering wie möglich ausfallen. Wo es möglich ist, laufen Maschinen, wie die Bohrgeräte, mit Dieselantrieb, bis sie an ihrem Einsatzort angelangt sind, wo sie auf elektrischen Antrieb umgestellt werden. Warum an die Motoren extreme Anforderungen gestellt werden, hängt mit der Frischluftzufuhr zusammen.

7541014/10787806875Biblio

Denn unter Tage ist frische Luft nicht selbstverständlich, auch wenn Belüftungsanlagen und sogenannte Wettertüren dafür sorgen, die „Wetter“, also die Frischluft, zu regulieren. Trotzdem wird ein hohes Augenmerk darauf gerichtet, dass sich die Emissionswerte der verwendeten Geräte sowie der Kraftstoffverbrauch in Grenzen halten. Geräte älteren Baujahrs ließ Wacker mit neuen und emissionsarmen Motoren ausstatten.

Schädlich für die Maschinen, insbesondere den Kühler, ist auch der feinporige Salzstaub in der Luft. Darum wird er in regelmäßigen Abständen unter Tage gereinigt. Die Mitarbeiter kümmern sich ebenso um routinemäßige Wartungsarbeiten, wie etwa den Wechsel von Luftfiltern, der ebenfalls aufgrund des besonderen Maschineneinsatzes häufig ansteht. Größere Reparaturen erledigen die Servicemitarbeiter der Lieferfirmen.

Weil Salz in Kombination mit Wasser und Sauerstoff erfahrungsgemäß Korrosion verursacht, sind alle Aluminiumteile an den Maschinen speziell beschichtet worden. Solange das Salz nicht mit Wasser in Verbindung kommt, passiert nichts. Darum bekommen Radlader oder Dumper auch keine Sonderlackierung, denn Trockenheit ist oberstes Gebot. Das Ergebnis zeigt sich beispielsweise bei der Radladerschaufel. Deren Metall blitzt und blinkt selbst nach drei Jahren Einsatz noch immer wie nahezu neu, von Einsatz- und Verschleißspuren ist nichts zu sehen.

5.4.6 Produktionsleistung

In den Wintermonaten werden täglich bis zu 10.000 t Streusalz gefördert und auf bis zu 350 Transporter verladen. Salz kann nur bedingt auf Vorrat produziert werden, da es unbehandelt nicht unbegrenzt lagerfähig ist.

Um für die Wintersaison Kapazitätsengpässe auszuschließen, wurde am Standort Stetten das vorhandene untertägige Salzlager erweitert. Insgesamt lagern hier bis zu 200.000 t. Die geförderte Jahresproduktion beträgt in Stetten im Durchschnitt 500.000 t, wovon rund 80.000 t Industriesalz für die unternehmenseigene Produktion in Burghausen verwendet werden, wo unter anderem Silicone, Reinstsilicium und pyrogene Kieselsäure hergestellt werden. Den Löwenanteil von rund 400.000 t macht die Produktion von Streusalz aus.

5.4.7 Abfallverwertung

Die durch den Abbau entstandenen wasserdichten Hohlräume eignen sich ideal für den Versatz mit mineralischen Abfällen. So lassen sich Abfälle sicher und umweltgerecht entsorgen.
Zu den Kunden des Salzbergwerkes, die diese Versatzmöglichkeiten nutzen, zählen Unternehmen, Abfallbehandlungsanlagen und Gemeinden.

Die Verwertung der Abfälle als stabile Verfüllung der Abbaukammern hat dabei mehrere Vorteile. So entfällt in Deutschland die Andienungspflicht bei den Bundesländern, d. h., der Kunde kann den Entsorgungsweg selbst bestimmen. Des Weiteren wirkt sich die Verwertung positiv auf die Umweltbilanz aus. Zusätzlich werden über Tage Deponieflächen eingespart.

Die Abfälle, die für den Versatz in diesen Hohlraum geeignet sind, stehen am Ende der gesetzlich geregelten Entsorgungskette: z. B. verlangt die Technische Anleitung Abfall (TA Abfall) seit 2005 zwingend die thermische Behandlung von Hausmüll und Gewerbeabfall. Das heißt, die organischen Inhaltsstoffe werden energetisch verwertet und das Volumen der Abfälle wird gleichzeitig reduziert.

7541014/10787806875Biblio

Durch modernste Anlagen und Messtechnik in den Müllverbrennungsanlagen werden die in den Abfällen enthaltenen Schadstoffe auf ein Minimum reduziert. Diese verbleibenden Rauchgasreinigungsrückstände werden nach entsprechender Konditionierung im Salzbergwerk eingebaut und damit der Biosphäre langzeitsicher und nachsorgefrei entzogen.
Seit 2008 wird der dritte Zugang in die Versatzkammern unter Tage, der Clarastollen (s. Abschnitt 5.4.2) genutzt.

Abb. Fs-74: Abfallanlieferung durch Straßenfahrzeuge bis zur Einbaustelle [32]

Seit Fertigstellung des Clarastollens findet der offene Umschlag von Versatzmaterial ausschließlich unter Tage statt. Da kein zusätzlicher Umladeschritt über Tage mehr erforderlich ist, entfallen sonst oft übliche Einschränkungen bezüglich Lieferform und Korngröße, Fässer und loses Versatzgut werden ebenso angenommen wie Big Bags und Absetzmulden jeder Abmessung. Auch bezüglich Größtkorn, Feinstkorn und Kornverteilung existieren keine Vorgaben. Alles, was auf der Straße transportiert werden und darf, kann bei entsprechender Eignung auch direkt nach unter Tage befördert werden.

Abb. Fs-75: Bilder aus dem Versatzbereich – links: lose angeliefertes Material – rechts: Big Bags [32]

Der Umschlag der in Big Bags und Fässern verpackten Abfallstoffe von Bahnwaggons auf die Spezialfahrzeuge oder LKW zum Transport ins Bergwerk erfolgt mittels Gabelstaplern. Die Awilog-Absetzmulden mit offenem Schuttgut werden direkt auf Spezialfahrzeuge umgeladen und nach unter Tage zum entsprechenden Versatzfeld befördert. Geplant ist außerdem der Intermodalverkehr mit Open-Top-Containern.

7541014/10787806875Biblio

Zu den über 250 Abfallschlüsselnummern nach Abfallverzeichnisverordnung mit Bergrechtlicher Betriebsplanzulassung zählen u. a.:

- Abfalle aus der Eisen- und Stahlindustrie,
- Gießereiabfälle,
- Kraftwerksrückstände,
- Filterstäube,
- Rost- und Kesselaschen,
- Abfälle aus der Zementherstellung,
- Abfälle aus der Glas- und Keramikherstellung,
- Abfälle aus anorganisch-chemischen Prozessen,
- Abfälle aus der Kali- und Steinsalzaufbereitung,
- Bau- und Abbruchabfälle.

5.5 Steinsalzbergwerk Borth

5.5.1 Geschichtliche Entwicklung

Abb. Fs-76: Bergwerksanlage Borth mit den Schächten 1 (links) und 2 (rechts) [V72]

Die Salzbergwerke Borth werden von der esco (eEuropean salt sompany GmbH & Co. KG), einer Tochter der K+S-Gruppe, betrieben.

1897 wurde in Borth bei Probebohrungen nach Kohle das Salzvorkommen entdeckt. 1906 errichteten die Deutschen Solvay-Werke bereits eine Sodafabrik, die zunächst mit Salz aus anderen Abbauorten und mit geringeren Mengen von ausgespülter Sole arbeitete. Eine großflächige Aussolung hatte die Bergbaubehörde nicht genehmigt, sodass für den bergmännischen Abbau oberirdisch der Förderturm und Tagesanlagen und unterirdisch Schächte und Strecken angelegt werden mussten. Das Abteufen des ersten

7541014/10787806875Biblio

Schachtes zwischen Borth und Wallach wurde wegen des nahen Rheins und der damit verbundenen Wasserführung im komplizierten und langsamen Gefrierverfahren durchgeführt.

Dieses erste Bergwerk wurde nach kurzer Zeit aufgegeben, als ein Wassereinbruch eine weitere Arbeit unmöglich machte.

Eine Erhebung zwischen den Ortsteilen Wallach und Borth und das alte Maschinenhaus zeugen noch heute davon. Der „Alte Schacht“ wurde ca. 1963–64 endgültig verfüllt und der Förderturm demontiert.

Nach dem folgenschweren Unfall unter Tage mit mehreren Toten zum Beginn der Bergbautätigkeit in Borth hatte man aus Furcht vor weiteren Wassereinbrüchen den „Alten Schacht“ aufgegeben.

Zwei neue Schachtanlagen wurden stattdessen an den Ortsgrenzen von Borth, Menzelen-Ost, Büderich und Wallach errichtet.
Weitere Schwierigkeiten, wie Wassereinbrüche, Probleme beim Transport des gefrorenen Erdreiches, Explosionen, Blitzeinschlag und das langwierige Gefrierverfahren, führten dazu, dass erst nach 16 bzw. 20 Jahren die Schachtanlagen in Betrieb gehen konnten.

Der Doppelbock-Förderturm über Schacht II in Fachwerksbauweise wurde 2006 abgerissen und durch ein modernes Stahlkasten-Gerüst mit mehr Tragkraft ersetzt. Der Stahlbeton-Förderturm über Schacht I von 1964 ist weiterhin in Betrieb.

Neben der konventionellen Gewinnung von Steinsalz wurde ab 1930 im Alten Solfeld südlich der Schächte mit der Steinsalzgewinnung durch Aussolung begonnen. Später verlagerte man die Solegewinnung in das Neue Solfeld. Dieser Betrieb blieb bis 1990 erhalten.
Nach der Aussalzung des Alten Baufeldes wurde das Hauptabbaugebiet in das Nordfeld verlagert. Von dort aus wurde ab 1967 das Westfeld in Verhieb genommen.

Für den Abbau weiterer Abbaufelder wurde ein neuer Rahmenbetriebsplan erforderlich (s. unten).

Das Salzbergwerk ist heute das größte seiner Art in Europa. Auf einer Fläche von 88 km^2 wird die 200 m mächtige Salzlagerstätte in Form von Steinsalz abgebaut.
Das Borther Steinsalz ist bekannt für die hohe Reinheit, eine Voraussetzung für die Gewinnung von Speisesalz, aber auch für das hochreine Salz von 98 % bis 99 %, das die Chemie und Medizinindustrie benötigt. Gefördert werden ca. 2.000.000 Tonnen Salz pro Jahr. Ein wichtiger Absatzbereich ist der Einsatz als Streu- oder Auftausalz für die Straßen in Deutschland und Europa.

5.5.2 Geologie

Das Steinsalzbergwerk Borth liegt im südlichen Teil des Niederrheinischen Zechsteinbeckens. Im Zechstein wurde dort ein durchschnittlich 200 m mächtiges Salzpaket der Werra-Folge abgelagert. Dieses Paket besteht aus dem etwa 70 m mächtigen Oberen Werra-Steinsalz, dem etwa 60 m mächtigen Mittleren Werra-Steinsalz sowie dem ebenfalls durchschnittlich 70 m mächtigen Unteren Werra-Steinsalz. Dieser Aufbau ist über weite Teile des Grubenfeldes homogen.

7541014/10787806875Biblio

Der 20 m mächtige Abbauhorizont befindet sich im Unteren Werra-Steinsalz, etwa 15 m über der Salzbasis. Die Salzbasis wird durch den 5 m mächtigen Unteren Werra-Anhydrit gebildet und fällt mit 3° nach Nordwesten ein.
Der Salzhorizont wird von einem bis zu 70 m mächtigen aus überwiegend Tonsteinen bestehenden Schichtenpaket der Zechsteinfolge überlagert. Dieses schützt das Salinar vor Wasserzuflüssen.

Das bis zu 800 m mächtige Deckgebirge des Zechsteins wird aus Schichten der Trias, Kreide und des Tertiärs sowie des Quartärs gebildet.

Das derzeitige Hauptabbaugebiet des Steinsalzbergwerks Borth liegt unter der Bislicher Insel. Die Bislicher Insel wird durch einen Altarm des Rheines umflossen und ist ein 1.200 ha großes Naturschutzgebiet (Abb. Fs-77). Dass Bergbau und Naturschutz sich nicht gegenseitig ausschließen, wird in diesem Beispiel erläutert (siehe später).

Abb. Fs-77: Die Bislicher Insel, in diesem Bereich findet derzeit (2011) der Salzabbau statt. [Z11 3/2009]

5.5.3 Neu entwickelte Gewinnungsverfahren

Ein internes Benchmarking unter Berücksichtigung der lagerstättenbedingten Unterschiede der einzelnen Werke ergab Rationalisierungspotenziale für den Standort Borth; so lagen der Grubeneffekt unter Tage ca. 20 % unter und die Kosten ca. 30 % über dem esco-Durchschnitt.

Im Rahmen des technischen und wirtschaftlichen Integrationsprozesses und nach den positiven Erfahrungen anderer Projekte bei der K+S wurden Anfang 2003 bereichsübergreifende, temporäre Bearbeitungsteams gegründet und in eine Projektorganisation mit Lenkungsausschuss und Projektleitung eingebunden. Ziel der „Mittelfrist-Entwicklung Werk Borth“ war es, Rationalisierungspotenziale zu erkennen und schrittweise zu erschließen.

Die größten Potenziale wurden bei den Bereichen „Infrastruktur“, „Abbauförderung“ und „Abbauverfahren“ aufgezeigt.

Bei dem bisher praktizierten Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren wurde zunächst durch eine Mittel- und eine Wetterstrecke der Abbaublock vorgerichtet.

7541014/10787806875Biblio

Dazwischen wurden dann Kammern mit einer Länge von ca. 600 m, einer Breite von 20 m und einer maximalen Höhe von 20 m erstellt. Dazu wurde, ausgehend von der Mittelstrecke, die oberste Ebene im Hangenden entweder schneidend mit dem Marietta-Miner oder konventionell in Bohr- und Sprengarbeit aufgefahren. Das Auffahren ging über die gesamte Breite der zukünftigen Kammer. Die notwendige Höhe wurde durch die Fahrzeughöhe bestimmt.

Anschließend wurde von der Mittelstrecke aus eine Rampe in Bohr- und Sprengarbeit in das Liegende, das heißt auf die Sohle der zukünftigen Strosse gefahren. Beim Erreichen der Strossenhöhe von ca. 15 m wurde mit dem eigentlichen Strossenabbau begonnen.

Dazu wurde eine Bagger-Truck-Kombination genutzt: Ein Elektrobagger stand vor dem gesprengten Haufwerk und belud die Wechselmulden (30 t bis 40 t Inhalt). Diese wurden von Kiruna-Trucks aufgenommen und zu einer Zentralkippstelle bis zu einer maximalen Entfernung von 600 m bis 800 m zum Entladen auf die Baudanlage transportiert.

Abb. Fs-78: Multitransport-System [Z11 1/05]

Die Zentralkippstelle musste zwar mit erheblichem Aufwand zu Beginn des jeweiligen Blockabbaus errichtet werden, aber da sie bis zum Aussalzen des Abbaubereiches nicht mehr umgesetzt wurde, war ihre Nutzungsdauer sehr hoch. Dieses ursprünglich eigentlich optimal auf die Verhältnisse des Bergwerkes Borth abgestimmte Abbauverfahren wies aus heutiger Sicht – analog der Betrachtung der Transportlogistik – folgende Nachteile auf:

- hoher Fahrzeugbedarf mit entsprechend hohem Instandhaltungsaufwand,
- hohe Personalkosten bei einer geringen Schichtleistung und
- lange Verweilzeiten in den Abbaukammern.

Nach Befahrungen auf Schwesterwerken und Überprüfung verschiedener Abbauverfahren wurde als Lösung eine modifizierte Version des im Schwesterbergwerk Bernburg angewandten Prinzips gewählt. Das führte zur Einführung der durchgehend mobilen Gewinnungskette mit leistungsfähigen Fahrladern und der Rolllochförderung über Liegendstrecken mit leicht umsetzbaren Kippstellen.

Der zukünftige Abbaublock wird – ausgehend von einer Bandachse – durch drei Strecken aufgeschlossen. Die Auffahrung der Basisstrecke erfolgt in der Mitte des Blockes parallel mit einer Hangend- und Liegendstrecke.

7541014/10787806875Biblio

Dabei liegt die Bandanlage mit dem vorgeschalteten Brecher in der Liegendstrecke, das in der Hangendstrecke anfallende Haufwerk wird über ein Förderrollloch direkt auf den Brecher gekippt. Nach Erreichen des Blockendes wird aus dem Bereich der Basisstrecke die Hangendstrecke des ersten Strossenpaares über das letzte Rollloch abgefördert. Ist die Hangendstrecke mit den seitlichen Begleitstrecken durchschlägig, kann das erste Strossenpaar in Verhieb gehen.

Dazu wird der Walzenbrecher auf das vorletzte Rollloch versetzt und im Bereich der Strosse ein Schlitz erstellt. Parallel zu dem dann beginnenden Strossenabbau kann über das gleiche Rollloch die Auffahrung der Hangendstrecke des nächsten Strossenpaares erfolgen. Das Prinzip wird anschließend im Rückbau zur Bandstrecke hin mehrmals wiederholt.

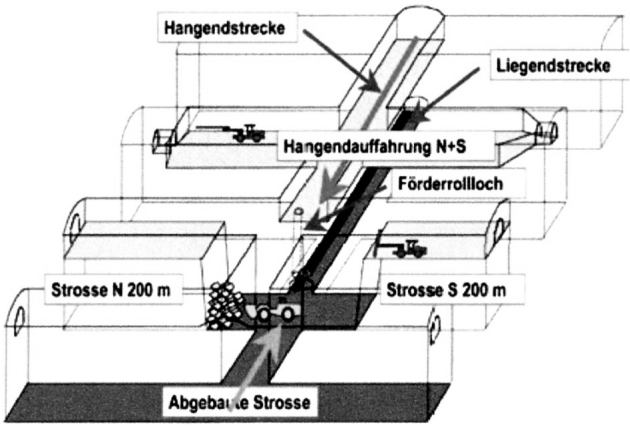


Abb. Fs-79: Das neu entwickelte Abbauverfahren [Z11 1/05]. Die dabei erschlossenen Blöcke haben eine Länge von 500 und eine Breite von 400 m. Die maximale Abbauhöhe in den einzelnen Kammern liegt bei 20 m. Notwendig für die Umstellung des Abbauverfahrens waren die Anschaffung und Installation von 2 Walzenbrechern, 1 Sprenglochbohrwagen, 2 Fahrladern mit je 20 Tonnen Schaufelinhalt.

Die beiden Fahrlader sind Neuentwicklungen der GHH Fahrzeugtechnik in Oberhausen.

Mit diesem Umbau wurden eine Senkung der Instandhaltungskosten (Wegfall von insgesamt 20 Maschinen und Anlagen) sowie eine Erhöhung der Vor-Ort-Leistung um 50 % bei gleichzeitiger Reduzierung der Personalkosten erreicht.

Weitere, nicht direkt quantifizierbare Vorteile durch die Umstellung sind:

- Verkürzung der Standzeit der Strossenfirste von 2 auf 1 Jahr und ein dadurch bedingter geringerer Aufwand für das Nachankern.
- Erhöhung der Firstsicherheit, die zu einer Minimierung der möglichen Verluste an aufgeschlossenen Vorräten führt.
- Verbesserung des Ausnutzungsgrades der Lagerstätte.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-80: Der neue Fahrlader System GHH LF 17/21 [V72]

Technische Daten des GHH 17/21:

Motorleistung:	320 kW	**Nutzlast:**	18–20 t	**Länge:**	ca. 13,0 m
Schaufelinhalt:	max. 15 m³	**Gesamtlast:**	58,5 m³	**Breite:**	4,0 m
				Höhe:	max. 3,0 m

Bei einer gesamten Investitionssumme von 2,1 Mio. € ergab die Wirtschaftlichkeitsrechnung eine Rendite von 17,3 %. Das Projekt „Umstellen des Abbauverfahrens Borth“ (UAB) wurde Ende 2003 genehmigt und die notwendigen Mittel zur Verfügung gestellt.

Mit den ersten Auffahrungen für die Umstellung des Abbauverfahrens wurde im Oktober 2003 begonnen. Zu diesem Zeitpunkt waren drei mögliche Abbaublöcke bereits erkundet und Strecken vorgerichtet. Eine Verzögerung des Zeitplanes der Umstellung des Abbauverfahrens hätte zu einer Zerschneidung der Blöcke geführt und damit die Effekte auf Jahre verschoben.

Die weitere Planung sah deshalb vor, zwei der drei Blöcke mit jeweils zwei Strossen zu Beginn der Winter-Kampagne im November 2004 mit umgestelltem Verfahren im Verhieb zu haben. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollten dann auch alle neuen Maschinen und Fahrzeuge im Einsatz sein.

- **Ausblick**

Alle beschriebenen Maßnahmen wurden trotz der erhöhten Sommerförderung im vorgegeben Zeitplan umgesetzt und erfolgreich abgeschlossen. Die Optimierung der Transport-Prozesse sowie die Umstellung des Abbauverfahrens führten bereits zu einer erheblichen Leistungserhöhung im Grubenbetrieb. Die parallel dazu erzielte Kostenreduzierung soll auch der Zukunftssicherung des Standortes Borth dienen.

7541014/10787806875Biblio

5.5.4 Salzbergbau unter einem Naturschutzgebiet[23)]

Im Gegensatz zur vorherrschenden Meinung ist Deutschland kein rohstoffarmes Land. Die Situation für den Bergbau in Deutschland ist jedoch nicht einfach, denn die Rohstoffgewinnung wird durch strenge Gesetze, speziell im Umweltbereich, erschwert bzw. ganz versagt. Dass Rohstoffgewinnung aber auch mit Naturschutzzielen einhergehen kann, wird mit Auszügen aus dem u. g. Beitrag am Beispiel des Steinsalzbergwerks Borth gezeigt. Dieses Bergwerk baut unter dem Naturschutzgebiet „Bislicher Insel“ mit positiven, auch von den Naturschutzverbänden begrüßten Effekten für die Tagesoberfläche ab.

5.5.4.1 Abbauverfahren

Aktuell erfolgt die Streckenauffahrung in Bohr- und Sprengarbeit oder mit einer Vollschnittmasche des Typs Marietta Miner. In Lagerstättenbereichen mit ausreichenden Mächtigkeiten wird der Kammerbau mit strossenartigem Verhieb eingesetzt. Dabei beträgt die Kammerhöhe maximal 20 m. Geringmächtigere Lagerstättenabschnitte werden im Örterbau gewonnen.

Abb. Fs-81:
Strossen-Bohrwagen Typ SMAG BW 50/S1 [V72]

Technische Daten der SIMAG BW 50/S1:

Motorleistung:	45 kW	Gewicht:	18,5 t	Kompressor:	11 kW/1150 l/min. /13 bar
Maße:	Länge:	11,7 m	Breite: 2,78 m	Höhe: 2.2 m	Revolver-Magazin

23) Auszüge mit freundlicher Genehmigung aus einem Beitrag in der Zeitschrift „Kali und Steinsalz 3/2009“ von Dipl.-Ing. Antje Bräuning u. Grubenwirtschaftsingenieur Jan Kirchhoff – beide esco Werk Borth.

7541014/10787806875Biblio

Bei Anwendung des Strossenbauverfahrens wird die Kammereinbruchstrecke im Hangenden der abbauwürdigen Salzpartie aufgefahren. Der Abbau der Kammern erfolgt nach Erweiterung der Kammerstrecke und Herstellung eines Strossenkeils im Prinzip wie in einem Steinbruch.

Mit Bohrwagen werden nach einem bestimmten System im Abstand von 1,4 bis 7 m tiefe Bohrungen mit einer Neigung von ca. 80° in das Steinsalz gebohrt und danach mit Sprengstoff verfüllt. Der freigesprengte Bereich ist 20 m breit und 7 m tief. So können bei einer Sprengung ca. 2.000 t Steinsalz gewonnen werden. Die Sprengung erfolgt während des Schichtwechsels.

Mit großen Fahrladern (GHH LF 17/21), die eine Tragfähigkeit von 20 t (entspricht ca. 15 m³) haben, wird das Salz zu den Rolllöchern gefahren.

Abb. Fs-82: Schwerer Fahrlader in einer Abbaukammer [Z11 3/09]

Es fällt unterhalb der Rolllöcher unmittelbar in Brecher, vom Brecher auf ein Förderband, welches das Material zu den Salzbunkern transportiert. Mittels Skipförderung wird es dann zu Tage gefördert und dort weiter verarbeitet. Das abgebaute Steinsalz wird mit der werkseigenen Eisenbahnlinie zu Rheinverladestelle „An der Momm“ in Ossenberg verbracht und dort auf Schiffe verladen. Ein großer Teil des Auftausalzes wird per LKW zu den Bestimmungsorten verbracht. Speisesalz wird in der werkseigenen Verpackungsanlage verpackt und danach ausgeliefert.

5.5.4.2 Lage der Grubenbaue

1926 begannen die Abbautätigkeiten im Alten Baufeld östlich der Schächte Borth I und II. Aufgrund sehr hoher Mächtigkeiten konnten hier stellenweise auf zwei Sohlen mehr als 30 m hochreines Steinsalz abgebaut werden. Neben der konventionellen Gewinnung von Steinsalz in diesem Feldesteil wurde ab 1930 im Alten Solfeld südlich der Schächte mit der Steinsalzgewinnung durch Aussolung begonnen. Später verlagerte man die Solegewinnung in das Neue Solfeld. Dieser Betrieb blieb bis 1990 erhalten.

7541014/10787806875Biblio

5.5.4.3 Rahmenbetriebsplanverfahren von 1985 bis 2025

1985 wurde der neue Rahmenbetriebsplan eingereicht. Dieser beschrieb die Abbauvorhaben bis zum Jahr 2000, welche sich auf das Feld südwestlich der Borther Schächte unter Menzelen-West beziehen und wurde mit einem Vorrat von 24 Mio. t ausgewiesen.

Aufgrund geologischer Unregelmäßigkeiten wurde nach Beginn der Auffahrung des Feldes festgestellt, dass dieses mit der vorhandenen Technologie nicht wie geplant gewonnen werden konnte. Zudem mussten Vorratsabstriche in Kauf genommen werden. Um die Förderung aufrechtzuerhalten, war es daher notwendig, Flächen in Anspruch zu nehmen, die sich unter der Bislicher Insel erstrecken. Welche Auswirkungen die damit verbundenen Absenkungen auf das Naturschutzgebiet haben könnten, konnte jedoch nicht beurteilt werden, da das Ergebnis des Gutachtens noch ausstand.

So einigte man sich schließlich darauf, nur in einem begrenzten Gebiet südlich der Bislicher Insel abzubauen. Der Abbau dieses Feldesteils würde nur auf ein Gebiet der Bislicher Insel einwirken, in dem fast ausschließlich Ackerbau betrieben wurde.

Umgesetzt wurde dieser Beschluss in der 1. Änderungsanzeige vom 1986, wodurch der gültige Rahmenbetriebsplan ergänzt wurde. Die Gültigkeit des Rahmenbetriebsplans wurde bis 1992 befristet mit der Nebenbestimmung, bis 1990 einen neuen Antrag zu stellen, der den Abbau unter dem verbleibenden Bereich der Bislicher Insel regelt. Das Ergebnis des Gutachtens würde die Abbauplanung beeinflussen und in den neuen Antrag einfließen.

Das Gutachten wurde durch die Firma Ökoplan mit Sitz in Zürich und Scherzingen erstellt. Es wurde vom Kreis Wesel in Auftrag gegeben, um einen neuen Pflege- und Entwicklungsplan für die Bislicher Insel zu erstellen.

Auf eine genaue Beschreibung des weiteren Ablaufs kann hier nicht eingegangen werden.

Laut Rahmenbetriebsplan 1993 bis 2025 war das Steinsalzbergwerk Borth verpflichtet, bis 1990 die mittel- und langfristige Abbauplanung unter der Bislicher Insel im Rahmen einer 2. Änderungsanzeige einzureichen.

Da das Gutachten die Auswirkungen des Salzabbaus auf das Naturschutzgebiet Bislicher Insel positiv bewertete, wurde die Abbaugestaltung nicht angepasst. Auf Wunsch der Bergbehörde wurde nur eine ausführliche Darstellung der vorausberechneten Endsenkungen erstellt.

2005 wurden seismische Erkundungen von Unterbirten bis Xanten über den westlichen Teil der Bislicher Insel durchgeführt, um die Salzmächtigkeiten und den strukturellen Lagerstättenaufbau zu ermitteln. Durch die Seismik wurde ein ausgeprägtes Störungssystem festgestellt. Die bisherige Abbauplanung musste deshalb an die neuen Erkenntnisse angepasst werden. Anstatt weiter in Nord-Süd-Richtung abzubauen, wurden die neuen Abbaue in Streichrichtung angelegt, um die Lagerstätte möglichst verlustarm zu gewinnen. Weiterhin war aus der Seismik Graben-Horst-Strukturen zu erkennen. Auf den Horsten sind die Mächtigkeiten ausgedünnt, sodass ein Kammerbau mit strossenartigem Verhieb nicht möglich ist. Alternativ wird hier das Salz im Örterbau gewonnen. Der Abbau findet in einer Teufe von ca. 850 m bis zu 980 m statt.

7541014/10787806875Biblio

Bis heute ist gut ein Drittel der Lagerstätte unter der Bislicher Insel abgebaut. Dadurch wurde die Tagesoberfläche bereits um rund einen Meter im Osten der Bislicher Insel abgesenkt. Nach Westen hin nehmen die Senkungen kontinuierlich ab.

Abschließend lässt sich am Beispiel der Bislicher Insel feststellen, dass sich Interessenkonflikte zwischen Naturschutz und möglichen wirtschaftlichen Interessen durch eine intensive Zusammenarbeit von Wirtschaft, Gemeinden, Behörden und Verbänden optimieren und minimieren lassen. So führt die bergbaubedingte Absenkung der Bislicher Insel zu einer Erhöhung des Wasserstandes im Xantener Altrhein, was wiederum dem Verlandungsprozess des ehemaligen Rheinarmes entgegenwirkt und dadurch die Erhaltung und Wiederherstellung einer typischen Rheinaue begünstigt.

5.6 Steinsalzbergwerk Bernburg

Das zur Kali und Salz GmbH (K+S) gehörenden Steinsalz-Bergwerk Bernburg, das an der B71 südlich von Bernburg, ca. 35 km südlich von Magdeburg liegt, wird in einer mittleren Teufe von 475 m Bergbau auf Steinsalz betrieben.

Abb. Fs-83: Werksanlagen Kalibergwerk Bernburg [V72]

5.6.1 Geologie

Die Entstehung der Bernburger Salzlagerstätte geht auf das Perm, den letzten der sechs Abschnitte des Paläozoikums (vor 290 Mio. bis 250 Mio. Jahren), genauer gesagt auf das Oberperm, das „Zechstein“, zurück. In dem zu dieser Zeit ariden Klima wurden nach der Barrentheorie in durch seichte Meerengen von dem offenen Meer gegen ständigen Wasseraustausch abgetrennten Binnenmeeren durch Verdunstung Salzablagerungen gebildet. Im Laufe der jüngeren Erdgeschichte wurde das Salzlager dann von mächtigen Ablagerungen, vor allem des Buntsandsteins, Muschelkalks und Keupers überdeckt.

Da das Bernburger Lager keinem hohen Druck durch das Deckgebirge oder die Tektonik unterworfen war, liegt es heute in einer flachen, flözartigen Lagerung vor. Die Lagerstätte besitzt so eine relativ hohe „geomechanische Homogenität“. Spannungen können sich besser umlagern; es treten keine größeren geologisch bedingten Spannungskonzentrationen auf. Durch wasserundurchlässige Tonschichten wird das Salzvorkommen vor dem Zutritt von Wasser und der damit verbundenen Auslaugung geschützt.

7541014/10787806875Biblio

Die Lagerstätte befindet sich zwischen dem südöstlich gelegenen Bernburger Hauptsattel und dem nordwestlich gelegenen Staßfurter Sattel. Sie wird durch die Schächte „Bernburg“ und „Gröna“ aufgeschlossen. Sie streicht herzynisch und fällt in Richtung Norden mit 6° bis 10° ein. Die Gewinnung erfolgt in Teufen zwischen 453 m und 513 m auf einer Fläche von 7×2 km².

Wie aus Abbildung Fs-84 ersichtlich ist, befindet sich in diesem Teufenbereich der nur 28 m bis 38 m mächtige Abbauhorizont. Er liegt in der 115 m mächtigen Schicht des Leinesteinsalzes (Z3). Zum Hangenden (Roter Salzton) und Liegenden (Hauptanhydrit) hin werden Sicherheits- und Ausgleichsschweben stehen gelassen.

Innerhalb dieses Abbauhorizontes existieren ca. 35 km befahrbare Strecken. Nach aktuellen Vorratsberechnungen kann in diesem Lagerstättenbereich noch ca. 200 Jahre Abbau betrieben werden.

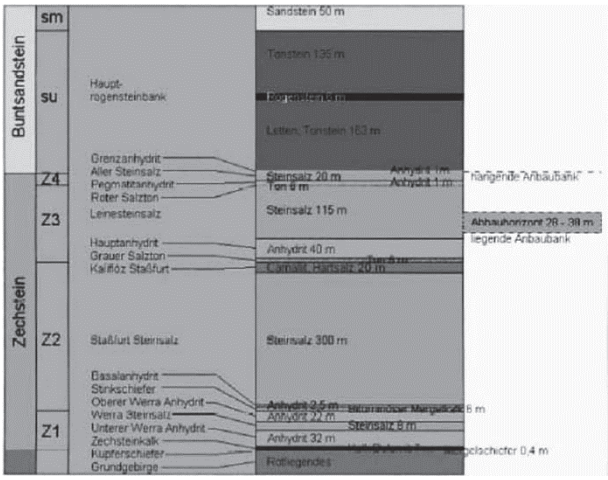


Abb. Fs-84: Geologisches Profil im Abbaufeld Bernburg [V72]

Dies ist neben gebirgsmechanischen Standsicherheitsaspekten unter anderem deshalb vorteilhaft, da der liegende Anhydrit nicht horizontal verläuft, sondern Aufwölbungen und Falten besitzt. Außerdem steht im Liegenden ein rötlich gefärbtes Salz an, dass trotz hohen NaCl-Gehaltes nach deutschem Lebensmittelrecht nicht als Speisesalz verkauft werden darf und somit nicht gewonnen wird. Die Vermarktung als Streusalz oder Fischereisalz scheidet aus aufbereitungstechnologischen Gründen aus, da generell nur ein Fertigprodukt, nämlich Speisesalz, hergestellt wird.

5.6.2 Gebirgsmechanische Bedingungen für den Steinsalzabbau

Bedingt durch die für untertägigen Salzbergbau relativ moderaten Teufen von 400 m bis 550 m kann im Bereich des gesamten Bergwerkes auf eine teuere durchgehende systematische Sicherung der Firsten und Stöße auch in den großen Abbaukammern (siehe Abb. Fs-85) verzichtet werden.

Nur im Bedarfsfall werden die Firsten geankert. In den großen Abbauhohlräumen wird die Firste jedoch von einer speziellen Hebebühne aus (Abb. Fs-86) kontinuierlich kontrolliert, berissen und im Bedarfsfalle geankert. Als eine besondere, vom Bergamt ge-

7541014/10787806875Biblio

nehmigte Methode der Beraubung in diesen großen Hohlräumen wird das Beschießen firstfallgefährdeter Bereiche mit Gewehren betrieben. In Bereichen, wo mit einer Auflockerung der Firsten bzw. Firstfall gerechnet werden muss oder begründeter Verdacht dafür besteht, kommen Tastlöcher zum Einsatz. Bei diesem Verfahren wird in dem gefährdeten Bereich ein Bohrloch hergestellt und in regelmäßigen Abständen mittels eines Fühlhakens „abgetastet".

Sollten sich in der Bohrlochwandung Risse bilden, stark erweitern oder größere Ablösungen auftreten, kann der als „gefährdet" identifizierte Bereich z. B. mittels Ankerung gesichert werden.

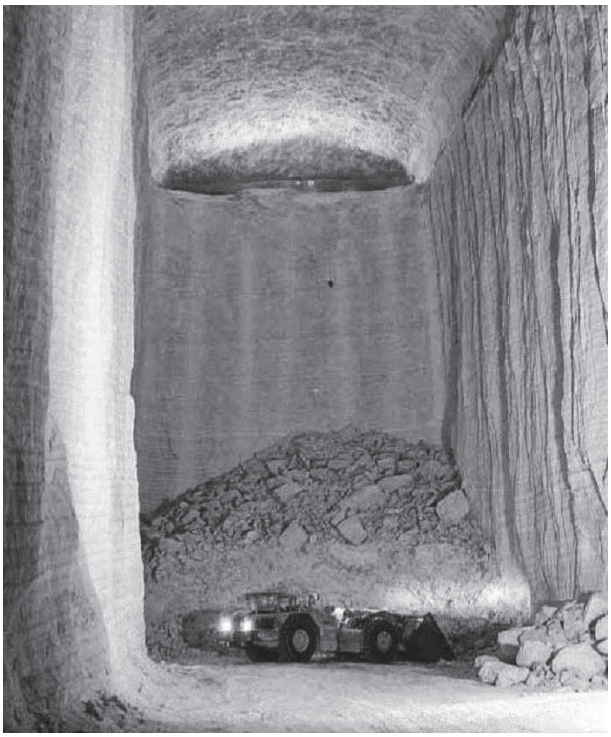


Abb. Fs-85:
Fahrschaufellader in einer Abbaukammer [V72]

Als ein im Salz als typisch zu bezeichnendes Problem sind die Sohlpressungen bzw. Sohlaufwölbungen zu nennen. In den großen Abbauen fallen solche Erscheinungen für gewöhnlich nicht besonders ins Gewicht, da die Abbaukammern nach der Gewinnungsphase abgeworfen und nicht mehr befahren werden.

Aufwändiger hinsichtlich der notwendigen Querschnittsfreihaltung und Fahrbahnunterhaltung sind die langlebigen Grubenbaue wie Fahrstrecken, Bandstrecken und Bewetterungsgrubenbaue. In diesen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit des Sohlenunterhaltungsaufwandes von der Nähe zu Abbauen: Strecken, die in der Nähe von großen aktiven oder auch ehemaligen Abbauen liegen, werden durch die Umlagerung der Spannungen im Gebirge stärker beansprucht und damit auch verformt als abbauferne Strecken. Die dadurch eingetretenen Verringerungen des Streckenquerschnittes müssen von Zeit zu Zeit durch eine Querschnittserweiterung (Nachschneiden) ausgeglichen werden.

7541014/10787806875Biblio

Größere Probleme durch Gasausbrüche (Methanausbläser) treten nicht auf. Vorsorglich wird ein 2-m-Bereich vor der Ortsbrust als explosionsgefährdeter Bereich deklariert. Eine Gefährdung durch CO_2, wie sie im Werra-Kalirevier weit verbreitet ist, kann durch das „Fehlen“ des CO_2-Bringers (Basalt) völlig ausgeschlossen werden.

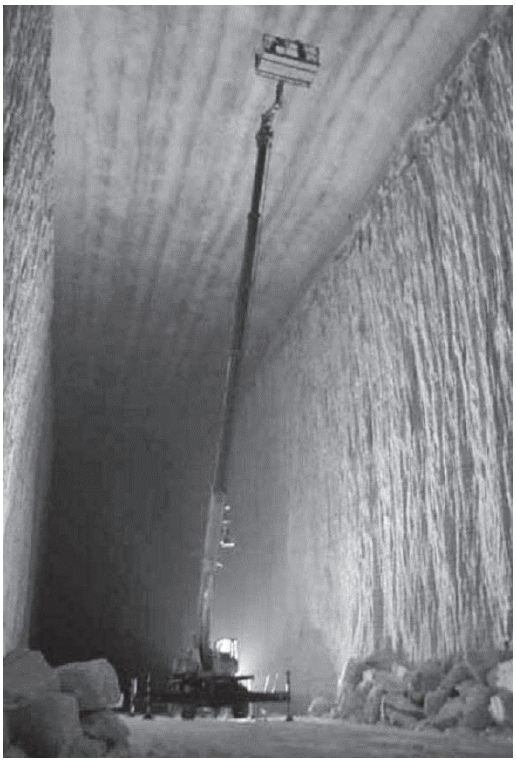


Abb. Fs-86: Spezielle Hebebühne zur Kontrolle der Firste bei hohen Abbaukammern

Um auch das Anbohren von Gas- oder Laugenblasen im liegenden Anhydrit auszuschließen, lässt man, wie bereits erwähnt, eine Liegendschwebe stehen.
Das Fehlen von Laugeneinbrüchen (Nässestellen) ist zum einen auf die gute Abdichtwirkung der liegenden und vor allem der hangenden Schichten als auch auf das Fehlen von großräumigen Störungen zurückzuführen.

Durch diese positiven naturgegebenen Bedingungen kann der Bergbau für Mensch und Technik sicher und effektiv betrieben werden. Diese aus geomechanischer Sicht recht problemfreien Gegebenheiten sind auch auf die bereits angesprochene relativ geringe Belastung der Lagerstätte durch Deckgebirgsdruck bzw. tektonische Vorgänge zurückzuführen.

Als geomechanische Überwachungseinrichtung werden sechs im Liegenden angebrachte seismische Messpunkte genutzt. Mit ihrer Hilfe wird in das Gebirge „hineingelauscht“.
Eventuelle, sich durch schwache seismische Wellen ankündigende Bruchprozesse oder Ereignisse können so durch eine computergestützte Auswertung über Korrelation der Messwerte der einzelnen Messpunkte im dreidimensionalen Raum bis auf wenige Meter genau lokalisiert werden.

7541014/10787806875Biblio

5.6.3 Abbauverfahren und Abbautechnik

Im Steinsalzwerk Bernburg wird auf der Grundlage der günstigen geologischen Verhältnisse (flache Lagerung) ein Kammern-Festen-Bau praktiziert.

Den 20 m breiten und 35 m bis 38 m hohen Abbaukammern stehen aus Standsicherheitsgründen 30 m breite Festen in Gestalt dauerstandsicherer Pfeiler gegenüber. Die Abbaukammern selbst können bis zu 400 m lang werden, wobei aus wirtschaftlichen Gründen (Fahrweg der Lader) eine T-Struktur mit Kammerlängen von 200 m realisiert wird.

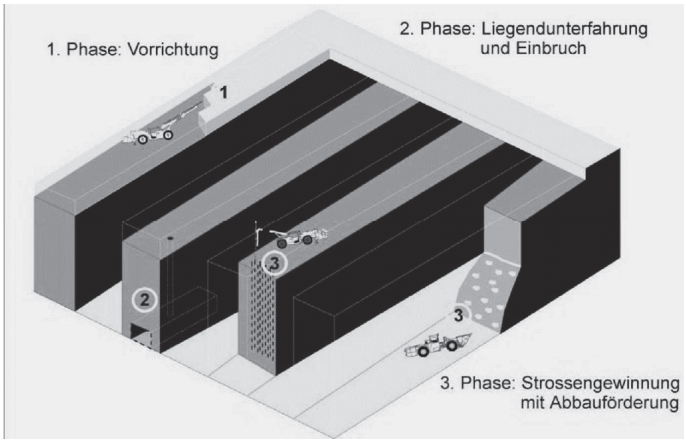


Abb. Fs-87: Abbauverfahren des Kammer-Festen-Baus (schematisch) [V72]

1. Phase: Vorrichtung

- Vortrieb einer oberen Abbaustrecke mit schonendem Sprengen in der Firste.
- Sicherung der Firste durch schälende und schlagende Beraubung und durch Systemankerung mit 1,5 m langen Spreizhülsenankern, nach Eintritt der primären Konvergenz nachträgliche Bedarfsankerung.
- Beim Auftreten von Lösen werden diese nachträglich durch Beraubeschüsse entfernt. Zur Kontrolle der Firstsicherheit dienen Hubbühnen.

2. Phase: Liegendunterfahrung und Einbruch

3. Phase: Strossengewinnung und Abbauförderung

- Gewinnung durch Bohren und Sprengen mit ANFO-Sprengstoff und elektrischer Zündung, jeweils 4 m starke Wände vom Großblock mit ca. 5.000 t Masse.
- Förderung mit dieselgetriebenen 20-t-Fahrladern auf der unteren Sohle, in Umsetzung einschlägiger EU-Richtlinien teilweise bereits unter Einsatz von Rußpartikelfiltern.
- Gesteinszerkleinerung mittels Brecher und Transport zum Schacht per kontinuierlicher Bandförderung.

7541014/10787806875Biblio

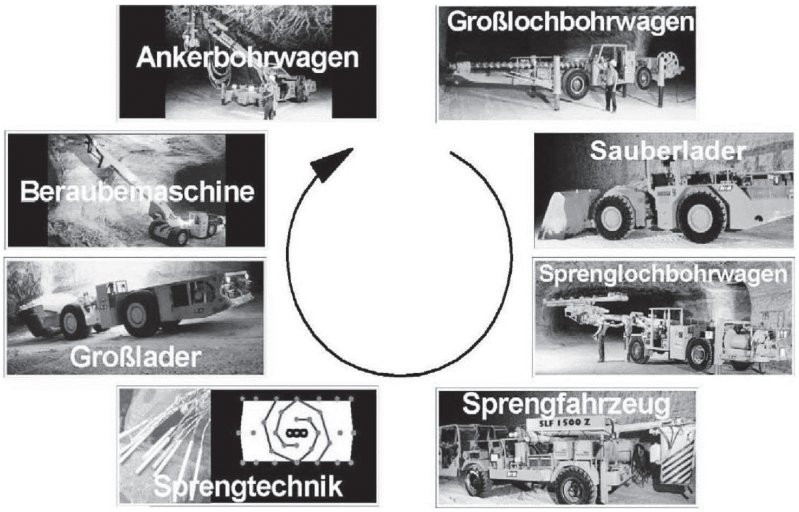


Abb. Fs-88: Zyklus des Bohr- und Sprengvortriebes zur Streckenauffahrung [V72]

Um das Salz zu gewinnen, wird mit dem konventionellen Sprengvortrieb gearbeitet. Dabei realisiert man zuerst im hangenden Bereich der späteren Kammer eine 5 m hohe horizontale Kopfstrecke. Die Abschlagslänge beträgt dabei 6 m bis 7 m. Das Material wird über Falllöcher auf das eigentliche Niveau der Kammernsohlen befördert und von dort geladen. Ist der Firstbereich bewältigt, bohrt man von der Sohle aus ein vertikales Großloch nach oben. Durch mehrere vertikale Sprengbohrungen wird, beginnend um das Großloch, ein Freiraum geschaffen.

Dieser erstreckt sich über die gesamte Kammernbreite und -höhe. Ist der „Schlitz“ realisiert, werden mittels vertikaler Sprenglochreihen 4-m-Abschläge bewerkstelligt. Dabei werden zwei Reihen mit je sieben Löchern mit einem Bohrlochdurchmesser von 16 cm gebohrt. Der Abstand der Reihen zueinander beträgt 2 m. Gebohrt wird jeweils von der Kopfstrecke aus.

Das Sprengen erfolgt ausschließlich am Schichtende durch den jeweiligen Sprengberechtigten. Pro Abschlag werden ca. 4.000 t bis 5.000 t Steinsalz gesprengt. Bei der durchschnittlichen Schichtleistung eines 16-t-Laders von ca. 960 t werden also mindestens vier Schichten zum Abfördern des Haufwerkes benötigt. Größere Brocken werden beiseitegeräumt, angebohrt, besetzt und mit der nächsten Sprengung zerkleinert. Der Sohlenbereich der Kammer wird nachbehandelt, um einen ebenen Fahrweg zu schaffen.

5.6.4 Förderung, Bewetterung und Rohsalzaufbereitung

Aus den einzelnen Abbaukammern wird das Haufwerk mittels Gleislostechnik zu den Kippstellen gefördert, wo es auf maximale Kantenlängen von 20 cm gebrochen und auf ein Abteilungsförderband aufgegeben wird.

Über mehrere Übergabestellen gelangt das Rohsalz auf ein Hauptförderband und schließlich in den Bunker im Füllortbereich. Die mittlere Entfernung vom Abbauort bis zum Schachtbunker beträgt derzeit ca. 5 km. Der Bunker ist 80 m hoch und hat eine Grundfläche von 25 m × 25 m. In ihm können bis zu 40.000 t Salz gebunkert werden.

7541014/10787806875Biblio

Von dort aus wird das Salz über einen weiteren Brecher, der eine maximale Kantenlänge von 10cm gewährleistet, zum Fördergefäß (Skip) transportiert. Die Schachtförderung des Förderschachtes „Bernburg“ ist eine Skipförderung mit 20-t-Skipgefäßen.

Der Untertagebereich des Steinwerkes Bernburg wird über insgesamt fünf angeschlossene Schächte bewettert, wobei die Schächte „Neuwerk I und II“ sowie der Schacht „Johanne“ hauptsächlich der ausziehenden Bewetterung dienen. Diese ausziehenden Schächte werden mittels Grubenlüftern betrieben und realisieren eine Wettermenge von 13.500 bis 14.000 m^3/min. Als einziehende Schächte dienen der Förderschacht „Bernburg“ sowie der Seilfahrts- und Materialschacht „Gröna“.

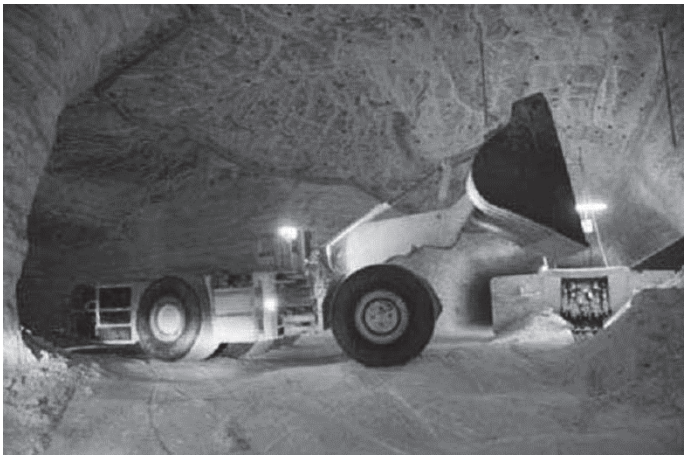


Abb. Fs-89:
Fahrlader an der Kippstelle (Rollloch] [V72]

Auch an Wochenenden und freien Tagen muss mindestens ein Grubenlüfter in Betrieb sein, da sonst die Wetterführung umkippen würde. Bei der untertägigen „Aufbereitung“ beschränkt man sich auf die Vor-Ort-Kontrolle durch die Steiger bzw. Laderfahrer und das Brechen des Salzes. Dabei wird in besonderem Maße Wert darauf gelegt, dass sämtliche abgesprengten Anhydriteinlagerungen und Rotsalzbereiche durch den Laderfahrer erfasst und an den seitlichen Stößen der Kammern versetzt, also gar nicht erst gefördert werden. So kann die geforderte NaCl-Reinheit von 99 % gewährleistet werden. Um eine gleichmäßige Entleerung des Bunkers zu sichern, wird das Salz auf zwei Seiten über je fünf Schwinger abgezogen. Dabei arbeiten die Schwinger in einem dreiminütigen Intervall. Jeweils zwei benachbarte Schwinger auf jeder Seite sind gemeinsam in Betrieb, wobei jeder einzelne Schwinger sechs Minuten läuft.

Das gewonnene Rohsalz wird in der übertägigen Siedesalzanlage zu Speisesalz verarbeitet und in einer angeschossenen Anlage verpackt. Dass Speisesalz ist das einzige Produkt, das in der gleichen chemischen Zusammensetzung auch als Streusalz und Fischersalz verkauft wird.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fs-90:
Strossenbohrwagen
[V72]

6 Salzgewinnung durch Solung

6.1 Südwestdeutsche Salzwerke

Neben dem Trockenabbau im Bereich Heilbronn gewinnt das Unternehmen Südsalz in den Salzbergwerken Berchtesgaden Salz durch Solung und in Bad Reichenhall durch einen Alpinen Salinar.

Die zu Tage geförderte gesättigte Salzsole, mit einem Salzgehalt von etwa 320 Gramm NaCl pro Liter, wird über eine lange Soleleitung in die Saline Bad Reichenhall transportiert.

Daneben wurde durch Tiefbohrungen im Bad Reichenhaller Becken ein Natursolevorkommen erschlossen, der Rohstoff für die bekannten Bad Reichenhaller Markensalze. In einer Thermokompressionseindampfanlage wird daraus mit modernster Technik Siedesalz erzeugt und je nach Anwendung veredelt und verpackt.

6.2 Salzbergwerk Berchtesgaden

Das Salzbergwerk Berchtesgaden ist seit 1517 ununterbrochen in Betrieb. In derselben Salzlagerstätte, allerdings auf österreichischem Staatsgebiet, haben bereits die Kelten Salz gewonnen. Die Lagerstätte ist durch fünf Abbauniveaus aufgeschlossen, wovon die oberen vier durch Stollen, die unterste über Blindschächte zugänglich sind. Der Abbau findet auf der untersten Abbausohle, die sich 60 m unter dem Talboden befindet und durch das darüber liegende Gebirge um bis zu 500 m überdeckt wird, statt.

Er erfolgt durch gezieltes Auslaugen des salzhaltigen Gesteins mittels Süßwasser. Sämtliche unlöslichen Verunreinigungen bleiben bei diesem Gewinnungsverfahren im Berg. Die dabei erzeugte Salzsole mit einem Salzgehalt von etwa 320 g/l wird in der Saline Bad Reichenhall zu Siedesalz verarbeitet. Heute erfolgt der Abbau in sogenannten Bohrspülwerken, bei denen in einem Abbaublock von 160 m $\times$ 120 m Grundfläche und einer Höhe von 150 m ein Laughohlraum mit einer freitragenden Himmelsfläche von etwa 4.200 m^2 angelegt wird.

7541014/10787806875Biblio

Zur Anlage eines Bohrspülwerkes werden zuerst eine Zugangsstrecke und eine Bohrkammer aufgefahren. Dies erfolgte früher durch Bohren und Sprengen. Jetzt werden diese Zugangsstrecken rationeller und standfester mit einer Teilschnittmaschine (TSM) hergestellt.

Von der Bohrkammer aus wird mit einer Lufthebebohranlage zuerst ein Bohrloch mit 670 mm Durchmesser bis auf eine Tiefe von 125 m abgeteuft. Im nächsten Schritt wird am Fußpunkt dieses Bohrloches durch Ausspülen mit Süßwasser ein kegelförmiger Initialhohlraum mit etwa 5.000 m^3 Rauminhalt erspült. Durch das mehrmalige Füllen mit Süßwasser und Abpumpen der Sole entsteht eine planmäßige Himmelsgröße von 4.200 m^2.

Abb. Fs-91: Teilschnittmaschine TMS bei der Streckenauffahrung [19]

Nach dem Erreichen der planmäßigen Hohlraumgröße wird mit einer Unterwasserpumpe kontinuierlich eine bestimmte Menge Sole abgepumpt. Gleichzeitig wird dabei die entsprechende Menge Süßwasser in den Hohlraum eingeleitet.
Das Süßwasser breitet sich dabei auf der spezifisch schwereren Sole aus und der Lösungsangriff des Wassers auf das Salzgebirge erfolgt überwiegend an der Himmelsfläche.
Im Idealfall wird dabei ein zylinderförmiger Hohlraum mit senkrechten Wänden erzeugt.

Die Steuerung der Hohlraumentwicklung erfolgt durch individuell erstellte Wässerungsprogramme, die über ein Prozessleitsystem einen kontinuierlichen Betrieb der Bohrspülwerke ermöglichen, ohne dass hierfür ständig Personal eingesetzt werden muss.

Täglich werden aus einem mittleren Bohrspülwerk etwa 100 m^3 Sole erzeugt. Bei einem Abbaufortschritt von etwa 1 cm Laugung an der Himmelsfläche beträgt die Lebensdauer eines Bohrspülwerkes 30 Jahre. Während dieses Zeitraumes werden durchschnittlich 1,1 Mio. m^3 Salzsole gewonnen. Dies entspricht 350.000 Tonnen Siedesalzen.

7541014/10787806875Biblio

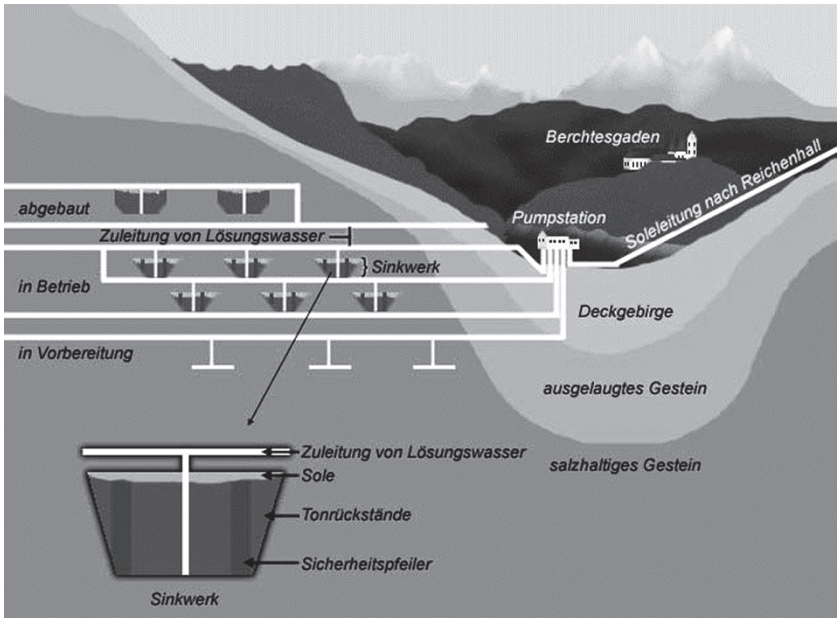


Abb. Fs-92: Bohrspülverfahren auf dem Salzbergwerk Berchtesgaden [19]

Im Salzbergwerk Berchtesgaden sind derzeit etwa 25 Bohrspülwerke in Betrieb. Die dabei erzeugte Solemenge beträgt 700.000 m³ bis 800.000 m³ jährlich. Die Sole wird über eine 20 km lange, doppelsträngige Soleleitung nach Bad Reichenhall gepumpt und dort zu Siedesalz verarbeitet.

6.3 Alte Soleleitung

Aus einem Bericht der Nationalpark-Gemeinde Ramsau über die Soleleitung von Berchtesgaden über Ramsau nach Bad Eichenhall.

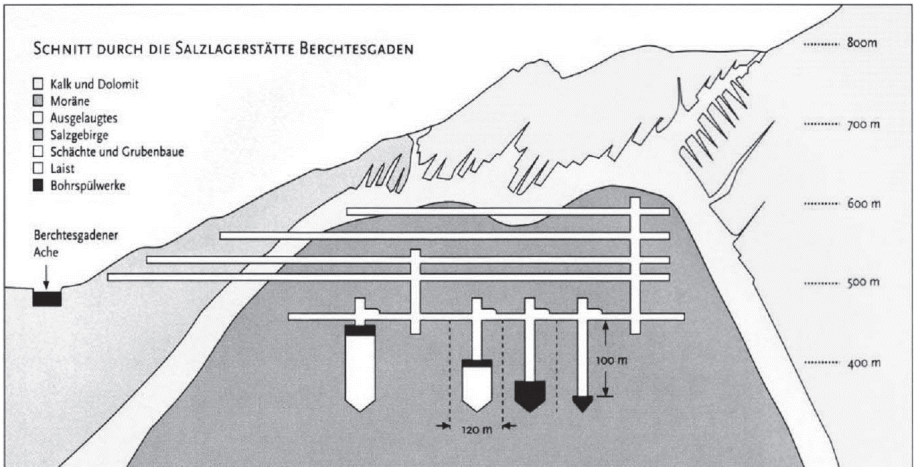


Abb. Fs-93: Ergänzung zur Abb. 92 – Bohrspülwerke [19]

7541014/10787806875Biblio

Die alte Soleleitung diente zum Transport der Sole – des salzhaltiges Wassers, das zum Abbau des Steinsalzes im Salzbergwerk Berchtesgaden erzeugt wurde. In der Saline Bad Reichenhall wurde dieser Sole durch Verdampfen des Wasseranteils das Salz wieder entzogen.

In geänderter Streckenführung über Bischofswiesen sind der Soletransport und die Soleverarbeitung noch heute in Betrieb.

Die Trasse der 25 km langen alten Soleleitung führt vom Ausgangspunkt, dem Salzbergwerk Berchtesgaden (537 m), über den Lockstein (622 m), die Strub, Ilsank, das Söldenköpfl (943 m), die Schwarzbachwacht nach Bad Reichenhall.

Erbaut wurde die Leitung durch den Königlich bayerischen Salinenrat Georg Friedrich von Reichenbach im Jahre 1817 nach nur 20-monatiger Bauzeit.

Auftraggeber war im Jahre 1816 König Max I und sein Minister, der Grafen Montgelas.

Die besonderen Schwierigkeiten für den Bau einer Leitung zu dieser Zeit waren das Fehlen topographischer Karten. Es waren aufwändige Vermessungsarbeiten in steilem Gelände, die großen Höhenunterschiede und der beschwerliche Transport von über 500 eisernen Druckrohren (ca. 1.200 Zentner) aus der Oberpfalz zu erledigen.

Die Trassenführung über die anspruchsvolle, steigungsreiche und längere Strecke über die Ramsau erfolgte aus politischen Gründen:

Die leichtere und kürzere Trasse über Bischofswiesen/Hallthurm konnte seinerzeit wegen Grenzschwierigkeiten mit Österreich nicht benutzt werden.

Im Zuge dieser Baumaßnahme entstand so eine 25 km lange Soleleitung von Berchtesgaden über die Ramsau nach Bad Reichenhall. Dabei war eine Steigung von 356 m zu überwinden. Zur Überwindung dieser gravierenden Höhenunterschiede entwickelte der Baumeister Reichenberg seine berühmte Wassersäulenhebemaschine, die ‚Reichenbachpumpe' (zu besichtigen heute im Salzbergwerk).

Mit dieser genialen Konstruktion wurde es möglich, die Sole vom Brunnenhaus in Ilsank (585 m) zum Brunnenhaus am Söldenköpfl (943 m) über 358 m emporzupumpen. Die Reichenbachpumpe war 110 Jahre (1817 bis 1927) in Betrieb, bis sie durch eine Änderung der Streckenführung nicht mehr benötigt wurde.

Abb. Fs-94: Schnitt durch ein Holzrohr der Soleleitung [1]

7541014/10787806875Biblio

Der Abschnitt der Soleleitung vom Söldenköpfl über Landtalgraben, Gerstreit, Gröllbach, Zipfhäusl, Wegscheid, Hindenburglinde, Klausgraben und Taubensee, wurde auch ‚Balkon des lieben Gottes' genannt.

Es ist der Wanderklassiker schlechthin: Berauschende Aussichten, absolute Sonnenlage und barrierefreier Wanderspaß für jedes Alter bietet dieser Abschnitt der Soleleitungstrasse – auch als ‚der Soleleitungsweg' betitelt.

Auf diesem Streckenabschnitt der alten Soleleitung zwischen Söldenköpfl und Zipfhäusl geben heute noch historische Holzrohre (die ‚Deicheln') und eine informative Schautafel einen Eindruck von der imposanten technischen Leistung aus jener Zeit. "

6.4 Natursolevorkommen Bad Reichenhall

Das Salz tritt in Bad Reichenhall in seltener Form zu Tage, und zwar als natürliche Quellsole. Das in den Karst eindringende Wasser löst das Salz aus den Lagerstätten, ohne jeden Eingriff des Menschen, und das seit Tausenden von Jahren.

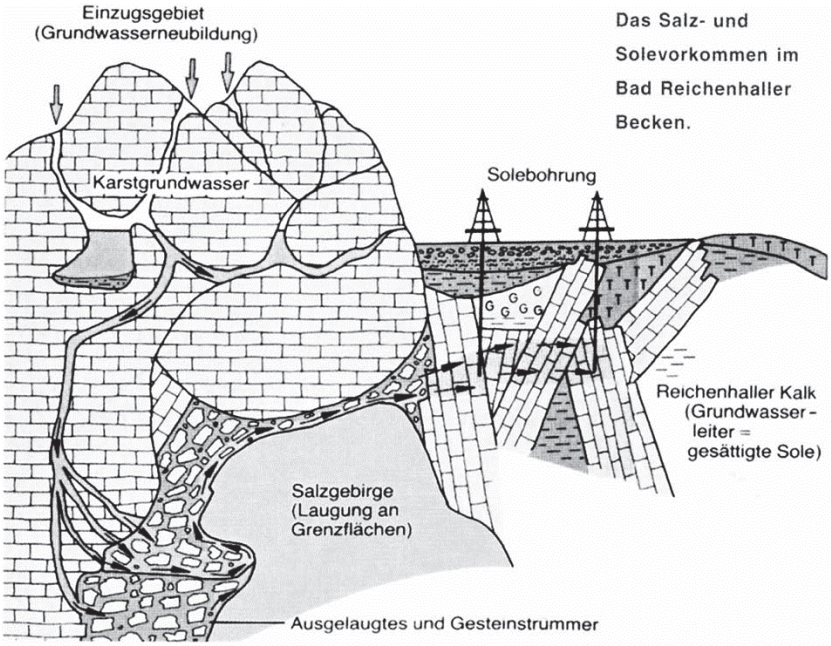


Abb. Fs-95: Schnitt durch das Solevorkommen in Bad Reichenhall [19]

Im Reichenhaller Becken existieren sehr bedeutende und umfangreiche Natursole-Lagerstätten. Sie besitzen nach bisherigen Erkenntnissen eine Ausdehnung von 4,5 km × 2,5 km. Wahrscheinlich reicht das Vorkommen bis 1.000 m in die Erde hinab.

Jährlich wird aus 250.000 t Natursole das gleichnamige Markensalz gewonnen. Zum Versieden wird das sogenannte Wärmepumpen- oder Thermokompressionsverfahren angewendet.

7541014/10787806875Biblio

7 Bohrloch-Solegewinnung

Wenn die Kaverne ausgesolt ist, der Hohlraum nicht mehr vergrößert werden kann, bietet sich die Möglichkeit für die Errichtung eines Kavernen-Erdgasspeichers an.

In Deutschland gibt es etwa 35 Standorte mit Kavernenspeicher. Davon ist ein Teil durch Aussohlung bei der Salzgewinnung (z. B. im Bereich des Salzbergwerkes Epe in NRW) oder ein anderer Teil durch speziell als Kavernenbohrung hergestellte Speicher (z. B. der Erdgasspeicher Bremen-Lesum) entstanden.

7.1 Salzbergwerk Epe

Die Bergbehörde in Nordrhein-Westfalen genehmigte im nördlichen Münsterland bei Epe die Solung von Salz für die chemische Industrie und die Nutzung der entstandenen Kavernen zur Energierohstoffspeicherung.

Die hierzu erforderlichen Bergbauberechtigungen wurden der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH vom Land Nordrhein-Westfalen vertraglich für 99 Jahre auf einer Fläche von ca. 30 km² übertragen.

Die 100. Bohrung wurde im Jahr 2009 abgeteuft. Im Zuge der Ölkrise wurde im Jahr 1974 für die 1.100 m bis 1.500 m tiefen Solkavernen die Einlagerung von Rohöl zugelassen; zurzeit besteht der Ölspeicher aus fünf Kavernen. Die Entwicklung als Gasspeicher begann zum gleichen Zeitpunkt.

Aktuell werden 63 Kavernen mit Erdgas bespeichert, zehn weitere sind genehmigt und neun in der Planung. Das genehmigte Gesamtvolumen beträgt ca. 4,7 Mrd. Nm³ (Arbeitsgasvolumen ca. 3,3 Mrd. Nm³) und wird von deutschen und niederländischen Energieversorgern bewirtschaftet.

Das Kavernenfeld ist durch Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete, EU-Vogelschutzgebiete und Landschaftsschutzgebiete überdeckt. Aufgrund der besonderen Schutzwürdigkeit ist das Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung bei der Errichtung von Kavernenspeichern das Regelverfahren.

7.1.1 Bedeutung der Anlage

Nordrhein-Westfalen ist das Energieland Nummer 1 unter den Bundesländern und Zentrum der europäischen Energiewirtschaft.

Es ist federführend in der ressourcenschonenden Nutzung von Kohle, Öl und Gas und beheimatet energieintensive Branchen wie Stahl, Chemie und Maschinenbau. Um diesen Spitzenplatz zu halten und auszubauen, müssen sich alle Branchen auf eine stabile Versorgung mit Rohstoffen und Energie verlassen können.

Dies gewährleistet in Nordrhein-Westfalen nicht zuletzt die landesweit zuständige Bergverwaltung, die Abteilung Bergbau und Energie in NRW der Bezirksregierung Arnsberg.
Sie genehmigte unter anderem im nördlichen Münsterland die Gewinnung (Solung) von vorwiegend in der chemischen Industrie genutzten Salzen sowie die Nutzung der hierbei entstandenen Hohlräume (Kavernen) zum Zwecke der Energierohstoffspeicherung. Lediglich im Bereich „Borth“ erfolgt bergmännische Gewinnung durch das Salzbergwerk Borth.

7541014/10787806875Biblio

7.1.2 Geologie der Salzlagerstätte Epe

Die Salzlagerstätte in Epe ist Teil der niederrheinischen Salzpfanne. Diese großräumige Salzlagerstätte erstreckt sich von Rheinberg im Süden bis in die norddeutsche Tiefebene und in die Niederlande (siehe Abb. Fs-96). Die Lagerstätte entstand vor ca. 250 Mio. Jahren und gehört zur geologischen Formation des Zechstein 1.

Das Salz lagert in einer Teufe von etwa 1.000 m bis 1.500 m relativ störungsfrei und flach. Das bis zu 400 m mächtige Salzlager wird im Liegenden und Hangenden von Anhydrit begrenzt.

Zur Oberfläche hin schließen sich Schichtenfolgen des Zechstein 1, 2 und 3 an, die durch Ton-Anhydrit-Schichten gegen den darüber liegenden Buntsandstein abgedichtet sind. Die Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins sind insgesamt ca. 630 m mächtig, sie werden überlagert von Schichten der Unterkreide und des Quartär. Das in Epe gewonnene Salz ist sehr rein (98 % bis 99 % NaCl). Es ist daher ein ideales, dichtes Muttergestein für Speicherkavernen. Kalisalze treten regional nicht auf.

7.1.3 Gewinnung

Der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH (SGW) wurde gemäß § 38c ABG das Recht eingeräumt, im verliehenen Feld Steinsalz aufzusuchen, zu gewinnen und die hierzu erforderlichen Anlagen über und unter Tage zu errichten.

Die erste Solegewinnungsbohrung S1 wurde im Jahre 1970 niedergebracht. Im Jahr 2008 wurde mit dem Abteufen der 100. Solegewinnungsbohrung begonnen. Die durch die Solung entstehenden Kavernenhohlräume sind in definierten Abständen zueinander in einem trigonalen Raster angeordnet. Das Feld entwickelte sich in den Jahren 1970 bis 1990 von Süden ausgehend nach Norden und später nach Osten.

Zu dieser Zeit war das abgelenkte Bohren, bei dem der Bohrpfad gezielt in definierte Richtungen geführt wird, noch nicht Stand der Technik. Die Bohrungen wurden nahezu senkrecht abgeteuft. Man erkennt Solegewinnungsbohrungen aus dieser Zeit daran, dass jeweils nur ein Bohrlochansatzpunkt auf einem übertägigen Platz liegt.

Mit Einführung des abgelenkten Bohrens wurden im Feld Epe Clusterplätze möglich, auf denen anfangs zwei, später drei und heute schon bis zu 7 Bohrungen möglich sind. Das Zusammenfassen von Bohrlochansatzpunkten auf einen Platz stellt nicht nur einen finanziellen Vorteil für das Unternehmen dar, sondern vermindert auch den Eingriff in Natur und Landschaft.

Mit der Zulassung des Betriebsplanes für die 6. Solefelderweiterung im Jahre 2002 durch das ehemalige Bergamt Gelsenkirchen dehnte sich die Entwicklung der Solegewinnung Richtung Westen aus.

7541014/10787806875Biblio

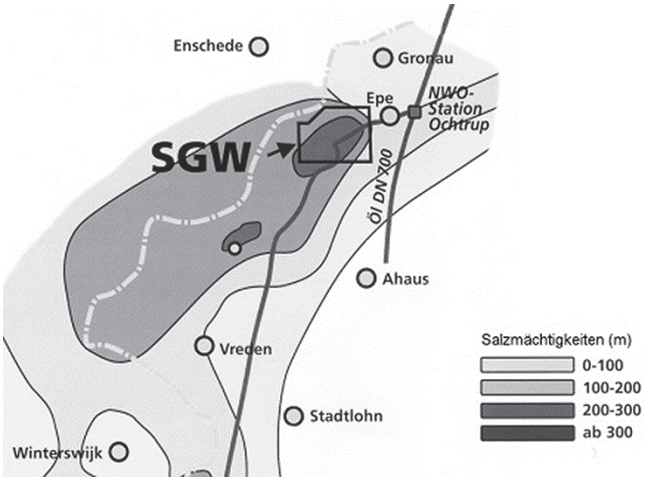


Abb. Fs-96: Verbreitung und Mächtigkeit des Steinsalzes am Niederrhein und im Münsterland [Quelle: SGW – Ausschnitt]

7.1.4 Aussolverfahren

Im Steinsalzbergwerk Epe wird bei der kontrollierten Bohrlochsolung jeweils eine Bohrung pro Kaverne bis zum liegenden Anhydrit niedergebracht. Je nach geplanter Verwendung der Kaverne wird mehr oder weniger tief in die Salzschichten verrohrt und anschließend die Bohrlochverrohrung zementiert.

In die Bohrung werden zwei konzentrische Spülrohre eingehängt und über Tage verflanscht. Der Solprozess beginnt mit dem direkten Spülverfahren. Dabei gelangt Süßwasser über das tiefer hängende Zentralrohr in das Bohrlochtiefste.
Die entstehende Salzsole wird dann gleichzeitig über die zweite äußere Spülrohrtour nach über Tage verdrängt.

Im Laufe der Kavernenentwicklung wird der Spülkreislauf umgekehrt (indirektes Solverfahren). Hierbei gelangt das Süßwasser über den Ringraum in den Außenraum der Kaverne, sättigt sich auf dem Weg nach unten langsam auf und verlässt die Bohrung über das tiefer hängende Zentralrohr. Um während der Aussolung die Entwicklung der Kavernenfirste zu steuern, wird durch den Ringraum zwischen Bohrlochverrohrung und zweiter Spülrohrtour eine Schutzflüssigkeit, das sog. Blanket, eingepresst.
Wegen der geringeren Dichte schichtet sich diese über das Süßwasser und verhindert damit die vertikale Aussolung. Durch Solung sind in Epe Kavernen entstanden, die ein Hohlraumvolumen zwischen 250.000 m³ und 400.000 m³ bis maximal 970.000 m³ aufweisen.

Im Jahr 2006 wurden mit diesem Aussolverfahren durch die SGW 1.977.971 t Salz gewonnen. Das entspricht einem Solevolumen von 6.345.366 m³.

Anmerkung zum Salzbergwerk Epe

Grundlage der Ausführungen sind Auszüge von Veröffentlichungen der Bez.-Regierung Arnsberg, Abt. Bergbau und Energie – Werner Grigo und Peter Dörne sowie der Aufsatz: „Salzbergwerk Epe – Von der Solegewinnung zum größten Kavernenspeicher Europas“ – Dipl.-Ing. Antje Kruse.

7541014/10787806875Biblio

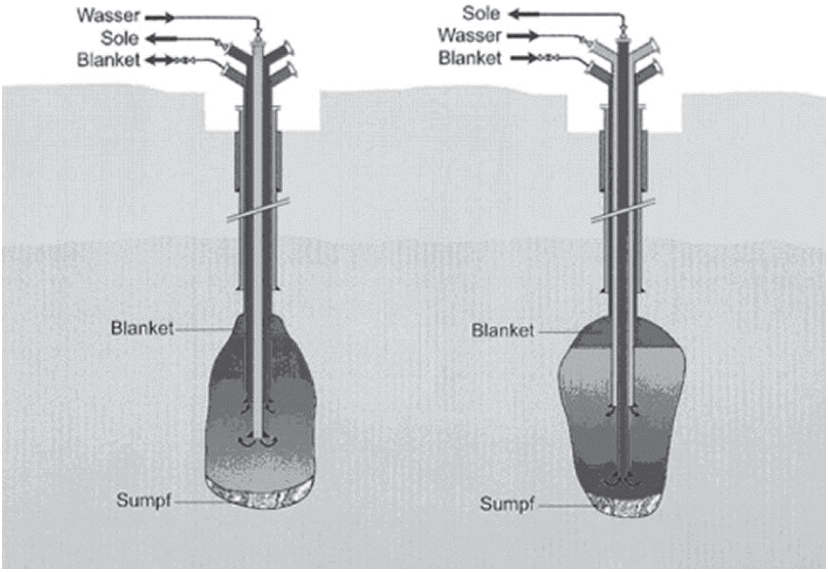


Abb. Fs-97: Prinzipdarstellung des direkten und indirekten Solververfahrens [Quelle: Grafik KB Underground Technologies GmbH]

7541014/10787806875Biblio

Fe Bergbau auf Erz

Die traditionsreichen deutschen Vorkommen gelten seit dem Ende des 20. Jahrhunderts als ausgebeutet, etwa der an Zink reiche Goslarer Rammelsberg, das hessisch-siegerländische Eisenerz und der Uranabbau im sächsischen Erzgebirge, in dem bis 1990 Uranerz in wenig umweltverträglichem Umfang gefördert wurde.

Als nicht mehr abbauwürdig gilt bislang noch der jahrhundertelang betriebene Bergbau im slowakischen Erzgebirge und in anderen europäische Erzvorkommen, von denen das „Tauerngold“ im österreichischen Rauriser Tal auch deshalb erwähnenswert ist, weil sein Abbau durch nachweisliche, längerfristige Temperaturänderungen einmal begünstigt und dann wieder behindert wurde.

Die stetig wachsende Erdbevölkerung und die Industrialisierung besonders des asiatischen Raums bedingt seit Beginn des 21. Jahrhunderts einen stark wachsenden Bedarf an Rohstoffen für metallurgische Produkte, nicht zuletzt aufgrund neuer technischer Entwicklungen (Verkehrswesen, Kommunikationselektronik). Weltweit werden daher unter zunehmender chinesischer Beteiligung neue Lagerstätten exploriert. Die von gestiegener Nachfrage getriebene Entwicklung der Rohstoffpreise führt dazu, dass einige der vorgehend genannten mitteleuropäischen Abbaugebiete, die keineswegs völlig erschöpft sind, aber wegen Überschreitung der Grenzkosten stillgelegt wurden, bei wiederkehrender, verstärkter Nachfrage einer Reaktivierung entgegensehen. Sogar bisher unerkannte Vorkommen, etwa in der mitteldeutschen Lausitz, werden für künftige Ausbeutung in Betracht gezogen. Insbesondere die Suche nach Vorkommen von Seltenen Erden, für die künftige Entwicklung überaus wichtige Metalle, wird lebhaft betrieben. Im Erzgebirge werden nicht nur neue Bergwerke für Flussspat und Schwerspat geöffnet, es wird auch auf das Vorhandensein bisher noch nicht erschlossener polymetallischer Lagerstätten für Lithium, Germanium, Indium sowie Wolfram, Molybdän und Tantal verwiesen.

In Deutschland sind nur noch 5 Bergbaubetreiber (Klein-, Mittelbetriebe in Privathand) aktiv. Bei den weiteren Betrachtungen werden daher einige Vorkommen in Österreich einbezogen, da hier auch noch zahlreiche Erzbergwerke betrieben werden.

1 Vorkommen und Gewinnung

1.1 Historische Bedeutung des Erzbergbaus

In Deutschland werden mehrere hundert Besucherbergwerke (zumeist ehemalige Erzgruben) betrieben, die zeigen, welche Bedeutung der Erzbergbau in Deutschland hatte. Neben Baden-Württemberg, Hessen, Bayern ist es vor allem das Erzgebirge, das den Wohlstand durch die Erzgewinnung bezeugt.

Die weltberühmten Bauwerke in Dresden, die der Stadt den Namen „Elbflorenz“ gaben, und die Ernennung „August des Starken“ zum König von Polen wurden vom Gold- und Silberbergbau bezahlt. Städte (z. B. Freiberg und Annaberg) und viele Landesherren verdanken ihren Wohlstand und volle Staatskassen dem Bergbau.

Wie heißt es doch u. a. im Steigerlied „Glückauf der Steiger kommt“: „... die da graben das Silber und Gold bei der Nacht aus Felsgestein“. Die Tradition der Bergparaden wird nur noch im Erzgebirge und in den Salzregionen gepflegt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-1: links: Plastik an der Kanzel der Annaberger Annenkirche gestaltet von Franz Maidburg 1516* – rechts oben: Historische Lampennische zum Schutz des bergmännischen Geleuchts unter Tage in einem Schacht im Freiberger Revier – rechts unten: Deutscher Bergmannstag 2002 in Freiberg – Bildquelle: „Alles kommt vom Bergwerk her“ [11]

Wenn sich die Voraussagen bewahrheiten, so ist es bei dem heutigen Rohstoffhunger durchaus möglich, dass der Bergbau im Erzgebirge in naher Zukunft wieder auflebt. Er nimmt ständig zu und kann in Zukunft nicht nur vom Import gestillt werden. Das gilt nicht nur für die Weiterführung ehemaliger Bergwerke, sondern auch für neue Funde. Die Einstellung vieler Betriebe geschah nicht aus Mangel an Vorräten, sondern war eine Folge der Entwicklung des Marktpreises.

- **Lagerstätten – weltweit**

„Gediegenes“, also reines, Metall zu finden, stellte immer schon eine Ausnahme dar. Es wird das Metall im Erz gesucht. Die zu den Geowisenschaften gehörige Lagerstättenkunde beschäftigt sich mit der Entstehung der Vorkommen, die angewandten Wissenschaften rund um den Bergbau (Prospektion und Exploration) sich mit der Aufsuchung, der Erkundung und dem Abbau möglichst „häufiger“ Vorkommen. Damit sind solche gemeint, die eine gute Erzausbeutung versprechen – wobei die Technik und Weiterverarbeitung stark vom Metallgehalt der Lagerstätte abhängig ist.

* Freigabe durch die ev. Kirchgemeinde Annaberg-Buchholz liegt vor.

7541014/10787806875Biblio

Unterirdisch gelegen wurde Erz im Stollen abgebaut (historisches Beispiel: Silberbergbau am Cerro Rico im bolivischen Potosí bis 1825; heute findet man dort nur noch Kupfer, Zinn und Blei). Bekannt ist auch der historische Goldabbau in Österreich („Rauriser Tauerngold“).
Weitere für den Tagebau typische europäische Beispiele finden sich im schwedischen Falun (Blei, Zink, Kupfer), im österreichischen Erzberg (Eisen) und davon nur unweit entfernt in Mittersill (Wolfram).

1.2 Entstehung von Erzlagerstätten

Nach der Entstehung werden bei den Erzen primäre und sekundäre Lagerstätten unterschieden. Magmatische Erzlagerstätten entstehen beim Eindringen von Gesteinsschmelzen aus dem oberen Erdmantel in die Erdkruste. Während der Kristallisation erfolgt eine Aufspaltung der Schmelzen in Teilschmelzen mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung. Dieser Vorgang wird als Differentiation der Schmelze bezeichnet. Ist das Magma noch flüssig (liquid), erstarren bei Temperaturen zwischen 1.300 °C und 700 °C zuerst Erzmineralien mit hohem Schmelzpunkt. Dazu gehören vor allem Eisen, Chrom-, Kupfer-, Nickel-, Titan- und Platinerze.

Diese Erzminerale scheiden sich zuerst in Form von Kristallen aus und sinken auf Grund ihrer Schwere in der Schmelze ab. Erst dann kommt es zur Erstarrung der gesteinsbildenden Minerale, wobei flözartige, „schichtige“ Erzkörper entstehen. Die größte Lagerstätte dieser Art ist der mächtige Tiefengesteinskörper des Bushveld-Komplexes in Südafrika. Bei weiterer Abkühlung der Schmelze bildet sich dann die Hauptmasse der Gesteinsminerale heraus. Nach dieser Hauptkristallisation weist die Restschmelze Eigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten auf. Bei Temperaturen von 600 °C bis 400 °C dringen die hochkomprimierten Gase in Hohlräume und Spalten des Nebengesteins ein und bilden Erzstöcke und Erzlinsen (pneumatolytische Phase).

Sinken die Temperaturen unter 400 °C, entstehen wässrige Lösungen, in denen es zur Ausscheidung von Erzen kommt (hydrothermale Phase).

Weil diese Lösungen eine Vielzahl von Metallen enthalten, bilden sich oft sogenannte Polyerze aus, z. B. Gold-Silber, Silber-Blei-Zink oder Kobalt-Nickel-Silber.
Die ausgeschiedenen Erze treten hauptsächlich in Form von Gangerzlagerstätten auf, können aber auch in feiner Verteilung im Nebengestein vorkommen.

Tragen Flüsse ein Gebirge ab, werden auch magmatische Lagerstätten von der Erosion (Abtragung) erfasst. Weiter flussabwärts werden dann die Abtragungsprodukte wieder abgelagert oder sogar bis ins Meer geführt. Da das Fließgefälle zwischen Quelle und Mündung in der Regel geringer wird, nimmt mit zunehmender Entfernung vom Gebirge auch die Transportkraft des Gewässers ab. Entsprechend dem hohen spezifischen Gewicht mancher Erze (Gold, Platin, Chrom, Zinn) werden diese im Bereich bestimmter Gefällsabschnitte bevorzugt abgelagert. Sie reichern sich dort als sogenannte Seifen an.

Berühmt sind die Goldseifen Sacramentos in Kalifornien und die Zinnseifen Malaysias. Neue Typen von Erzlagerstätten wurden v. a. auf dem Tiefseeboden entdeckt, so z. B. Manganknollen (Mn, Cu, Ni, Co), Kobaltkrusten (Co, Ni, Mn) und Erzschlämme (Zn, Cu, Ag).

7541014/10787806875Biblio

Zu den wichtigen Lagerstätten gehören außer offenen Erzvorkommen („Ausbisse“ genannt) weltweit anzutreffende, nicht nur Erz, sondern Gediegenes enthaltende, geologisch so bezeichnete „Sande“ und „Seifen“. Sie werden nach der Art ihrer Entstehung unterschieden. Metallurgisch am bedeutsamsten sind die residualen, nach Verwitterung von Umgebungsgestein übrig gebliebenen (beispielsweise Magnetit oder Magneteisenerz), und die alluvialen, von zu Tal gehendem Wasser angeschwemmten Sande (z. B. 1848 in Kalifornien sehr goldreich am American River entdeckt).

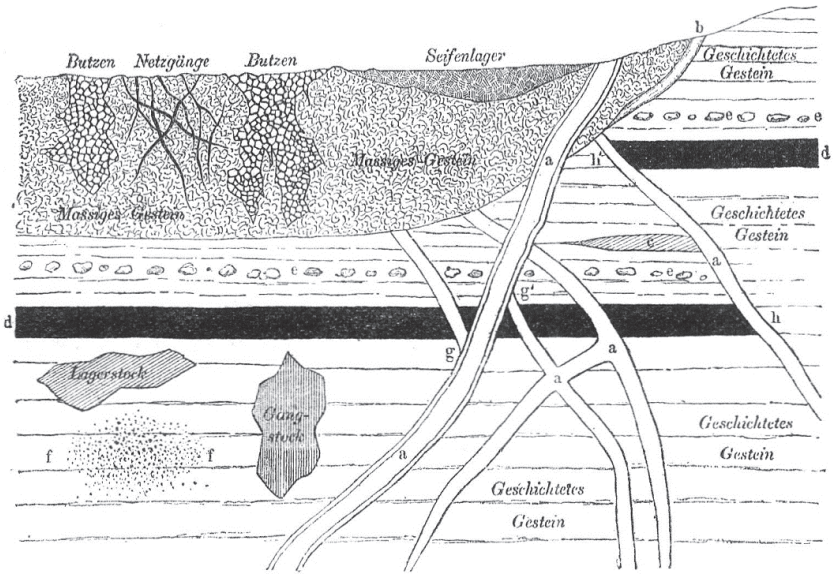


Abb. Fe-2: Schematische Darstellung von Erzlagerstätten.

a Gänge, b Kontaktgang, c Lagergang, d Lager, Flöz, e Flöz, f Imprägnationen, gg' Verwerfung eines Ganges, hh' Verwerfung eines Lagers [1]

Ebenso, geologisch vergleichbar, sind die zinnhaltigen, marinen, küstennahen Seifen Malaysias und Indonesiens mit einem Anteil von 30 % an der Weltproduktion, ebenso der Monazitsand Westaustraliens sowie die titanhaltigen Ilmenitsande (black sands). Als „Rückstandsgesteine“, den „Sanden“ nahe stehend, gelten die Nickel-Laterit-Erze, die sich geologisch bedingt nur in niederen, äquatornahen Breiten finden.

Die als Coltan (Columbit-Tantalit) bekannten zentralafrikanischen Vorkommen tantal- und niobhaltiger Erze (auch in Schwemmseifen zu finden) werden besonders wegen der Korrosionsfestigkeit des gewonnenen Tantals für Instrumente und Apparaturen (Schaltkreise) ausgebeutet. Hohe Härte lässt Tantal, Niob und das verwandte Vanadin (Vanadingruppe des periodischen Systems) zu gesuchten Begleitmetallen von Edelstählen werden.

Nachklassisch, da an erst in der Moderne entwickelte Verfahren gebunden, dieser Metallurgie noch zuzuordnen sind:

– die elektrolytische Gewinnung der Alkalimetalle aus dem bergwerksmäßigen Abbau ihrer Chloride und der ebenso betriebene Abbau von Uranpecherz als uranhaltigem Mineral,

7541014/10787806875Biblio

– die Stand der Technik darstellende Gewinnung von Magnesium aus dem Abbau von Magnesit (Australien) über die Zwischenstufe Magnesiumchlorid, das zum geringeren Teil weiterhin aus seinem Anteil am Meerwasser zu gewinnen ist,
– der offene Abbau von Bauxit, einem rötlichen Sedimentgestein, das – zu reiner Tonerde umgewandelt – Grundstoff der Aluminiumerzeugung ist,
– als Zukunftsaufgabe mit großem metallurgischen Nutzen gilt der zwar schon seit Jahrzehnten prospektierte, technisch immer noch nicht befriedigend gelöste Tiefseebergbau von Manganknollen mit bis zu 27 % Mangan und weiteren Metallen, darunter bis zu 1 % Nickel.

Mehr noch gilt dies für die seit 2007 unter dem Nordpol in 4.000 m Tiefe vermuteten Lagerstätten von Mineralien, Erdöl und Erdgas.

1.3 Erzvorkommen

Tabelle der wichtigsten Erze nach ihrem Metallinhalt

1	Edelmetalle	Gold, Silber, Platin
2	Eisen	
3	Stahl- und Eisenveredler	Mangan, Wolfram, Chrom, Vanadium u. a.
4	Nichteisenmetalle	Blei, Zink
		Kupfer, Zinn
		Leichtmetalle (Aluminium, Magnesium)
		Kobalt, Wismut, Arsen, Antimon, Uran, Quecksilber, Schwefelerze u. a.

- **Edelmetalle**

Gold:

Wegen völligen Abbaus der alten goldhaltigen Lagerstätten, kann man heute von eigentlichen Goldvorkommen im deutschen Raume nicht mehr sprechen.

Silber:

Auch Silberlagerstätten (im eigentlichen Sinne) sind in Deutschland nicht mehr vorhanden.
Die Jahreserzeugung an Silber in Deutschland betrug vor dem Kriege noch etwa 100 t.

Platin:

Bauwürdige Platinlagerstätten gibt es in Deutschland nicht.

- **Eisen**

Eisenerzvorkommen sind in Deutschland weit verbreitet. Es handelt sich jedoch vorwiegend um eisenarme, meist saure Erze mit etwa 25 % Fe.

7541014/10787806875Biblio

Im Gegensatz zu anderen Ländern (wie Schweden oder USA) ist unser Land arm an hochwertigen Erzen. Immerhin belaufen sich die sicheren und wahrscheinlichen Eisenerzvorräte im Bundesgebiet auf etwa 2,5 Mio. t mit 750 Mio. t Eisen.

Zurzeit werden im Bundesgebiet nur noch sehr geringe Mengen an Roherz gewonnen. Deutschland ist daher auf die Einfuhr hochwertiger ausländischer Erze angewiesen.

Die armen deutschen Erze (mit 20 % bis 30 % Fe) können nur durch besonders entwickelte Aufbereitungsverfahren (Wäsche, Sinterung, Röstung, Magnetscheidung u. a. m.) sowie durch technisch weit durchgebildete Verhüttungsprozesse (saures Schmelzen, Krupp-Rennverfahren u. a.) schmelzwürdig gemacht werden.

Die zz. nennenswerte Eisenerzförderung in der Bundesrepublik findet bei der Barbara Erzberg GmbH, Porta Westfalica statt.

Große Erzlager befanden sich in den Bergbaugebieten: Salzgitter, Ilsede, Siegerland, Lahn-Dill, Harz, Thüringen und Sachsen.
Viele dieser Vorkommen sind nicht erschöpft, sondern nur durch den Weltmarktpreis nicht rentabel zu fördern. Wenn der Rohstoffhunger und vor allem der Bedarf an Stahl weiter zunehmen, könnten einige dieser Vorkommen – insbesondere durch die heutige Gewinnungstechnik – wieder interessant werden.

- **Stahl- und Eisenveredler**

Mangan:

Zu den für die Veredlung des Stahls und Eisens wichtigen Zusatzmetallen gehören u. a. Mangan, Wolfram, Chrom, Nickel, Kobalt, Vanadium, Molybdän, Titan, Niobium, Lithium und Thorium. An allen Erzen dieser Metalle hat Deutschland keine abbauwürdigen Vorräte.

Wolfram:

Wolfram-Lagerstätten (Wolframit und Scheelit) sind in Deutschland nicht so selten; doch sind sie meist recht arm und daher zz. nicht abbauwürdig.

Chrom:

In Deutschland sind Chromeisenerze sehr selten und werden auch nicht abgebaut.

Nickel und Kobalt:

Nickelvorkommen sind in Deutschland ebenso spärlich und bedeutungslos. Neben seinem Wert für die Stahlindustrie zur Erzeugung rostfreien Stahls dient Nickel zum Vernickeln, für silberähnliche Legierungen (Neusilber, Argentan u. a.) und für Raketenflugzeuge.

Kobalterz-Vorkommen befinden sich u. a. im westlichen Erzgebirge, werden aber zz. nicht abgebaut.

Vanadium:

Nennenswerte Vanadiumerze gibt es in Deutschland nicht. Bescheidene Vanadiumgehalte führten einige Erzvorkommen, wie der Mansfelder Kupferschiefer und das Aufbereitungsgut der süddeutschen Doggererze.

7541014/10787806875Biblio

Molybdän:

Molybdänerze (Molybdänglanz und Wulfenit) sind in Deutschland kaum noch vorhanden. Das einzige gebaute Vorkommen lag im Höllental bei Garmisch.

Titan, Lithium, Thorium, Niobium bzw. ihre Erze:

Diese Rohstoffe müssen importiert werden.

- **Nichteisen-(NE-)Metalle**

Gleich den Eisenerzen gewinnen auch die Nichteisenerze (Erze der Buntmetalle: Blei, Zink, Kupfer, Zinn, Kadmium), Leichtmetalle sowie die Wismut, Arsen, Antimon, Uran und Quecksilber eine ständig steigende Bedeutung.

Blei und Zink:

Die BRD verfügt noch über eine Reihe von zusammenhängender Bleizinkerzvorkommen, die aber zz. aus den bereits genannten Gründen nicht gewonnen werden.

Kupfer und Zinn:

Kupfer ist neben Eisen und Aluminium eines der wertvollsten Gebrauchsmetalle. Deutschland verfügt zurzeit nur über wenige bedeutende Vorkommen.

Die ehemals wichtigste deutsche, vielleicht auch europäische Kupfererzlagerstätte ist das altbekannte Mansfelder Kupferschiefervorkommen mit dem „Kupferschieferflöz".

Zu neu entdeckten Kupfervorkommen siehe unten.

- **Leichtmetalle**

Neben den Schwermetallen (Stoffen mit einer Wichte größer als 5) stehen die Leichtmetalle. Sie sind erst verhältnismäßig spät in den Dienst der Technik getreten, spielen aber heute eine große Rolle. Ihre Gewinnung gehört eigentlich nicht mehr zum Erzbergbau, sondern zum Betrieb der Steine und Erden.

Dahin gehören:

Aluminium:

Wichtigstes Ausgangsmaterial zur Herstellung des (auf elektrolytischem Wege gewonnenen) Aluminiums ist der sog. Bauxit (mit bis 50 % AK_2O_3). Bauxit wird in Deutschland nicht mehr gewonnen.

Magnesium:

Das Urmaterial zur Gewinnung dieses Metalls ist in Deutschland in großen Mengen vorhanden.

In Betracht kommen die Endlaugen der Kalifabriken und die Minerale Magnesit, Dolomit, Bischofit und Carnallit. Magnesium wird in erster Linie zu Magnesiumlegierungen für die Flugzeug-, Autoindustrie und die Feuerwerkerei verwendet.

- **Weitere NE-Metalle**

Kobalt, Wismut, Arsen und Antimon sowie Uran, Quecksilber und Schwefelerze. Der Bedarf an diesen Erzen muss durch Einfuhr gedeckt werden.

7541014/10787806875Biblio

Lagerstätten von Kobalt-, Wismut-, Arsen- und Antimonerzen sind in Deutschland selten wie geringfügig.

Uran:

Vorkommen sind in der BRD weit verbreitet. Ein Abbau findet zz. nicht statt. Der Abbau während der DDR-Zeit wurde schon in Kap. A erwähnt.

Quecksilber:

Lagerstätten des für viele Zwecke notwendigen Quecksilbers sind in Deutschland recht selten und ohne Bedeutung.

Schwefelerze:

Wichtiges Vorkommen ist das 1,5 m bis 8 m mächtige mitteldevonische Schwefelkies-Zinkblende-Schwerspatlager von Meggen a. d. Leine (Sachtleben A.G.), eines der größten Vorkommen Europas mit rd. 42 % Schwefel. Wegen seines hohen Zinkgehaltes (rd. 7 % bis 8 % in der Lagermasse) spielt das Lager auch für die Zinkgewinnung eine große Rolle.

1.4 Wiederaufnahme des Bergbaus im Erzgebirge

1.4.1 Bergbau auf Fluss- und Schwerspat

Im Erzgebirge sollen wieder kostbare Mineralien abgebaut werden.

Nachdem in den Stollen des Erzgebirges früher bereits verschiedene Erze wie Silbererz, später dann auch Uranerz unter anderem von der SAG Wismut abgebaut wurden, soll in den nächsten Jahren ein neues Bergwerk entstehen, in dem Fluss- und Schwerspat abgebaut wird.

Nun, wo die Rohstoffpreise wieder steigen, investiert ein Unternehmen aus Halsbrücke rund 12 Mio. € in ein neues Bergwerk, in dem in Niederschlag bei Bärenstein Fluss- und Schwerspat abgebaut werden soll. In der dortigen Lagerstätte sollen 2,5 Mio. t des Gesteines abgebaut werden können.

Die Erzgebirgische Fluss- und Schwerspatcompanie Geos GmbH (EFS Geos) will anfangs ca. 80.000 t Rohspat abbauen, später soll die Produktion verdoppelt werden.
Bis zu 40 Mitarbeiter sollen eine 2 km lange Rampe in den Berg treiben, um das Material abzubauen. Nach etwa 900 Metern wäre die Lagerstätte erreicht, meinen Geologen.

Ende 2007 waren wegen der rasant steigenden Rohstoffpreise die Bodenschätze im Erzgebirge wieder ins Gespräch gekommen. Nachdem aber die Finanzkrise die meisten Rohstoffpreise drückte, blieben nur noch wenige Unternehmen übrig, die echtes Interesse am neuen „Berggeschrey“ zeigten.

Im Juni 2009 wurde es wieder lauter um den Bergbau im Erzgebirge, als man einen sehr hohen Goldanteil im Gestein des Erzgebirges feststellte.
Die Region ist durch den Bergbau erst richtig bekannt geworden, und könnte in den kommenden Jahren wieder an Bedeutung gewinnen. Allgemein scheint es der Bergbauindustrie in Deutschland nicht so schlecht zu gehen, denn auch im Harz plant man wieder, intensiv Bergbau zu betreiben.

7541014/10787806875Biblio

1.4.2 Bergbau auf Kupfer

- **Vorkommen in der Lagerstätte Spremberg**

Neue Erkundungsbohrungen hatten folgende Ergebnisse:

Die Kupfervorkommen bei Spremberg in der Lausitz sind doppelt so groß wie ursprünglich von Experten erwartet wurde. Die Lagerstätte Spremberg-Graustein-Schleife soll rund 200 Mio. t erzreiches Gestein umfassen, davon etwa 2 Mio. t reines Kupfermetall.

Die Qualität der Erze soll mehr als ausreichend sein, um einen wirtschaftlichen Abbau zu gewährleisten. Man geht von einer Verdopplung der geschätzten Förderzeit von mindestens 40 Jahren aus.

Neben den Kupfervorkommen sind außerdem mehr als 10 Mio. t Blei und Zink nachgewiesen worden. Zudem belegten die Analyseergebnisse hohe Werte für Silber und Gold sowie starke Vorkommen von Platin, Palladium, Lithium, Indium, Germanium und Gallium. Diese Spezialmetalle sind von großer Bedeutung für die Hightech- und Umwelt-Industrie. Sie werden unter anderem für die Herstellung von Katalysatoren, Solarzellen, Flachbildschirmen und Mobiltelefonen benötigt.

Zudem soll ein hoher Anteil an Salzen nachgewiesen worden sein, die in der chemischen Industrie und in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen.

Nahe Graustein förderten Ingenieure des untersuchenden Unternehmens einen Kupferschieferkern aus einer Tiefe von 980 m zutage.

Die Ergebnisse sind vielversprechend und eröffnen gute Perspektiven für die Lausitz. Das Unternehmen hatte im September 2009 mit den Erkundungsbohrungen begonnen und nach eigenen Angaben insgesamt 10 Mio. € investiert.

Im Industriegebiet Spremberg-Ost soll das erste Kupfererzbergwerk errichtet werden. Der Betriebsstart ist für das Jahr 2015 geplant. Bis zu diesem Zeitpunkt will das Unternehmen rund 700 Mio. € investieren.

Das Unternehmen hat beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe in Cottbus den Antrag auf Verleihung der Bergrechte für die Lagerstätte gestellt. Damit ist die Erkundungsphase abgeschlossen und die Bergbauentwicklungsphase eingeläutet.
Nach Unternehmensangaben wird die Umwelt durch die geplante Förderung kaum belastet, da die Arbeiten größtenteils unter Tage stattfinden. Es entstehen fast kein Lärm und nur wenig Schmutz.

Die KSL ist ein deutsches Bergbauunternehmen mit Sitz in Spremberg und eine 100-prozentige Tochter der US-amerikanischen Bergbaugesellschaft Minera, die auf die Erkundung und den Abbau von Bunt- und Edelmetallerzen spezialisiert ist. Der internationalen Holding wurden 2007 die behördlichen Aufsuchungserlaubnisse für die Kupferschiefer-Lagerstätte Spremberg und Graustein in Brandenburg sowie Schleife in Sachsen zugeteilt.

Zu DDR-Zeiten war eine Kupferförderung in der Lausitz aufgrund der tiefen Lagerstätte unrentabel. Doch die Preise für das Metall stiegen in den vergangenen Jahrzehnten enorm, so dass sich ein Abbau mittlerweile lohnt.

7541014/10787806875Biblio

1.4.3 Fluss- und Schwerspatförderung

Konkrete Projekte entstehen beispielsweise in der Gemeinde Niederschlag, nahe der tschechischen Grenze. In einem Stollen, in dem die DDR einst Uran förderte, sollen Fluss- und Schwerspat gewonnen werden – ein Rohstoff, der in der chemischen Industrie in großen Mengen gebraucht wird (beispielsweise zur Herstellung von Teflon oder Gore-Tex-Membranen). In der EU ist Flussspat so knapp, dass der Bedarf nur zu 10 % aus eigenen Vorkommen gedeckt werden kann. Das wirkt sich auch auf den Preis aus, der innerhalb weniger Jahre von 100 € auf 350 € stieg.

1.4.4 Facharbeiterausbildung

In Niederschlag bei Oberwiesenthal begannen am 28.10.2010 die Arbeiten im neuen Spatbergwerk. Der sächsische Staatsminister für Finanzen Prof. Dr. Georg Unland eröffnete im Beisein von Landrat Frank Vogel das Bergwerk mit der ersten Sprengung aus dem Festgestein.

Die Erzgebirgische Fluss- und Schwerspatcompagnie GEos GmbH setzt damit ein ehrgeiziges Bergbauprojekt in die Tat um und lässt neben dem bestehenden Bergbau in Lengefeld das Berggeschrei wieder in das Erzgebirge einziehen.
Landrat Vogel überreichte anlässlich der Eröffnung einen Fluorit-Baryt aus der Grube 10.000 Ritter in Frohnau. „Dieses Projekt verleiht der Erzgebirgsregion ein Stück Identität“, so der Landrat.

Um für den erhofften Neubeginn gerüstet zu sein, hat das Land Sachsen einen schon totgeglaubten Ausbildungsberuf wieder eingeführt. Nach knapp drei Jahrzehnten lernen seit 2005 wieder junge Menschen den Beruf des Berg- und Maschinenmanns. Wenn der Bergbau im Erzgebirge seine Renaissance erlebt, sollen möglichst viele Arbeitskräfte aus der Region kommen. Experten schätzen, dass in den nächsten zehn Jahren einige Tausend neue Arbeitsplätze entstehen könnten.

1.5 Gewinnungsverfahren

1.5.1 Untertagebau

Sobald eine Lagerstätte prospektiert und exploriert sowie ihre Wirtschaftlichkeit festgestellt ist, kann der bergmännische Aufschluss beginnen. Die Wahl des günstigsten Abbaufahrens hängt vor allem von den Lagerungsverhältnissen des Minerals ab.

Die im untertägigen Erzbergbau angewendeten Abbauverfahren werden in Festenbau, Bruchbau und Versatzbau eingeteilt.

Beim **Festenbau**, der in ausreichend standfestem Gebirge Anwendung findet, entstehen offene Abbauräume.

Beim **Bruchbau** wird das umgebende Gebirge planmäßig zerstört; es füllt die Abbauhohlräume aus. Es kann aber, abhängig von der Teufe und dem Gebirge, zu größeren Setzungen kommen.

Beim **Versatzbau** werden die Abbauräume mit grobkörnigen Bergen oder Aufbereitungsabgängen wieder verfüllt. Die Wahl des Verfahrens hängt überwiegend von der Festigkeit des Gebirges und der Form des Erzkörpers ab. Größere Setzungen werden hierbei vermieden.

7541014/10787806875Biblio

Abgesehen vom Bruchbau, der aber in immer geringerem Umfang Anwendung findet, wird beim untertägigen Abbau von Erzlagerstätten die Tagesoberfläche relativ wenig beeinflusst. Beim Abteufen von Schächten, beim Vortrieb von Stollen und Schächten fallen Grubenberge an, die über Tage aufgehaldet werden, soweit sie nicht Verwendung als Versatz finden. Ihr Anteil am insgesamt untertägig gewonnenen Material schwankt von Lagerstätte zu Lagerstätte in weiten Grenzen; er kann im Erztiefbau bis etwa 20 v. H. betragen. Beim Erztagebau ist die bewegte Abraummasse in der Regel wesentlich größer und beträgt im Mittel 40 bis 65 v. H. der insgesamt bewegten Massen.

Berge- und Abraumhalden sind der Erosion durch Wind und Niederschläge sowie der Verwitterung ausgesetzt. Wenn die Berge Sulfide (insbesondere Pyrit und Magnetkies) enthalten, entstehen bei der Verwitterung dieser Minerale Schwefelsäure sowie lösliche Metallsalze. Die grundlegende chemische Reaktion ist dabei die Umsetzung der Metallsulfide mit Wasser und Sauerstoff, bei der Metallhydroxide und Schwefelsäure entstehen.

Zusätzlich zur Oxidation der Sulfide können die Berge lösliche basische oder saure Stoffe enthalten, die den pH-Wert des Wassers beeinflussen. Durch eine angemessene Rekultivierungstechnik, etwa durch Abdecken der Bergehalden und Begrünung, können die Erosion durch Wind und Wasser sowie die Oxidation von Sulfiden und damit die Sauerwasserbildung verringert werden.

Wie die oberirdischen Bergehalden unterliegt auch das unter Tage freigelegte Gestein bzw. Erz der Verwitterung oder der Oxidation. Dies kann zu Verunreinigungen des Grundwassers bzw. von Grubenwässern führen.

Das größte Problem stellt dabei im Erzbergbau die Sauerwasserbildung dar. Sauerwässer enthalten meist signifikante Gehalte an gelösten Metallen, die für viele Organismen toxisch wirken können.

Beim Wasser handelt es sich zum einen um Grundwasser oder zusitzendes Oberflächenwasser, zum anderen um Betriebswasser, das besonders beim Spülversatz in beträchtlicher Menge anfällt. Weiteres Betriebswasser dient der Bohrspülung, der Wetterkühlung und der Staubbekämpfung.

1.5.2 Örterbau und Kammerbau

Der Örterbau stellt ein Abbauverfahren dar, bei dem die Gewinnung des Minerals in der Herstellung eines Systems von rechtwinklig angeordneten Strecken (Örtern) besteht, zwischen denen zur Unterstützung des Hangenden quadratische Lagerstättenteile von bestimmter Stärke (Festen) stehenbleiben, so dass ein schachbrettartiger „Room-and-pillar“-Grundriss entsteht. Zur Sicherung der Firste können zusätzlich Anker in das Hangende gesetzt werden.

Ist die Mächtigkeit des Flözes sehr groß oder handelt es sich um eine massige Lagerstätte, müssen beim Kammerbau (Abb. Fe-3) langgestreckte Kammern in mehreren Scheiben abgebaut werden (nach unten in Strossen- und nach oben in Firstenbauweise).

Die Gewinnung erfolgt mit Hilfe der Bohr- und Sprengarbeit, wobei fahrbare Bohr- und Sprengstoffwagen eingesetzt werden. Der Abförderung des Haufwerks dienen in besonderem Maße die LHD-Geräte (von: Load, Haul, Dump – Laden, Befördern, Entladen).

7541014/10787806875Biblio

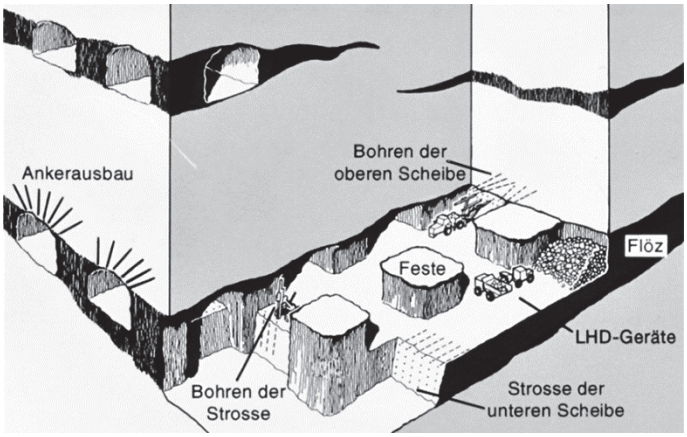


Abb. Fe-3: „Room-and-pillar"-Abbau (Schema) [1]

Schwere dieselbetriebene Radlader und Muldenkipper, die in ihrer Bauweise den Gegebenheiten des Bergbaus angepasst sind, nehmen das Haufwerk auf und transportieren es zu zentralen Brechanlagen bzw. Ladestellen.

Teilweise wird beim Örter- bzw. Kammerbau auch die schneidende Gewinnung mit Teilschnittmaschinen oder Continuous-Miner durchgeführt, wobei das Fördergut direkt auf Kettenkratzer- oder Gurtbandförderer aufgegeben werden kann.

- **Nachteile des Room-and-pillar-Verfahrens**

Durch Sicherheitspfeiler treten Abbauverluste ein, da innerhalb eines Sicherheitspfeilers kein Abbau betrieben werden darf. Deshalb sind Bergwerksunternehmen immer bestrebt, nur möglichst kleine Sicherheitspfeiler beachten zu müssen. Lassen sich Markscheide- und Mergelsicherheitspfeiler wenig oder gar nicht beeinflussen, wird versucht, durch Konzentration der zu schützenden Anlagen innerhalb des Sicherheitspfeilers mehrfache oder überlappende Sicherheitspfeiler zu vermeiden.

Bei einer Doppelschachtanlage ist für beide Schächte nur ein Sicherheitspfeiler notwendig, der zwar größer als der Sicherheitspfeiler eines Einzelschachtes, aber wesentlich kleiner als zwei Einzelsicherheitspfeiler ist. In diesem Fall werden die beiden Kreise um die Schachtmittelpunkte tangential miteinander verbunden, der Sicherheitspfeiler erhält dadurch eine ovale Form. Die bereits genannten untertägigen Einrichtungen werden, soweit möglich, im Schachtsicherheitspfeiler angelegt.

Bei steil einfallenden Lagerstätten werden die Schächte häufig so angesetzt, dass der Schachtsicherheitspfeiler ins Liegende der Lagerstätte fällt, wodurch keine Abbauverluste auftreten.

Sicherheitspfeiler haben große Auswirkungen auf die Tagesoberfläche, da im Übergangsbereich zwischen abgebauter und unverritzter Lagerstätte die größten Zerrungen und Pressungen auftreten, die hauptsächlich für Bergschäden verantwortlich sind.
Deshalb versucht man in jüngerer Zeit, neueren Forschungen folgend, sensible Bereiche „durchzubauen", d. h., weiträumig und mit gleichmäßiger, vorherberechneter Abbaugeschwindigkeit unter zu schützenden Bereichen abzubauen. Obwohl dabei Senkungen auftreten, sind die Bergschäden geringer, da die extrem schädlichen Zerrungen minimiert werden.

7541014/10787806875Biblio

1.5.3 Teilsohlenbruchbau

Der Teilsohlenbruchbau kann als universelles Abbauverfahren bezeichnet werden. Er stellt keine Anforderungen an Mineral und Nebengestein und ist vom Einfallen der Lagerstätte relativ unabhängig. Durch die Möglichkeit des Einsatzes von leistungsfähigen LHD-Geräten bietet er auch die notwendige Betriebskonzentration. Beim Teilsohlenbruchbau wird die Lagerstätte (steilstehendes Flöz, massige Lagerstätte) durch die Strecken der übereinanderliegenden Teilsohlen in über- und nebeneinanderliegende Pfeiler eingeteilt, die anschließend im Rückbau hereingewonnen werden. Dabei wird mit der Hereingewinnung des Pfeilers auf der obersten Teilsohle zuerst begonnen.

Der Abbau staffelt sich somit nach unten, so dass die unterste Teilsohle den gesamten Alten Mann über sich hält.

1.5.4 Firstenstoßbau in gangartigen Lagerstätten

Der Firstenstoßbau (Abb. Fe-4 rechts), der auf steilstehenden, standfesten Lagerstätten mit standfestem Nebengestein anwendbar ist, kann nur als Versatzbau geführt werden.

Die Sohle des Abbaus wird entweder vom Versatz oder vom noch nicht abgeförderten Haufwerk gebildet. Durch den Einsatz von Bohrwagen (gebohrt wird nach oben in die Firste) und LHD-Geräten kann dieses aufwändige Abbauverfahren hohe Betriebspunktförderungen erreichen.

Die obere Sohle des Abbaus dient der Heranförderung des Versatzes, der durch Überbrüche (Versatzrolle) in den Abbauraum gekippt wird. Das gewonnene Mineral wird durch Rolllöcher im Versatz an die untere Sohle (Hauptfördersohle) übergeben.

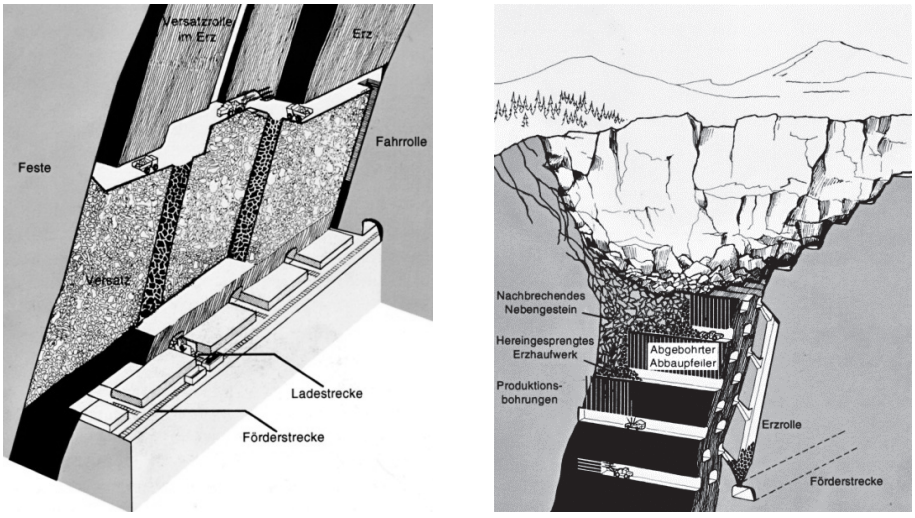


Abb. Fe-4: links: Teilsohlenbruchbau – rechts: Firstenstoßbau – Weitungsbau in massigen Lagerstätten [1]

Auch bei Anwendung des **Weitungsbaus** in den massigen oder mächtigen steilstehenden Lagerstätten wird ein System von übereinanderliegenden Teilsohlen aufgefahren. Die dazwischen befindlichen Pfeiler werden im Rückbau in die offene Weitung hineingesprengt (Bohr- und Sprengarbeit).

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-5: Beispiel für eine umfangreiche Weitung im Bereich der Rohten Zeche (Altenberg/Erzgebirge)

Bildquelle: „Alles kommt vom Bergwerk her“ – B. Lahl u. J. Kugler – Chemnitzer Verlag

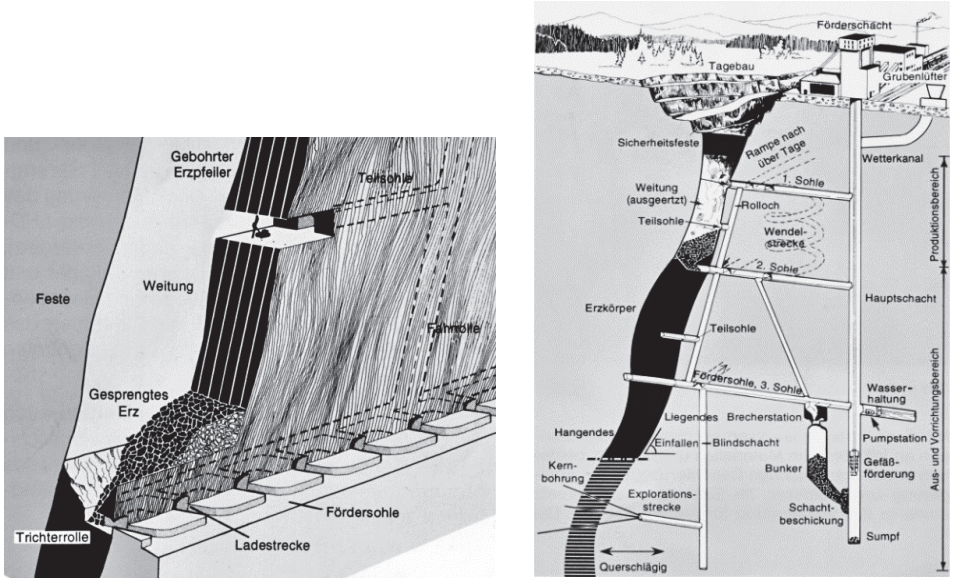


Abb. Fe-6: links: Weitungsbauverfahren – rechts: Untertagegebäude bei einem Erzgang [1]

Das Haufwerk kann über Trichterrollen in der Schrapperstrecke abgezogen werden und mittels Schrapper oder Radlader in die Rollen zur Hauptfördersohle übergeben werden.

Voraussetzung für den Weitungsbau ist die Standfestigkeit von Lagerstätte und Nebengestein. Im Kalibergbau wird der Weitungsbau mit Versatz angewandt, der als Trichterbau bezeichnet wird.

7541014/10787806875Biblio

1.6 Erzgewinnung im Tagebau

Die Massenerze wie Kupfer, Eisenerz, Bauxit, Schwerspat usw. werden überwiegend im Tagebau gewonnen. Bei den Vorkommen handelt es sich meistens um massige oder flözartige Lagerstätten mit großer Ausdehnung. Da der Bedarf an diesen Erzen stetig steigt, wird bei der Gewinnung in den Hauptförderländern Raubbau betrieben. Diese Art der Gewinnung wird die Vorräte schmälern.

Bei der Gewinnung im Tagebau müssen meist große Mengen an Überdeckung und Abraum bewegt werden. In der Regel wird der Abraum auf Außenkippen deponiert, zumindest in der Aufschlussphase sowie in der ersten Phase der Gewinnung.

Tagebaue wirken sich auf die Umwelt am augenscheinlichsten durch die direkte Veränderung der Tagesoberfläche und des Landschaftsbildes aus.
Auch kann es bei Tagebauen zur Bildung von Sauerwässern kommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass meist eine große Erzoberfläche freigelegt wird.

Da sich die technischen Vorgänge der Gewinnung wie Bohren, Sprengen, Laden und Fördern an der Tagesoberfläche vollziehen, sind die Auswirkungen auf die Umwelt, etwa durch Lärm und Staubemission, größer als beim Tiefbau.
Es bedarf großer Anstrengungen und hoher Investitionen, um die Auswirkungen des Erzbergbaus auf die Umwelt – Veränderung des Landschaftsbildes, Bergschäden, Abraum- und Bergehalden, Gewässerverunreinigungen, Staubemissionen, Lärmemissionen, Sprengerschütterungen sowie Beeinträchtigung von Fauna und Flora – zu minimieren.

Der größte Teil der gewonnenen Roherze endet als Aufbereitungsrückstand. Im Allgemeinen gilt, dass der Anteil der Aufbereitungsabgänge am gewonnenen Haufwerk umso größer ist, je wertvoller der Rohstoff ist. Wertvolle Erze mit geringem Gehalt sind u. U. noch abbauwürdig.

Die Aufbereitungsabgänge werden zum Teil als Versatz wieder in die Bergwerke zurückgebracht. Eine vollständige Unterbringung der Abgänge ist damit nicht möglich, da das zerkleinerte Material ein größeres Volumen als das ursprüngliche Gestein einnimmt.
Fein aufgemahlenes Gestein kann bis zum zweifachen Volumen des ursprünglich anstehenden annehmen. Bei feinkörniger Verwachsung der Erze kann eine Mahlung des Roherzes auf unter 100 my erforderlich werden.

Aus diesen Gründen wird besonders in der BRD das Genehmigungsverfahren immer schwieriger und langwieriger. Die Umweltschützer versuchen alles, um jede Rohstoffgewinnung zu unterbinden bzw. zu erschweren.
Dies trifft auch z. B. für andere Rohstoffe wie Hartgestein, Kies und Sand zu.

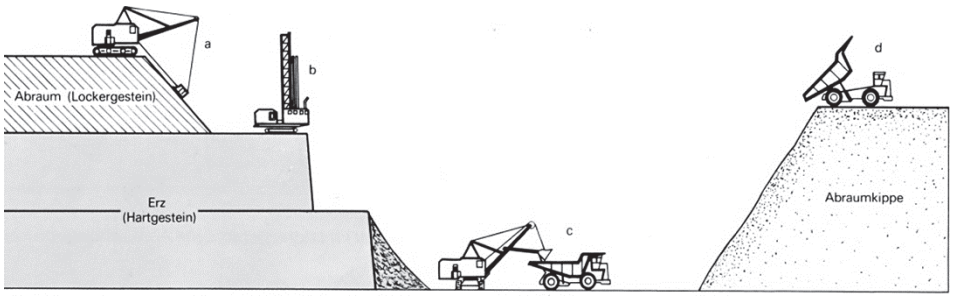
1.6.1 Abbautechnik

Der Bergbau auf Eisenerz wird in der westlichen Welt zu 95 v. H. im Tagebau betrieben.

Während im Tiefbau überwiegend Erz gefördert wird, müssen im Tagebau zum Teil auch große Mengen von taubem Nebengestein bewegt werden. Dieses kann aus dem Deckgebirge, aus Einlagerungen oder aus den Böschungen stammen, die aus abbautechnischen Gründen nicht immer der Form des Erzkörpers folgen.

7541014/10787806875Biblio

Das Verhältnis von Abraum zu Erz beträgt meist weniger als 1:1, d. h., die Abraummengen sind kleiner als die Erzmengen. Die Mächtigkeit des Erzkörpers erlaubt allgemein die Anlage mehrerer Strossen im Abstand von jeweils 10 m bis 15 m übereinander.



a Schürfkübelbagger beim Abtragen des Deckgebirges (Lockergestein)
b Turmbohrmaschine zum Herstellen von Tiefbohrlöchern auf der 1. Sohle
c Löffelbagger beim Beladen eines SKW auf der 3. Sohle (Ladesohle)
d SKW auf der Abraumkippe

Abb. Fe-7: Schematische Darstellung des Erzabbaus im Tagebau (Strossenabbau) [1]

Die erforderlichen Sprengbohrungen sind vertikal gerichtet und werden bevorzugt mit Drehbohrgeräten ausgeführt, wobei die Bohrlochdurchmesser mehrheitlich bei 250 mm bis 380 mm liegen. Das gesprengte Haufwerk wird mit Seilbaggern aufgenommen, deren Schaufeln in der Regel 4,5 m^3 bis 12 m^3 fassen. Außerdem kommen hierfür auch Groß-Radlader oder Hydraulikbagger zum Einsatz. Das Erz wird von Schwerlastkraftwagen mit einer Nutzlast von allgemein 75 t bis 360 t zur Aufbereitungsanlage transportiert.

Je nach Mächtigkeit der Deckschicht und Materialfestigkeit werden auch für den Abraum Eimerketten- und Schaufelradbagger eingesetzt. Ebenso kann die Technik der Bandbrücken und Absetzer (analog dem Braukohlentagebau) eingesetzt werden.

Der größte Erztagebau der westlichen Welt ist die Reicherz-Grube Mt. Whaleback in Australien. Um jährlich 32 Mio. t Versanderz produzieren zu können, müssen auch 86 Mio. t Abraum bewegt werden.

Neben der Ölsandgewinnung in Athabasca/Kanada werden hier z. T. die größten Baumaschinen der Welt eingesetzt. Großmuldenkipper (Dumper) mit einer Motorleistung von mehr als 3.000 PS und einer Nutzlast von mehr als 360 t sowie Radlader mit 2.300 PS und einem Schaufelinhalt von 40 m^3 sind die Giganten der Baustellen. Unter diesen Großmaschinen sind auch bekannte deutsche Hersteller wie Liebherr und O&K vertreten (siehe Beispiele).

7541014/10787806875Biblio

1.6.2 Beispiele für Großgeräte im Tagebau

Abb. Fe-8: Der zz. weltgrößte Dumper, der Liebherr T282 B [V21]

Der Liebherr Muldenkipper-Dumper **Typ T282 B** ist zz. der größte Dumper der Welt mit folgenden technischen Daten:

Installierte Leistung	3.650/2.772	PS/kW
Gesamtgewicht	600	Tonnen
Nutzlast	363	Tonnen
Muldeninhalt	34	m^3

Von diesem Typ hat Liebherr 37 Stück an eine US-Minengesellschaft für die Ölsandgewinnung in Kanada verkauft.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-9: Liebherr Raupenbagger R 9800 [V21]

Einer der größten Hydraulik-Raupenbagger ist der Liebherr R 9800. Er wartet mit folgenden Leistungsdaten auf:

Installierte Leistung	2.984/4.000 – 2 × 16-Zyl.-Motore	kW/PS
Dienstgewicht	804	t
Löffelinhalt	42/75	m^3/t

Abb. Fe-10: Hydraulik-Raupenbagger O&K TERREX RH 400 [O&K]

Über Höchstleistungen verfügt der O&K-TERREX Hydraulikbagger Typ RH 400. Es ist der größte Hydraulikbagger, der je gebaut wurde, und ist eingesetzt im Ölsandabbau. Seine Hauptkenndaten sind:

7541014/10787806875Biblio

Datentabelle O&K TERREX RH 400

Installierte Motorleistung	2 × 16-Zyl.-Motoren mit insgesamt 3.280/4.460	kW/PS
Löffelinhalt	50/90	m^3/t
Dienstgewicht	980	t

Abb. Fe-11: Radlader Le Tourneau/USA Typ L 2350 [Le Tourneau]

Der Radlader Le Tourneau L 2350 ist zz. der größte Radlader der Welt. Seine wesentlichen Kenndaten sind:

Installierte Leistung	1.715/2.300	kW/PS
Dienstgewicht	262	t
Schaufelinhalt	40,5/72,5	m^3/t
Länge/Höhe	19,7/6,4	m

1.6.3 Eisenerzgewinnung am Erzberg/Steiermark

Der Erzabbau wird von der Voest-Alpine Erzberg GmbH betrieben. Der Erzberg bei der Ortschaft Eisenerz in der österreichischen Steiermark liegt etwa 30 km nordwestlich der Universitätsstadt Leoben und ist der größte Erztagebau Mitteleuropas und die größte Sideritlagerstätte der Welt.

Die „Voest-Alpine Erzberg GmbH“ beschäftigt sich neben der Gewinnung und Aufbereitung der Eisenerze mit den Bereichen Bergbaudienstleistungen, Maschinenservice, Tourismus, regionale Strom- und Wasserversorgung und der Abfallwirtschaft.

7541014/10787806875Biblio

1.6.3.1 Aufbereitung

Die Aufbereitung wird fünf Tage/Woche im Dreischichtbetrieb betrieben. Ziel ist die Anreicherung des Fe-Gehalts auf mind. 50 % bis 55 %, damit die erzeugten Konzentrate an die konzerneigenen Hüttenwerke in Donawitz und Linz verkauft werden können.

Abb. Fe-12: Der Erz-Tagebau Erzberg – Gesamtansicht [V77]

Das aufzubereitende Material aus dem Tagebau wird mit SLW zur Vorbrechanlage transportiert. Die Vorzerkleinerung erfolgt durch einen Steilkegelbrecher (Durchsatz ca. 800 bis 900 t/h), der eine Produktkorngröße von < 120 mm erzeugt. Das zerkleinerte Material fällt in einen Bunker mit einer Kapazität von 800 t.

Das Material wird durch Schwingförderrinnen abgezogen und mit einem bebrausten Stangensizer in die Kornklassen 120 mm bis 30 mm, 30 mm bis 8 mm und < 8 mm getrennt. Die Kornklasse < 8 mm wird über eine Bandanlage zu einer weiteren Klassierstufe transportiert und in die Kornklassen 8 mm bis 4 mm, 4 mm bis 1 mm und < 1 mm getrennt, wobei letztere direkt mit dem Prozesswasser in die Bergeteiche gepumpt wird. Die Kornklassen 8 mm bis 4 mm und 4 mm bis 1 mm werden auf Magnetscheider aufgegeben, wo die eisenreichen Fraktionen abgetrennt und dem Erzbunker zugeführt werden.

1.6.3.2 Gewinnung

Die Erzerzeugung beträgt ca. 2,1 Mio. t bei einem Bergbauausbringen von 30 %. Daraus ergibt sich eine Verhauerzeugung (Gesamtabbaumenge) von ca. 6,8 Mio. t, wobei davon ca. 4,7 Mio. t Abraum und Aufbereitungsberge anfallen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-13:
Sprenglochbohrgerät Atlas Copco Type ROC L8 im Einsatz [V77]

Die Bohrarbeit erfolgt mit zwei modernen Imlochhammer-Bohrmaschinen der Fa. Atlas Copco Type ROC L8 mit 25 bar Druck und einer Netto-Bohrleistung bis zu 50 m/h. Die Bohrlöcher werden mittels direkt vor Ort hergestellten Pumpsprengstoffen geladen.

Mit dem Universal Mixing Pumpwagen der Fa. Maxam Österreich können bis zu 6 verschiedene Sprengstoffsorten erzeugt werden, die je nach Gebirgstyp eingesetzt werden.
Mit einer Sprengung je Tag werden ca. 40.000 t bis 50.000 t Gestein gewonnen. Täglich werden an die Hüttenwerke Linz und Donawitz ca. 5.700 t Erz versendet.

Für die Förderung des hereingesprengten Materials stehen zur Verfügung:

7 SLKW Komatsu HD 985-5,
1 CAT 777D,
3 Radlader der Type Komatsu WA-800-3,
1 Radlader der Type CAT 992 mit 11 m³ Schaufelinhalt.

Die SLKW der Type HD-985-5 der Fa. Komatsu sind die größten in Mitteleuropa in Betrieb genommenen SLKW mit 120 t Nutzlast, einem Gesamtgewicht von knapp 200 t und einer Leistung von 1.064 PS.

Für die Straßenerhaltung und Sturzführung werden ein Gräder, ein Raddozzer, zwei Wassersprühwägen mit 50 m³ Inhalt sowie weitere Baumaschinen vorgehalten.

Ca. 55 Mitarbeiter werden im Rahmen der „Nichterzaktivitäten“ (montantechnische Dienstleistungen, maschinentechnische Dienstleistungen, Jagd- und Forstbetrieb sowie Tourismus) beschäftigt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-14: CAT 992-Radlader und SLKW Komatsu HD 985-5 im Einsatz [V77]

1.6.3.3 Abbauverfahren

Im Hangabbau wird das Wertmineral durch Bohren und Sprengen hereingewonnen. Zurzeit sind 22 Strossen des Erzberges in Betrieb (Böschungshöhe ca. 24 m, Breite zwischen 25 m und 70 m). Der höchste Punkt des Tagebaus und damit des Erzbergs liegt bei 1.435 m, der derzeitige Abbau befindet sich zwischen 750 m und 1.200 m.

Die Hälfte des anfallenden Lockermaterials hat einen Eisengehalt von weniger als 22 % und wird als Abraum direkt verhaldet.
Rund ein Drittel besitzt einen Fe-Gehalt von 22 % bis 32 % und wird zur Anreicherung aufbereitet. Das restliche Material (Fe > 32 %) wird zerkleinert und direkt in das Erzlager verbracht.

Die Abbauplanung wird mit einem EDV-gesteuerten Lagerstättenmodell unterstützt, um vor dem Hintergrund der inhomogenen Lagerstätte eine konstante Erzqualität zu gewährleisten.

Hinweis:

Zur Bohr- und Sprengarbeit siehe „Kap. F – Grundlagen der Sprengtechnik“. Des Weiteren wird auf die Bohr- und Sprengarbeit unter „Ff – Bergbau auf Festgestein“, „Fst – Bergbau auf Steinkohle“ und „Fs – Bergbau auf Salz“ näher eingegangen.

1.6.4 Eisenerzbergbau in Deutschland

1.6.4.1 Gewinnung

Die Barbara Erzbergbau GmbH baut seit 1883 am Nordhang des Wesergebirges ein Eisenerz- und Kalksteinvorkommen ab.

In dieser Lagerstätte steht eisenschüssiger Korallenoolith (Eisenerz) in einer Mächtigkeit von 3 m bis 25 m zur Verfügung. Das Erz ist eingebettet in standfesten Kalk (Hauptoolith und Klippenkalk).

7541014/10787806875Biblio

Die Lagerstätte ist durch eine ca. 100 m mächtige, dichte Mergel- und Tonschicht überdeckt und liegt auf einer ca. 50 m dicken Tonschicht. Über 100 Jahre Bergbau haben die Lagerstätte völlig entwässert, so dass die Grubenbaue trocken sind.

Die Lagerstätte des Bergwerks Wohlverwahrt-Nammen wird in drei Betriebsabteilungen hereingewonnen:

- Unter Tage im Tiefbau Grube Nammen,
- Unter Tage im Tiefbau Grube Bergmannsglück,
- Über Tage im Tagebau Wülpker Egge.

Abb. Fe-15: Weiterverarbeitungsanlagen [V35, 45]

Abb. Fe-16: Der Hauptzugang zur Grube Bergmannsglück erfolgt durch einen vom ehemaligen Steinbruch „Todenmann“ aus aufgefahrenen Stollen. [V35, 45]

Im Bergwerk wird das Material in Abbaukammern, die ca. 9 m breit, ca. 15 m bis 17 m hoch und bis zu 200 m lang sind, durch Bohren und Sprengen gewonnen. Die Abbaukammern sind durch einen 600 m langen Schrägstollen erschlossen, durch den das Erz mit Schwerlastkraftwagen in die übertägige Aufbereitungsanlage transportiert wird.

Der Abbau erfolgt im „Festen-Bauverfahren“, sog. „Room-and-pillar“-Verfahren unter Einsatz der LHD (Load-Haul-Dump-)Technik.
Damit konnte die Leistung so gesteigert werden, dass die zz. einzige Erzabbaugrube in Deutschland heute noch wirtschaftlich arbeitet. Der Erzabbau erfolgt mit Großgeräten, wie bereits erwähnt, im Kammerfestenbau, der als streichender Örterbau mit Diagonal-

7541014/10787806875Biblio

strecken betrieben wird. Die Örter haben in der Oberbank im Mittel 6 m Höhe und 9 m Breite. Dort, wo die Lagerstätte entsprechend mächtig ausgebildet ist, werden die Örter ein- bis zweimal um jeweils 8 m gestrosst. Zum Einsatz kommen vollhydraulische Bohrwagen, Hydraulikbagger mit 3 m^3 Schaufelinhalt und Schwerlastkraftwagen mit 42 t Nutzlast.

Abb. Fe-17: Schwere Untertage-Radlader im „Room-and-pillar"-Erzabbau [V35, 45]

Abgesehen vom Bruchbau, der aber in immer geringerem Umfang Anwendung findet, wird beim untertägigen Abbau von Erzlagerstätten die Tagesoberfläche relativ wenig beeinflusst. Beim Vortrieb von Stollen fallen Grubenberge an, die über Tage aufgehaldet werden, soweit sie nicht Verwendung als Versatz finden.

Der Anteil der Grubenberge am insgesamt untertägig gewonnenen Material schwankt von Lagerstätte zu Lagerstätte in weiten Grenzen; er kann im Erztiefbau bis etwa 20 v. H. betragen.

Beim Erztagebau ist die bewegte Abraummasse in der Regel wesentlich größer und beträgt im Mittel 40 bis 65 v. H. der insgesamt bewegten Massen.

Mit modernen und leistungsfähigen Maschinen wird der eisenschüssige Korallenoolith durch Bohr- und Sprengarbeit hereingewonnen.
Für die Bohrarbeit werden moderne mehrarmigen Bohrwagen eingesetzt, die halbautomatisch nach einem vorgegebenen Bohrlochbild arbeiten. Die Abschlaglängen betragen 5 m und 5,8 m.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fe-18: Moderner dreiarmiger Bohr- und Sprengstoff-Ladewagen für den Untertage-Erzabbau [V35, 45]

Die Bohrlöcher werden mit gekörntem ANFO-Sprengstoff über Druckluft geladen. Das Ausbruchvolumen hat ein Gewicht von 800 t bis 1.500 t.

Die Sprengung erfolgt zum Ende der Spätschicht. Das hat folgende Vorteile: Der Förderbetrieb während der Frühschicht muss nicht wegen der Sprengung unterbrochen werden und den Beschäftigten bleibt die Belastung durch die langsam abziehenden Sprengschwaden erspart.

Die Initialisierung erfolgt über Zünder mit Verstärkungsladung (Primer), die sich im Bohrlochtiefsten befinden. Gezündet wird generell erst nach Räumung der gefährdeten Bereiche. Dazu gehören auch die Grubenbaue, durch die die Sprengschwaden abziehen.

Ausgelöst werden die Sprengungen unter Tage per Kondensator-Zündmaschine von einer zentralen Zündstelle aus. Die Zündleitung, zwei Drähte einer Ringleitung, ist im gesamten Grubenbereich verlegt, damit entfällt das jeweilige Auslegen der Sprengleitung. Die Ringleitung wird per Hand an die Maschine angeschlossen und mit Hilfe einer Kurbel wird der Kondensator aufgeladen.

Abb. Fe-19: Der Sprenghauer verbindet die Zündleitung mit der Zündmaschine. [V35, 45]

7541014/10787806875Biblio

Danach ruft der verantwortliche Bohr- und Sprenghauer: „Es brennt!“ Dieser traditionelle Ruf stammt aus der Zeit, als noch mit Schwarzpulver und brennender Zündschnur gesprengt wurde.

Der Sprenghauer begutachtet die Sprengung, dann darf das erzeugte Haufwerk geladen werden. Zunächst erfolgen umfangreiche Arbeiten zur Gebirgssicherung So müssen z. B. in leer geräumten Abbauorten lose sitzende Gesteinspartien von den Firsten gelöst werden, um Mensch und Maschine vor Steinfall zu schützen. Bevor ein Ort wieder zum Bohren freigegeben wird, ist dieser gewissenhaft zu beräumen und zu säubern. Dieses Arbeiten übernehmen sogenannte „Abräumer“, die in manchen Fällen dafür eine ganze Schicht brauchen. Deshalb werden zwei Abräumer vorgehalten, damit täglich zwei bis drei Abschläge gebohrt und gesprengt werden können.

Elektrisch betriebene Broyt-Tunnelbagger übernehmen den Ladebetrieb. Dieselbetriebene Bagger sind aus Sicherheitsgründen nur im Strossenbetrieb bzw. in Bereichen mit ausreichender Bewetterung im Einsatz. Für den Transport zur 6 km entfernten Aufbereitungsanlage stehen moderne vierachsige „Trakker“ zur Verfügung.

Das Rohhaufwerk wird auf Lastkraftwagen verladen, zur Aufbereitungsanlage Nammen transportiert und dort zu hochwertigen Materialien aufbereitet. Durch intensive Aufbereitung werden aus dem Erz verschiedenste Produkte hergestellt.

Am Kamm des Wesergebirges werden im Bereich der Wülpker Egge das Erz sowie der über und unter dem Erz liegende Kalkstein durch Bohren und Sprengen gewonnen. In einer Brech- und Siebanlage werden verschiedene Produkte erzeugt.

Abb. Fe-20: Laden des Haufwerks mit schweren Hydraulikbaggern auf 4-Achs-Schwerlastwagen [V35, 45]

- **Energieversorgung**

Ein Gewinnungsbetrieb unter Tage benötigt viel größere Aufwendungen für Infrastruktur, Gebirgssicherheit und Bewetterung als ein Betrieb im Tagebau. Ein wesentlicher Faktor unter Tage ist die aufwändige Energieversorgung, die sich in drei Spannungs-

7541014/10787806875Biblio

ebenen unterteilt. Die Einspeisung erfolgt mit 10 kV in einem der Tagesstollen und wird bis zur mobilen Trafostation in der Grube geleitet, wo dann auf 690 V umgespannt wird. Die mobilen Geräte wie Bohrwagen, Bagger und Besetzwagen werden über fliegend verlegte Gummikabel mit diesen 690 V versorgt, die je nach Bedarf von den Schlittenverteilungen an die verschiedenen Betriebspunkte verlegt werden können.

1.6.4.2 Versatz

Versatz ist eine technische Maßnahme im untertägigen Bereich zur Erhaltung der allgemeinen und betrieblichen Sicherheit. Durch den Versatz wird dafür Sorge getragen, dass bei der Erzgewinnung geschaffene Hohlräume auch nach vielen Jahren standsicher bleiben. Schäden an der Erdoberfläche werden dadurch vermieden. Beim Versatzbau werden die Abbauräume mit grobkörnigen Bergen oder Aufbereitungsabgängen wieder verfüllt. Die Wahl des Verfahrens hängt überwiegend von der Festigkeit des Gebirges und der Form des Erzkörpers ab.

Abb. Fe-21: Sprengung im Tagebau Wülpker Egge [V35, 45]

Versatz im Bergwerk Wohlverwahrt-Nammen bedeutet fachgerechtes Ausfüllen der Abbauhohlräume und damit vollständiges Stützen der Pfeiler (Pfeilerstützversatz).

Das Eisenerz des Barbara-Bergwerks ist hervorragend standfest, so dass hier größere Abbauhohlräume hergestellt werden können als sonst im Bergbau üblich.

Im Sinne einer vollständigen Nutzung der Lagerstätte und der Rohstoffreserve muss der Abbauverlust minimiert werden. Diese Forderung wird durch das Bundes-Berggesetz sehr deutlich vorgegeben.
Die Abbauhohlräume müssen mit Material verfüllt werden. Dieses Material wird in zwei Mischanlagen aus verschiedensten Stoffen, Bindemitteln und Wasser hergestellt und muss genau spezifizierte Eigenschaften aufweisen.

7541014/10787806875Biblio

Bei den zur Verarbeitung zugelassenen Stoffen handelt es sich überwiegend um Flugaschen aus der Entstaubung sowie Gipse aus der Entschwefelung von Steinkohlekraftwerken. Darüber hinaus liegen Einzelzulassungen für die Verwertung von weiteren Stoffen vor, die gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zur Verwertung angenommen werden können.

Der Zulassung eines Stoffes für den Versatz geht eine intensive Prüfung durch die Fachbehörden voraus. Die Zulassung wird durch einen Betriebsplan nach Vorschrift des Bundes-Berggesetzes beantragt.

Die Stoffe können per LKW, per Bahn über einen eigenen Gleisanschluss oder per Schiff über den Hafen Minden angeliefert werden. Ein umfangreiches Kontrollsystem garantiert, dass nur zugelassene Stoffe verarbeitet werden.

Zwei unterschiedlich strukturierte, nach Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigte Mischanlagen zur Herstellung des Versatzes können alle von blasfähig über grobkörnig bis hin zu sehr feuchten Stoffen verarbeiten.

Der Versatzstoff wird mit Lastkraftwagen in die vorbereiteten Abbauhohlräume transportiert und mit Hilfe einer Planierraupe vorschriftsmäßig eingebaut.

Abb. Fe-22: links: Transport des Verfüllmaterials in die Hohlräume mit Spezialfahrzeugen – rechts: Einbau des Materials mit Planierraupen [V35, 45]

Im Mai 1997 konnte ein entsprechender Überwachungsvertrag mit dem RW TÜV, Essen, unterzeichnet werden.

Nach Durchlaufen des Prüfverfahrens wurde Barbara Erzbergbau GmbH mit dem Titel „Entsorgungsfachbetrieb für die Tätigkeiten Behandeln und Verwerten von Abfällen“ ausgezeichnet.
Die Berechtigung zum Tragen dieser Auszeichnung wird in regelmäßigen Audits geprüft, zuletzt im Mai 2007.

Der Versatz des Bergwerks Wohlverwahrt-Nammen entspricht vollumfänglich der Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Berg-Versatzverordnung) vom 24.07.2002.

7541014/10787806875Biblio

1.6.4.3 Vorteile der Erzgewinnung unter Tage

Die strengen (Sicherheits-)Anforderungen aus dem Bergrecht bedingen ein hohes Maß an Zulassungsverfahren, Kontrollen und notwendigen Dokumentationen. Auch bei Ingenieur- und Planungsleistungen, markscheiderischen Aufgaben und Aufsichtspflichten ist der Aufwand im Vergleich zum Tagebau natürlich weitaus größer.

Dazu kommen die Ausgaben für eine Grubenwehr, deren Gerätschaften immer auf dem neuesten Stand sein müssen und die regelmäßige Übungen durchzuführen hat.

Trotz allem bietet die Erzgewinnung unter Tage Vorteile:

Da der qualitativ hochwertigere Teil der Lagerstätte gut separat abgebaut werden kann, lassen sich sehr gute Qualitäten bei den Endprodukten erzielen. Verunreinigungen mit Abraum sind ebenfalls nicht zu befürchten.

Die untertägigen Gruben Nammen und Bergmannsglück sowie Tagebau Wülpker Egge nutzen die Lagerstätte des Bergwerks Wohlverwahrt-Nammen. Erfreulich, dass diese Besonderheit nicht nur Museumsstatus genießt, sondern auch (wieder) einen wirtschaftlich attraktiven Hintergrund hat.

Auch die größere öffentliche Akzeptanz spielt eine Rolle: Da kaum sichtbare Eingriffe in die Landschaft vorgenommen werden, gibt es wenig bis gar keine Proteste von Außenstehenden.

Wie die Natursteinbranche weiß, hat die „Barbara“ in früheren Zeiten und auch noch einmal in diesem aktuellen Jahrzehnt durchaus turbulente Entwicklungsphasen absolvieren müssen.

Der Barbara Erzbergbau zeigt, dass Erzbergbau in Deutschland auch heute noch möglich ist, wenn moderne Technik und eine gute Betriebsführung eingesetzt werden. Der Versatz z. T. mit Industrieabfall kann zu einer Verbesserung des Betriebsergebnisses beitragen.

1.6.5 Einrichtungen im Unter-Tage-Erzbergbau

- **Förderung**

An die Förderung in den Abbaubereichen schließt sich die untertägige Hauptförderung an. Meist gelangt das Fördergut mehrerer Betriebspunkte zu zentralen Ladestellen, wo es der söhligen oder aber direkt der seigeren (senkrechten) Hauptförderung übergeben wird.

Der söhlige Transport kann in der schienengebundenen Pendelförderung mit Wagen bestehen. Zur Zugförderung stehen Diesel- und Elektrolokomotiven zur Verfügung. Bandanlagen hingegen erlauben neben der söhligen auch die Förderung in geneigten Strecken, welche in manchen Fällen direkt bis zur Tagesoberfläche geführt werden.

Die seigere Förderung (Schachtförderung) kann erfolgen als:

– Gestellförderung (Förderwagen werden in Förderkörben nach über Tage gehoben),
– Skipförderung (Fördergefäße werden unter Tage gefüllt und über Tage geleert),
– Fließförderung (hydraulische Förderung von Feststoff-Wasser-Gemischen) angelegt sein.
– Stollenförderung (Barbara-Erzbergbau) findet nur noch selten statt.

7541014/10787806875Biblio

- **Wettertechnik und Wasserhaltung**

Die Grubenbewetterung dient der planmäßigen Versorgung aller Grubenbaue mit frischer Luft. Sie hat, wie auch in allen Untertagebetrieben, die Aufgabe, ausreichend für Atemluft zu sorgen, die in der Grube auftretenden schädlichen Gase zu verdünnen und fortzuspülen.

Außerdem sollen Temperatur und Luftfeuchtigkeit erträglich gehalten werden.

Jede Grube muss zur Erzeugung eines ununterbrochen fließenden Wetterstromes mindestens eine einziehende und eine ausziehende Tagesöffnung besitzen.

1.7 Derzeitige wirtschaftliche Bedeutung des Erzbergbaus

Der Bedarf an Massenerzen, beispielsweise von Eisenerz und Kupfer, kann in der BRD für absehbare Zeit nur durch Importe gedeckt werden. Obwohl in Deutschland noch große Mengen an Eisenerz lagern, sind sie wegen der aufwändigen Förderung (große Teufen) und des geringen Eisengehaltes zz. nicht abbauwürdig. Die stahlverarbeitende Industrie wäre nicht mehr in der Lage, zu vertretbaren Kosten zu produzieren.

Sollte der „Rohstoffhunger“ jedoch weiter so anhalten, könnte die Förderung von seteneren Erzen wie Zink, Zinn, Kobalt, Nickel u. Ä. wieder interessant werden. Wenn sich die Voraussagen z. B. für den Bereich Erzgebirge bewahrheiten, kann das durchaus bald der Fall sein. Aber auch in den alten Bundesländern lagern noch wertvolle Bodenschätze, die evtl. Bedeutung erlangen können.

1.8 Baryt-Bergbau Grube Clara

Der seit dem Mittelalter bekannte Schwerspatgang mit einer Länge von 600 m und einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 3,4 m ist inzwischen über 600 m tief abgebaut.

Parallel zum Schwerspatgang verläuft der Flussspatgang mit einer Länge von 350 m und einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 3 m.

Geschnitten werden die beiden Hauptgänge von einer mächtigen Störung, der sog. Ruschelzone, und dem Diagonaltrum, dem geologisch jüngsten Gang mit einer Schwerspat- und Flussspatvererzung und einer Mächtigkeit von 2,5 m, der jedoch nur in relativ kleinen Bereichen (100 m bis 150 m) bauwürdig vererzt ist.

1.8.1 Zugang und Abbau

Der Aufschluss der Lagerstätte erfolgt über 2 LKW-gängige Strecken, dem Rankachstollen und der LKW-Rampe, die inzwischen fast 5 km Länge erreicht haben. Der Zugang zu den Abbaubereichen erfolgt über sogenannte Wendeln und Querschläge.

Die Abbaubereiche werden durch Strecken in Abständen von ca. 12 m übereinander erschlossen. Alle Strecken werden mittels Bohr- und Sprengarbeit vorgetrieben. Sie werden zur Sicherung mit Ankern und Spritzbeton ausgebaut.

Der Abbau der Gänge erfolgt wird in acht Teilschritten, die sich immer wiederholen:

– Bohren und Sprengen von einer unteren Teilsohle zur darüber liegenden.
– Laden des gesprengten Roherzes mit speziellen Radladern.
– Bohren und Sprengen für den nächsten Abschlag (von der oberen zur unteren Teilsohle).

7541014/10787806875Biblio

- Laden des Roherzes mit funkferngesteuerten Radladern.
- Nach Beendigung der Gewinnung Verfüllen des Abbauhohlraums (versetzt).
- Bauen einer Spritzbetonmauer.
- Versatz (Verfüllung) mit Nebengestein und einem Bindemittel.
- Planieren der Versatzoberfläche.

Das Roherz wird von den Radladern in Rollen (kleine Schächte) gekippt. Aus diesen Rollen werden die für den Transport zur Aufbereitung eingeteilten LKW beladen, die dann das Roherz direkt zur Aufbereitung fahren und den Abraum auf die verschiedenen Halden abkippen.

Im Aufbereitungsprozess werden die Roherze in verschiedenen Arbeitsgängen zunächst gebrochen, gewaschen, nach spezifischem Gewicht getrennt, je nach Produkt gemahlen, flotiert, getrocknet und in den verschiedenen Produktsilos eingelagert, aus denen dann die Produkte – hauptsächlich als Mehle – in Säcken, Big Bags verpackt oder direkt in Silo-LKW verladen werden.

Seit 1974 wurde zunehmend der Abbau des Fluorits interessant; seit 1978 wurden in der Aufbereitungsanlage der Sachtleben Flussspatkonzentrate gewonnen. Da der Flussspatgang parallel zum Barytgang streicht, wurde zum Abbau des Fluorits eine zweite, eigenständige Wendel angelegt.

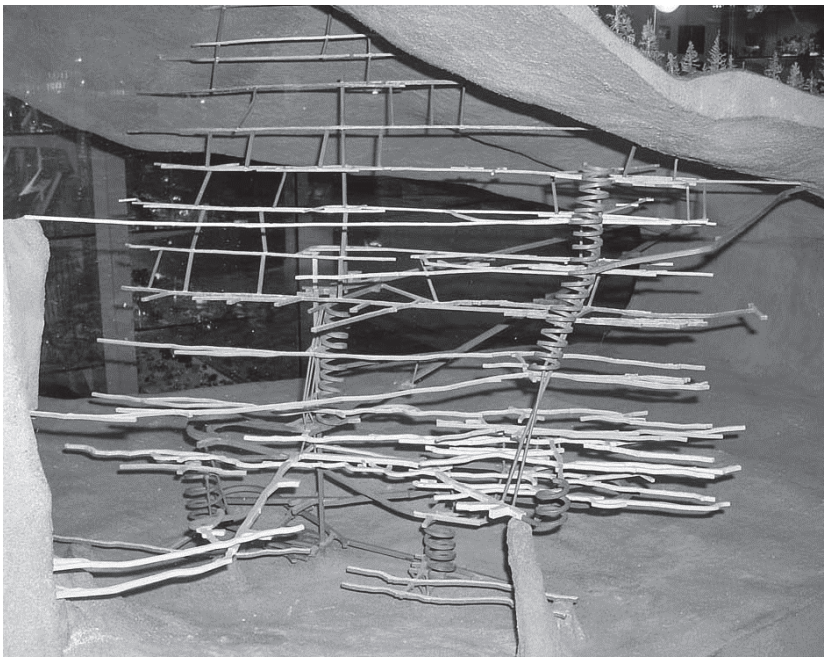


Abb. Fe-23: Modell der Untertagesituation der Grube Clara [V78]

Von Juni 1976 bis zum Oktober 1977 wurde auf der 9. Sohle eine rund 30 m lange Barytkluft angefahren – mit den berühmten karamellbraunen Meißelspäten, die den Ruhm der Grube Clara begründeten. Dazu kamen die Sekundärminerale im Bereich des Diagonaltrums.

7541014/10787806875Biblio

1.8.2 Gegenwärtiger Abbau und Verwendung

Heute werden in der Grube Clara weiter vorwiegend Fluorit und Baryt abgebaut. Der Baryt geht in die chemische Industrie (zur Bariumsalz-Gewinnung), in die Papierindustrie (für schwere, hochglatte, reinweiße Papiere) und in die Farbindustrie (als Grund- und Füllmittel).

Weitere Verwendung findet Baryt in der Autoindustrie (wichtiger Bestandteil der Schalldämmung), in der Bauwirtschaft (Herstellung von strahlendichtem Beton) und in der Medizin (Röntgenkontrastmittel). Fluorit wird ebenfalls von der chemischen Industrie z. B. zur Flusssäuresynthese oder als Flussmittel in der Verhüttung von Erzen sowie bei der Herstellung von Glas gebraucht.

Seit Dezember 1996 wird außerdem aus dem sogenannten Silberspat (Baryt mit hohem Silbergehalt) ein Silberkonzentrat hergestellt, aus dem in Belgien das Silber gewonnen wird. Die Arbeit unter Tage bewegt sich zurzeit auf der 15. Sohle. Die Spitze des Benauer Berges befindet sich bei ca. 810 m.

Die 15. Sohle befindet sich rund 500 m darunter. Geschätzt wird, dass das Bergwerk noch etwa 15 bis 20 Jahre arbeiten kann, wenn sich am Weltmarkt nichts Wesentliches ändert. Vorteil der Sachtleben ist die Nähe der Aufbereitungsanlage und das vorzügliche technische Verfahren, das es ermöglicht, auch kleine dosierte Mengen einer bestimmten Qualität bereitzustellen.

Die Betriebe Sachtleben GmbH & Co. KG sind zz. die einzigen, die in Deutschland Schwerspat und Flussspat gewinnen und aufbereiten. Die jährliche Förderung beträgt etwa 40.000 t Roherz. Daraus werden rd. 75.000 t Konzentrate gewonnen. 120 Mitarbeiter erwirtschaften einen Jahresumsatz von rd. 22 Mio. Euro.

1.9 Bergbau auf Scheelit

Die Wolfram Bergbau- und Hütten-GmbH Nfg. KG betreibt zur Versorgung ihrer Hütte in Mittersill (Österreich) seit über 30 Jahren ein Bergwerk auf Scheelit.

Jährlich werden derzeit 430.000 t mit einem WO_3-Inhalt von 0,38 % gewonnen. Der untertägig gewonnene Lagerstättenteil fällt halbsteil nach WNW ein. Die gebauten Mächtigkeiten schwanken zwischen 8 m und 60 m. In Abhängigkeit von der Mächtigkeit, der Überlagerung und den Gebirgsverhältnissen kommen sowohl der Teilsohlenbruchbau als auch der Weitungsbau zur Anwendung.

1.9.1 Scheelit-Vorkommen

Das Scheelit-Vorkommen liegt etwa 9 km südlich von Mittersill im Felbertal, angrenzend an den Nationalpark Hohe Tauern. Das Vorkommen besteht aus zwei Lagerstättenfeldern, dem so genannten Ostfeld, einem schmalen, lang gezogenen Erzkörper am Osthang des Felbertales, und dem Westfeld, welches aus mehreren lang gezogenen bis linsenförmigen Erzkörpern besteht. Während das Ostfeld im Tagebau gewonnen wurde, wird das Westfeld untertägig abgebaut.

Der Erzabbau im Betrieb „Ostfeld“ begann 1975 im Tagebau. Im Jahr 1976 wurde die Erzaufbereitungsanlage in Betrieb genommen. Aufgrund der wachsenden Umweltauflagen wurde der Abbau im Jahre 1979 untertägig im „Westfeld“ auf der gegenüberliegenden Bergflanke weitergeführt.

7541014/10787806875Biblio

In den 90er Jahren wurde der Betrieb für einige Jahre eingestellt, da der Marktpreis für Wolframkonzentrat keinen wirtschaftlichen Betrieb mehr ermöglicht hatte.

1.9.2 Aufschluss und Gewinnung

Der untertägige Bergbau ist durch Stollen, Rampen und Sturzschächte zwischen dem Niveau 1.262 mNN und 750 mNN über etwa 500 Höhenmeter aufgeschlossen.

Für den Abbau werden sowohl Tophämmer als auch Imlochhämmer für die Herstellung der Sprenglochbohrungen eingesetzt. Die Ladearbeit erfolgt mittels moderner LHD-Technik.

Der oberhalb des Niveaus 1.175 m gelegene Lagerstättenteil kann als nahezu abgebaut angesehen werden. Die in diesem Bereich befindlichen ausgeerzten Abbaue wurden in der Vergangenheit mit Spülversatz verfüllt.

Ausgehend von einer Kaverne wird die Grube durch Wendeln nach oben und unten befahren. Die horizontalen Teilsohlen werden mit stahlfaserbewährtem Spritzbeton ausgebaut. In den schwächer vererzten, aber sehr massigen Hornblenditen kommt als kostengünstige Abbaumethode ein **Teilsohlenweitungsbau** zum Einsatz. Nach dem Auserzen einer Großkammer mit einem Inhalt von ca. 100.000 m^3 wird der Hohlraum mit Spülversatz verfüllt.

In den gut vererzten Quarzen und Prasiniten wird das Erz von unten nach oben mit einem modifizierten Firstenstoßbau in Scheiben von 12 m Höhe abgebaut und Scheibe für Scheibe mit Spülversatz verfüllt. Ein System von Erzrollen mit 2,4 m Durchmesser bringt das gewonnene Erz zum zentralen Bunker vor der untertägigen Brechanlage. Dort wird das Erz zuerst mit einem Einschwingen-Backenbrecher (Maulweite 1,8 m) und anschließend mit 2 Flachkegelbrechern von 100 mm auf < 8 mm heruntergebrochen.

Ein 3 km langer Unterfahrungsstollen mit Förderband verbindet die untertägige Brechanlage mit der Aufbereitungsanlage im Felbertal nördlich des Westfeldes. Die Jahresförderung liegt bei 500.000 t Roherz. Das Scheelitbergwerk Mittersill liegt in dem Landschaftsschutzgebiet Hohe Tauern in einer Höhe von 820 m bis 1.262 m über NN.

Ziel der Aufbereitung ist es, ein hüttenfähiges Konzentrat mit einem WO_3-Gehalt von 40 % zu erzeugen, das zur Produktion von Wolfram und Wolframkarbid verwendet wird. In einer großen Kaverne auf Seehöhe 1.375 m sind aus Gründen des Landschaftsschutzes alle betriebsnotwendigen Versorgungs- und Sozialräume untergebracht.

Die zurzeit größte und modernste Wolframgrube der Welt erzielt mit rd. 300 Mitarbeitern einen jährlichen Umsatz von 160 Mio. Euro. Das Unternehmen beweist, wie Bergbau im Einklang mit dem Naturschutz zu realisieren ist.

2 Seltene Erden

Zu den Metallen der Seltenen Erden gehören die chemischen Elemente der 3. Gruppe des Periodensystems (mit Ausnahme des Actiniums) und die Lanthanoide – insgesamt also 17 Elemente. Nach den Definitionen der anorganischen Nomenklatur heißt diese Gruppe chemisch ähnlicher Elemente Seltenerdmetalle.

Dies sind die Elemente Scandium (Ordnungszahl 21), Yttrium (39) und Lanthan (57) sowie die 14 auf das Lanthan folgenden Elemente, die Lanthanoide: Cer (58), Praseo-

7541014/10787806875Biblio

dym (59), Neodym (60), Promethium (61), Samarium (62), Europium (63), Gadolinium (64), Terbium (65), Dysprosium (66), Holmium (67), Erbium (68), Thulium (69), Ytterbium (70) und Lutetium (71).

2.1 Bezeichnung

Die oft verwendete abgekürzte Bezeichnung **Seltene Erden** statt **Metalle der Seltenen Erden** ist missverständlich. Der Name der Gruppe stammt aus der Zeit der Entdeckung dieser Elemente und beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher „Erden“ genannt) isoliert wurden. Nur Promethium, ein kurzlebiges radioaktives Element, ist in der Erdkruste wirklich selten. Einige der Metalle der Seltenen Erden (Cer, Yttrium und Neodym) kommen in der Erdkruste häufiger vor als beispielsweise Blei, Molybdän oder Arsen. Thulium, das seltenste stabile Element der Seltenen Erden, ist immer noch häufiger vorhanden als Gold oder Platin.

Die Bezeichnung Metalle der Seltenen Erden ist insofern berechtigt, als größere Lagerstätten von geeigneten Mineralien tatsächlich selten sind. Die Elemente kommen zumeist nur jeweils in kleinen Mengen, in sehr vielen, weit verstreut lagernden Mineralien sowie als Beimischungen in anderen Mineralien vor. Ein Großteil der industriellen Gewinnung von Seltenerdmetallen geschieht daher als Nebenprodukt durch die chemische Aufbereitung bei der Gewinnung anderer, stärker konzentriert vorliegender Metalle aus deren Erzen.

2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften

Die Ähnlichkeit der chemischen Eigenschaften der Seltenerd-Metalle macht ihre Trennung aufwändig und kostspielig. Oft genügt es, preiswertes Mischmetall einzusetzen. Es ist eine Mischung aus Seltenerd-Metallen, die bei der Aufbereitung von Seltenerd-Erzen, zum Beispiel Monazit, anfällt.

Von besonderem Interesse sind die spektroskopischen Eigenschaften Seltener Erden. So weisen sie im Festkörper, im Gegensatz beispielsweise zu Halbleitern, ein diskretes Energiespektrum auf. Dies liegt an der besonderen Struktur der Elektronenhülle. Im atomaren Zustand sind die meisten dieser Übergänge hingegen verboten.

Im Festkörper hebt das Kristallfeld durch andere Übergänge diese atomaren Verbote jedoch zu einem gewissen Grad auf. Die Übergangswahrscheinlichkeiten sind dennoch gering.

2.3 Vorkommen

Die größten Vorkommen von Seltenen Erden befinden sich in China, in der Inneren Mongolei (2,9 Mio. t). Das reichhaltigste bislang größte bekannte Vorkommen außerhalb Chinas mit mindestens 1,4 Mio. verwertbaren Tonnen ist Mount Weld in West-Australien. Daneben gibt es große Vorkommen in Grönland mit einem Vorkommen von 2,6 Mio. t – dessen Abbau wird allerdings erst erforscht. Ebenso wurden große Vorkommen in Kanada entdeckt. Bereits erschlossene Vorkommen von Seltenen Erden befinden sich außerdem in den USA (Mountain Pass Mine, Kalifornien), Indien, Brasilien und in Malaysia. Südkorea will zukünftig Seltene Erden in Kooperation mit Vietnam fördern.

7541014/10787806875Biblio

Nach Angaben von Geologen liegen vor allem auf Grönland und Kanada weitere potenzielle Abbaugebiete; so könne ein Areal im grönländischen Kvanefjeld bis zu 100.000 t Seltene Erden pro Jahr abwerfen, die der Menge der derzeitigen Gesamtproduktion Chinas von 130.000 t pro Jahr nahe käme. Der Abbau in Grönland könne jedoch frühestens im Jahre 2015 beginnen. Befürchtungen besonders in Kreisen der deutschen Industrie, wonach die Belieferung mit Seltenen Erden wegen der chinesischen Exportpolitik in Zukunft zu Engpässen führen könnte, haben sich allerdings entspannt, seitdem Bergbaukonzerne neue Förderungen Seltener Erden in verschiedenen Erdteilen angekündigt und dafür teilweise stillgelegte Minen wieder reaktiviert haben. Um 2015, so wird neuerdings (2010) erwartet, dürfte sich die Knappheit an Seltenen Erden wieder legen.

2.4 Verwendung

Seltene Erden werden in vielen Schlüsseltechnologien eingesetzt. Das Metall Europium wird in Röhrenbildschirmen benötigt für die Rotkomponente im RGB-Farbraum.

Seltene Erden bewirken, dass magnetisiertes Eisen die magnetische Wirkung behält. Diese Neodym-Magnete werden als Dauermagnete in permanenterregten Elektromotoren verwendet und in Generatoren von Windkraftanlagen (hierbei kann auf Getriebe verzichtet werden und der Stromgenerator direkt vom Windrad angetrieben werden) sowie im elektrischen Motoranteil von Kfz-Hybrid-Motoren eingebaut. Das Element Lanthan wiederum wird für Legierungen in Batterien benötigt. 13 % der Seltenen Erdmetalle kommen für Polituren zum Einsatz. Etwa 12 % werden für Spezialgläser benutzt und 8 % für die Leuchtmittel der Plasma- und LCD-Bildschirme, für Energiesparlampen und Radargeräte.

Damit steht dem Verbrauch von 2009 mit 124.000 t ein erwarteter Bedarf für 2012 von 189.000 t gegenüber.

Seltene Erden werden außerdem auch in der diagnostischen Radiologie-Medizin als Kontrastmittelbeigabe bei Kernspin-Untersuchungen (Magnetresonanztomographie) verwendet.

2.5 Gewinnung

China produziert derzeit 97 % der weltweiten Seltenen Erden, davon allein fast 50 % in der Mine Bayan Obo (mongolisch für wunderbarer Berg des Reichtums) in der Inneren Mongolei. Der restliche Abbau findet in den Provinzen Sichuan, Jiangxi und Guangdong statt.

Doch Extraktion und Verarbeitung der Seltenen Erden führen zu massiven Umweltbelastungen. Inzwischen handelt die Zentralregierung, doch viele Probleme sind noch ungelöst.

2.6 Weiterverarbeitung und Auffangbecken

Im Westteil der innermongolischen Stadt Baotou werden die Seltenen Erden aus Bayan Obo weiter verarbeitet. Abfallstoffe des Verfeinerungsprozesses wie giftige Chemikalien und radioaktive Substanzen landen in einem riesigen Auffangbecken, dem „See der Seltenen Erden“.

7541014/10787806875Biblio

Durch den langjährigen Eisenabbau hat sich ein Abraumdamm von 150 Mio. t Gesamtmenge angesammelt. Darunter sind 9,3 Mio. t Seltene Erden und 90.000 t Thorium. Der Seegrund ist nicht an allen Stellen gleich tief. Ein Teil des pulverigen Abraumes ragt aus dem Wasser heraus und wird vom Wind zerstreut, wodurch er für die Gewinnung verloren geht und die Umwelt verschmutzt.

Ohne Sickerungsdichtung wird auch das Grundwasser radioaktiv und chemisch verschmutzt. Der See liegt 12 km vom Stadtzentrum Baotous und 10 km vom Gelben Fluss entfernt.

Laut Blogger Fanling ist das Auffangbecken ein Paradebeispiel für Ressourcenverschwendung und Umweltverschmutzung.

2.7 Thorium

Bei der Produktion von Seltenen Erden fällt häufig auch das radioaktive Thorium als Nebenprodukt an. Weil das Thorium in den gleichen Mineralien wie Seltene Erden zu finden ist, aber bisher nicht verwendet wird, wird es als Abfallprodukt der Erzverarbeitung in das Auffangbecken geleitet. Die Auswirkungen sind deutlich spürbar: zwischen 1993 und 2005 sind im Dorf Dalahai 66 Menschen an Krebs gestorben. Seit 2006 sind in dem 1.700-Einwohner-Dorf 14 Menschen gestorben, davon 11 an Krebs.

Doch Thorium wird nicht nur als radioaktive Gefahr gesehen. Wenn in Zukunft Thorium zur Erzeugung von Atomenergie eingesetzt werden kann, könnten die Vorkommen in dem Auffangbecken als Thorium-Quelle dienen. Wie Blogger Fanling erklärt, ist „die heutige Technik zur Verarbeitung und Extraktion von Thorium und Seltenen Erden bereits sehr ausgereift. Für je 50.000 t Seltener Erden können 300 t Thorium mit etwa 10.000 bis 20.000 Yuan Erzeugungskosten pro Tonne gewonnen werden. Das könnte als strategische Reserve angelegt werden und würde zudem noch die Umwelt schützen. Sobald die Technik zur Umwandlung von Thorium in Uran-233 reif ist, kann daraus Nukleartreibstoff gewonnen werden.

Uran kostet derzeit auf dem Weltmarkt 13.000 Dollar pro Tonne, daher wäre die Investition in den Thoriumabbau höchst lukrativ. Deswegen sollte China etwa 3 bis 6 Mio. Yuan für die Anlage dieser strategischen Reserven aufbringen.“

2.8 Umweltverschmutzung durch illegalen Abbau

Doch nicht nur in Bayan Obo und Baotou sind die Umweltauswirkungen spürbar. Im „Königreich der Seltenen Erden“, in Ganzhou in der Provinz Jiangxi, wird wegen der geringen Kontrollen der lokalen Behörden im großen Stil illegaler Abbau von Seltenen Erden betrieben. Der Abbau wird größtenteils mit primitiven manuellen Methoden durchgeführt.

Das verursacht Erosion und Grundwasserverschmutzung und macht Ackerland unbrauchbar. Während die ansässigen Bauern sich woanders nach Überlebensmöglichkeiten umsehen müssen, machen die Regierungsbeamten und Firmen dadurch den großen Reibach.

Im Longnan-Distrikt von Ganzhou gibt es relativ große Vorkommen von Seltenen Erden. Die Bäume dort wurden alle abgeholzt. Jetzt wächst dort kein Grashalm mehr.
Stattdessen gibt es nur noch zerkraterten, nackten Boden, überzogen mit einem Gewirr aus weißen Plastikrohren. Über 4.000 Abbaustätten gibt es in Ganzhou.

7541014/10787806875Biblio

2.9 Nutzen für die Industrieländer

Der große Nutzen aus der Verwendung der Metalle der Seltenen Erden für die Industrieländer und hier besonders auch Deutschland wird teuer erkauft. Hierbei auch bei der Verwendung in Anlagen der erneuerbaren Energien, z. B. die Energie-Windräder.

Bei der Verwendung von „Neodym“ kann auf ein Getriebe zwischen Windrad und Generator verzichtet werden. Die Anlagen werden dadurch leichter und billiger. Vorteile, für die in China viele Menschen bei der Gewinnung und Verarbeitung an chemischen Vergiftungen und Verstrahlungen durch radioaktive Substanzen schwer erkranken und auch sterben. Außerdem verursachen die Rückstände erhebliche und dauerhafte Umweltbelastungen.

7541014/10787806875Biblio

Fb Bergbau auf Braunkohle

1 Entstehung

Was die Bagger heute als Braunkohle fördern, waren früher Bäume, Sträucher, Farne und Gräser. Das war vor 20 Mio. Jahren im Erdzeitalter des Tertiärs. Die Saurier waren längst ausgestorben. Und den Menschen gab es noch nicht.

Das Klima war subtropisch, also deutlich wärmer und feuchter als heute. Wo heute Erkelenz und Mönchengladbach liegen, verzweigte sich ein Fluss – der Vorläufer der heutigen Sieg – in viele Arme, ehe er ins Nordmeer mündete. Diese flache Landschaft lag nur wenige Meter über dem Meeresspiegel. Dort erstreckten sich Flussläufe, tote Flussarme, Seen, Lagunen und Sümpfe.

In dieser Gegend lebten zum Beispiel Mastodonten, Vorfahren der heutigen Elefanten, deren Reste Forscher tief im Boden gefunden haben. In den damaligen Wäldern lebten die Vorläufer der heutigen Mäuse, Eichhörnchen, Hamster, Wildschweine, Hirsche, Nashörner und Affen. In den Seen und Sümpfen fanden zahlreiche Fische, Schildkröten, Biber und auch Krokodile Nahrung. Dort lebten auch viele Wasser- und Watvögel, wie man es heute von den Sümpfen warmer Länder kennt.

Vor allem aber breitete sich in der urzeitlichen Küsten- und Flusslandschaft eine üppige, artenreiche Pflanzenwelt aus. Auch ihre Spuren findet man heute noch in der Braunkohle: zum Beispiel Kiefernzapfen, Hickorynüsse, Ingwerfrüchte und Reste von Sumpfzypressen, Sequoia-Bäumen, Kastanien, Magnolien und Lorbeerbäumen.

Alte Bäume, Sträucher und Gräser starben ab und machten neuen Pflanzen Platz. In den Sümpfen und Mooren konnten sie jedoch nicht vermodern, weil sie durch das Wasser luftdicht abgeschlossen waren. Kleinste Lebewesen, sogenannte Mikroorganismen, zersetzten die Pflanzenreste zunächst zu Torf. Dazu brauchten sie den Sauerstoff aus der Luft nicht. Auf dieser Torfschicht wuchsen wieder neue Pflanzen. Diese Moorbildung läuft noch heute ab, zum Beispiel im Hohen Venn in der Eifel, wenn auch unter ganz anderen Bedingungen.

Normalerweise hinterlässt selbst der üppigste tropische Regenwald kaum eine Spur von Holz. Denn Bakterien zersetzen Baumstämme, Äste, Laub und Bodenbewuchs. Zurück bleibt nur eine dünne Humusschicht, die vom Regen leicht abgeschwemmt werden kann. Nur unter Wasser, also unter Luftabschluss, war vor Jahrmillionen die Entstehung von Kohle möglich.

Im Laufe der Jahrmillionen änderte sich das Klima. Es wurde allmählich kühler. Und die Vorläuferin der Nordsee drang tief in die Niederrheinische Bucht vor. Bis zur Linie Bedburg – Hambach – Inden drang das Wasser in südlicher Richtung vor, zeitweise sogar bis an den Rand der heutigen Eifel. Das Meer lagerte auf der Torfschicht ein dickes Paket aus Sand ab.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-1: Der Braunkohle-/Steinkohlewald [V37]

Diese Decke wurde immer schwerer und presste den lockeren, feuchten Torf zusammen. Durch den hohen Druck wurde der Torf wie ein Schwamm ausgepresst und zu Braunkohle verdichtet. Diese Schicht – das Braunkohlenflöz – ist heute dunkelbraun bis schwarz an der Tagebaukante zu erkennen. Die Erdmassen über der Kohle sind der Abraum.

Wenn sich das Meer wieder zurückzog und die Ablagerungen nachließen, begann die Moorbildung von neuem. Und wieder wurden die Torfschichten überspült: Jetzt deckten die urzeitlichen Flüsse den Torf mit gewaltigen Massen Sand, Kies und Ton zu. Dieses Verwitterungsmaterial hatten sie zum Teil weit entfernt mitgerissen und abgetragen, zum Beispiel in Frankreich, im Alpenraum oder im Bereich der heutigen Mittelgebirge.

Die Ablagerung mit Material aus Meer und Flüssen wiederholte sich in der Niederrheinischen Bucht mehrmals. Deshalb liegen dort heute mehrere Braunkohlenflöze übereinander, die von dicken Abraumschichten getrennt sind.

Ein weiterer Vorgang kam hinzu: Im Laufe der Jahrmillionen zerbrach die Niederrheinische Bucht ganz allmählich durch gewaltige Bewegungen in der Erdkruste. Die Bodenschichten wurden gesenkt oder gekippt und im Wesentlichen in vier große Bruchstücke unterteilt: die Rur-, Erft-, Kölner und Venloer Scholle. Bei diesen Einbrüchen zerrissen auch die Braunkohlenflöze. Im früheren Tagebau Bergheim zum Beispiel ist das Hauptflöz in eine sogenannte „Hohe“ und in eine „Tiefe Scholle“ aufgeteilt. Sie waren um bis zu 150 m gegeneinander versetzt.

7541014/10787806875Biblio

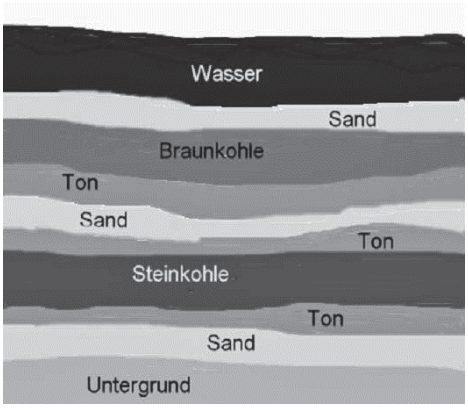


Abb. Fb-2: links: Entstehung von Braunkohle und Steinkohle – schematische Darstellung – rechts: Holzreste aus einem Braunkohlenflöz [V37]

Im Ostteil des Tagebaus lag die Kohle nur etwa 25 m unter Geländeoberfläche. Dagegen mussten sich die Schaufelradbagger im Westteil erst rund 160 m tief vorarbeiten, ehe sie an die Kohle kamen. Im Kölner Raum liegt übrigens so gut wie gar keine Kohle: Dort hat der gewaltige Ur-Rhein den Bodenschatz bereits vor Jahrmillionen ausgewaschen und weggespült.

Fassen wir zusammen: Torfmoore hatten sich entwickelt. Flüsse und Meer hatten sie immer wieder mit Kies und Sand überschwemmt. Die Erdkruste war in Schollen zerbrochen.

Doch damit hatte die Landschaft immer noch nicht ihre heutige Gestalt erreicht. Die entstand vielmehr durch die vier Eiszeiten. Der Großteil Mitteleuropas war von Gletschern bedeckt, die weitaus größer waren als heute die Eisströme der Alpen.

Ihr Schmelzwasser spülte in die Niederrheinische Bucht und hinterließ dort reichlich Kies und Sand. Als es wärmer wurde und sich das Eis zurückzog, wehte der Wind über Jahrtausende große Staubmassen in die Grassteppe.
Die oberste, gelbliche Erdschicht heißt Löss und macht die Ackerböden in weiten Teilen der Niederrheinischen Bucht besonders fruchtbar.

Wichtigster Bestandteil der Kohle ist das chemische Element Kohlenstoff. Pflanzen atmen aus der Luft Kohlendioxid (CO_2) und wandeln es mit der Energie des Sonnenlichts und mit Hilfe von Wasser um. Deshalb ist in der Kohle letztlich Sonnenenergie in ungeheuren Mengen gespeichert.

Die einzelnen Kohlearten unterscheiden sich nach ihren Kohlenstoffgehalten: Die junge Braunkohle enthält davon weniger als die Steinkohle, die man auch in einigen Bereichen der Niederrheinischen Bucht findet – allerdings in noch älteren Erdschichten als die Braunkohle.

Die rohe Braunkohle ist erdig bis faserig und von brauner bis schwarzer Farbe. Sie enthält 48 % bis 63 % Wasser. Wegen dieses hohen Ballastanteils lohnt es sich nicht, Rohkohle über längere Strecken zu transportieren. Deshalb liegen die Braunkohlenkraftwerke und Veredlungsbetriebe in der Nähe der Tagebaue.

7541014/10787806875Biblio

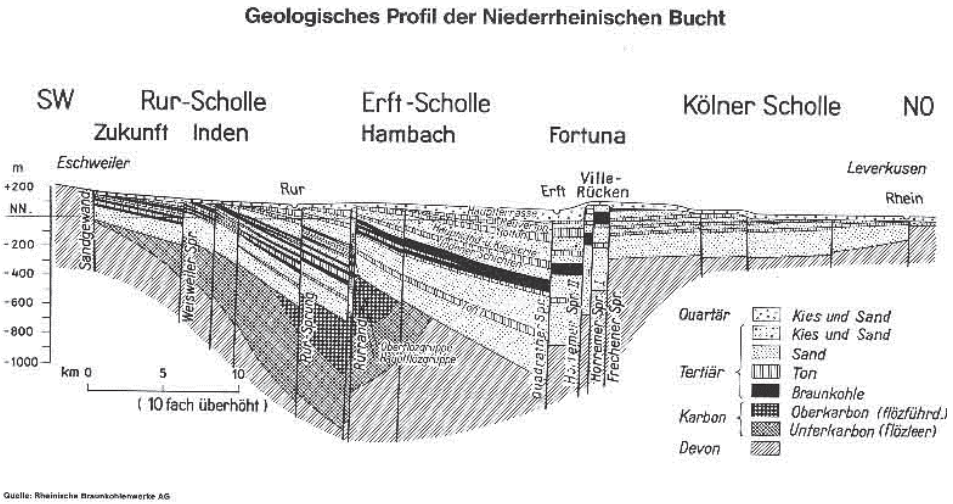


Abb. Fb-3: Die niederrheinischen Braunkohlenflöze (Schnitt) – [V37]

Weil der Wassergehalt schwankt, ist auch der Heizwert der Braunkohle unterschiedlich: Er liegt zwischen 8.500 und 9.000 Kilojoule pro Kilogramm (kJ/kg). Dieser Wert gibt an, wie viel Wärme aus der Verbrennung einer bestimmten Menge eines Rohstoffs gewonnen werden kann.

Der Heizwert von roher Braunkohle ist fünfmal niedriger als der von rohem Erdöl und dreimal niedriger als der von Steinkohle. Die Entstehung der mitteldeutschen Braunkohlevorkommen ist analog verlaufen.

2 Hauptlagerstätten in Deutschland

2.1 Vorkommen und Förderung

Die Braunkohlevorkommen in Deutschland sind unvorstellbar groß. Sie belaufen sich auf fast 80 Mrd. t. Etwa die Hälfte davon gilt nach dem derzeitigen Stand der Tagebautechnik und der Energiepreise als wirtschaftlich rentabel abbaubar. Damit verfügt Deutschland über mehr als 10 % der wirtschaftlich gewinnbaren Welt-Braunkohlereserven. Das entspricht dem Energiewert aller bekannten Erdölvorkommen in der Nordsee.

Im **rheinischen Revier** zwischen Köln, Aachen und Mönchengladbach lagern auf einer Fläche von 2.500 Quadratkilometern rund 55 Mrd. t Braunkohle. Diese Region ist die größte zusammenhängende Braunkohlenlagerstätte Europas und hat mit knapp 60 % den größten Förderanteil in Deutschland. Rund 5 Mrd. t sind hier in den drei Tagebauen Hambach, Inden und Garzweiler I aufgeschlossen. Gemeinsam haben sie eine Kapazität von über 100 Mio. t/a. Im Tagebau Garzweiler I reichen die Vorräte bis etwa 2005. Der Anschluss durch Garzweiler II wird für weitere 40 Jahre Braunkohle liefern. Bis zu vier Flöze liegen bis zu 380 m unter der Tageoberfläche und haben eine Mächtigkeit von 3 m bis 8 m. Die Gesamtfläche des Niederrheinischen Braunkohlenreviers beträgt etwa 2.500 km².

7541014/10787806875Biblio

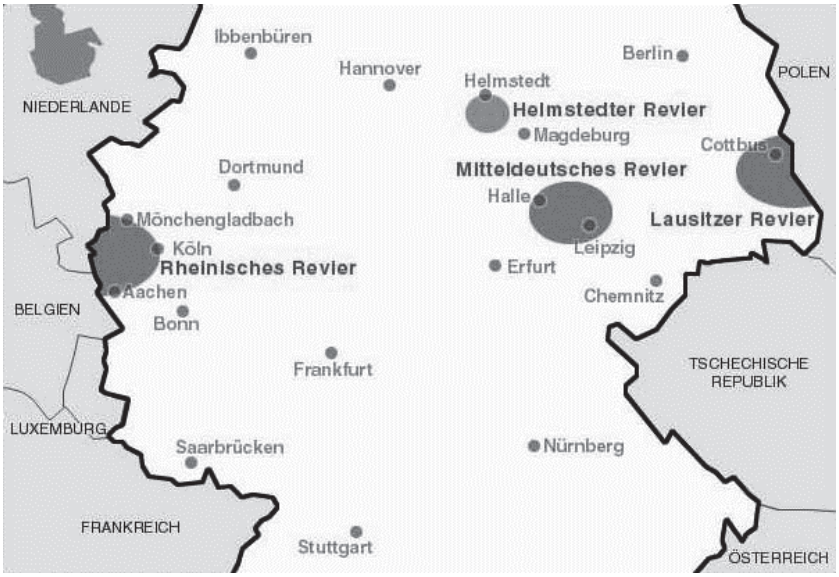


Abb. Fb-4: Hauptbraunkohlen-Reviere in Deutschland [V37]

Im Osten Deutschlands finden sich ebenfalls umfangreiche Braunkohlevorräte.

Die Lagerstätten in der **Lausitz** beinhalten einen geologischen Vorrat von rund 13 Mrd. t. Etwa 2,5 Mrd. t lagern in den erschlossenen und geplanten Tagebauen, die eine Förderkapazität von etwa 50 Mio. t/a haben. Die Flöze liegen bis zu 120 m unter der Tageoberfläche und haben eine Mächtigkeit von 10 m bis 30 m.

In den Revieren der neuen Bundesländer haben sich nach der Wiedervereinigung dramatische Veränderungen vollzogen. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen musste eine Vielzahl von Tagebauen und Veredlungsbetrieben geschlossen werden. Allerdings konnte die wettbewerbsnotwendige Produktivität im Vergleich zu früher deutlich gesteigert werden.

Eine große Bedeutung hat der Sanierungsbergbau zur Beseitigung der Altlasten aus der DDR-Zeit gewonnen.

Im **mitteldeutschen Revier** um Halle und Leipzig lagern rund 10 Mrd. t Braunkohle. Hier können rund 0,7 Mrd. t aus bestehenden Tagebauen mit einer Kapazität von rund 20 Mio. t/a gewonnen werden.

In Mitteldeutschland sank die Förderung von 105,7 Mio. t im Jahr 1989 um 87 % auf 13,8 Mio. t im Jahr 1999.

Diese Entwicklung war – ebenso wie in der Lausitz – Ausdruck der strukturellen Anpassung der Förderung an den gesunkenen Bedarf. Bis zum Jahr 2002 hat sich die Förderung auf 20 Mio. t erhöht. 2008 wurde eine Fördermenge von 19,5 Mio. t realisiert. In diesem Revier sollen in Zukunft etwa 20 Mio. t Braunkohle pro Jahr abgebaut werden. Die Flöze liegen bis zu 120 m unter der Tageoberfläche und haben eine Mächtigkeit von 8 m bis 30 m.

7541014/10787806875Biblio

Im **Helmstedter Revier** hatte die Förderung in den vergangenen fünf Jahren – nach erfolgter Auskohlung des Tagebaus Helmstedt – noch bei rund 2 Mio. t/Jahr gelegen. 2008 waren es 2,1 Mio. t. Im verbliebenen Tagebau Schöningen wird der Abbau bis 2017 fortgesetzt. Zwei Flöze liegen in einer Tiefe von bis zu 300 m und haben zusammen eine Mächtigkeit bis zu 32 m.

- **Bedeutung der deutschen Braunkohle**

Braunkohle ist der einzige heimische Energieträger, der in großen Mengen langfristig, subventionsfrei und wettbewerbsfähig in Deutschland bereitgestellt werden kann. Dass die heimische Braunkohle im deutschen Strommix einen zentralen Platz einnimmt, hat gute Gründe.

Die Verstromung aus Braunkohle bietet ein Höchstmaß an Versorgungssicherheit und ist preisstabil. Die Lagerstätten Deutschlands sind in vier Regionen konzentriert: Mitteldeutschland, Lausitz, Rheinland und Helmstedt. Die Vorräte reichen (mit Ausnahme von Helmstedt, wo voraussichtlich der Abbau 2017 auslaufen wird) noch für die nächsten Generationen.

Nach einer Erhebung der DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) von 2011 betrug im deutschen Braunkohlentagebau

– die Abraumbewegung ca. 949 Mio. m^3 und die
– Rohbraunkohlengewinnung ca. 170 Mio. t.

Für eine Tonne Braunkohle mussten demnach ca. 5,8 m^3 Abraum bewegt werden.

In Deutschland lagern geologische Vorräte von etwa 77 Mrd. t Braunkohle, davon ca. 10 Mrd. t im mitteldeutschen Revier.

In Deutschland werden mehr als 50.000 Arbeitsplätze durch den Braunkohlenbergbau, die Stromerzeugung und die Zulieferer gesichert.

2.2 Planung von Tagebauen

Grundsätzlich erfordern die Planungen für den Abbau von Rohstoffen unterschiedliche Verfahren. Für den Abbau von Braunkohle im Tagebau können ausgereifte Verfahren als Stand der Technik angesehen werden. Demzufolge lassen sich Planungsschritte, die für Tagebauprojekte im Allgemeinen und für Braunkohlentagebaue im Besonderen Gültigkeit haben, ableiten.

Jede Abbauplanung geht von der Lagerstätte, deren Erkundung und Darstellung aus.

Dazu kommt die Berücksichtigung von Einflussgrößen, wie Förderhöhe, Produktqualität, Umweltgesichtspunkte, Tagebauentwässerung und Bodenmechanik im Hinblick auf die Standsicherheit von Böschungen und Tragfähigkeit der Arbeitsebenen, der gewählten Abbautechnologie und der technischen Ausstattung.

Dabei können Fördermenge und Laufzeit variieren. Insbesondere ist der in der Regel lange Zeitraum von der Projektplanung bis zur Abbaugenehmigung zu beachten sowie die Gestaltung und vollständige Rekultivierung bzw. Renaturierung der in Anspruch

7541014/10787806875Biblio

genommenen Flächen. Zusätzlich haben auch übergeordneten Faktoren, z. B. genehmigungsrechtliche Risikensowie der Einfluss des Natur- und Umweltschutzes, an Bedeutung gewonnen.

Bezüglich der Erkundungsarbeiten siehe Abschnitt D „Exploration“.

2.3 Grundlagen der Tagebautechnik

In den ersten Jahrzehnten der Braunkohlengewinnung hatte sich der Abbau naturgemäß auf die Vorkommen konzentriert, die besonders dicht unter der Erdoberfläche lagerten. In der Folgezeit mussten immer mächtigere – als Abraum bezeichnete – Deckgebirgsmassen im Verhältnis zur geförderten Kohle abgetragen werden.

2008 betrug das Leistungsverhältnis zwischen Abraum und Kohle im Bundesdurchschnitt 5,7 : 1 (m^3 Abraum zu t Kohle). Durch die Konzentration auf große Abbaufelder, neue Konzepte des Tagebauzuschnitts und die Weiterentwicklung der Gerätetechnik war es möglich, diese Erschwernisse weitgehend auszugleichen und die Kohlenpreise wettbewerbsfähig zu halten. An der Effizienzverbesserung der Geräte waren alle Reviere beteiligt.

Im **rheinischen Braunkohlentagebau** wurde die **Schaufelradbaggertechnologie** und **Bandanlagentechnik**, die aus der Förderkombination Bagger – Bandanlagen – Absetzer besteht, weiterentwickelt.

Während in den 50er und 60er Jahren noch Fördersysteme mit einer Tageskapazität von 60.000 m^3 bzw. 110.000 m^3 in Dienst gestellt worden waren, wurden 1976 Gerätegruppen mit einer Leistung von 200.000 m^3 pro Tag eingesetzt.

Seit 1978 haben sich die Tagesleistungen laufend bis auf 240.000 m^3 pro Tag und mehr erhöht, was einer Stundenleistung von 12.500 m^3 entspricht (bei 19,2 Betriebs-Std. pro Tag).

Die Bandanlagen haben mittlerweile eine Förderkapazität von bis zu 37.500 m^3 je Stunde und Bandbreiten bis 3.000 mm und gehören damit zu den leistungsfähigsten weltweit. Damit wurden die Voraussetzungen für eine effiziente und somit kostengünstige Massenbewegung geschaffen.

Eimerkettenbagger verfügen über eine Leistung von bis zu 14.500 m^3/h bei Abtragshöhen von bis zu 36 m.

In den Tagebauen tragen Schaufelradbagger zunächst die obere Bodenschicht, den fruchtbaren Lösslehm, ab und baggern anschließend den sogenannten Abraum aus Ton, Kies und Sand ab.
Die größten Schaufelradbagger sind 96 m hoch, 225 m lang und haben ein Einsatzgewicht von 13.500 t. Sie werden im Regelbetrieb von vier Personen bedient.

Förderbandanlagen oder Eisenbahnzüge liefern die Kohle zu den Kraftwerken bzw. Veredlungsbetrieben des Reviers. Auch Löss und Abraum werden per Band oder per Bahn zu den Einbaustellen bzw. Deponien transportiert. Sie werden in den Bereichen der Tagebaue verteilt, in denen die Kohle bereits abgebaut ist. Dort schichten Absetzer mit Auslegerlängen von bis zu 100 m das Material wieder auf. Unmittelbar danach beginnt die Rekultivierung bzw. Renaturierung.

7541014/10787806875Biblio

Mit dem Aufschluss des Tagebaus Hambach im rheinischen Revier 1978 erreichte die Gewinnungstechnik ihre heutigen Dimensionen.
Damit hat die Tagebautechnik zwar ein Maximum, aber nicht ihr Optimum erreicht. Seither arbeiten Ingenieure und Techniker kontinuierlich an der Verbesserung des Förderprozesses.

Dabei verfolgen sie vor allem zwei Ziele:
Erstens wollen sie mit dem geringsten Aufwand für Personal, Instandhaltung und Energie ein Höchstmaß an Produktivität im Kernprozess „Massentransport von Kohle und Abraum“ erzielen.

Zweitens wollen sie die Qualität der Kohle auf dem ganzen Weg zwischen der Lagerstätte und dem Einsatz im Kraftwerk lückenlos und kontinuierlich überwachen und sicherstellen.

Die Feinarbeit spielt sich vor allem auf dem Gebiet der Elektronik ab, greift aber auch tief in die Organisation des Tagebaus ein.
Optimieren der Förderung – das bedeutet nicht, um jeden Preis eine maximale Förderung anzustreben. Diese würde beispielsweise die Anlagen zu schnell verschleißen und das Risiko einer Störung und damit eines Produktionsausfalls unvertretbar vergrößern.

Stattdessen geht es darum, das gesamte Fördersystem Bagger – Bandanlage – Absetzer auf gleichmäßig hohem Niveau, möglichst schonend und damit störungsfrei, zu betreiben. Das erfordert hochmoderne Prozess- und Steuerungstechnik, mit denen die vorhandenen Geräte sukzessive ausgestattet werden.

Im **Lausitzer Revier** wurde die Förderbrückentechnik weiterentwickelt, an der bevorzugt Eimerkettenbagger im Einsatz sind. Die großen Förderbrücken stellen mit einer Tagesleistung von bis zu 450.000 m³ eine kostengünstige Massenbewegung sicher. Der Einsatz der Förderbrücke wird maßgeblich durch die Geologie der Lagerstätte bestimmt. Voraussetzung ist gleichmäßige Ablagerung in geringer Tiefe.

Der sowohl in direkter Kombination mit der Förderbrücke als auch als Gewinnungsgerät in der Kohle weit verbreitete Eimerkettenbagger wurde in der Lausitz ebenfalls weiterentwickelt.

In den Braunkohlenrevieren **Mitteldeutschland** und in **Helmstedt** hat sich – wie im Rheinland – die Bandanlagentechnik durchgesetzt, die aus der Förderkombination Bagger – Bandanlagen – Absetzer besteht. Im mitteldeutschen Revier kam in begrenztem Umfang zusätzlich die mobile Fördertechnik – bestehend aus Surface-Miner und Schwerlastwagen, der bis zu 100 t transportieren kann – zum Einsatz. Diese Technik wurde ab 2010 nicht mehr eingesetzt.

2.4 Definitionen der Tagebautechnik

Die Tagebaue werden unterteilt nach:

- den Lagerungsverhältnissen (Geologie),
- der Abbauart (Abbau nach Teufe flächenhafter Abbau),
- der Förderart (Zug, Band, SLkw),
- der Festigkeit des zu lösenden Materials,
- der Abbauführung (Parallelbau, Schwenkbau),

7541014/10787806875Biblio

- der Mächtigkeit des Deckgebirges,
- dem Geräteeinsatz (Schaufelradbagger, Eimerkettenbagger, Bandanlagen),
- dem Abraum-Absetzsystem und Kippe (Bandabsetzer, mobile Systeme),
- der Verwendung der Kohle (Kraftwerk, Veredelung),
- der Entfernung zum Verbraucher (Kraftwerk, Veredelung).

2.5 Tagebausysteme

Wesentliche Entscheidungsfaktoren bei der Planung sind die o. g. Grundlagen. Die Tagebauführung wird dabei in erster Linie von der Geologie bestimmt.

Die möglichen Systeme sind das

- Bagger-Band-Absetzer-System (nachfolgend BBA-System genannt),
- Direkt-Versturz-System mit Förderbrücken bzw. Bandwagen (DVS),
- mobile System mit Hydraulik-Großbagger und SLkw (MS-System),
- Sondersystem.

Die Gewinnung beim **BBA-System** erfolgt heute überwiegend durch Schaufelradbagger z. T. mit Beladewagen und daran angehängtem Aufgabetisch bzw. separatem Aufgabewagen, der Transport ist strossengebunden, zur Verkippung werden Bandabsetzer eingesetzt. Die Materialübergabe auf den Absetzer erfolgt fließend durch Bandschleifenwagen. Es wird angewendet bei hohen Abraumhöhen und größeren Störungen im Flözverlauf und ist das übliche System im Rheinischen Braunkohlenrevier.

Das **DVS-System** wird im Lausitzer Revier eingesetzt, da die Geologie – geringe Abraumhöhen ohne Störungen – hier für dieses System besonders geeignet ist.

Der Einsatz dieses Systems kann mit Abraumförderbrücken oder im Direktversturz mit Bandwagen erfolgen. Das System setzt, wie erwähnt, nahezu ebene und ungestörte Ablagerung der Abraum- und Kohleschichten voraus.

Das **MS-System** wird bei sehr unregelmäßiger Geologie eingesetzt.
Beispiel hierfür ist das Mitteldeutsche Revier mit Flözstärken von 8 m bis 12 m und Kessellagen bis über 30 m. Der Abbau in Sonderbereichen bezieht sich auf Vorkommen mit Einlagerungen aus Hartgestein, große Findlinge und Toneinschlüsse, die teilweise durch Bohren, Laden mit Hydraulikbagger oder Radlader und Transport mit SKW erfolgen.

Diese besonderen Lagerungsverhältnisse können in den Mitteldeutschen Braunkohlenrevieren angetroffen werden.

2.6 Planungsschritte

Die nachfolgenden Planungsschritte zeigen beispielhaft die systematische Durchführung einer Tagebauplanung verbunden mit ergänzenden Anmerkungen, wobei deren Reihenfolge den Anforderungen des spezifischen Projekts angepasst werden kann.

- **Überblick**

Erstellung eines Überblicks des voraussichtlichen Arbeitsprogramms sowie des Zeit-, Personal- und Kostenrahmens.

7541014/10787806875Biblio

Vorhandene Datenbasis

Sammeln, Sichten und Auswerten vorhandener Informationen und Feststellung von wesentlichen Lücken bezüglich Infrastruktur, Umfeld, Markt und rechtlichen Gegebenheiten.

Feststellung von Einflussfaktoren auf das Tagebauprojekt

Bei einer Planung dürfen von außen wirkende Faktoren nicht übersehen werden, dazu gehören u. a.:

- Rechtliche und soziale Auflagen und bestehende Verpflichtungen,
- Umwelt- und Naturschutz,
- Klima, Niederschläge, Temperatur- und Windverhältnisse,
- Altlasten und Bergschäden,
- Transportwege und Montagemöglichkeiten für Großgeräte,
- Energieversorgung,
- Vorflutsysteme,
- Personalsituation.

2.7 Geräteentwicklungen

Das Verfahren der kontinuierlichen Tagebautechnik und die hierfür eingesetzten Haupt- und Hilfsgeräte sind seit langem bekannt.
Auf Grundlage der langjährigen Erfahrungen sind zahlreiche Detailverbesserungen bzw. Ertüchtigungen sowie Optimierungen entwickelt und umgesetzt worden, was wesentlich den erreichten Stand der heutigen Technik ausmacht. Zu nennen sind:

bei den Baggern und Absetzern u. a.

- variable Erhöhung und Regelung von Schwenkgeschwindigkeit des Schaufelradauslegers, der Hubgeschwindigkeit und der Schüttungszahl,
- Einführung von Konturschnittautomatik,
- bedarfsgesteuerte Gewinnung zur Minimierung von Bandumstellungen und Absetzer-Fahrten,
- fahrerloser Betrieb von Bandschleifenwagen am Absetzer bzw. Beladewagen,
- deutliche Verbesserung der Instandhaltung und Verlängerung von Standzeiten,
- Einsatz des Global Positioning System (GPS) zur Optimierung der Gewinnungsschnitte und zur Schnittverfolgung auf der Gewinnungsseite,

bei den Bändern u. a.

- einfacher modularer Aufbau und möglichst baugleiche Ausführung der Bauteile,
- Steigerung der Gurtbreiten, Einzellagen und der Antriebsleistung,
- Ersatz der Schreitfüße und Schreitwerke durch spezielle Transportraupen, automatische Bandüberwachung,
- Kontrolle, Wartung und Reinigung durch mobile Einsatztrupps,
- Verringerung des Zeitbedarfs für Gurt- und Trommelwechsel sowie für Gurtreparatur und Vulkanisierarbeiten,
- drehzahlgeregelte Bandanlagen zur Verschleißminderung und Energieeinsparung,

7541014/10787806875Biblio

bei den Hilfsgeräten u. a.

- GPS-gestütztes Hilfsgeräteleitsystem,
- fahrerloser Betrieb von Haldengeräten,

beim Immissionsschutz u. a.

- konsequente Minimierung von Geräusch- und Staubemissionen an der Quelle durch Einkapselungen u. a. von Getriebe und Motoren,
- Verwendung geräuschoptimierter Bauteile,
- Staubfangnetze und Bedüsung,
- Flächenberegnung und Zwischenbegrünung,
- Einsatz von Frischkompost gegen die Staubentstehung,
- Absenken der obersten Strosse in der Nähe von Bebauungen,
- Vorziehen einer Hochschüttung auf der Kippenseite als Schutzwall,
- Errichtung von bepflanzten Schutzdämmen.

- **Vorausschau**

Die kontinuierliche Tagebautechnik hat ihren Schwerpunkt bei der Braunkohlegewinnung in europäischen, insbesondere deutschen Revieren. Die Braunkohle dient überwiegend der Stromerzeugung. Die Nachfrage nach Energie wird weltweit weiter steigen.

Die Verstromung von Braunkohle steht hierbei in Deutschland wegen der hohen spezifischen CO_2-Emissionen sehr stark in der öffentlichen Kritik.

Zur Verbesserung der politischen und gesellschaftlichen Akzeptanz stehen die Entwicklungsarbeiten unter dem Begriff „Clean Coal“. Hierunter fällt die CO_2-Abtrennung von Rauchgas und seinen untertägigen CO_2-Speicherungen in ausgebeuteten Erdgaslagerstätten oder tiefen Salzwasser-Aquiferen.
Ziel ist ein zur Atmosphäre hin CO_2-emissionsfreies oder zumindest emissionsarmes Kraftwerk.

Auf europäischer Ebene wird die Entwicklung u. a. als Gemeinschaftsprojekt unter dem Namen „Enhanced Capture of CO_2“ (ENCAP) vorangetrieben. Technologische Basis für das von der Vattenfall Europe AG favorisierte Konzept ist das sog. Oxyfuel-Verfahren.

Ausführliche Informationen hierzu siehe Abschnitt H „CO2-Untertagespeicherung“.

In Deutschland, dem Land mit der weltweit höchsten Braunkohleförderung, hat sich die Braunkohlegewinnung bei rd. 180 Mio. t/a stabilisiert.
Revierbezogen entfallen hiervon ca. 100 Mio. t auf das Rheinland, 60 Mio. t auf die Lausitz und 20 Mio. t auf Mitteldeutschland.

Die Förderung dürfte im Rheinland auf diesem Niveau bleiben, für die Lausitz und Mitteldeutschland gemeinsam erscheint eine Steigerung von derzeit 80 auf etwa 100 Mio. t/a durch den Aufschluss je eines weiteren Tagebaus möglich, d. h., die deutsche Jahresförderung dürfte mittelfristig bei insgesamt 180 bis 200 Mio. t liegen. Sprunghafte Steigerungen sind auch in den Revieren außerhalb Deutschlands nicht zu erwarten.

7541014/10787806875Biblio

In dem somit annähernd als gesättigt anzusehenden Markt werden in Zukunft weitere Ertüchtigungen an den Betriebsmitteln und eine Effizienzsteigerung den Vorrang haben.

2.8 Planung von Braunkohlentagebauen

Alle Bergbauprojekte erfordern wirtschaftlich gewinnbare Vorräte und sind immer standortgebunden. Die Gegebenheiten der Lagerstätte müssen bei der Planung berücksichtigt werden.

Die flözartigen Lagerstätten im Braunkohlenbau haben einen großen, fortschreitenden Flächenbedarf, daher hat die Umweltverträglichkeit einen großen Stellenwert und schließt die Rekultivierung und Renaturierung ein. Auch die zum Teil umfangreichen Grundwasserabsenkungen müssen berücksichtigt werden.

Die Bodenverhältnisse und die Tiefenlage der Flöze bestimmen den Einsatz der Großgeräte, wobei auch die Bodenmechanik bezüglich der Standsicherheit von Böschungen und Tragfähigkeit der Arbeitsebenen für die schweren Abbaugeräte zu beachten ist.

Um möglichst geringe Förderwege zu den Hauptverbrauchern (Kraftwerke) zu erreichen, müssen die Standorte der Kraftwerke in die Planung einfließen.

2.8.1 Bergbauberechtigungsverfahren

Die Genehmigung zur Durchführung einer Tagebauanlage (wie auch aller sonstigen Bergbauanlagen) regelt die zuständige Bergbehörde. Grundsätzlich gilt gemäß Bundesberggesetz (BbergG):
Wer in Deutschland Bodenschätze aufsuchen und gewinnen will, muss hierzu berechtigt sein.

Bei grundeigenen Bodenschätzen ergibt sich dieses Recht aus dem Grundeigentum. Für bergfreie Bodenschätze ist eine staatlich erteilte Bergbauberechtigung erforderlich. Das BbergG unterscheidet folgende Bergbauberechtigungen:

- Erlaubnis
- Bewilligung
- Bergwerkseigentum.

Die **Erlaubnis** gewährt das ausschließliche Recht, innerhalb eines bestimmten „Feldes“ Bodenschätze aufzusuchen. Zum Aufsuchen gehören alle Maßnahmen zur Entdeckung von Bodenschätzen und die Feststellung der Lagerstättenausdehnung. Das sind im Wesentlichen die Prospektions- als auch Explorationsmaßnahmen.

Dem Erlaubnisinhaber steht auch die Befugnis zur Aufsuchung und Gewinnung der Bodenschätze zu. Er kann sich diese aneignen und die für das Aufsuchen erforderlichen Einrichtungen, wie Schächte und Stollen, errichten. Wenn hierzu die Benutzung fremder Grundstücke erforderlich ist, kann die Bergbehörde dem Erlaubnisinhaber bei einer Weigerung des Grundstücksinhabers für das Betreten und Benutzen fremder Grundstücke die Erlaubnis einräumen.

Man wird aber stets versuchen, eine Genehmigung auf dem Verhandlungswege zu erreichen (z. B. durch Zahlung einer entsprechenden Vergütung).

7541014/10787806875Biblio

Wer laut BbergG Bodenschätze gewinnen will, bedarf hierzu einer **Bewilligung**. Die Bewilligung gewährt das ausschließliche Recht, innerhalb eines bestimmten Feldes bestimmte bergfreie Bodenschätze zu gewinnen und an ihnen Eigentum zu erwerben.

Zur Bewilligung zählen Angaben über:

- das Lösen und Freisetzen von Bodenschätzen,
- die vorbereitenden, begleitenden und nachfolgenden Tätigkeiten,
- den Aufschluss eines Grubenfeldes,
- das Aufschütten von Halden,
- die Errichtung der erforderlichen Betriebsanlagen wie Schachtgebäude und Förderanlagen u. a.,
- die Lage der Bodenschätze,
- die vorgesehene technische Durchführung und den Geräteeinsatz.

In den einzelnen Bundesländern sind eigene Bergverordnungen eingeführt worden, welche vom Bundesberggesetz abweichen bzw. es ergänzen.

So sind z. B. entsprechend der Länderhoheit im Land Brandenburg bzw. im Freistaat Sachsen weitere folgende Bergverordnungen erlassen worden:

- Richtlinie des Landesbergamtes Brandenburg für die Untersuchung der Standsicherheit von bleibenden Böschungen und Böschungssystemen im Braunkohlenbergbau (Ord.-Nr. 2/01 vom 2. 11. 2001).
- Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage (Richtlinie Geotechnik vom 10.5.2005).
- Im Unternehmen Vattenfall Europe Mining AG ist zur Gewährleistung der „Geotechnischen Sicherheit in den Tagebauen und bergbaulichen Anlagen“ eine Organisationsregelung Nr. 0-BeS 18 verfügt. Sie beinhaltet Aufgaben und Zuständigkeiten für die Fachgebiete Geologie, Tagebauentwässerung, Bodenmechanik, Bergbauplanung/Produktion und Markscheidewesen.
- Auch in einzelnen Organisationseinheiten können durch Anweisungen Vorgaben und Zuständigkeiten weiter untersetzt werden. So gilt z. B. in den Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord die Anweisung A-Be-E-BJ 05 „Verhaltensvorgaben zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit“.

In den Ländern Bayern, Hessen, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen gelten u. a. Ergänzungen und Änderungen zum Bundesberggesetz (BBergG). Das betrifft insbesondere auch die Zuständigkeiten (siehe hierzu das „Kap. J – Bergrecht“).

Das **Bergwerkseigentum** gewährt dieselben Rechte wie die Bewilligung. Darüber hinaus wird das Bergwerkseigentum als grundstücksgleiches Recht behandelt. Es wird im Grundbuch eingetragen und ist beleihungsfähig. Das Bergwerkseigentum kann nur dem Bewilligungsinhaber verliehen werden.

Die **Bergbauberechtigung** stellt nur einen Rechtstitel dar. Sie erlaubt dem Inhaber aber nicht, mit der Aufsuchung und der Gewinnung von Bodenschätzen zu beginnen.

Vor Ausübung der in der Berechtigung genannten Tätigkeiten bedarf es vielmehr noch der Zulassung durch die Bergbehörde.

7541014/10787806875Biblio

Als bewährtes Instrument der präventiven Betriebskontrolle stellt das **Betriebsplanverfahren** einen Teil der intensiven behördlichen Betriebsüberwachung dar.

Die Besonderheit des bergbaulichen Betriebsplanes liegt darin, dass er im Gegensatz zu einer einmaligen, auf räumlich nicht veränderbare Betriebsweise ausgerichteten Genehmigung dem fortschreitenden Betrieb angepasst wird.

Dies ist der Grund dafür, dass es je nach Situation des Betriebes verschiedene Betriebsplanarten mit unterschiedlichen Regelungsgegenständen gibt. Zu den wichtigen zählen der **Rahmenbetriebsplan**, der einer längerfristigen Absicherung des Bergbaubetriebes dient, und der in der Regel alle zwei Jahre zu erneuernde Hauptbetriebsplan zur Führung des Betriebes.

Die Bergbehörde hat anhand dieser Angaben zu prüfen, ob die im Bundesberggesetz bezeichneten Erfordernisse und Belange sichergestellt sind. Dazu gehören zum Beispiel:

- Vorsorgemaßnahmen für die Betriebssicherheit und den Arbeitsschutz,
- Maßnahmen zum Schutz der Oberfläche im Interesse der persönlichen Sicherheit und des öffentlichen Verkehrs,
- Vermeidung von gemeinschädlichen Einwirkungen,
- Schutz der Lagerstätte,
- Vorsorgemaßnahmen zur ordnungsgemäßen Wiedernutzbarmachung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Fläche.

Sind die gesetzlichen Voraussetzungen erfüllt, muss der **Betriebsplan** von der Bergbehörde zugelassen werden. Berühren die in einem Betriebsplan vorgesehenen Maßnahmen den Aufgabenbereich von anderen Behörden oder der Gemeinden als Planungsträger, hat die Bergbehörde diese vor der Betriebsplanzulassung zu beteiligen. Beteiligung bedeutet Anhörung und erfordert nicht die Zustimmung dieser beteiligten Stellen.

Grundeigentümer erhalten Gelegenheit zur Äußerung, wenn durch die geplanten bergbaulichen Maßnahmen mit schwerwiegenden Beeinträchtigungen ihres Grundeigentums zu rechnen ist. Über die Betriebsplanzulassung entscheidet die Bergbehörde in eigener Verantwortung.

Liegen die bergrechtlichen Genehmigungen vor, kann mit der Exploration begonnen werden. Hierzu sind entsprechende Verhandlungen mit den Grundstückeigentümern zwecks Betretung und Nutzung zu führen. Wenn keine Einigung zu erzielen ist, kann die Bergbehörde – wie oben erwähnt – eine entsprechende Genehmigung erteilen.

Durchführung und Umfang werden durch entsprechende Fachbüros (üblicherweise Geologen) festgelegt. Die Ausführungen von Explorationsarbeiten sind im Kap. „D – Exploration“ ausführlich beschrieben.

2.8.2 Der Grunderwerb

Liegen die Ergebnisse der Exploration vor, wird der Investor und zukünftige Betreiber des Bergwerkes alle weiteren Maßnahmen einem Fachkundigen übertragen. Während die Betriebsplanungen laufen, wird sich eine gesonderte Abteilung mit dem Grunderwerb befassen (falls der Betreiber nicht der Grundstückseigentümer ist), was i. d. R. eine der schwierigsten Aufgaben darstellt, denn die Grundstückseigentümer werden um gute Vergütungen bemüht sein.

7541014/10787806875Biblio

Überhöhte Forderungen muss der Betreiber nicht akzeptieren. Er kann in diesem Fall eine Enteignung beantragen. Im Allgemeinen wird aber eine gütliche Einigung angestrebt. Schwierig wird es, wenn eine Umsiedlung erforderlich wird.

Der Grunderwerb umfasst rein rechtlich nur ein Nutzungsrecht bis zur Wiederherstellung des Urzustandes nach der Wiederverfüllung. Soweit das Gelände nicht wieder der Agrarnutzung (Acker, Wald) zugeführt wird, werden auch Flächen in Biotope und Erholungsgebiete umgewandelt (Näheres hierzu siehe „Rekultivierung“).

2.8.3 Bergbaubetrieb

Entsprechend der vorhandenen Tektonik und den Grundwasserverhältnissen werden die Verfahrens- und Gerätetechniken erarbeitet und festgelegt.

Unterteilung von Tagebauen nach:

- Ablagerungsverhältnissen: Einflöz-, Mehrflöztagebau, Tieftagebau,
- Förderart: Zug-, Band-, SKW- oder Direktversturztagebau,
- Festigkeit des zu lösenden Materials: Locker- (Lösen und Laden, ein Arbeitsgang) und Festgesteinstagebau (Lösen mittels Sprengen, Laden, zwei Arbeitsgänge),
- Abbausystematik: Hügel- oder Hangabbau, Abbau nach der Teufe, flächenhafter Abbau.

Abbauverfahren:

- Scheibenabbau – die Hauptverfahrensgänge werden jeweils auf einer Scheibe durchgeführt.
- Gruppenabbau – mehrere Sohlen werden zu Abbaugruppen zusammengefasst.
- Streifenabbau (Strip Mining) – das Mineral wird in einem langen schmalen Streifen freigelegt, die Abbaufront bewegt sich senkrecht zur Verhiebsrichtung, das Deckgebirge wird direkt auf die Kippenseite verstürzt.
- Abbauführung – parallel ausgerichtete Abbaustrossen für Abraum und Kohle, die in eine Richtung parallel zu einander fortschreiten.
- Schwenkabbau – eine Abbaufront nahezu konstanter Länge bewegt sich um einen festen Drehpunkt.
- Weitungsbau – die Abbaustrossen werden unregelmäßig und in beliebiger Richtung vorangetrieben.
- Beim flächenhaften Abbau des mitteleuropäischen Braunkohlentagebaus hat sich der Scheibenabbau als Abbauverfahren mit Schwenk- und/oder Parallelführung durchgesetzt.

Abraum:

- Überlagerndes Deckgebirge, Böschungsanteile, Zwischenmittel, Abbauverluste an Grenzflächen, abbautechnisch bedingte Liegendüberschnitte.

Kippe:

- Planmäßige Ablagerung von Abraum im ausgekohlten Tagebaubereich auf gewachsenem Gelände in Form einer Halde.

7541014/10787806875Biblio

2.8.4 Technische Fachbegriffe im Tagebau

D : K-Verhältnis: Lineares Verhältnis der Mächtigkeiten von Deckgebirge und Kohle (m/m).

A : K-Verhältnis: Verhältnis des zu bewegenden Abraumvolumens (m^3) zum gewinnbaren Kohlevorrat (t).

Abbaurichtung: Richtung, in die sich der offene Tagebauraum in Folge des Gewinnungsprozesses bewegt.

Verhiebsrichtung: Eingriffsrichtung des Gewinnungsgerätes.

Lastgrad: Maßzahl für die Ausnutzung eines Betriebsmittels bezogen auf seine technische Leistungsfähigkeit, i. d. R. als Quotient aus erbrachter Förderleistung und der Nennleistung oder auch Kapazität auf Basis der Gerätekenndaten und des Auflockerungsfaktors.

Zeitgrad: Maßzahl für die zeitliche Nutzung eines Betriebsmittels in einem bestimmten Zeitraum oder prozentuale Auslastung bezogen auf die Zeit, z. B. Anteil der tatsächlichen Betriebszeit an der Kalenderzeit.

Gesamtwirkungsgrad: Produkt aus Last- und Zeitgrad beim Vergleich von Geräteleistungen; mit Blick auf den Zeit- und den Lastgrad und somit auch auf den Gesamtwirkungsgrad ist es besonders wichtig, darauf zu achten, dass gleiche Bezugsdaten gewählt werden.

Hauptverfahrensgänge im Tagebau: Gewinnung, Transport, Verkippung (Abraum) bzw. Verladung/Bevorratung (Kohle).

Kontinuierliche Tagebautechnik: Das anstehende Material wird kontinuierlich aus dem Gebirgsverband gelöst, geladen, transportiert, verstürzt bzw. zur Verladung gebracht. Eine typische Gerätekette besteht aus Schaufelradbagger, Bandanlagen, Bandschleifenwagen und Absetzer (around-the-pit) oder Eimerkettenbagger und Abraumförderbrücke (across-the-pit, Direktversturz, z. B. im Lausitzer Revier). Es gibt zahlreiche Kombinationen.

Diese Technik wird auch als „Deutsche Tagebautechnik“ bezeichnet.

Diskontinuierliche Tagebautechnik: Die Arbeitsablaufe sind hierbei durchgängig diskontinuierlich. Besonders hervorzuheben ist bei der Abraumbewegung der Schürfkübelbagger (Dragline), der den Abraum gewinnt, über den offenen Tagebau transportiert und auf der Kippenseite verstürzt.

Die typische Gerätekette für die Kohlegewinnung besteht aus Seil- oder Hydraulikbagger und SLkw (Schwerlastkraftwagen). Hauptverbreitungsgebiet sind die USA und die von dort beeinflussten Bergbauregionen der Welt. Daher hat sich der Begriff „Amerikanische Tagebautechnik“ eingebürgert.

Vorteile Tagebau gegenüber Tiefbau:

- geringe Abbauverluste,
- bessere Möglichkeit zur selektiven Gewinnung,
- hoher Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad,
- hohe Betriebs- und Arbeitssicherheit,

7541014/10787806875Biblio

- große Betriebseinheiten,
- Transparenz des Betriebes ermöglicht einfache Betriebsüberwachung.

Nachteilig wirken sich folgende Faktoren aus:

- Abräumung der Oberfläche (Umsiedlung, Verlegung, Infrastruktur),
- Abhängigkeit von klimatischen Verhältnissen,
- Grundwasserabsenkung im Tagebaubereich und Umfeld,
- große Aufschlussmassen und unproduktive Massenbewegung.

3 Rheinisches Braunkohlenrevier

Die Braunkohlenförderung der RWE Power AG lag 2010 bei 90,7 Mio. t bei einer Abraumbewegung von 469 Mio. m^3 (Verhältnis Abraum : Braunkohle A : K = 5,2 : 1). Rund 90 % der Braunkohle werden zur Stromerzeugung in den tagebaunahen Kraftwerken des Unternehmens eingesetzt. Die übrige Menge wird zu Briketts, Braunkohlenstaub, Wirbelschichtkohle und Koks veredelt, z. B. für den Einsatz in häuslichen und industriellen Feuerungen, aber auch in Anlagen zur Abwasser- und Rauchgasreinigung. Braunkohle ist preiswert und ist in unserem Land in großen Mengen verfügbar. Dazu kommt: Sie ist nicht auf Subventionen angewiesen. Braunkohle hilft damit auch auf lange Sicht, unsere Energieversorgung zu sichern.

Im rheinischen Revier leben viele Menschen mit und von der Braunkohle. Viele tausend Arbeitsplätze im Bergbau, in den Kraftwerken und in den Zulieferbetrieben sind damit über Jahrzehnte gesichert. Allein RWE Power beschäftigt im Revier langfristig 10.000 Mitarbeiter.

Das rheinische Braunkohlenrevier erstreckt sich zwischen Köln, Aachen und Mönchengladbach über 2.500 km^2. Es ist damit die größte Braunkohlenlagerstätte in Europa.

Das Revier umfasst die Tagebaue: Garzweiler, Hambach und Inden. Sie liefern den Brennstoff für die Kraftwerke Frimmersdorf, Goldenberg, Neurath, Niederaußem und Weisweiler. Die Gesamtleistung dieser 5 Kraftwerke beträgt 11.234 MW. Abgebaut werden die Flöze: Garzweiler, Frimmersdorf und Morken.

Bei der derzeitigen Fördermenge beträgt die Reichweite der wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen etwa 350 Jahre.

Die stellenweise bis zu 70 m dicken Kohleflöze sind von noch weitaus mächtigeren Abraumschichten aus Sand, Ton und Kies bedeckt. Die lockere, nachgiebige Bodenstruktur im Rheinland macht die Braunkohlenförderung im Tagebau notwendig, deren wichtigstes Arbeitsgerät der Schaufelradbagger ist. Die insgesamt zz. 20 Schaufelradbagger (2010), welche bei der RWE Power in den drei Tagebauen einsetzt werden, sind zentraler Bestandteil einer hoch entwickelten, rationellen Gewinnungsmethode, die sich in den mehr als 50 Jahren bewährt hat.

7541014/10787806875Biblio

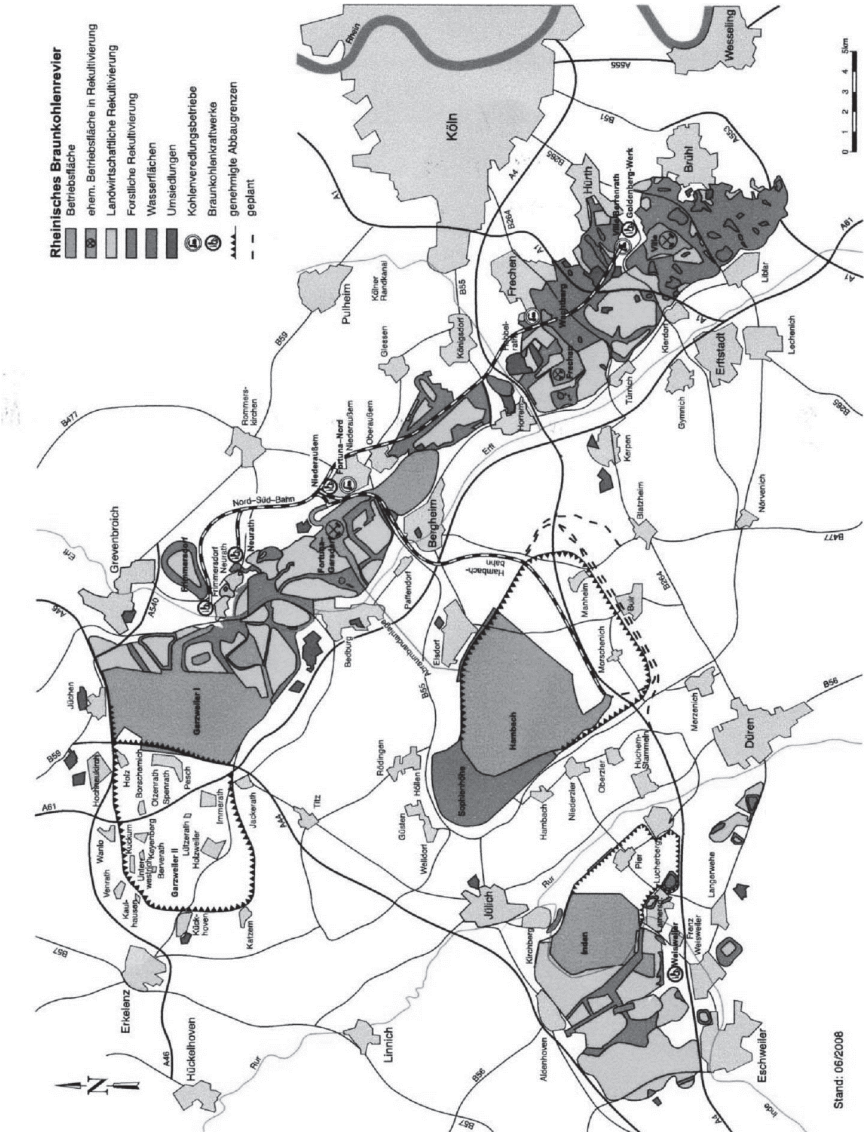


Abb. Fb-5: Lageplan der Gewinnungsreviere mit Darstellung der abgebauten, geplanten und im Betrieb befindlichen Bereiche [V37]

3.1 Grundsätzliches zum Abbau

Im rheinischen Braunkohlentagebau wird das **Bagger-Band-Absetzer-(BBS-)System** angewendet.

Das **Direkt-Versturz-System** (Förderbrückensystem), wie es im Lausitzer Revier eingesetzt wird, kann im rheinischen Revier nicht verwendet werden. Zum einen ist die Abraumhöhe hierzu zu hoch und zum Zweiten führen die rheinischen Flöze vielfach Störungen.

7541014/10787806875Biblio

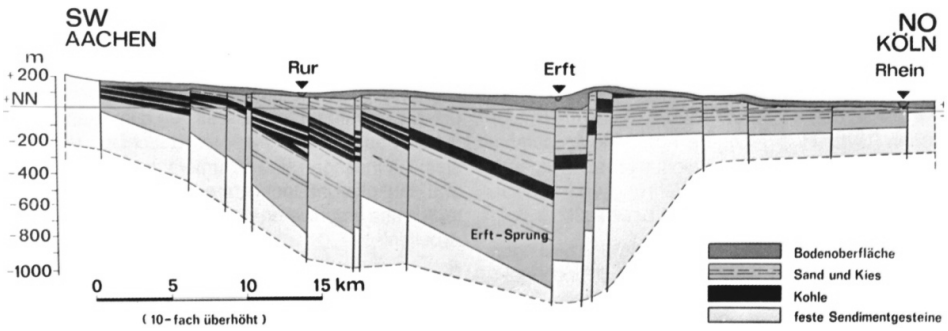


Abb. Fb-6: Der Flözverlauf im rheinischen Braunkohlenrevier [V37]

Das gesteuerte Einbringen der oftmals wenig standfesten Abraum-Mischböden, die außerdem durch den Transport einer Entmischung unterworfen sind, ist wichtig für die Standfestigkeit der Kippenböschungen. Standfester und überwiegend wasserdurchlässiger Abraum wird im Böschungsfuß als Stutzrippen, wenig standfestes und nasses Material hinter diesen Stutzrippen eingebracht. Für Arbeitsebenen erfolgt eine Abdeckung mit trockenem, standfestem Material.

Die qualitätsgesteuerte Abraumverkippung und Kohlegewinnung machen die Disposition der Massen über den Bandsammelpunkt notwendig und erfordern hohen planerischen Aufwand.

Die Größenentwicklung der Schaufelradbagger wurde vor allem im rheinischen Revier vorangetrieben. In und nach dem 2. Weltkrieg waren vornehmlich Geräte der sog. C-Rahmen Bauweise mit Tagesleistungen von 30.000 m³ bis 60.000 m³ im Einsatz.

Bis in die 80er Jahre wurde die Leistung dieser Geräte u. a. durch die Verstärkung der Antriebe zunächst auf 100.000 m³/d erhöht und dann nochmals auf 240.000 m³/d gesteigert. Bei einer Einsatzzeit von durchschnittlich 19,2 h/Tag beträgt die Leistung 12.500 m³/h.

3.2 Gewinnung und Förderung

Die günstig gelegenen Lagerstättenteile mit geringer Abraumüberdeckung sind im Rheinischen Braunkohlenrevier weitgehend erschöpft. Der Braunkohlenbergbau ist gezwungen, in größere Teufen mit mächtigerem Deckgebirge vorzudringen. Am Flözverlauf (Abb. Fb-6) ist zu erkennen, dass die Überdeckung nach NO hin immer mächtiger wird. Deshalb müssen größere Tagebaue betrieben werden. Dies hat zur Folge, dass neben der Entwicklung und dem Einsatz neuer leistungsfähiger Gewinnungsverfahren und Transporttechniken mit entsprechenden Geräten auch die Vorleistungen, wie großräumige Planung, umfangreiche Umsiedlungs- und Verlegungsmaßnahmen, Entwässerung des Deckgebirges, Abtrag der überlagernden Schichten sowie die Rekultivierung der vom Bergbau beanspruchten Flächen, einen stetig steigenden Kapitalaufwand erfordern.

Der Tagebau gliedert sich in zwei Bereiche: die Gewinnungsseite, wo Schaufelradbagger Braunkohle und Abraum gewinnen, und die Verkippungsseite, wo Absetzer den Abraum wieder verteilen.

7541014/10787806875Biblio

Beide Tagebauseiten sind durch kilometerlange Bandanlagen miteinander verbunden. Die Tagebaugeräte bilden somit eine Förderkette aus Gewinnungsgeräten (Schaufelradbagger), Transportmitteln (Bandanlagen) und Verkippungsgeräten (Absetzer mit Bandschleifenwagen).

Der Tagebau ist terrassenförmig angelegt; die einzelnen Arbeitsebenen werden in der Sprache der Bergleute Sohlen oder Strossen genannt.

Die Kohle wird überwiegend auf den untersten Sohlen gewonnen; die Bagger auf den darüberliegenden Sohlen tragen den Abraum, also die Deckschicht, ab. Förderbänder transportieren Kohle und Abraum zu einem Verteilungspunkt, dem Bandsammelpunkt. Dort werden die Massen auf unterschiedliche Transportwege geleitet: Die Kohle gelangt entweder zur Zwischenlagerung in den Kohlebunker am Rand des Tagebaus, oder sie wird direkt zu den umliegenden Kraftwerken oder Veredlungsbetrieben transportiert. Das geschieht je nach Entfernung entweder mit Bandanlagen oder per Eisenbahn.

Der Abraum wird über Förderbänder auf die ausgekohlte Seite des Tagebaus geleitet, die sogenannte Innenkippe. Auf den einzelnen Arbeitsebenen, die hier Strossen heißen, verteilen Absetzer den Abraum und schichten das Erdreich terrassenförmig auf, bis das Loch verfüllt ist. Wird ein Tagebau dagegen sozusagen auf der grünen Wiese begonnen, enden die ersten Abraummassen woanders: Entweder bauen die Absetzer eine Außenkippe auf, die außerhalb der späteren Grube liegt; die Sophienhöhe am Tagebau Hambach, die Vollrather Höhe bei Grevenbroich und die Halde Nierchen bei Eschweiler sind Beispiele dafür. Oder man befördert den Abraum mit Bandanlagen oder Abraumzügen in ältere Tagebaue, um die weitgehend zu verfüllen.

3.2.1 Gewinnungsseite

Die moderne Tagebautechnik verlangt neben der Vollmechanisierung mit einer hohen Leistung je Baggeransatzpunkt eine weitgehende Automatisierung der Arbeitsabläufe. Dies findet seinen Ausdruck in großen Gewinnungs-, Förder- und Absetzgeräten sowie in einer zentralen Überwachung und Steuerung aller wichtigen Betriebsabläufe.

3.2.1.1 Gewinnungsverfahren

Die Mechanisierungsmaßnahmen in der Tagebaugewinnung begannen um die Jahrhundertwende mit der Einführung der Eimerkettenbagger. Eimerkettenbagger wurden zunächst auf Gleisen, später auf Raupenfahrwerken als Tiefschnitt- und als Schwenkbagger entwickelt. Eine besondere Bedeutung in den östlichen Revieren erlangten die Eimerkettenbagger im Verbund mit Abraumförderbrücken.

7541014/10787806875Biblio

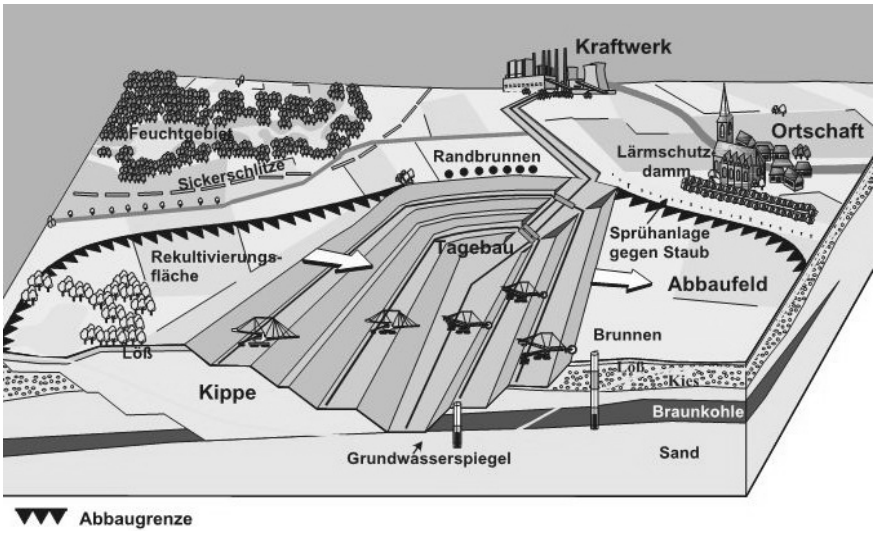


Abb. Fb-7: Schematische Darstellung des Abbausystems Bagger-Band-Absetzer (BBS) [40]

3.2.1.2 Gewinnungsgeräte

- **Schaufelradbagger**

Die auf Raupen fahrenden Schaufelradbagger sind in allen Revieren eingesetzt und in den Tagebauen des rheinischen Reviers das bestimmende Großgerät.

Nachdem sie zunächst die obere fruchtbare Bodenschicht aus Löss und Humus und danach den Abraum abgetragen haben, beginnen die Schaufelradbagger mit der Gewinnung der freigelegten Braunkohle. 240 m lang, knapp 100 m hoch und 13.500 t schwer sind die größten Schaufelradbagger im Revier.

Schaufelradbagger bewegen sowohl Abraum als auch Kohle. Dies geschieht mit Schaufeln, die in ein Rad eingelassen sind wie die Zähne eines Zahnrades. Das Schaufelrad ist am Ende eines Fachwerkauslegers gelagert, der auch das Förderband für den Abtransport der Massen trägt. Der Schauferadausleger gehört zu dem schwenkbaren Oberbau des Baggers und kann gehoben und gesenkt werden. Das besorgt die Hubwinde auf dem Gegengewichtsausleger.

Seile übertragen die notwendigen Hubkräfte über zwei markante Pylone aus einem Stahlfachwerk. Der Ballast am Ende des Gegengewichtsauslegers gleicht das Gewicht des Schaufelradauslegers aus. So kann der Bagger bis zu 28 m unter Geländekante baggern (Tiefschnitt) und Böschungen von 50 m Höhe abtragen (Hochschnitt).

Das Gewicht des Baggers ruht auf 12 Raupenfahrwerken, die in drei Gruppen zusammengefasst sind und von denen jedes 3,80 m breit, 15,30 m lang und rund 3 m hoch ist. Das Fahrwerk wird elektrisch angetrieben; die Fahrwerksmotoren der größten Bagger haben eine Nennleistung von 2.100 kW/2.835 PS. Damit können sie 2 m bis 10 m pro Minute zurücklegen.

7541014/10787806875Biblio

Ober- und Unterbau des Baggers sind über einen Drehkranz schwenkbar miteinander verbunden. Eine Zwischenbrücke verbindet den eigentlichen Bagger mit dem ebenfalls fahrbaren Beladegerät: Dort fällt die Kohle oder der Abraum auf das Förderband, das vom Bagger in Richtung Bandsammelpunkt führt.

Dank seines Elektroantriebs mit umgerechnet bis zu 22.000 PS bewegt sich solch ein mobiles Großgerät rund um die Uhr durch den Tagebau und fördert innerhalb eines Tages bis zu 240.000 Festkubikmeter Braunkohle oder Abraum.

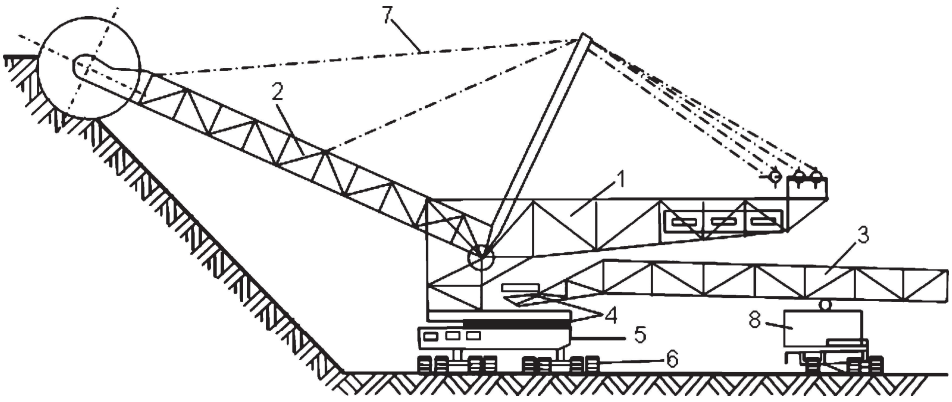
Bei der Weiterentwicklung der Schaufelradbagger wurde konsequent auch der Baggerführerstand einbezogen. Computerprogramme helfen dem Geräteführer, optimale Grabungsergebnisse zu erzielen. Für die elektrische Ausstattung des Baggers mussten mehr als 160 km Leitungen und Kabel installiert werden. Hersteller Für den Stahl- und Maschinenbau ist die O & K (Orenstein & Koppel) AG in Lübeck.

Abb. Fb-8: Einer der größten Schaufelradbagger mit der Geräte-Nr. 293 bei der Gewinnung [V37]

Planung und Montage von derartigen Tagebaugeräten dieser Größenordnung dauern etwa fünf Jahre, denn jedes Gerät ist praktisch ein Unikat. Die einzelnen Stahlteile werden bei den Firmen vormontiert und auf Tiefladern zum Montageplatz häufig in der Nähe des künftigen Arbeitsplatzes der Geräte gebracht. Während der Montage bauen Spezialfirmen zum Beispiel die Elektrik, die Förderbänder und die Wasserversorgung für Brandschutz und Staubbekämpfung ein. Anschließend rollen die Geräte auf ihren Raupenfahrwerken zum Arbeitsplatz.

Bis zu fünf Mann sind pro Schicht zur Bedienung eines Schaufelradbaggers erforderlich: Der Baggerführer steuert das Großgerät von einer Kanzel in der Nähe des Schaufelrads. Der Vorarbeiter überwacht Fahrmanöver und Grabarbeit vom Boden aus.

7541014/10787806875Biblio



1 Baggeroberbau mit Gegenausleger und Einrichtungen für das Heben, Senken und Verschieben des Schaufelradauslegers,
2 Schaufelradausleger mit Schaufelrad und Aufnahmegurtbandförderer,
3 Verladeausleger,
4 Schwenkwerke für Baggeroberbau und Verladeausleger,
5 Baggerunterbau mit Maschinenhaus sowie Mannschaftsräumen,
6 Fahrwerke,
7 Aufhängung des Schaufelrades,
8 Abstützung Verladeausleger.

Abb. Fb-9: Bauelemente eines Schaufelradbaggers [46]

Abb. Fb-10: Der Großgeräteführer steuert Gewinnung und Fahrbewegungen des Baggers von einer Kanzel aus, die sich ganz vorn am Schaufelradausleger befindet (siehe Schaufelrad im Hintergrund). [V37]

7541014/10787806875Biblio

Der Beladegeräteführer sitzt in einem Führerhaus über dem abführenden Förderband und achtet auf die ordnungsgemäße Übergabe der Kohle oder des Abraums. Zwei weitere Mitarbeiter lösen Baggerführer und Beladegeräteführer regelmäßig ab.

3.2.1.3 Transportgeräte

Innerhalb der Tagebaue sorgen heute ausschließlich Bandanlagen für den Transport der Kohle und des Abraums. Früher transportierten Züge den größten Teil der Kohle. Doch je tiefer die Lagerstätte lag, desto schwieriger wurde der Zugbetrieb, da Züge nur sehr begrenzt Steigungen bewältigen können. Die modernen Bandanlagen überwinden auch steile Strecken und sind für kürzere Entfernungen wirtschaftlicher. Der Zugbetrieb beschränkt sich heute auf die langen Transportwege außerhalb der Tagebaue.

- **Bandanlagen**

Eine Bandanlage besteht, grob vereinfacht, aus zwei Bandtrommeln, über die ein endloses Förderband läuft. An mindestens einer Trommel ist ein Motor mit Getriebe angebracht, der das Förderband antreibt.

Die Antriebsstationen, mit Motoren ausgerüstete Stahlkonstruktionen von der Größe eines Einfamilienhauses, beschleunigen das Band auf bis zu 7,5 m/s; das sind 27 km/h. Reibung überträgt die Umfangskraft vom Antrieb der Trommeln auf den gespannten Gummigurt. Die Bänder werden aus mehreren, bis zu 200 m langen Gurtabschnitten aus Gummi zusammengesetzt. Sie sind bis zu 2,80 m breit. In das Gummi sind etwa 200 Stahlseile zur Kraftübertragung und Stabilisierung eingearbeitet.

Die Förderleistung einer Bandanlage hängt von drei Faktoren ab: von der Fördergeschwindigkeit durch entsprechenden Bandantrieb, von der Breite und von der Muldungstiefe des Förderbandes.

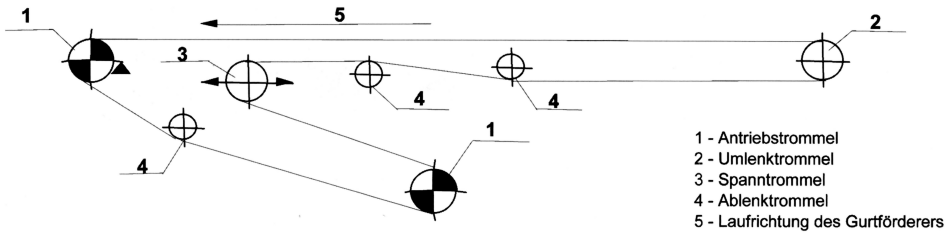


Abb. Fb-11: Hauptelemente eine Bandanlage [15]

Die beiden Endpunkte der Bandstrecken – eine Antriebsstation am Kopf der Anlage und die Umkehrstation am hinteren Ende – stehen bis zu fünf Kilometer auseinander. Am gebräuchlichsten ist heute ein Anlagentyp mit vier Bandtrommeln.

Die beiden Bandtrommeln an der Kopfseite und eine dritte Trommel an der Heckseite können ein- oder beidseitig angetrieben werden. Über eine vierte Trommel wird das Förderband gespannt.

Das Förderband läuft über stützende Tragrollen, die in die Traggerüste fest eingelegt, heutzutage aber meist als dreiteilige Girlande eingehängt sind. Der oben laufende Fördergurt ist gemuldet, damit er möglichst große Massen transportieren kann. Seine Quermuldung beträgt 30° bis 45°. Im Untergurt ist der Muldungswinkel aus Platzgründen kleiner; dort beträgt er nur 15° bis 20°.

7541014/10787806875Biblio

Lange oder nicht geradlinig verlaufende Förderwege setzen sich aus mehreren aufeinander folgenden Bandstrecken zusammen. Die beiden Endpunkte der Bandstrecken – eine Antriebsstation am Kopf der Anlage und die Umkehrstation am hinteren Ende – stehen bis zu fünf km auseinander. Lange oder nicht geradlinig verlaufende Förderwege setzen sich aus mehreren aufeinanderfolgenden Bandstrecken zusammen.

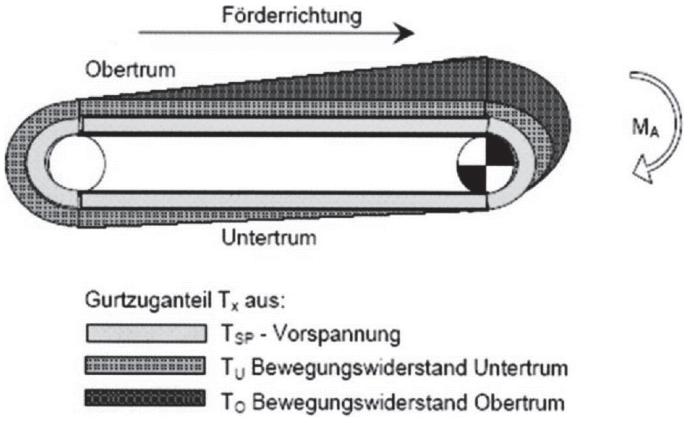


Abb. Fb-12: Spannung und Bewegungswiderstand einer Bandanlage bei einem gezogenen Band [15]

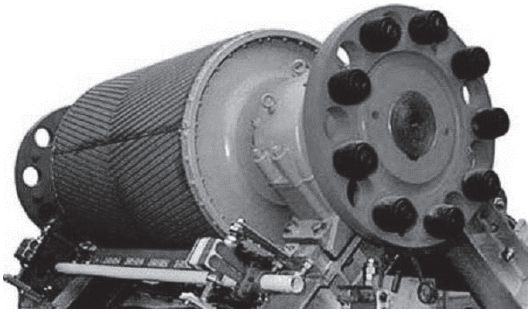


Abb. Fb-13: Antriebstrommel einer Bandanlage [15]

Abb. Fb-14: Bandanlage bei der Beladung [V37]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-15: Lastraupe unter einer Bandantriebsstation mit der Größe eines Einfamilienhauses [V37]

Der Bandsammelpunkt bleibt über Jahrzehnte an derselben Stelle des Tagebaus. Doch wie die Bagger und Absetzer müssen auch die Bandanlagen und ihre Antriebsstationen immer wieder den Standort wechseln. Diesen Vorgang bezeichnet man bei den Bandanlagen als Rücken.

Dafür setzt man spezielle Raupen mit Kranausleger ein, z. B. im Rohrleitungsbau. Zwei oder mehrere dieser Rohrverlegerraupen heben die Bandanlage an einer seitlichen Schiene an und zerren sie in mehrfacher Vorbeifahrt in die neue Lage.
Besonders im Winter, wenn die Tragkonstruktionen angefroren sind, ist hierzu ein enormer Aufwand (z. T. auch Handarbeit) erforderlich.

Die Bandanlagen der Gewinnungsseite führen zu einem Bandsammelpunkt. Dort kreuzen sie die Bänder, die zu den Absetzern, dem Kohlenbunker oder den Kohleverladungen führen.

Abb. Fb-16: Förderbandrücken mit sog. Kranraupen [V37]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-17: Bandsammelpunkt Garzweiler [V37]

Am Knotenpunkt kann jedes ankommende mit jedem abgehenden Band verbunden werden: Die Mitarbeiter der Betriebsüberwachung (BÜ) – das ist gleichsam die Schaltzentrale des Tagebaus – können den Materialstrom wie auf einem Verschiebebahnhof flexibel und gezielt lenken. Abraum und Kohle werden per Knopfdruck auf die weiterführenden Förderstrecken verteilt und so zu den Empfängern – Absetzern, Kraftwerk, Zugbeladung oder Kohlebunker – dirigiert. Das sorgt dafür, dass die Belieferung der Verbraucher von Kohle ununterbrochen sichergestellt ist.

Der Transport erfolgt heute ausschließlich über Förderbänder mit einer Breite bis zu 2,80 m. Die Fördergeschwindigkeit der Bänder beträgt bis zu 7,5 m/s.

Die rund 500 Mio. m^3 Abraum, die pro Jahr im Revier anfallen, werden über die gleichen Bandtrassen zu riesigen Absetzern geschickt, die das Material in den ausgekohlten Bereichen der drei Tagebaue verkippen.

2006 stand Deutschland mit einer jährlichen Förderung von 173,3 Mio. t Braunkohle an der Spitze der Weltproduktion (vor China mit 100 Mio. t).

- **Bahnbetrieb**

Für den Übergang von Förderband auf Zugtransport betreiben die Tagebaue Zugbeladeanlagen. Sie sind das Bindeglied zwischen der kontinuierlich liefernden Bandanlage und den naturgemäß in zeitlichen Abständen verkehrenden Zügen (diskontinuierliche Abförderung).

Die Tagebaue Garzweiler und Hambach sind per Bahn mit den Kraftwerken Niederaußem, Neurath, Frimmersdorf und Goldenberg verbunden. Zusätzlich beziehen die Kohlenverarbeitungsbetriebe Fortuna Nord, Frechen und Ville/Berrenrath ihren Rohstoff über die Werksbahn.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-18: Die betriebseigene Schwerlastbahn bringt die gewonnene Braunkohle von den Kohlebunkern zu den Kraftwerken. [V37]

Auch das Technikzentrum Tagebaue bei Frechen hat einen Gleisanschluss. Hauptstrecken sind die Nord-Süd-Bahn und die Hambachbahn, auch „Schlagadern des Reviers“ genannt.

Das gut 32 km lange Doppelgleis der Nord-Süd-Bahn verbindet Frimmersdorf im Norden mit dem Hürth-Knapsacker Industriegebiet im Süden. Die Fahrt mit dem üblichen Tempo von 60 km/h dauert etwa eine Dreiviertelstunde. Ein 22 km langer, ebenfalls zweigleisiger Abzweig führt in etwa halbstündiger Fahrt zum Tagebau Hambach (Hambachbahn). Der Bahnbetrieb verfügt über 30 Elektrolokomotiven, 14 Diesellokomotiven und ca. 700 Waggons. Das Schienennetz erstreckt sich über 300 km. Jedes Jahr transportiert die Werksbahn rund 60 Mio. t Rohkohle.

Die Züge werden in den Tagebauen halbautomatisch beladen. Sie durchfahren eine Beladebrücke, auf der ein Förderband verläuft. Kohle, Abraum oder Löss werden durch Trichter von oben in die Waggons gefüllt. In diesem Bereich verlaufen die Fahrleitungen seitlich des Zuges. Da der Lokführer von der Spitze aus die Beladung nicht beobachten kann, wird sein Zug während des etwa 14 Minuten dauernden Vorgangs vom Beladewärter funkferngesteuert.

Die Fabrik-Anschlussbahnen transportieren jährlich etwa 1 Mio. t Veredlungsprodukte in Wagen nach Bauart der Deutschen Bahn.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-19: Kohlenzug der Werksbahn auf dem Kohlebunker des Kraftwerks Neurath [V37]

RWE Power stellt sie zu Zügen zusammen und übergibt sie externen Eisenbahnverkehrsunternehmen, wie der Deutschen Bahn, dem Häfen- und Güterverkehr Köln oder der Neusser Eisenbahn, zum Weitertransport zu den Kunden.

Der Eisenbahnbetrieb gehört – nicht zuletzt auf Grund der hohen Transportleistung – zu den größten Privatbahnen Deutschlands. Auch im internationalen Vergleich ist der Eisenbahnbetrieb von RWE Power angesichts der hohen Achslasten bis zu 35 t eine der größten Schwerlastbahnen der Welt. Zwar könnten Züge des öffentlichen Netzes auch auf RWE-Gleisen rollen, weil beide Systeme eine Spurbreite von 1.435 mm haben, jedoch ist der Einsatz der Kohlen- und Abraumzüge auf öffentlichen Netzen nicht möglich, da die Waggons zu breit sind und das öffentliche Schienennetz nicht für den hohen Achsendruck von 35 t ausgelegt ist.

3.2.1.4 Verkippungsseite

- **Bandschleifenwagen**

Der Bandschleifenwagen ist ein dem Absetzer vorgeschaltetes eigenständiges Tagebaugerät. Er kann die Abraummassen an beliebiger Stelle vom Förderband nehmen und übergibt sie mit einem Ausleger aus Stahlfachwerk an den Absetzer. Sowohl der Absetzer als auch der Bandschleifenwagen bewegen sich auf Raupen entlang der Bandanlage.

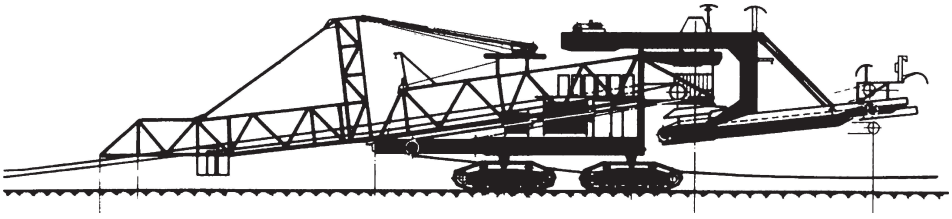


Abb. Fb-20: Raupengestützter Bandschleifenwagen [V37]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-21: Bandabsetzer mit Bandschleifenwagen auf der Verkippungsseite: Hier verteilen Absetzer den Abraum, also Kies, Sand und Ton, und bereiten den Boden für die spätere Rekultivierung vor. [V37]

- **Absetzer**

Absetzer sind die Gegenstücke zu den Schaufelradbaggern. Was die Bagger auf der Gewinnungsseite des Tagebaus an Abraum abgetragen haben, verteilen die Absetzer in bereits ausgekohlten Tagebaubereichen.

Der Absetzer arbeitet i. d. R. in Verbindung mit einem Bandschleifenwagen.

Über mehrere Förderbänder des Absetzers gelangt der Kies, Sand oder Ton auf den bis zu 80 m langen, höhenverstellbaren und schwenkbaren Abwurfausleger. Von dort aus stürzt der Abraum auf die Kippe. Jeder Absetzer wird von fünf Mitarbeitern bedient und kann täglich bis zu 240.000 m^3 Erdmassen verteilen – und zwar auf den Punkt genau. Die Verfüllung erfolgt nach einem bestimmten Plan entsprechend der Bodenart. Näheres hierzu im Abschnitt „Rekultivierung“.

Der leistungsstärkste Absetzer ist das RWE Power-Gerät Nr. 757 mit einer Tagesleistung bis zu 240.000 m^3/d. Das Dienstgewicht beträgt 5.350 t bei einer Bandbreite von 3,20 m und einer Gesamtlänge von 180 m.

7541014/10787806875Biblio

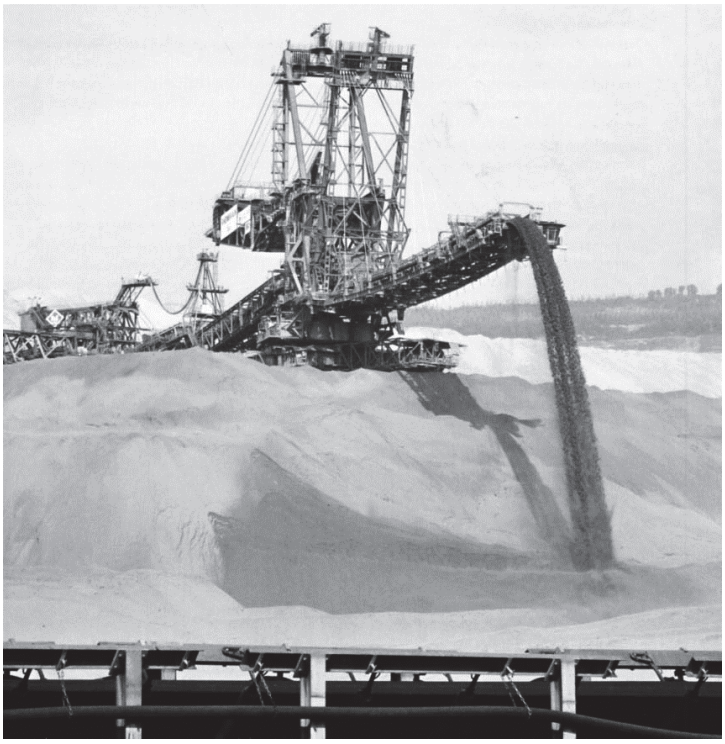


Abb. Fb-22: Absetzer bringt den Abraum in den ausgekohlten Bereich ein. [V37]

3.2.1.5 Kohlebunker

Die Kohle gelangt zunächst über kilometerlange Förderbandtrassen in den Kohlebunker auf dem Tagebaugelände, um von dort nach und nach mit der unternehmenseigenen Schwerlastbahn in die Kraftwerke und Veredelungsbetriebe von RWE Power zwischen Grevenbroich im Norden und Hürth im Süden des Reviers transportiert zu werden.

Die Kohleversorgung von Kraftwerken und Veredelungsbetrieben muss gewährleistet sein – auch wenn Bagger oder Förderwege durch eine Störung ausfallen sollten oder im Tagebau Ruhetag ist. Zu diesem Zweck lagern erhebliche Vorräte in Kohlebunkern. Diese Speicher ermöglichen nicht nur eine fortlaufende Versorgung der Verbraucher. Sie erlauben auch eine Trennung oder Mischung des Rohstoffs Kohle nach unterschiedlichen Qualitäten, was zum Beispiel den Asche- und Schwefelgehalt und damit die Eignung als Kraftwerks- oder Brikettierkohle angeht.

Der Kohlebunker liegt als bis zu 800 m langer, unter Umständen in Bunkerschiffe längsgeteilter Graben vor der Zugbeladung bzw. dem Kraftwerk. Die Kohle wird per Förderband angeliefert.

Bandschleifenwagen mit Gleisfahrwerken verkippen die Kohle in den Bunker. Der Ausleger des Bandschleifenwagens hat eine dem Bunker entsprechend große Reichweite, so dass kein zusätzlicher Absetzer benötigt wird.
Sogenannte Aufnahmegeräte entnehmen die Kohle aus den Bunkern. Früher wurden dazu Eimerkettenbagger eingesetzt; dies wird heute noch im Tagebau Inden praktiziert.

7541014/10787806875Biblio

Nachdem die ersten Schaufelradbagger in Betrieb gegangen waren, entwickelten die Ingenieure auch Schaufelrad-Aufnahmegeräte in verschiedenen Ausführungen. Im Rheinischen Braunkohlenrevier sind hauptsächlich Aufnahmegeräte in Brückenbauweise im Einsatz. Sie haben im Prinzip zwei Komponenten: zum einen eine Fachwerkkonstruktion, die jeweils ein Schiff im Kohlebunker wie ein Portal überspannt und auf zwei Stützen und Schienenfahrwerken fahren kann; zum anderen einen ausfahrbaren Schaufelradausleger, der mit der Fachwerkkonstruktion durch ein Gelenk verbunden ist und von einer Hubwinde gehoben und gesenkt werden kann. Zwei solcher Aufnahmegeräte arbeiten zum Beispiel im Tagebau Garzweiler.

Ein anderer Gerätetyp ist im Kohlebunker des Tagebaus Hambach eingesetzt – ein sogenanntes Haldenaufnahmegerät mit schwenkbarem Oberbau. Aussehen und Arbeitsweise sind vergleichbar mit denen eines Schaufelradbaggers, der hier jedoch auf Schienen fährt.

Die einzelnen Komponenten des Haldenaufnahmegeräts sind: das Schaufelrad und der Schaufelradausleger; der Oberbau mit Pylon und Gegengewichtsausleger und Hubwinde zum Heben und Senken des Schaufelradauslegers; der Unterbau, auf dem der obere Teil über eine Kugelbahn (Drehkranz) drehbar gelagert ist; das Gleisfahrwerk.

Das Haldenaufnahmegerät-Nr. 810 hat folgende technische Daten:

Gerätetyp:	Brückenaufnahmegerät
Förderleistung:	120.000 t/d
Dienstgewicht:	1.630 t
Schaufelrad-Ø:	14,2 m
Installierte Leistung:	2.000 kW

- **Energieversorgung**

Energie verbrauchen besonders die elektrischen Antriebsmotoren der Bandanlagen und der Großgeräte (Bagger, Absetzer und Bandschleifenwagen). Leitungen, die mit eingebauten Kabeltrommeln auf- und abgewickelt werden, liefern den Großgeräten die Energie. Die Elektromotoren sind standardisiert und erreichen Leistungen von maximal 2.000 kW pro Motor.

Die Bandanlagen sind mit einer Antriebsleistung von maximal 6 mal 2.000 kW ausgerüstet. Ein Bagger der 240.000er Klasse kommt auf 20.000 kW.
Sie sind auf etwa 150 Einzelantriebe aufgeteilt, zum Beispiel zum Drehen des Schaufelrades, Heben und Senken des Schaufelradauslegers, Schwenken des Baggeroberbaus, Fahren des Geräts, Betreiben der Geräteförderbänder, Antreiben der Kräne und zum Betrieb sonstiger Aggregate (Ölpumpen, Lüfter, Winden usw.). Außerdem wird Leistung für die Beleuchtung des Baggers und das Beheizen von Räumen, Löschwassertanks und Getrieben benötigt.

Über kilometerlange Leitungen werden die Großgeräte und Bandanlagen mit elektrischer Energie versorgt. Allein ein Schaufelradbagger der 240.000er Klasse verbraucht täglich im Durchschnitt 200.000 kWh – den Strom einer Kleinstadt mit 17.000 Einwohnern. Doch die Zahl täuscht: Das gesamte Unternehmen Rheinbraun verbraucht nur 3,5 % der elektrischen Energie, die es mit der Braunkohlegewinnung erwirtschaftet.

7541014/10787806875Biblio

Anstieg der installierten Leistung bei der Entwicklung der Schaufelradbagger [V37]

RWE Power-Geräte-Nr.	272		286		292	
Baujahr	1958		1974		1991	
Tagesförder-leistung (fm^3)	60.000		110.000		240.000	
Antrieb	Anzahl d. Motoren	Leistung (kW) ges.	Anzahl d. Motoren	Leistung (kW) ges.	Anzahl d. Motoren	Leistung (kW) ges.
Schaufelrad	2	720	3	1.650	3	5.040
Schaufelrad-hubwinde	2	360	2	900	4	2.520
Schwenkwerk	2	120	2	260	4	440
Fahrwerk (Hauptgerät)	6	420	12	1.560	12	2.160
Förderbänder	7	1.465	8	3.160	12	7.160
Gesamt	19	3.085	27	7.530	35	17.320

Weitere Energieverbraucher eines Schaufelradbaggers sind:

- Betreiben der Geräteförderbänder,
- Antrieb der Kräne,
- Antrieb sonstiger Aggregate (Ölpumpen, Lüfter, Winden usw.),
- Beleuchtung des Baggers,
- Beheizen von Räumen und sonstigen Einrichtungen.

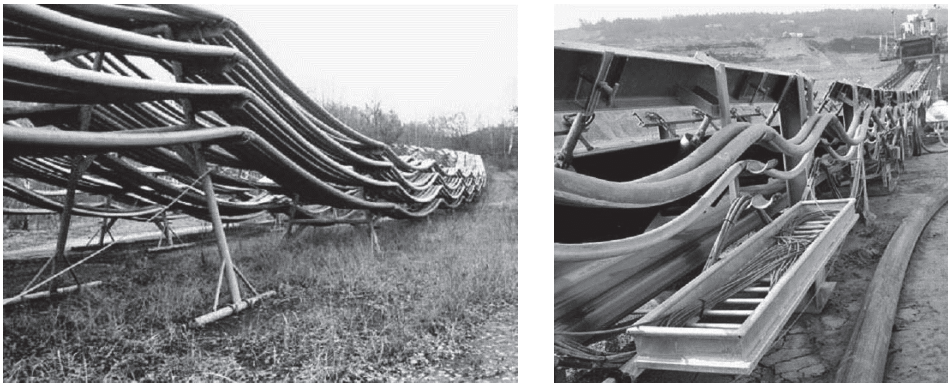


Abb. Fb-23: Stromversorgungskabel – links: Kabeltrasse – rechts: Führung an einer Bandanlage [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.3 Immissionsschutz

Gezielte Maßnahmen mindern die Staub- und Lärmentwicklung aus dem Tagebau und minimieren damit die Belästigung der in Nachbarschaft zum Betrieb lebenden Menschen.

Dazu dienen nicht nur bewegliche Wenderegner, Sprühmastgalerien oder Immissionsschutzwälle, sondern auch einige technische Vorkehrungen an den Tagebaugeräten und -anlagen.

Antriebe von Baggern, Absetzern und Bandanlagen werden so konstruiert, dass sie möglichst leise laufen. Wenn nötig, werden sie darüber hinaus geräuschdämmend gekapselt. Die Bandanlagen werden mit lärmoptimierten Rollen ausgerüstet. Sie sind mit höchster Präzision gefertigt und laufen gleichmäßig und damit vergleichsweise ruhig.

Zur Staubbekämpfung sind an den Schaufelrädern und den Bandübergabestellen vieler Großgeräte Wasserdüsen angebracht. Sie versprühen ständig Wasser und verhindern, dass der bei Gewinnung und Transport der Kohle entstehende Staub aufwirbelt. Auf diese Weise versprüht allein Schaufelradbagger 293 im Tagebau Hambach rund 1.000 l Wasser pro Minute. Bei der Konstruktion der Geräte wird außerdem von vornherein berücksichtigt, dass möglichst wenig Staub entstehen kann. Falls das nicht zu verhindern ist, werden die betroffenen Geräte so weit wie möglich eingehaust.

Trotz aller Anstrengungen kann es bei ungünstigen Wetterlagen, etwa bei Stürmen oder Gewittern nach langer Trockenheit, zu einem unvermeidbaren und lästigen Austrag von Grobstaub aus dem Tagebau kommen. Ebenso sind die Feinstaubemissionen des Tagebaus, die ein Viertel zum regionalen Aufkommen beitragen, trotz großer Fortschritte in den vergangenen Jahren nicht auf null reduzierbar. Die Vermeidung und Bekämpfung von Staub ist deshalb eine der Hauptaufgaben des Betriebes.

Abb. Fb-24: Beispiel für eine Sprühanlage [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.4 Grundwasserabsenkung

Neben den sonstigen vorbereitenden Maßnahmen, wie Erkundung, Grunderwerb, Vermessung, Genehmigungsverfahren u. a., stehen zu Beginn der eigentlichen Abbaumaßnahme die Grundwasserabsenkung und die Wasserhaltung.
Das gilt mit Ausnahme des Salzbergbaus bei allen Untertagebetrieben. Die Beherrschung des Grubenwassers gehörte z. B. im Erzbergbau zu den wichtigsten Aufgaben. Hier wurden bereits im Mittelalter immer wieder neue Techniken entwickelt, bis mechanisch angetriebene Pumpen zur Verfügung standen.

Braunkohle wird im Tagebau gewonnen, da die lockeren Sand- und Kiesschichten des Reviers keine sichere Untertageförderung zulassen, wie man sie von den Zechen des Ruhrgebiets kennt.

Bevor ein Tagebau begonnen werden kann, muss das Grundwasser großflächig abgesenkt werden. Auch während des Betriebs wird der Untergrund entwässert, um das Eindringen des Grundwassers in die Tagebaue zu verhindern.

Der Bohr- und Wasserbetrieb von RWE Power – in der Region vor allem unter der Abkürzung „BOWA“ bekannt – entstand 1958 durch die Zusammenfassung sämtlicher wasserwirtschaftlicher Aktivitäten der damaligen Braunkohlenunternehmen.

Damals stand die bergbauliche Wasserwirtschaft vor großen Herausforderungen. Aus den Kohlegruben wurden Tagebaue. Es galt, für den stark wachsenden Energiebedarf die tiefer liegenden Teile der Lagerstätte zu erschließen. Dafür mussten neue Techniken in ganz neuen Größenordnungen entwickelt und eingeführt werden, z. B. Schaufelradbagger und eine Schwerlast-Werksbahn.

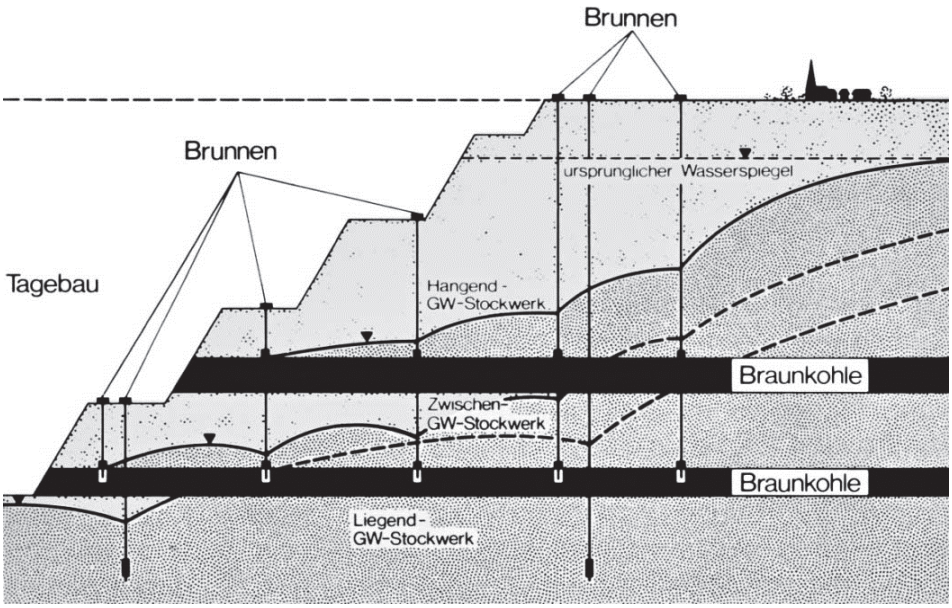


Abb. Fb-25: System der Grundwasserabsenkung (schematische Darstellung) im Braunkohlentagebau [2]

7541014/10787806875Biblio

Und so, wie sich das Verhältnis von Abraum zu Kohle verschlechterte, änderte sich auch das Verhältnis von Abraum zu Wasser: Immer mehr Wasser musste zur Gewinnung einer Tonne Braunkohle gehoben werden.
Immer mehr Wasser wurde aber auch für die Versorgung der wachsenden Zahl der Kraftwerksblöcke gebraucht.
Aus der bergmännischen Grubenentwässerung wurde die Sümpfung. Aus traditionellen Mitteln wurden fortschrittliche Techniken.
Aus dem Umgang mit dem damals bergmännisch so genannten „Störstoff-Wasser" wurde ein komplexes Management, das das kostbare Gut Wasser nicht nur abpumpt, sondern für unterschiedlichste Zwecke an unterschiedlichsten Orten bereitstellt.

Am Anfang vieler wasserwirtschaftlicher Prozesse stehen Bohrungen. Mit Pegelbohrungen dringt die BOWA in Grundwasser führende Schichten ein und misst den Wasserstand. Dazu werden in die Bohrlöcher Stahlrohre eingebaut, in denen der Grundwasserspiegel beispielsweise mit einem elektrischen Lot bestimmt werden kann. An solchen Messstellen können auch Proben zur Bestimmung der Grundwasserqualität entnommen werden.

Die BOWA führt pro Jahr etwa 50 Pegelbohrungen mit einer Gesamtlänge von knapp zehn Kilometern aus.

Der Erkundung der Braunkohlenlagerstätte dienen Untersuchungsbohrungen. Hier werden mit geophysikalischen Messungen Erkenntnisse über die Kohle und ihr Deckgebirge gewonnen. An bestimmten Stellen werden mit Hilfe von Bohrkernen Bodenproben entnommen. An ihnen können die Geologen Qualität und Zusammensetzung der Braunkohle erkennen. Etwa 70 Untersuchungsbohrungen mit einer Gesamtlänge von rund 20 km werden jedes Jahr im rheinischen Revier niedergebracht.

Mit rund 200 Bohrungen pro Jahr und einer Gesamtlänge von mehr als 30 km sind Brunnen die weitaus größte Aufgabe im Arbeitsprogramm der BOWA. Sie werden angelegt, um Grundwasser zu heben und auf diese Weise einen Tagebau zu entwässern bzw. – wie es in der Fachsprache heißt – zu sümpfen.

3.4.1 Bohrverfahren

3.4.1.1 Druckspülbohrverfahren (Rotarybohrverfahren)

Bei jeder Art von Bohrung setzt die BOWA fortschrittliche, effiziente Verfahren ein, die möglichst gering in die Landschaft eingreifen.

Das Druckspülbohrverfahren wird bei Pegel- und Untersuchungsbohrungen eingesetzt, die mit maximal 300 mm einen wesentlich geringeren Durchmesser als Brunnenbohrungen aufweisen.

Das drehende Bohrverfahren, heute in der Tiefbohrtechnik als Rotarybohren bezeichnet, wurde bereits 1844 von dem Engländer Robert Beart zum Patent angemeldet und in der Folgezeit ausschließlich für Bohrungen in weichen Formationen zur Wasser- und Solegewinnung, vor allem in Pennsylvanien und Texas, eingesetzt. 1900 untersuchte Anthony Lucas die Gasaustritte am Spindletop bei Beaumont in Texas, wobei er das bis dahin übliche Schlagbohrverfahren einsetzte, wenngleich Schwimmsande seine Bemühungen, ein stabiles Bohrloch zu erstellen, immer wieder zunichtemachten.

7541014/10787806875Biblio

Die Gebrüder Hamill aus Corsicana im Nordwesten setzten die Bohrarbeiten mit einer Drehbohranlage fort. Die erfahrenen Solebohrer hatten tatsächlich Erfolg, so dass am 10. Januar 1901 der berühmte Spindletop-Gusher, ein Blowout, stattfand, der für die gesamte Tiefbohrtechnik eine Signalwirkung hatte. Trotzdem dauerte es noch gut 25 Jahre, bis die Rotarybohrtechnik weltweit bekannt wurde. So wurde die erste Rotarybohrung in Deutschland erst im Jahr 1925 von der ITAG bei Nienhagen, Kreis Celle, abgeteuft. In den folgenden 25 Jahren stellte sich die Bohrindustrie nach und nach auf die neue Technik um, wobei zunächst erst einmal die benötigten Rotary-Bohranlagen gebaut werden mussten.

Ein Umrüsten der vorhandenen Schlagbohranlagen stellte sich schnell als nicht praktikabel heraus. Erst ab den 1950er Jahren kam es dann zu Verbesserungen von Technik und Equipment. Trotzdem hinkte die Tiefbohrtechnik noch ganz entscheidend hinter der Entwicklung anderer Techniken her, denn erst ab etwa 1980 kann von einer signifikanten Innovation im Bereich Tiefbohrtechnik gesprochen werden, die auch heute noch nicht abgeschlossen ist.

Ausschlaggebend hierfür war und ist die zwingende Notwendigkeit, die vorhandenen Energiequellen so kostengünstig wie möglich zu erschließen, zumal die Reservoire immer schwieriger und damit immer teurer zu erschließen sind, wobei nicht zuletzt die hohen Umwelt- und Sicherheitsanforderungen eine entscheidende Rolle spielen. Nicht von ungefähr ist die Bohrindustrie eine der sichersten Industrien überhaupt mit der mit Abstand niedrigsten Unfallziffer. Und da die Bohrkosten im Bereich von 50 % und mehr der Gesamt-Erschließungskosten von Lagerstätten anzusiedeln sind, müssen hier ganz besondere Anstrengungen unternommen werden, um die Bohrtechnik effizienter und wirtschaftlicher zu machen.

Abb. Fb-26: Der Geologe wertet die Bohrkerne aus. [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.4.1.2 Prinzip des Rotarybohrens

Beim Rotarybohren wird ein hohles Bohrgestänge aus jeweils 9 m langen, nahtlosen Gestängerohren, mehrzöllig im Durchmesser und aus fingerdickem, hochvergütetem Stahl eingesetzt. Am unteren Ende befindet sich das Bohrwerkzeug (Rollenmeißel, Diamantbohrwerkzeug, PDC-Werkzeug, Kernkrone), über Tage der Spülkopf, der über Spülschlauch und Steigleitung mit den Spülpumpen verbunden ist.

Als Spülpumpen werden heute in der Tiefbohrtechnik ausschließlich einfach wirkende Triplex-Kolbenpumpen eingesetzt, die die Spülung aus dem Saugtank der Tankanlage über den Spülkopf in den Bohrstrang pressen.
Der Bohrvorgang wird durch mehrere Messgeräte überwacht und gesteuert. Hierbei ist die elektronische Datenverarbeitung bis hin zur Datenfernübertragung unerlässlich.

Im Spülkopf wird das stationäre übertägige Leitungssystem in ein rotierendes System, den Bohrstrang, umgesetzt, wobei zu bedenken ist, dass die Spülung unter Hochdruck steht, so dass hier ein kompliziertes Dichtungssystem zum Einsatz kommen muss, das auch die Stranglast von mehreren tausend kN zu kompensieren hat.

Am Bohrwerkzeug tritt die Spülung in der Regel durch Düsen aus, so dass auf der Bohrlochsohle eine hohe Querströmung entsteht, mit der das erbohrte Gestein, die Cuttings, fortgespült werden.

Anschließend steigt die Spülung, beladen mit den Cuttings, im Ringraum zwischen Bohrstrang und Bohrlochswand auf und tritt über Tage aus dem Bohrloch aus.

Über ein Rohr oder eine Rinne gelangt sie zu den Schüttelsieben, wo die groben Gesteinspartikel abgeschieden werden, und weiter über die übrigen Feststoffabscheidegeräte wie Hydrozyklone (Desander, Desilter, Zentrifugen), wo eine Feinabscheidung erfolgt. Von dort gelangt die Spülung wieder in den Saugtank und somit zurück in den Kreislauf. Die Cuttings werden dadurch erzeugt, dass die Schneidelemente (Zähne oder Hartmetallstifte bei Rollenmeißeln, Diamantschneiden) unter hohem Druck in das Gestein an der Bohrlochsohle eindringen und infolge der Drehbewegung die Gesteinspartikel aus der Sohle herausbrechen.

Die hierfür benötigte Belastung erhalten die Bohrwerkzeuge durch den Bohrstrang. Dieser hängt über Tage an einem Flaschenzug und wird soweit entlastet, dass ein bestimmtes Gewicht auf das Werkzeug wirkt. Um den Strang jedoch am Ausknicken zu hindern, wird die Belastung des Bohrwerkzeugs nur von dem unteren Strangteil erzeugt.

Hier befinden sich die sog. Schwerstangen, Bohrstangen mit besonders großer Wandstärke und damit großen Massen, die auf Axialdruck belastet werden können. Seinen Namen hat die Rotarybohrtechnik davon bekommen, dass der Bohrstrang von einem Drehtisch (heute vielfach von einem sog. Topdrive) von über Tage aus in Rotation versetzt wird.

Beim Drehtischantrieb wird jeweils auf das obere Ende des Bohrstranges eine Mitnehmerstange (Kelly) angeschraubt, die einen hexagonalen (sechseckigen) Querschnitt hat und von entsprechenden Keilen im Drehtisch in Rotation versetzt wird. Beim Topdrive befindet sich der Motor, der die Drehbewegung erzeugt, als oberer Abschluss auf dem Bohrstrang. Diese Technik wird auch heute noch praktiziert, wenngleich verschiedentlich auch von der Spülung angetriebene Turbinen oder verstärkt Exzenterschneckenmotoren (Moineaumotoren) eingesetzt werden.

7541014/10787806875Biblio

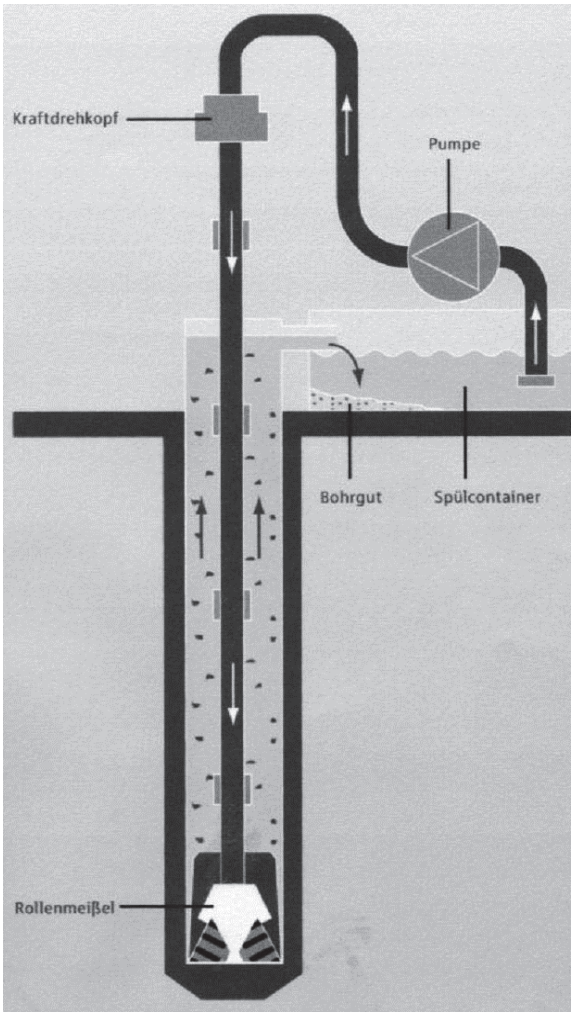


Abb. Fb-27a:
Druckspülbohrverfahren – schematische Darstellung [V37]

3.4.1.3 Lufthebebohrverfahren

Da aus Brunnen möglichst viel Wasser gefördert werden soll, sind bei Brunnenbohrungen größere Bohrdurchmesser bis zu 1.700 mm erforderlich.

Für derartig große Durchmesser wird das Lufthebebohrverfahren eingesetzt.

Dabei wird die Bohrspülung – ein Gemisch aus Wasser und Ton (Bentonit) – mit einer Pumpe unter Druck zum Bohrmeißel gepumpt, und zwar innerhalb des Bohrgestänges. Spülung und gelöstes Bohrgut steigen im Bohrloch nach oben und gelangen in einen Spülcontainer, wo sich das aus festen Stoffen bestehende Bohrgut absetzt, während die gereinigte Spülung wieder zum Meißel gepumpt wird.

7541014/10787806875Biblio

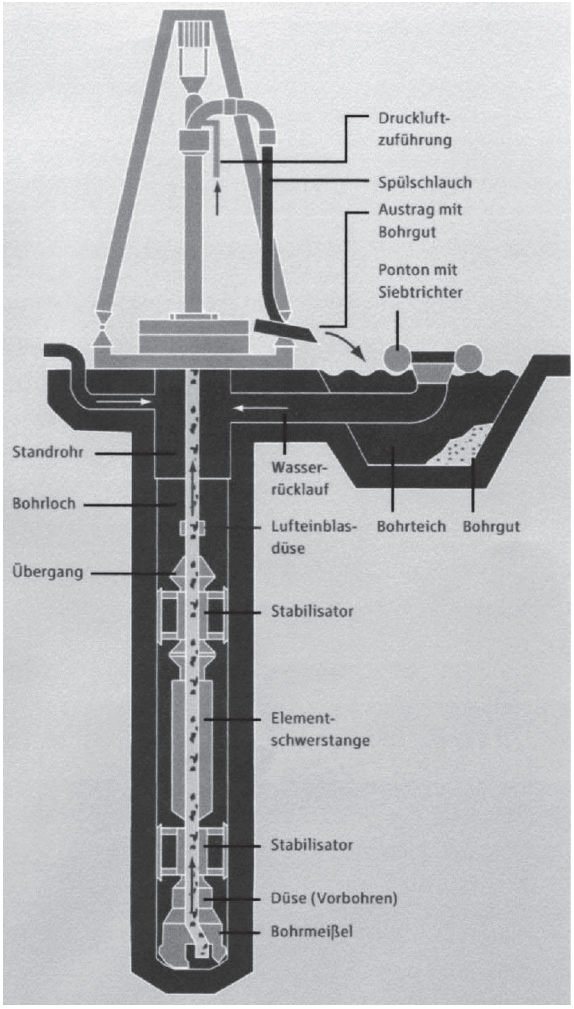


Abb. Fb-27b: Lufthebebohrverfahren – schematische Darstellung [V37]

Hierbei fließt ständig Wasser in das Bohrloch, während die rotierenden Köpfe des Bohrmeißels in das Erdreich eindringen. Der Druck des Wassers verhindert, dass die Wände des Bohrlochs einbrechen. Die ständige Strömung des Wassers kühlt den Bohrmeißel und spült das abgelöste Material durch das Bohrgestänge hindurch an die Oberfläche.

An dieser Stelle setzt die Lufthebung ein, denn tief im Bohrloch wird Druckluft in das Bohrgestänge eingeblasen. Dank der Luft wird das Gemisch aus Wasser und Bohrgut innerhalb des Gestänges leichter als das einströmende Wasser außerhalb des Gestänges.
Die Folge: Das Gemisch steigt nach oben und landet in einem Teich, wo sich das Bohrgut absetzt, während das Wasser kreislaufartig erneut in das Bohrloch fließt.

7541014/10787806875Biblio

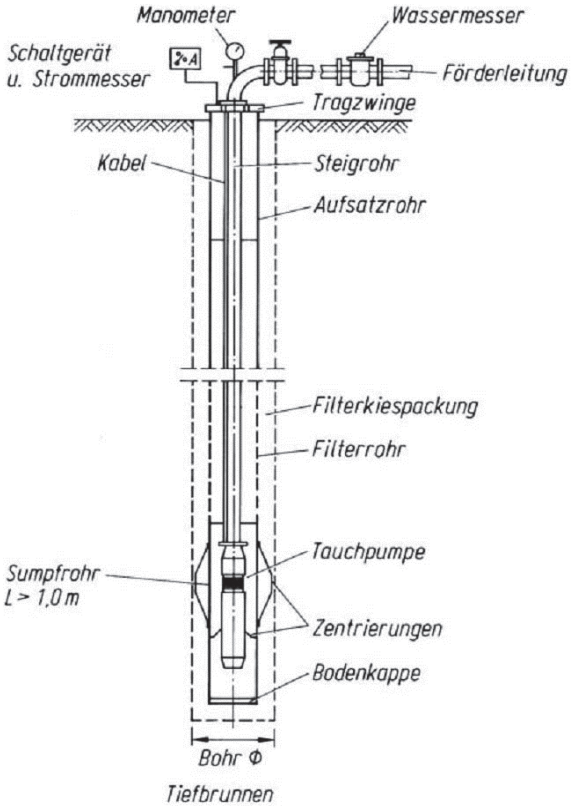


Abb. Fb-28: Details eines Filterbrunnens [2]

3.4.1.4 Sonderentwässerungsverfahren

- **Schluck- und Sickerbrunnen**

Schluck- und Sickerbrunnen stellen Sonderformen der Entwässerung dar, die unter bestimmten geologischen Verhältnissen zur Anwendung gebracht werden können. Als Schluckbrunnen bezeichnet man mit Voll- und Filterrohr ausgebaute Bohrungen, mit deren Hilfe Oberflächenwasser in tiefer liegende Grundwasserleiter abgeleitet werden kann.

Voraussetzungen für die Anwendung von Schluckbrunnen bilden die ausreichend große Durchlässigkeit und Aufnahmefähigkeit des Grundwasserleiters, in den das Wasser eingebracht werden soll, sowie eine ausreichend große Wasserspiegeldifferenz zwischen dem aufnehmenden Grundwasserleiter und der Ableitungsebene.

Die gleichen Voraussetzungen gelten für die Anwendung von sog. Sickerbrunnen. Hierbei ist die Wasserspiegeldifferenz zwischen aufnehmendem und abgebendem Grundwasserleiter maßgeblich. Mit Hilfe von Sickerbrunnen kann Wasser aus einem Grundwasserleiter in einen tiefer liegenden Grundwasserleiter abgeleitet werden.

Sinnvoll ist diese Sonderform der Entwässerung z. B., wenn in den höher liegenden Grundwasserleitern eine Entwässerung erforderlich ist, jedoch so geringe Durchlässigkeiten anzutreffen sind, dass der Betrieb von Filterbrunnen aufgrund von geringen Ergiebigkeiten unwirtschaftlich erscheint.

7541014/10787806875Biblio

- **Horizontalbrunnen und Horizontalbohrungen**

Während bei den vertikalen Entwässerungselementen, z. B. Filterbrunnen, die entwässerungswirksame Filterfläche mit der Absenkung des Wasserspiegels im brunnennahen Raum ständig abnimmt, kann bei horizontalen Entwässerungselementen die gesamte Filterfläche bis zur Absenkung des Wasserspiegels auf das Niveau des Entwässerungselements vollständig genutzt werden. Horizontalbrunnen werden seit Jahrzehnten in der Wasserwirtschaft zur Grundwassergewinnung genutzt. Ein Horizontalbrunnen besteht im Prinzip aus einem Schacht, von dem aus in horizontaler oder leicht ansteigender Richtung Filter- und Vollrohre in die zu entwässernden Schichten gepresst oder gebohrt werden. Der Schacht besitzt dabei die Funktion eines Sammlers, aus dem das gewonnene Grundwasser in der Regel mit Hilfe einer Tauchmotorpumpe gehoben wird. Während des Einpressvorganges werden im filternahen Bereich aufgrund des hydrostatischen Überdrucks im Gebirge feinste Bestandteile der Lockergesteinsmatrix ausgetragen. Der so um das Filterrohr herum entstehende „natürliche“ Filter trägt zur Erhöhung der Brunnenergiebigkeit bei. Aufgrund der hohen Aufwendungen für die Herstellung derartiger Horizontalbrunnen ist deren Anwendung im Rahmen der Tagebauentwässerung jedoch nicht üblich.

Spezielle Einsatzfälle, wie die Sicherung einer dauerhaften Wasserspiegelabsenkung in Vernässungsbereichen oder die Nutzung als hydraulische Barriere in Kombination mit einer Wasseraufbereitung (Altlastsanierung), belegen jedoch die erfolgreiche Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens unter speziellen Bedingungen.

- **Vakuumentwässerung**

Bei der Entwässerung von feinsandig schluffigen Lockergesteinen, wie sie lokal in allen deutschen Braunkohlenrevieren anzutreffen sind, geraten die Methoden der gravitativen Entwässerung an ihre Grenzen.

Speziell unter dem Aspekt der schwer abzubauenden Porenwasserdrucke stellen derartige Böden, sowohl im gewachsenen Gebirge als auch in Kippen, Schwerpunkte in Bezug auf die Standsicherheit von Böschungen dar. Unter diesen Bedingungen bietet der Einsatz der Vakuumentwässerung eine Möglichkeit der Einflussnahme.

Bei der Vakuumentwässerung wird im verfilterten Bohrloch zusatzlich ein Unterdruck erzeugt, der zur Lösung des Wassers aus den Poren mit hohen inneren Bindungskräften beiträgt. Nach Literaturangaben eignen sich Schluffe bzw. schluffige Feinsande mit einem wirksamen Korndurchmesser von 0,003 mm bis 0,03 mm und einem Durchlässigkeitsbeiwert k von 10 m/s bis 5 m/s und 10 m/s bis 7 m/s für die Anwendung der Vakuumentwässerung, die bis in eine Tiefe von maximal 6 m einsetzbar ist. Bei diesem Verfahren werden Filterlanzen in den Boden eingespült. An die Lanzen wird ein Vakuum mittels Vakuumpumpe angelegt und somit das Wasser aus dem Boden gelöst.

7541014/10787806875Biblio

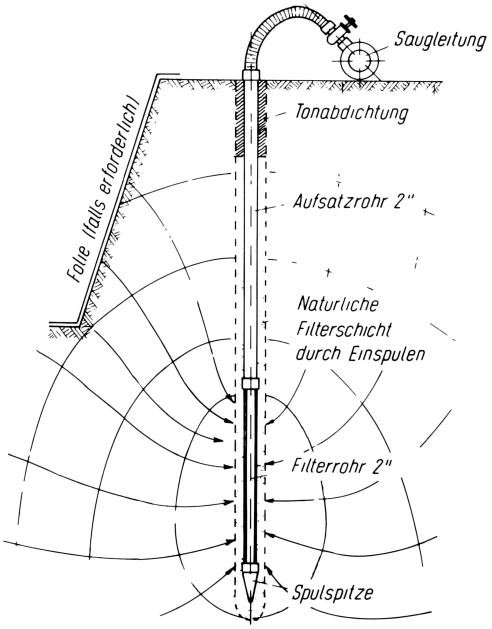


Abb. Fb-29: System der Vakuumentwässerung [2]

- **Tiefendränagen**

Speziell im Zusammenhang mit der Problematik der Standsicherheit von Kippensystemen ergibt sich die Aufgabenstellung, den Grundwasserwiederanstieg so zu beeinflussen, dass kritische Wasserstände im Kippensystem nicht erreicht werden. Entsprechende Effekte lassen sich durch die Anwendung von Tiefendränagen erzielen.
Dazu ist es erforderlich, vor der Verkippung Dränagen im Tagebauliegenden einzubauen, die nach der Verkippung das neu gebildete Grundwasser unter dem Kippensystem abführen.
Aufgrund der enormen Belastung des Liegenden im Verlauf der Verkippung müssen diese Dränagen in Liegendgräben mit ausreichender Dränagekiesüberdeckung eingebaut werden.

Alternativ ist die nachträgliche Herstellung von konventionellen oder verlaufsgesteuerten Horizontalbohrungen möglich. Dabei sind die o. g. Randbedingungen zu beachten.

Ein weiterer Einsatzfall für Tiefendränagen ergibt sich mit der Entwässerung von Grundwasserleitern mit geringer Erdüberdeckung. Mit einer Fräsmaschine können Dränagerohre bis in eine Tiefe von 6 m verlegt werden.

- **Dichtungswände**

Seit Mitte der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts wird in der Lausitz die Dichtwandtechnologie eingesetzt. Ziel ist es,

– die Grundwasserbeeinflussung zu reduzieren und damit grundwasserabhängige Landschaftsteile vor einer Absenkung des Wasserstandes zu schützen,
– die Grundwasserabsenkung auf den unmittelbaren Tagebaubereich zu beschränken und
– die Wasserhebung zu reduzieren.

7541014/10787806875Biblio

Hinweis:
Im Rheinischen Braunkohlenrevier werden Dichtwände nicht eingesetzt. Nähere Beschreibung siehe „Lausitzer Braunkohlenrevier“.

3.4.2 Rohrnetzbau

Mit dem Bau der Brunnen kann die **Tagebausümpfung** noch lange nicht beginnen. Zuvor müssen umfangreiche Rohrleitungen verlegt werden, mit denen das gehobene Grundwasser abtransportiert wird.

Jahr für Jahr verlegt der für den Netzbau verantwortliche Bereich der BOWA rund 40 km Rohrleitungen und Kabel zur Stromversorgung der Tauchmotorpumpen.

Im gleichen Umfang werden regelmäßig die am Tagebau und im Erdreich liegenden Rohrleitungen und Kabel demontiert, damit die Schaufelradbagger weiter die Kohle freilegen können. Die Mitarbeiter des Netzbaues arbeiten somit an einem ständigen Auf- und Abbau eines großflächigen Rohr- und Kabelnetzes von insgesamt rund 750 km Länge. Dabei werden Rohre von 50 mm Durchmesser bis über 1.000 mm Durchmesser je nach Menge der Wasserförderung verlegt.

Abb. Fb-30: Rohrlager [V37]

3.4.3 Pumpen

Sobald die **Sümpfungsbrunnen** gebohrt und die Rohrleitungen verlegt sind, beginnt die eigentliche Entwässerung. Ihr wichtigstes Instrument ist die schon erwähnte Tauchmotorpumpe. Die Pumpe wird in den Brunnen herabgelassen, um später das Grundwasser zu Tage zu fördern. Sie taucht in die Grundwasser führende Schicht ein und pumpt mit Hilfe eines starken Elektromotors das Wasser über Steigleitungen bis zu 450 m Länge an die Oberfläche.

Abhängig von der Fördertiefe und der Menge des Grundwassers kann eine Tauchmotorpumpe bis zu 12 m lang und 12 t schwer sein. Rechnet man Steigleitung und Kabel hinzu, kann das Gesamtgewicht einer derartigen Einheit bis zu 60 t betragen.

In der Pumpenwerkstatt werden pro Jahr 2.000 Pumpen instand gesetzt. Die BOWA betreibt rund 1.500 Sümpfungsbrunnen mit insgesamt 800 km Steigleitungen, um die Tagebaue trocken zu halten.

7541014/10787806875Biblio

Dabei werden aus den unterschiedlichen Grundwasserhorizonten oder -stockwerken insgesamt rund 550 Mio. m³ Wasser gefördert und über das 750 km lange Rohrleitungsnetz abtransportiert. Der größte Teil des Sümpfungswassers (rund 335 Mio. m³) entstammt der sogenannten Erft-Scholle, eine von mehreren geologischen Zonen. Hinzu kommen die Venloer- und die Rur-Scholle, die jeweils 115 bzw. 100 Mio. m³ zur Gesamtmenge des geförderten Grundwassers beitragen.

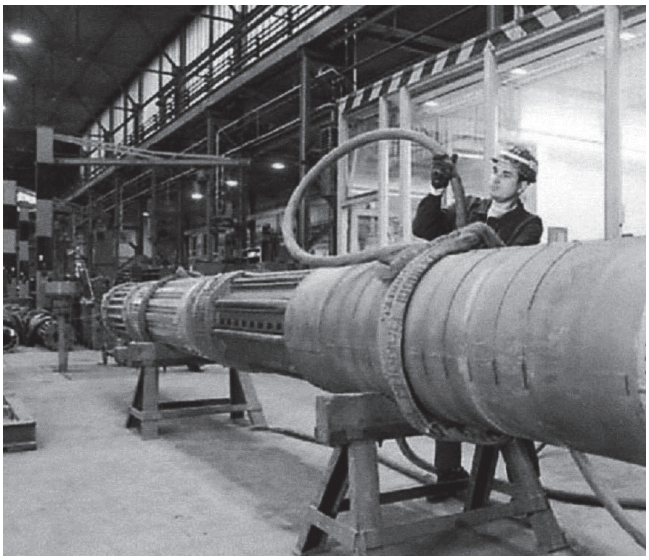


Abb. Fb-31:
Unterwasserpumpen in der Pumpenwerkstatt. Eine Pumpe hat ein Gewicht von bis zu 12 t. Eine Einheit, bestehend aus Pumpe, Kabel und Steigleitung, kann bis zu 60 t wiegen. [V37]

3.4.4 Verwendung des Sümpfungswassers

Rund 160 Mio. m³ Grundwasser werden als sogenanntes Brauchwasser in den Braunkohlenkraftwerken verwendet. Jeder Schaufelradbagger verwendet zur Staubbekämpfung einen m³ Wasser je Minute.

70 Mio. m³ Sümpfungswasser werden in zwei zur RWE Power gehörenden Wasserwerken wie Trinkwasser aufbereitet und als Ökowasser eingesetzt und begrenzen in bestimmten Gebieten die Folgen der Grundwasserabsenkung.
Dazu wird am Rand der betroffenen Gebiete großflächig Wasser versickert, um den Wasserspiegel zu halten.

Durch Sickerschlitze dringt das Wasser in den Boden ein. Ein Sickerschlitz ist üblicherweise 40 m lang, 1 m breit und bis zu 6 m tief. Damit durchstößt er die wasserstauende Lössschicht und erreicht den durchlässigen Untergrund.
Dort kann das Sickerwasser frei zu den Feuchtgebieten fließen, sich unterwegs mit versickertem Regenwasser vermischen und den Wasserspiegel stabilisieren. Ist die wasserundurchlässige obere Erdschicht zu mächtig, setzt man Sickerbrunnen ein.

Die verbleibenden rund 280 Mio. m³ Grundwasser werden mangels Verwendung in die sogenannte Vorflut, das heißt in Flüsse und Bäche der Region, eingeleitet. Der weitaus größte Teil des Wasserübeschusses – etwa 230 Mio. m³ aus der Sümpfung der Tagebaue Hambach und Garzweiler – gelangt in die Erft und später in den Rhein.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-32a: Blick auf eine Absenk-Brunnengalerie – der zuständige Fachingenieur oder Brunnenmeister prüft die Funktion des Brunnens. [V37]

3.4.5 Planung nach dem Ende der Sümpfung

Tagebaue arbeiten sich durch die Landschaft. Mit ihnen ziehen auch die wasserwirtschaftlichen Einrichtungen der BOWA. Früher oder später ist ein Teilbereich eines Tagebaus ausgekohlt. Wo keine Kohle mehr gefördert wird, ist auch keine Sümpfung mehr notwendig. Brunnen werden stillgelegt, Tauchmotorpumpen, Standleitungen und Kabel werden entfernt, Rohrleitungen demontiert.

Jetzt können sich die trocken gelegten Grundwasserhorizonte aufs Neue füllen, was natürlich auch für die mit betroffenen Bereiche außerhalb des Tagebaues gilt. Dieser Prozess setzt in einem regenreichen Gebiet wie der Niederrheinischen Bucht sofort ein, macht sich aber erst nach Jahren bemerkbar. Das ist für Äcker, Wälder und Gärten ohne Bedeutung, weil die Vegetation im Rheinland grundsätzlich vom Niederschlag und nicht vom Grundwasser lebt.

Für Gewässer in der Bergbaufolgelandschaft, wie den Blausteinsee bei Eschweiler, das Peringsmaar bei Bergheim oder die Seen im Naturpark Rheinland bei Brühl, würde die natürliche Regeneration des Grundwassers allein aus dem Niederschlag zu lange dauern. Dort wird sie durch die künstliche Flutung der Seemulden beschleunigt.

Auch dazu wird Wasser aus der Sümpfung verwendet. Dieser Vorgang speist in den ersten Jahren vor allem die trockengelegten Grundwasserhorizonte, lässt aber mit der Zeit auch den Wasserspiegel des Sees ansteigen. Im Rheinischen Braunkohlenrevier sind am Ende der heute laufenden Tagebaue um die Mitte des Jahrhunderts drei große Seen geplant. Für die technische Seite – Wasserversorgung und -aufbereitung, Rohrleitungen und Überwachung – wird die BOWA zuständig sein. Auch dort wird sie wie im Alltagsgeschäft ihr ganzes Know-how und ihre große Erfahrung aus über fünf Jahrzehnten erfolgreicher Arbeit im Wassermanagement einbringen.

3.5 Tagebau Garzweiler

Der Tagebau Garzweiler erstreckt sich zurzeit (Stand 2010) westlich von Grevenbroich bis in das südliche Gemeindegebiet von Jüchen. Zur Sicherung der Energieversorgung wird der Tagebau ab 2006 in westlicher Richtung nahtlos in das 48 Quadratkilometer große Anschlussfeld Garzweiler II fortgeführt.

7541014/10787806875Biblio

Dort lagern in maximal 210 m Tiefe 1,3 Mrd. t Braunkohle, die bis 2044 abgebaut werden sollen und rund 40 Prozent der rheinischen Braunkohlenförderung ausmachen.

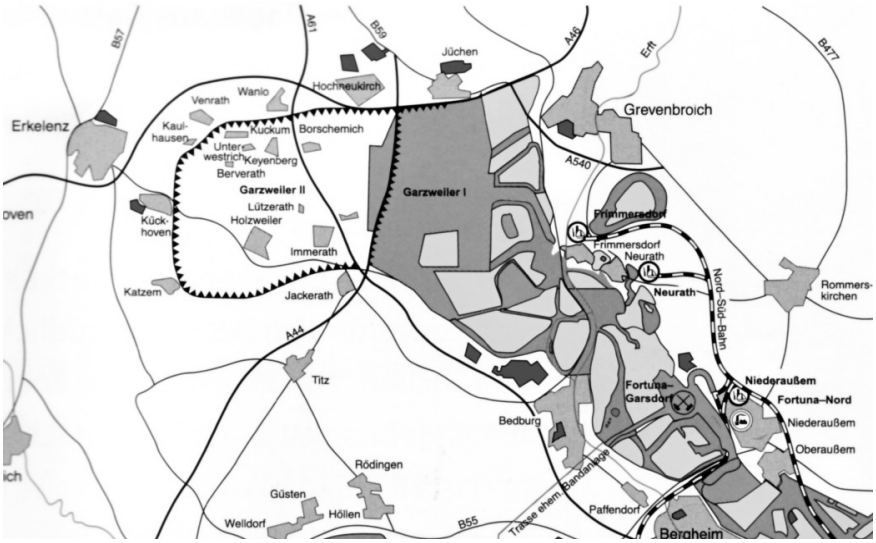


Abb. Fb-32b: Lageplan Tagebau Garzweiler [V37]

3.5.1 Abbautechnik

Die Abbautechnik im Braunkohlentagebau der RWE Power wurde bereits in den Abschnitten 3.3 bis 3.5 ausführlich beschrieben.

Im Weiteren folgen nur für den entsprechenden Tagebau spezifische Ergänzungen.

Markenzeichen des Tagebaus sind auch hier die Schaufelradbagger, darunter die größten Arbeitsmaschinen der Welt. Der größte Bagger des Tagebaus Garzweiler ist 96 m hoch, 240 m lang und 13.500 t schwer und kann täglich so viel Kohle fördern, dass man damit einen fast 30 km langen Eisenbahnzug beladen könnte.

Abb. Fb-33: Der Schaufelradbagger Geräte-Nr. 293 im Tagebau Garzweiler [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.5.2 Rekultivierung

Die Rekultivierung der ausgekohlten Tagebaubereiche hat höchsten Stellenwert. RWE Power verfügt in diesem Bereich über eine Jahrzehnte lange Erfahrung und arbeitet zur stetigen Verbesserung der Rekultivierung mit Forschungsinstituten, Universitäten und unabhängigen Fachleuten aus Umweltschutz, Forst- und Landwirtschaft zusammen.

Das Abbaufeld Garzweiler wird nach dem Auslaufen der Gewinnung in 35 Jahren überwiegend landwirtschaftlich rekultiviert sein. Der östliche und nördliche Teil dieser waldarmen Bördenlandschaft, die seit jeher intensiv agrarisch genutzt wird, soll den Landwirten der Region als Wirtschaftsraum zurückgegeben werden.

Näheres hierzu siehe Abschnitt „Rekultivierung“.

3.6 Tagebau Hambach

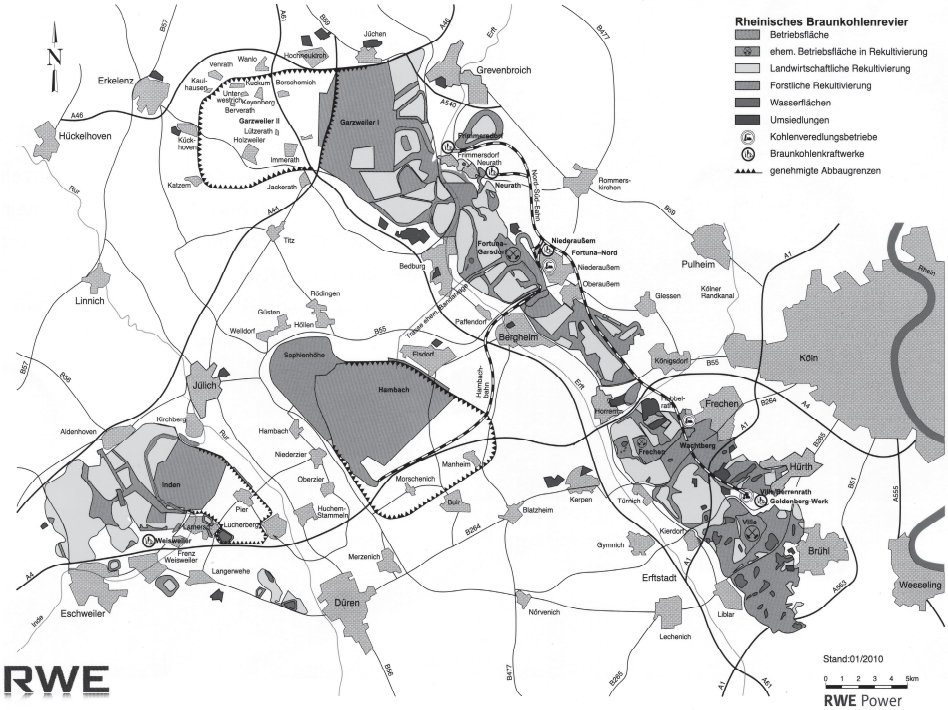


Abb. Fb-34: Lageplan Tagebau Hambach [V37]

Im September 1978 wurde der Tagebau Hambach in der Nähe der gleichnamigen Ortschaft begonnen. Erst sechs Jahre später lieferte er aus 160 m Tiefe die erste Braunkohle. Zunächst mussten die darüber liegenden 700 Mio. m³ Sand, Ton und Kies – der so genannte Abraum – bewegt werden.

Heute fördert der Tagebau Hambach aus bis zu 370 m Tiefe jährlich rund 40 Mio. t Braunkohle und 250 Mio. m³ Abraum.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-35: Abraumbereich Tagebau Hambach [V37]

7541014/10787806875Biblio

Kenndaten, Großgeräte und Förderleistungen – Tagebau Garzweiler

Der Tagebau Garzweiler I in Zahlen	
Größe des Abbaufeldes	66,0 km²
Verhältnis Abraum zu Kohle (Gesamtfeld)	2,5:1

Belegschaft	
Anzahl der Mitarbeiter	1.725
davon Auszubildende	150

Der Tagebau Garnteiler II in Zahlen	
Größe des Abbaufeldes	48,0 km²
Kohlevorrat	1,3 Mrd. t
Verhältnis Abraum zu Kohle	5:1
Kohleförderung	35–40 Mio. t/a
Förderbeginn	2006
Umsiedlung	7.600 Einwohner/ 13 Ortschaften
davon nahezu abgeschlossen	2.400 Einwohner/ 3 Ortschaften

Schaufelradbagger

Anzahl	Kapazität	Wienmannschaft	Gesamtdienst-masse bis zu	Schaufelrad-durchmesser	Gesamt-länge	Gesamt-höhe
1	60.000 m³/Tag	4 Mann/Schicht	3.500 t	11,7 m	153 m	43 m
4	110.000 m³/Tag	4 Mann/Schicht	8.000 t	17,5 m	200 m	64 m
1	200.000 m³/Tag	4 Mann/Schicht	13.000 t	21,6 m	212 m	74 m
1	240.000 m³/Tag	4 Mann/Schicht	13.500 t	21,6 m	240m	96 m

Absetzer

Anzahl	Kapazität	Bedienmannschaft	Gesamtdienst-masse bis zu	Ausleger-länge	Gesamt-länge	Gesamt-höhe
1	(Ascheabsetzer) 30.000 m³/Tag	2 Mann/Schicht	300 t	30 m	56 m	14 m
4	110.000–150.000 m³/Tag	3 Mann/Schicht	2.500 t	100 m	155 m	47 m
2	240.000 m³/Tag	3 Mann/Schicht	5.400 t	100 m	180 m	57 m

Bandanlagen	
Gesamtlänge*	ca. 66 km
Fördergurtbreite	zwischen 2,0 und 2,8 m
Gurtgeschwindigkeit	zwischen 6,2 und 7,5 m/s
das sind umgerechnet	zwischen 22 und 27 km/h

*** Stand 31.12.2005**

Rekultivierung Tagebau Garzweiler	
Gesamtfläche 1907–2005	35,2 km²
davon landwirtschaftlich	24,6 km²
forstwirtschaftlich	8,8 km²
Wasserflächen	0,4 km²
sonstiges (Wette etc.)	1,4 km²

7541014/10787806875Biblio

Zurzeit durchschneiden die Schaufelradbagger den Bereich der früheren Schachtanlagen Morschenich I und II. Dort wurde in den 40er und 50er Jahren in bis zu 270 m Tiefe der untertägige Abbau der Braunkohle erprobt.

Dies erwies sich jedoch als unwirtschaftlich und unsicher; zudem hätten große Teile der Lagerstätte mit diesem Verfahren nicht genutzt werden können. Schuld daran ist die Geologie. Das Deckgebirge, das vor allem aus lockeren Sanden und Kiesen besteht, ist für einen Untertagebetrieb zu instabil. Zum Vergleich: Über der Steinkohle im Ruhrgebiet liegen Deckschichten aus festem Gestein.

Zwischen 2015 und 2020 erreicht der Abbau die unternehmenseigene Eisenbahnstrecke („Hambachbahn“) und die Autobahn A 4. Weil beide Strecken durch das Abbaufeld führen, müssen sie nach Süden entlang der Tagebaukante verlegt werden. Bei der Autobahn ist ein Abschnitt zwischen der Abfahrt Düren und dem Kreuz Kerpen betroffen, der im Zuge der Verlegung sechsspurig ausgebaut wird. Die entsprechenden Arbeiten haben im Winter 2007 nach langen Planungen und Genehmigungsverfahren begonnen.

Abb. Fb-36:
Schaufelradbagger beim Abraumabbau [V37]

Ein Großteil des Abraums wird über Förderbänder auf die ausgekohlte Seite des Tagebaus geleitet, die sogenannte Innenkippe. Auf den einzelnen Arbeitsebenen, die hier Strossen heißen, verteilen Absetzer den Abraum und schichten das Erdreich terrassenförmig auf.

7541014/10787806875Biblio

Ein Teil des Abraums aus dem Tagebau Hambach wird voraussichtlich bis Mitte 2009 über eine 14 km lange Abraumbandanlage in den ehemaligen Tagebau Bergheim und einen kleineren Bereich im ehemaligen Tagebau Fortuna-Garsdorf transportiert. Beide werden bis zur Höhe des umliegenden Geländes verfüllt.

Abb. Fb-37a: Absetzer bringt den Abraum in die ausgekohlten Bereich ein. [V37]

Mit 1,1 Mrd. m^3 Abraum wurde von 1978 bis 1991 auf früherem Ackerland die Sophienhöhe aufgeschüttet. Dieser künstliche, bewaldete Berg überragt die Bördenlandschaft um 200 m. Direkt und höhengleich an den Südhang der Sophienhöhe anschließend wird seit 1986 auf ehemaligem Bergbaugelände nach und nach ein zweiter, bis zu 195 m hoher Abraumberg als überhöhte Innenkippe aufgeschichtet.

Seine Oberfläche wird unregelmäßig und damit naturnah geformt und zu 90 % von Wald bedeckt werden. Die Verfüllung erfolgt nach einem bestimmten Plan entsprechend der Bodenart. Näheres hierzu im Abschnitt „Rekultivierung“.

7541014/10787806875Biblio

- **Wasser und Ökologie**

Für die Gewinnung der Braunkohle im Tagebau Hambach muss das Grundwasser abgesenkt werden. Sonst würden die Tagebauböschungen unter dem Druck des Wassers einbrechen. Auf die Vegetation wirkt sich die Sümpfung so gut wie gar nicht aus.

Fast überall im Rheinland stand das Grundwasser schon früher so tief, dass es für die Pflanzen unerreichbar war. Die Pflanzen ziehen ihr Wasser aus dem Lössboden, der es wie ein Schwamm speichert. Vorbeugende Maßnahmen gegen ein Trockenfallen des Bodens sind nur für etwa 1 % der Flächen erforderlich, z. B. in Auebereichen.

Zu diesem Zweck liefert RWE Power jährlich viele Millionen Kubikmeter Wasser in den Norden des Braunkohlenreviers. Versickerungen und Einleitungen stützen den Wasserhaushalt und erhalten die schützenswerten Feuchtgebiete des nahe gelegene grenzüberschreitenden Naturparks Maas-Schwalm-Nette.

Abb. Fb-37b: oben + unten Beispiele für Renaturierung [V37]

7541014/10787806875Biblio

Kenndaten, Großgeräte und Förderleistungen im Tagebau Hambach

Das Abbaufeld	
Größe des Abbaufeldes	**85,0 km²**
Verhältnis Abraum zur Kohle (Gesamtfeld)	**6,2:1**

Belegschaft	
Anzahl der Mitarbeiter	**ca. 1.500**

Schaufelradbagger

Anzahl	Kapazität	Bedienmannschaft	Gesamtdienstmasse bis zu	Schaufelraddurchmesser	Gesamtlänge	Gesamthöhe
2	**110.000 m³/Tag**	**4 Mann/Schicht**	**7.500 t**	**17,5 m**	**195 m**	**67 m**
1	**200.000 m³/Tag**	**4 Mann/Schicht**	**13.000 t**	**21,5 m**	**212 m**	**74 m**
5	**240.000 m³/Tag**	**4 Mann/Schicht**	**13.500 t**	**21,5 m**	**240 m**	**96 m**

Absetzer

Anzahl	Kapazität	Bedienmannschaft	Gesamtdienstmasse bis zu	Auslegerlänge	Gesamtlänge	Gesamthöhe
1	**110.000-150.000 m³/Tag**	**3 Mann/Schicht**	**2.500 t**	**100 m**	**155 m**	**47 m**
6	**240.000 m³/Tag**	**3 Mann/Schicht**	**5.400 t**	**100 m**	**180 m**	**57 m**

Bandanlagen	
Gesamtlänge*	**ca. 100 km**
Fördergurtbreite	**2,8 m**
Gurtgeschwindigkeit	**7,5 m/s**
das sind umgerechnet	**27 km/h**

*** Stand: Mai 2008**

Rekultivierung im Tagebau	
Gesamtfläche	**11,8 km²**
davon landwirtschaftlich	**0,1 km²**
forstwirtschaftlich	**11,7 km²**

3.7 Tagebau Inden

Der Tagebau Inden erstreckt sich zwischen der Gemeinde Aldenhoven und der Autobahn 44 (Düsseldorf-Aachen) im Norden und der Autobahn 4 (Köln-Aachen) im Süden. Seine Kohleflöze sind bis zu 45 m mächtig und liegen bis zu 230 m tief unter der Erdoberfläche. Um an die noch abbaubaren 440 Mio. t Kohle heranzukommen, müssen 1,3 Mrd. m³ Abraum bewegt werden. Mit seiner Jahresförderung von rund 22 Mio. t Braunkohle sichert der Tagebau Inden die Versorgung des Kraftwerks Weisweiler.

7541014/10787806875Biblio

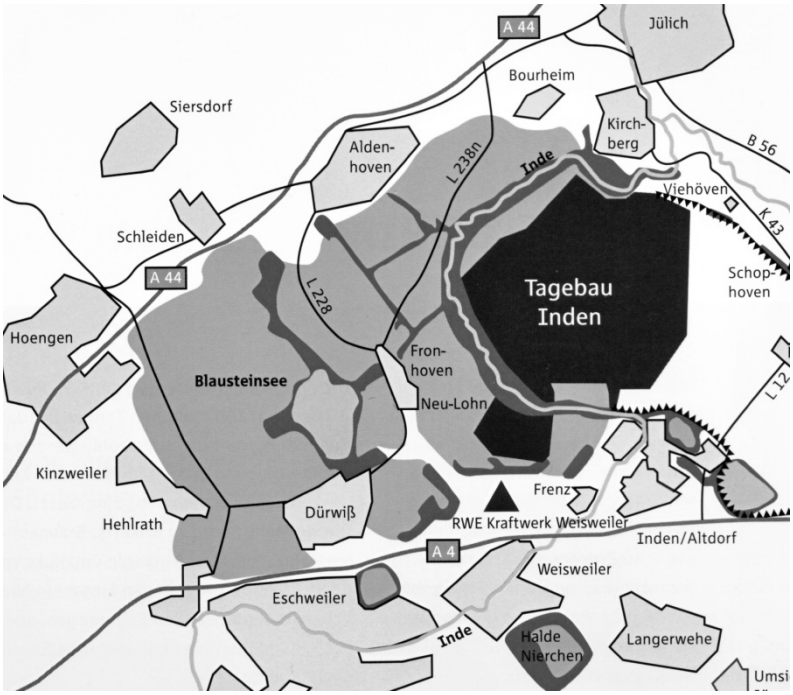


Abb. Fb-38: Lageplan Tagebau Inden [V37]

Abb. Fb-39: Blick in den Tagebau Inden [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.7.1 Die Abbautechnik

Die Abbautechnik unterscheidet sich auch hier kaum von den des Tagebauen Garzweiler und Hambach, darum wird nachfolgend nicht weiter darauf eingegangen.

Abb. Fb-40: Bandabsetzer im Tagebau Inden. Im Vordergrund Kohlenförderband und Wasserbedüsung zur Staubbekämpfung [V37]

3.7.2 Rekultivierung und Renaturierung

Auch das Abbaufeld Inden wird nach der Auskohlung nicht komplett mit Abraum verfüllt und rekultiviert. Stattdessen ist im östlichen Bereich zwischen Lamersdorf, Kirchberg, Schophoven, Merken und Lucherberg ein etwa 11 km² oder 1.100 ha großer See geplant.
Das hat der Braunkohlenausschuss der Bezirksregierung Köln, ein parlamentarisches Gremium aus Vertretern der Region, Ende 2008 entschieden.

Der See soll von Wald, Wiesen und Ackerflächen eingefasst werden und 30 bis 35 Jahre lang im Wesentlichen mit Wasser aus der Rur befüllt werden. Schon kurz nach dem Beginn der Befüllung werden der See und seine Umgebung vielfältige Nutzungen zulassen.
Voraussichtlich um 2060 steht er für eine uneingeschränkte Nutzung zur Verfügung. Konkrete Detailplanungen sind späteren Festlegungen vorbehalten, die mit den angrenzenden Städten und Gemeinden und ihren Bürgern getroffen werden.

Die am Entscheidungsprozess Beteiligten waren sich darin einig, dass der See viele neue Chancen bieten wird. Das betrifft sowohl das Wohnen, die Freizeit und die Ökologie wie auch die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt. Eine unabhängige Studie der Prognos AG hat erhebliche Potenziale für die regionale Wirtschaft aufgezeigt, die der See auslösen wird.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-41: Lucherberg am Indener See (Fotomontage) [V37]

Die Entwicklungsgesellschaft Indeland GmbH ist bereits gegründet. Dem Zusammenschluss gehören als Gesellschafter neben dem Kreis Düren die Tagebau-Anrainer Aldenhoven, Inden, Jülich und Eschweiler sowie die Gemeinden Langerwehe, Linnich und Niederzier an. Die Aachener Stiftung Kathy Beys und RWE Power wirken im Aufsichtsrat als Berater mit.

RWE Power versteht sich als Partner für die Region – und sieht sich auch durch die Gestaltung einer attraktiven Folgelandschaft in der Verantwortung für die Zeit nach der Braunkohlengewinnung. Das Unternehmen hat der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen und der Indeland Entwicklungsgesellschaft zugesagt, sich mit Rat und Tat bei der regionalen Entwicklung zu engagieren – zum Beispiel bei der Entwicklung innovativer Gewerbe- und Wohngebiete und dem Einsatz erneuerbarer Energien.

Der See wird im Zuge der normalen Abbauführung des Tagebaus Inden angelegt. Nach der Auskohlung, also nach 2030, werden keine umfangreichen Massenumlagerungen aus anderen Tagebauen nötig sein.

Das hat einen weiteren Vorteil: Schon etwa fünf Jahre nach der Auskohlung des Tagebaus können der noch ansteigende See und seine Uferböschungen bereits genutzt werden. Dafür wird RWE Power unter anderem südöstlich von Lucherberg einen Erholungsbereich anlegen, der schon während der Befüllung zum Beispiel als Sandstrand und Zugang zum See zur Verfügung steht.

7541014/10787806875Biblio

Kenndaten, Großgeräte und Förderleistungen

Der Tagebau Inden und das Kraftwerk Weisweiler in Zahlen

Tagebau Inden	
Größe des genehmigten Abbaufeldes (Braunkohlenplan)	4.500 ha
Betriebsfläche	ca. 1.400 ha
Verhältnis Abraum zu Kohle	ca. 3 : 1
jährliche Abraumleistung	80 - 95 Mio. m³
jährliche Kohlenförderung	20 - 25 Mio. t
Rekultivierung Tagebaue Zukunft und Inden	
Landinanspruchnahme (bis 2007)	5.875 ha
Wiedernutzbarmachung (bis 2007)	4.460 ha
davon landwirtschaftlich	3.454 ha
davon forstwirtschaftlich	701 ha
davon sonstige Flächen	205 ha
davon Blausteinsee	100 ha
Großgeräte im Tagebau	
Schaufelradbagger (Anzahl x Kapazität)	1 x 80.000 m³/Tag, 3 x 110.000 m³/Tag
Absetzer (Anzahl x Kapazität)	4 x 110.000 m³/Tag
Bandanlagen Gesamtlänge	47 km
Kraftwerk Weisweiler	
Einsatzbereich	Grundlast (6 Braunkohlenblöcke) sowie Mittel- und Spitzenlast (2 Vorschaltgasturbinen)
Leistung	2.820 MW brutto, 2.590 MW netto
Anzahl der Einheiten	2 x 150-MW-Blöcke C und D 2 x 300-MW-Blöcke E und F 2 x 600-MW-Blöcke G und H mit 2 x 270 MW VGT 36 MW Müllverbrennungsanlage (MVA)
Papierschlamm-Mitverbrennung	ca. 300.000 t/Jahr
Klärschlamm-Mitverbrennung	ca. 100.000 t/Jahr
Bruttostromerzeugung	ca. 18 Mrd. kWh/Jahr
Fernwärme	ca. 400.000 MWh/Jahr für Abnehmer in Aachen, Jülich etc.

Stand: 2008

3.8 Ergänzendes zur Rekultivierung und Renaturierung

Braunkohle kann nur im Tagebau gewonnen werden. Entsprechend tief ist der Eingriff des Bergbaus in die dichtbesiedelte Kulturlandschaft.

Die Braunkohlentagebaue liegen in einer seit jeher intensiv genutzten Kulturlandschaft. Sie ist Einzugsgebiet der Städte Köln, Aachen, Mönchengladbach und Düsseldorf und damit vergleichsweise dicht besiedelt. Verkehrserschließung und Verstädterung haben

7541014/10787806875Biblio

die Struktur dieses früher ländlich geprägten, heute in jeder Hinsicht stark genutzten Raums deutlich verändert. Zudem zählen die Böden zu den besten Deutschlands, so dass sie überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden.

In diese Kulturlandschaft greifen die Tagebaue ein: Wo Deckgebirge abgetragen und Braunkohle gewonnen wird, ist Landschaft zunächst Vergangenheit. Denn wegen der lockeren Erdschichten ist im Rheinland eine Rohstoffgewinnung unter Tage, wie sie zum Beispiel in den Zechen des nahe gelegenen Ruhrgebiets betrieben wird, nicht möglich. Die rheinische Braunkohle muss stattdessen im Tagebau gewonnen werden.

Doch der Eingriff ist vorübergehend. Schon während des Genehmigungsverfahrens eines Tagebaus werden die Grundzüge der Bergbaufolgelandschaft festgelegt.
Ebenso früh beginnt die konkrete Planung der neuen Landschaft. Sobald die ersten Partien eines Kohlenflözes abgebaut sind, beginnt die Wiederherstellung von Ackerland, Wald und sonstigen Flächen, die Rekultivierung.

3.8.1 Gesetzliche Regelungen

Wie RWE Power das Land nach dem Tagebau zu gestalten hat, entscheiden stets öffentlich-rechtliche Verfahren. Mit der ersten landesplanerischen Genehmigung eines Tagebaus wird bereits entschieden, welches Gepräge die spätere neue Landschaft haben wird. Dazu gehören erste Festlegungen über die Aufteilung der Flächen für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlungen und sonstige Nutzungen. Diese Festlegungen werden in weiteren betriebsplanerischen Verfahren abschnittsweise und zeitnah bis zur Ausführungsreife konkretisiert.

In diese Verfahren bringen Landwirte, Förster, Naturschützer, Verkehrsplaner, Wirtschaftsförderer und viele andere ihre Interessen ein. Dabei sind Konflikte programmiert. Jeder Träger öffentlicher Belange vertritt in der Regel berechtigte Interessen und hat seine eigenen Vorstellungen von den späteren Nutzungsmöglichkeiten:

Abb. Fb-42: Beispiel für eine Renaturierung – Der Indener See [V37]

7541014/10787806875Biblio

Neue Ackerflächen sichern landwirtschaftliche Unternehmer und ihre Familien und damit Existenzen; von neuen Gewerbegebieten versprechen sich die Gemeinden wirtschaftliche Impulse. Neue Waldbereiche, Feldfluren und Seen sind willkommene Erholungsgebiete. Dabei sind sich die Fachleute von Behörden, Verbänden, Wissenschaft und Bergbau in wesentlichen Fragen einig: Die Rekultivierung ist nicht der Versuch, Natur nachzubauen. Der Mensch kann nur eine Starthilfe geben, d. h., die bestmöglichen Voraussetzungen für eine nachhaltig nutzbare Landschaft schaffen. Und die zu erzielenden Kompromisse sind keine Notlösungen: Nicht die Trennung, sondern die Vernetzung der Nutzungsarten kann die Belange von Ökonomie und Ökologie nachhaltig vereinen.

3.8.2 Landwirtschaftliche Rekultivierung

Den Boden für die Rekultivierung bereitet der Tagebaubetrieb selbst: Absetzer verkippen in den ausgekohlten Abbaubereichen zunächst Ton, Sand und Kies und legen anschließend eine Dränageschicht aus wasserdurchlässigem Material darüber. Böschungen und Geländemulden werden heute möglichst naturnah gestaltet, d. h. so unregelmäßig wie die Natur selbst. Wo Aufforstung vorgesehen ist, wird eine Mischung aus Lösslehm und Kies als oberste Bodenschicht aufgetragen, der sogenannte Forstkies.

Dieses Material ist zum einen so locker, dass die Wurzeln der Bäume tief in den Boden eindringen können; zum anderen ist es so lehmig, dass es genug Wasser auch für trockenere Jahreszeiten speichern kann. Mit Forstkies rekultivierte Bereiche werden heute nicht mehr eingeebnet, um Verdichtungen und damit Staunässe und Erosion zu vermeiden und um die mikroklimatischen Vorteile von Kipprippen und Kleinmulden zu nutzen. Wo neues Ackerland geplant ist, bringen die Absetzer reinen Löss und Lösslehm auf.

Gleiches gilt für aufzuforstende Flächen in der Ebene. Diese Schicht muss nach einer gewissen Setzung mindestens 2 m mächtig sein. Anschließend wird der Löss bodenschonend eingeebnet. Auch Wasserflächen und wechselfeuchte Standorte sind Teil der Rekultivierung. In den Restlöchern älterer Tagebaue breiten sich heute Seen aus; große Gewässer sind unter anderem wegen des zu erwartenden Massendefizits nach Kohleabbau auch in den Restlöchern heutiger Tagebaue geplant.

Abb. Fb-43: Wo neues Ackerland geplant ist, bringen die Absetzer reinen Löss und Lösslehm auf. So wird sehr schnell das ehemalige Ackerland wieder hergestellt. [V37]

7541014/10787806875Biblio

3.8.3 Forstliche Rekultivierungen

Holz ist für viele Zwecke ein guter Bau- und Werkstoff und dazu ein nachwachsender Rohstoff – also in jeder Hinsicht ein Produkt mit interessanten wirtschaftlichen Perspektiven, dem die Forstleute von RWE Power schon bei der Aufforstung optimale Startvoraussetzungen schaffen müssen. Doch sie arbeiten nicht unter rein ökonomischen Aspekten.

Vielmehr wollen sie standortgerechte und damit ökologisch stabile Waldgemeinschaften begründen. Weil weniger oft mehr ist, wenn es um Planung und Pflege solcher neuen Wälder geht, folgen sie wie ihre staatlichen Kollegen dem Prinzip der naturnahen Waldwirtschaft.

Das heutige Pflanzenprogramm bei der forstlichen Rekultivierung umfasst zahlreiche Baum- und Straucharten. Laubbäume haben Vorrang vor Nadelgehölzen, weil sie seit alters her in der natürlichen Vegetation der Niederrheinischen Bucht vorherrschen. Doch Koniferen fehlen nicht. Stellenweise lockern sie das Landschaftsbild auf und bieten dem bald einwandernden Wild im Winter Deckung.

Die RWE-Förster und -Waldarbeiter pflanzen jährlich mehrere Hunderttausend Gehölze auf die Kippenflächen: überwiegend Stieleiche und Rotbuche, aber auch Winterlinde und Wildobstbäume. Sie beziehen die Jungpflanzen aus Baumschulen. Gleichzeitig ernten sie Baumsamen in den Altbeständen des Tagebauvorfelds, um das genetische Potenzial der heimischen Altwälder zu erhalten. In den jungen Beständen bleiben ausreichende Lücken für natürlich einwandernde Baumarten wie die Birke.

Für die Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden ist unter dem Strich ein Plus von 1.900 ha Wald festgelegt worden. Das heißt, dass die heute laufenden Tagebaue in der Mitte dieses Jahrhunderts 19 km^2 mehr Wald hinterlassen als vorher da war. Schon jetzt ist die Flächenbilanz der Forstwirtschaft im Revier ausgeglichen: Gut 7.300 ha Wald mussten bisher den Tagebauen weichen, mehr als 7.300 ha wurden neu gepflanzt.

3.8.4 Ökologie und Renaturierung

Die Anlage von Wasserflächen ist eines der Gebote bei der Renaturierung. Mehr als 700 Hektar Seen, Weiher und Feuchtbiotope sind mittlerweile in allen Teilen des Reviers entstanden. Sie steigern nicht nur den Erholungswert der neuen Landschaft für den Menschen, sondern bieten auch der Tierwelt eine Heimat. Die Vogelwelt ist an vielen Stellen artenreicher als vor dem Eingriff des Bergbaus.

Artenschutz ist Programm: Mit Sachkunde und viel Liebe zum Detail widmen sich die RWE-Fachleute über ihre forstlichen Aufgaben hinaus der ökologischen Kleinarbeit: Nistkästen für Höhlenbrüter und Fledermäuse aufhängen, Sitzstangen für Greifvögel in den jungen Waldbeständen aufstellen, Kröten und Froschlaich aus dem Tagebauvorfeld in neue Biotope verfrachten. Selbst ganze Ameisenvölker werden in die Rekultivierung umgesiedelt.
Die wesentliche Arbeit leistet die Natur allerdings selbst. Tier- und Pflanzenwelt bilden schon von Anfang an eine Lebensgemeinschaft und entwickeln sich langsam, aber stetig und natürlich weiter. Dabei verändern sich im Lauf der Zeit die Standortfaktoren und damit die Artenzusammensetzung. So beobachten Vogelkundler auf vielen jungen und damit lichten Rekultivierungsflächen den Steinschmätzer, einen Bodenbrüter, der auf der Roten Liste der bedrohten Arten steht. Diese Tierart wird mit zunehmendem

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-44: Eine Vielzahl von renaturierten Bereichen sind heute Naherholungsgebiete. [V37]

Wachstum des Waldes verdrängt. Dagegen sind in älteren Waldbeständen zum Beispiel Kleinspecht und Grauspecht zu Hause, die ebenfalls als bestandsgefährdet gelten. Ähnliche Sukzessionen laufen in der Pflanzenwelt ab.

Beide Entwicklungen haben gemeinsam, dass es sich um natürliche Vorgänge handelt. Entscheidend ist, dass die Rekultivierung die Grundlagen für einen gesunden, ökologisch nachhaltig stabilen Verlauf solcher Sukzessionen legt. Dass sie dazu in der Lage ist, zeigen die vielen älteren Rekultivierungsbereiche im Revier. Dort erkennt heute nur noch der Eingeweihte, dass sie von Menschenhand geschaffen sind. Mehrere Teilflächen von zusammen über 300 ha stehen bereits unter Naturschutz – obwohl sie einst künstlich angelegt wurden.

Bei Eschweiler liegt inmitten der landwirtschaftlich geprägten Rekultivierung des früheren Tagebaus Zukunft-West der rund 100 ha große Blausteinsee. Obwohl seine Befüllung mit Brunnenwasser noch nicht abgeschlossen ist, wird er bereits seit Jahren für Wassersport aller Art genutzt.

Viele Tier- und Pflanzenarten sind in den Renaturierungsgebieten heimisch, die auf der Roten Liste der bedrohten Arten stehen, u. a. 13 heimische Orchideenarten. Nicht zuletzt beweist der große Zuspruch der Menschen aus dem Revier, wie sehr sie die neue Landschaft schätzen: Viele Rekultivierungsbereiche sind Ausflugsziele und Biotope geworden.

Abb. Fb-45: Biotop auf einem renaturierten Abbaufeld [V37]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-46: Mühlenbachaue im Naturpark Maas-Schwalm-Nette auf einem ehemaligen Braunkohlenabbau [V37]

Die Rekultivierung und Renaturierung bleibt für alle Beteiligten ein Lernprozess. Je mehr sachkundige Beteiligte daran intensiv mitwirken, desto besser werden die Ergebnisse. Das Ziel bleibt ehrgeizig: die vom Bergbau in Anspruch genommene Landschaft so in den übrigen Kulturraum wieder einzugliedern, dass sie vielseitig nutzbar und ökologisch hochwertig den künftigen Generationen alle Optionen für die Zukunft offen lässt.

Nach einer Erhebung des DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) Stand 2010 betrug die Landinanspruchnahme im rheinischen Braukohlenrevier einschließlich der erforderlichen Betriebsflächen 44.229,9 ha, davon wurden 21.529,5 ha durch die o. g. Maßnahmen wieder nutzbar gemacht.

3.8.5 Umsiedlungen

Die rheinische Braunkohle sichert rund 15 % der deutschen Stromversorgung. Sie ist nicht auf Subventionen angewiesen und bietet fast 20.000 Arbeits- und Ausbildungsplätze bei RWE Power und bei den zahlreichen Zulieferern und Dienstleistern. Ihre geologischen Vorräte reichen noch für mehrere Generationen.

RWE Power investiert Milliarden in den Neubau und in die Weiterentwicklung hochmoderner, klimaschonender Kraftwerke und damit in die Zukunft des rheinischen Braunkohlenreviers.

3.8.5.1 Erfordernis von Umsiedlungen

Da Braunkohle nur im offenen Tagebau gewonnen werden kann, ist mitunter die Umsiedlung ganzer Ortschaften erforderlich. Seit dem Zweiten Weltkrieg mussten fast 35.000 Menschen im Zuge des Braunkohlenbergbaus umsiedeln. Damit ist die Umsiedlung der unbestritten gravierendste Eingriff dieses Industriezweigs in die intensiv genutzte und dicht besiedelte Kulturlandschaft der Niederrheinischen Bucht und in das Leben der Betroffenen.

Hierbei geht es nicht nur um faire Entschädigungen für materiellen Besitz, wie Wohnhäuser, Grundstücke und Betriebe, die den Betroffenen einen wirtschaftlich unbeschadeten Neubeginn an ihrem neuen Wohnort ermöglichen sollen. Bei der Umsiedlung geht es auch um immaterielle Werte, wie Tradition, Gemeinschaft und Heimat, die mit Geld nicht ent-

7541014/10787806875Biblio

schädigt werden können. Jedoch lassen sich die daraus entstehenden Belastungen für den Einzelnen und für die einzelne Familie dadurch abfedern, dass der Erhalt der Dorfgemeinschaft ermöglicht und die Umsiedlung im Miteinander bewältigt werden. Dazu verfolgen alle Beteiligten das Konzept der gemeinsamen Umsiedlung. Ziel ist es, möglichst viele Bewohner des alten Dorfes zügig an einen neuen, gemeinsam mit ihnen ausgewählten und geplanten Standort umsiedeln. Das Konzept hat sich in Jahrzehnten bewährt.

3.8.5.2 Gemeinsame Umsiedlung

Das Gefüge einer Dorfgemeinschaft besteht aus vielschichtigen Verflechtungen zwischen den einzelnen Umsiedlern, aus familiären Bindungen, aus Freundschaften, aus Nachbarschaften, aus Mitgliedschaften in Vereinen und Vereinigungen.
Bei jeder Umsiedlung gilt es, Strukturen und Wandel dieses Beziehungsgeflechts zu erkennen und zu fördern, damit sich die Dorfgemeinschaft am neuen Standort etablieren und weiterentwickeln kann.

Das Angebot der gemeinsamen Umsiedlung ist die Grundlage einer sozialverträglichen Umsiedlung. Es bietet einen seit Jahrzehnten bewährten Handlungsrahmen zum Erhalt der Dorfgemeinschaft. Die gemeinsame Umsiedlung hat zwei Aspekte: einen räumlichen und einen zeitlichen.

Der räumliche Aspekt ist der Umzug an einen bestimmten, eigenständigen, aus eigener Kraft lebensfähigen Standort. Der zeitliche Aspekt ist der Umzug in einem begrenzten Zeitraum. Umsiedlungsstandort und -zeitraum werden im Braunkohlenplan festgelegt, einem Instrument der nordrhein-westfälischen Landesplanung.
Die Vorteile des Konzepts liegen nicht nur in der Begrenzung der eigentlichen Umsiedlung auf einen relativ kurzen Zeitraum. Die räumliche Nähe auch am neuen Standort hält Familien und Freundeskreise, Vereine und andere Gemeinschaften zusammen.

Auch während der Phase des Umzugs vom alten in den neuen Ort werden diese Gemeinschaften nicht auseinandergerissen. Dank der gemeinsamen Umsiedlung kann die Lebensfähigkeit des alten Ortes bis kurz vor Abschluss der Umsiedlung erhalten werden.

Vertrautheit und Hilfsbereitschaft unter den Dorfbewohnern können während der Umsiedlung und beim Aufbau des neuen gemeinsamen Orts viele Probleme erleichtern. Die Planung für den neuen Standort kann spezifische Bedürfnisse und Wünsche der Bewohner berücksichtigen, weil sie von vornherein befragt und in die städtebauliche Planung eingebunden werden. Das Zusammengehörigkeitsgefühl der Umsiedler bietet die Chance, auch am neuen Standort rasch eine gemeinsame Basis und Identität zu finden. Betriebe mit örtlichem Einzugsbereich können ihre Kundschaft mitnehmen.

3.8.5.3 Begleitende Maßnahmen

Um die Belastungen der Dorfgemeinschaft während der Umsiedlung im alten und im neuen Ort zu minimieren, werden verschiedene Hilfen angeboten:

- RWE Power unterstützt die gemeinschaftstragenden Aktivitäten von Vereinen mit finanziellen Angeboten und Sachleistungen.
- Um das Leerstehen frei gewordener Häuser und die damit fast zwangsläufig drohende Vernachlässigung des Ortsbildes zu vermeiden, werden sie in der ersten Umsiedlungsphase befristet an Dritte vermietet – zum Beispiel an Interessenten, die etwa wegen eines eigenen Bauvorhabens ohnehin nur Mieter auf Zeit sein wollen.

7541014/10787806875Biblio

- Auch während der Abbruchphase bemühen sich Gemeinde und Bergbauunternehmen, das gepflegte Erscheinungsbild des Ortes weitgehend zu wahren.
- Daneben legt RWE Wert darauf, dass die Grundversorgung der Bevölkerung am alten wie am neuen Ort gesichert ist. Frühzeitig werden die Grünflächen am neuen Ort bepflanzt; künftige Baugrundstücke liegen nicht brach, sondern werden bis zur Bebauung als Gärten oder Weideflächen genutzt.
- Gemeinschafts- und Versorgungseinrichtungen werden möglichst frühzeitig geplant und eingerichtet.

Abb. Fb-47: Ein neuer Ort entsteht – Gemeinde Juchen [V37]

3.8.5.4 Ablauf einer gemeinsamen Umsiedlung

In der Regel werden für die Umsiedlung eines Ortes 10 bis 15 Jahre angesetzt. Rund ein Drittel dieser Zeit wird für Standortfindung, Ortsplanung und Erschließung benötigt.

- **Standortfindung**

Im ersten Schritt werden Lage und Größe des Umsiedlungsstandortes festgelegt.

Die Heimatgemeinde schlägt dazu den Bürgern eine oder mehrere Standorte innerhalb ihrer Grenzen vor.
Sie werden in öffentlichen Versammlungen und bei Exkursionen vorgestellt und diskutiert. Anschließend findet eine Umfrage unter den Bürgern statt – eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg einer gemeinsamen Umsiedlung. Wo soll der neue Ort errichtet werden? Würden die Betroffenen dorthin umsiedeln? Haben sie andere Pläne? Die einzelnen Ergebnisse werden vertraulich behandelt, das Gesamtergebnis hingegen wird veröffentlicht. Der von der Mehrheit genannte Standort wird gemeinsamer Unnsiedlungsstandort.

Unabhängig davon steht es jedem Betroffenen frei, sich an einem anderen Ort niederzulassen. Dies hat keine Nachteile für ihn, bedeutet also auch keine Minderung bei der Bemessung der Entschädigung.

- **Entwicklung des Umsiedlungsstandortes**

Bei der konkreten Planung des neuen Ortes hat die betroffene Kommune die Federführung. Sie stimmt sich eng mit den Bürgern ab. Zunächst ändert sie ihren Flächennutzungsplan und stellt einen Bebauungsplan auf.
Der regelt unter anderem, wie der neue Ort durch Straßen, Wege und Plätze erschlossen wird, wie der neue Ort in Flächen für die Wohnbebauung (Einzelhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser) bzw. für gewerbliche Nutzungen eingeteilt wird, wo das Dorf-

7541014/10787806875Biblio

zentrum, Grünanlagen und Gemeinschaftseinrichtungen platziert werden und wie gebaut werden darf.

Um die Wünsche der Umsiedler bei der Gestaltung des neuen Dorfes so weit wie möglich zu berücksichtigen, werden sie aktiv einbezogen. Dazu dienen zum einen die gesetzlich vorgeschriebenen Anlässe wie etwa die öffentliche Unterrichtung über Ziele und Zwecke der Planung oder die öffentliche Auslegung des Bebauungsplanentwurfes.

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Informations- und Mitwirkungsangebote an die Bürger, beispielsweise gemeinsame Exkursionen zu anderen Umsiedlungsstandorten und sonstigen Siedlungsgebieten oder Workshops zur Gestaltung des neuen Ortsbildes.

Auch für die Erschließung des Umsiedlungsstandortes ist die Gemeinde verantwortlich. Aller Erfahrung nach sind die ersten Grundstücke nach etwa sechs Jahren baureif.

Abb. Fb-48: Umsiedlungsstandort Otzenrath/Spenrath in der Bauphase [V37]

3.8.6 Großgerätetransport im rheinischen Braunkohlenrevier

Die Großgeräte in den rheinischen Braunkohlentagebauen müssen optimal eingesetzt werden. Denn eine Förderung von Kohle und Abraum auf hohem Niveau ist wichtig für eine kostengünstige Rohstoffversorgung der Kraftwerke und Fabriken.

Die unterschiedlichen Größen und Eigenschaften der Geräte werden durch einen flexiblen Geräteeinsatz im Tagebau genutzt. Aus diesem Grund werden Schaufelradbagger 260 und Absetzer 744 den Gerätepark des Tagebaus Hambach ergänzen. Sie sind kleiner und nur etwa halb so leistungsfähig wie die dort üblichen Großgeräte und können sinnvoll und wirtschaftlich sowohl im Bereich der selektiven Kohlegewinnung als auch bei der Bereitstellung von kulturfähigen Böden auf der obersten Gewinnungssohle eingesetzt werden. Hinzu kommt: Tagebaue sind ein vorübergehender Eingriff in die Landschaft. Enden Kohleförderung und Verkippung, können die beteiligten Großgeräte abgezogen werden. Aus diesem Grund wechselte Absetzer 755 den Einsatzort: Der frühere Tagebau Bergheim (Förderung von 1984 bis 2002) ist so weit mit Abraum verfüllt, dass das verbleibende Schwestergerät für die Restarbeiten ausreicht.

7541014/10787806875Biblio

- **Bagger 260, Absetzer 744 und Absetzer 755 wechseln den Arbeitsplatz**

RWE Power hat schon mehrere Großgeräte über Land transportiert. Im Juni wechseln der Schaufelradbagger, die zwei Absetzer und zwei sogenannte Bandschleifenwagen ihren Arbeitsplatz. Bagger 260 und Absetzer 744 kommen aus dem Tagebau Garzweiler und fahren zu ihrem neuen Arbeitsplatz im Tagebau Hambach.

Gut vier Wochen dauert die rund 29 km lange Reise. Überqueren müssen sie die Autobahn 61, die Erft, eine Eisenbahnstrecke und mehrere Straßen.

Absetzer 755 aus dem Tagebau Bergheim kommt ihnen dabei entgegen. Er reist über gut 20 km zum Tagebau Garzweiler. Der gesamte Transport kostet rund 7 Mio. €.

- **Warum ein Transport über Land?**

Ein Abbau der Stahlriesen am alten Arbeitsplatz und ihr Transport in Einzelteilen wären viel teurer und zeitraubender als eine Fahrt über Land. Hinzu kommt, dass die Geräte von ihrer Bauart her mobil sind: Sie fahren auch im Tagebau auf ihren eigenen Raupenfahrwerken. Und sie sinken trotz ihres hohen Gewichts nicht ein, weil sie sich gleichmäßig auf einige 100 m² Raupenfläche verteilen: So entspricht ihr Bodendruck in etwa dem eines Menschen.

Abb. Fb-49: Einer der größten Schaufelradbagger im rheinischen Braunkohlenrevier, der Bagger-Nr. 260, beim Überqueren der Autobahn A 61 [V37]

3.8.7 Gerätewartung und -ertüchtigung

Der riesige Gerätepark mit:

19 Schaufelradbagger,
19 Bandabsetzer,
215 km Förderbandanlage einschl. der Antriebe,

7541014/10787806875Biblio

sowie mehrere hundert Hilfsgeräte z. B.:

- Förderband-Rückraupen,
- Schwerlast-Trägerraupen,
- Planierraupen,
- Radlader,
- Hydraulikbagger

und der Fahrzeugpark erfordern einen umfangreichen Reparatur- und Wartungsbetrieb. Ferner werden in bestimmten Abständen komplette Ertüchtigungen und Modernisierungen erforderlich.

Insbesondere betrifft dies die Großgeräte – Schaufelradlader und Bandabsetzer –, die z. T. bis zu 50 Jahre alt sind. So ist einer der größten Schaufelradlader mit der Geräte-Nr. 292 im Jahre 1991 in Dienst gestellt worden. Er hat damals 172 Mio. DM gekostet. Der baugleiche Nachfolger Nr. 292 wurde am 7.7.1992 in Betrieb genommen.

Neben einem neuen Schutzanstrich werden neue Antriebe und Transporteinrichtungen erforderlich. Die Ertüchtigungen werden i. d. R. von den Herstellerfirmen oder Service-Unternehmen (z. B. OK, FAM, Siemens u. a.) ausgeführt. Vielfach ist eine komplette Einrüstung mit z. T. 100 m hohen Gerüsten von Gerüstbaufirmen erforderlich (z. B. für einen Neuanstrich).

Die Großgeräte sind im Allgemeinen Unikate. Auch bei Neubestellungen baugleicher Geräte fließen Erfahrungen bei Neubauten ein. Bei den Ertüchtigungen erhalten die Geräte z. B. stärkere Antriebe, Verstärkung der Stahlkonstruktion, Schaufelradüberarbeitung insbesondere durch Aufbringung von verschleißfesten Materialien an den eigentlichen Schaufeln und auch Verbesserung beim Schutzanstrich durch Verbesserung der Farben. Alle Arbeiten erfolgen vor Ort, was eine komplette oder teilweise Einkleidung erfordert. Eine Zerlegung und Transport zum Herstellerwerk wäre um ein Vielfaches teurer. Die Hilfsgeräte und der Fuhrpark erhalten ihre Überholung überwiegend in den Fachwerkstätten oder in den Werkstätten der Tagebaue.

Die Wartung hat einen hohen Stellenwert, da ein Geräteausfall erhebliche Kosten verursachen würde.

- **Schaufelradbagger 287 erhält ein neues Schaufelrad**

Durch 1,45 Mrd. m³ Kohle und Abraum hat er sich in 33 Jahren durchgebissen, erst im Tagebau Fortuna, später in Hambach. Jetzt ist für den Schaufelradbagger 287 eine umfassende „Zahnsanierung“ notwendig.

Im September 2009 bekam der Gigant ein neues Schaufelrad:

- 21,6 m im Durchmesser,
- 55 t schwer,
- 18 Schaufeln, jede mit dem Fassungsvermögen eines Kleinwagens.

Drei Autokräne hoben das Riesenrad in Position – die Schaufeln kommen später dran. Das alte Schaufelrad war bereits demontiert worden. Allein der Einbau des neuen Schaufelrades kostet 3 Mio. €.

Am 15. September 2009 konnte der Schaufelradbagger 287 seine Arbeit wieder aufnehmen – komplett saniert und mit einem neuem „Gebiss“.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-50: Der Schaufelradbagger-Nr. 287 erhält ein neues Schaufelrad, eines der größten Schaufelräder der Welt, Durchmesser 21,7 m [Foto: Jörg Abels]

3.9 Kraftwerke der RWE Power

RWE Power setzt die Erneuerung ihres Kraftwerksparks mit modernster und umweltschonender Technik fort und investiert 2,2 Milliarden Euro in die Modernisierung des Kraftwerkes Neurath BoA 2 & 3 – eine Investition auch in die Zukunft des rheinischen Braunkohlenreviers. Insgesamt betreib die RWE Power im Niederrheinischen Braunkohlenrevier vier Braunkohlenkraftwerke.

3.9.1 Kraftwerk Niederaußem

Das KW Niederaußem wurde in den sechziger Jahren zunächst mit einer Gesamtleistung von 900 MW als Kraftwerk Fortuna IV geplant, und zwar in Anlehnung an die inzwischen stillgelegten Kraftwerke Fortuna I, II und III, die von 1912 bis 1988 Strom erzeugten. Um dem Standort gerecht zu werden, wurde der Name in „Kraftwerk Niederaußem“ geändert.

Die erste Stromerzeugung erfolgte 1963 mit der Inbetriebnahme der 150-MW-Blöcke A und B. In den folgenden Jahren wurde das Kraftwerk auf eine Leistung von 2.700 MW mit insgesamt acht Blockanlagen ausgebaut.
Diese Leistung hat sich durch wirkungsgradverbessernde Maßnahmen an den Turbinen seit 1994 auf 2.840 MW erhöht.

Das Kraftwerk Niederaußem ist um einen BoA-Block mit einer Bruttoleistung von 1.000 MW erweitert worden. „BoA“ steht für: Braunkohlekraftwerk mit optimierter Anlagentechnik.

7541014/10787806875Biblio

Ziel ist die Reduzierung insbesondere der spezifischen CO_2-Emissionen um jährlich bis zu 3 Mio. t mit Hilfe der Wirkungsgraderhöhung auf über 43 %. Auch Staub-, Schwefeldioxid- und Stickstoffoxidemissionen gehen ebenfalls um rund 30 % zurück. Die erste Stromerzeugung erfolgte 2003.
Die Gesamtbruttoleistung beträgt 3.801 MW bei einem Braunkohleneinsatz von 25,38 Mio. t/Tag.

Abb. Fb-51: Kraftwerk Niederaußem mit „BoA"-Technik [V37]

3.9.2 Kraftwerk Neurath

Der Grevenbroicher Stadtteil Neurath hat eine alte Tradition in Sachen Energie: Schließlich wurde das erste Braunkohlenvorkommen des Nordreviers ganz in der Nähe entdeckt. Das war im Jahr 1858. Über Jahrzehnte wurde die Braunkohle im Tagebau gewonnen und in zwei benachbarten Brikettfabriken veredelt. Diese Betriebe haben längst einer hochwertigen Rekultivierung Platz gemacht.

Trotz dieser Bergbautradition ist Neurath im Vergleich zu den anderen rheinischen Kraftwerksstandorten vergleichsweise jung. Der erste Kraftwerksblock ging dort erst 1972 ans Netz. Bis 1976 wurden insgesamt drei 300-Megawatt-Blöcke und zwei 600-Megawatt-Blöcke in Betrieb genommen.

Wie alle anderen großen Braunkohlenkraftwerke arbeitet auch das Kraftwerk Neurath in der Grundlast.
Es nutzt die Braunkohle aus den Tagebauen Garzweiler und Hambach rund um die Uhr und mit gleich bleibender Leistung zur Stromerzeugung für den Grundbedarf von Haushalten und Industrie.

7541014/10787806875Biblio

Mit mehr als 2.200 MW decken die fünf Blöcke mehr als 10 % der installierten Leistung der eigenen Kraftwerke der RWE Power AG. Über 30 Jahre Erfahrung und eine hohe Arbeitsverfügbarkeit machen das Kraftwerk Neurath zu einem wettbewerbsfähigen Lieferanten auf dem Strommarkt. Dazu leisten über 450 kompetente, engagierte Mitarbeiter einen wesentlichen Beitrag. Der gemittelte Braunkohleneinsatz beträgt 18,79 Mio. t/Tag.

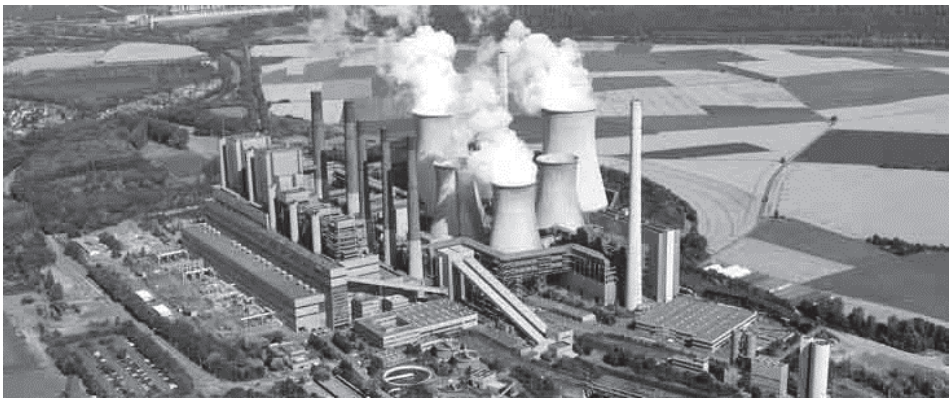


Abb. Fb-52: Kraftwerk Neurath [V37]

3.9.3 Kraftwerk Weisweiler

Der Kraftwerksstandort Weisweiler, im rheinischen Braunkohlenrevier nahe der Stadt Eschweiler gelegen, blickt auf eine lange Tradition zurück: Sie beginnt mit den Anfängen des Braunkohlentagebaus im Jahre 1909. 1913 wurde erstmals der Bau eines Braunkohlenkraftwerkes am Standort Weisweiler beschlossen. Von 1914 bis zur Stilllegung im Jahr 1975 wurde hier Strom erzeugt.

Die erste Stromerzeugung des heutigen Kraftwerkes Weisweiler erfolgte 1955. Bis 1975 wurden acht Blockanlagen in Betrieb genommen. Ab Mitte der 80er Jahre wurden alle Blöcke mit Rauchgasentschwefelungsanlagen ausgestattet und ihre Kessel mit dem Ziel der NO_2-Minderung (Entstickung) umgebaut. Die Arbeiten wurden 1989 abgeschlossen.

Seit dem stand eine Reihe weiterer Projekte auf dem Arbeitsprogramm: Ertüchtigungsmaßnahmen an den Turbinen (Retrofit), Auskopplung von Fernwärme sowie die Anbindung der nahegelegenen Müllverbrennungsanlage (MVA), Verbesserung des REA-Gipses zur weiteren Nutzung durch die Bauindustrie (Feinteilausschleusung) und Klärschlamm-Mitverbrennung (seit 2000).

2006/2007 hat die RWE Power AG zwei Vorschaltgasturbinen an den 600-Megawatt-(MW-)Blöcken G und H im Kraftwerk Weisweiler in den kommerziellen Betrieb gestellt. Sie verfügen über eine Nettoleistung von 190 Megawatt und sind den Braunkohlenblöcken vorgeschaltet.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-53: Kraftwerk Weisweiler [V37]

Technische Daten:

KW-Typ	Braunkohlenkraftwerk mit 6 Blöcken
Einsatzbereich	Grundlast sowie Mittel- und Spitzenlast
Braunkohleneinsatz	21,75 Mio. t/a
Leistung (brutto)	2.29 MW
Leistung (netto)	2.097 MW
Bruttostromerzeugung	17,52 TWA

3.9.4 Kraftwerk Frimmersdorf

1953 wurde mit dem Bau des Kraftwerkes Frimmersdorf begonnen. Zwischen 1955 und 1970 wurden in kurzen Abständen zwei 100-, zwölf 150- und zwei 300-Megawatt-Kraftwerksblöcke fertiggestellt.

- **Neue Anlagen zur Schadstoffverringerung**

Aufgrund der Großfeuerungsanlagenverordnung erhielten 1988 alle 150- und 300-Megawatt-Blöcke Nassentschwefelungsanlagen zur Schwefeldioxidverringerung und bis 1990 geänderte Brennerzonen zur Minderung des Stickoxidausstoßes.

Wegen ihres Alters wurden die beiden 100-Megawatt-Blöcke am 30. Juni 1988 außer Betrieb genommen.

So verfügt der Betrieb derzeit über vierzehn Anlagen mit einer elektrischen Brutto-Gesamtleistung von 2.265 MW.

7541014/10787806875Biblio

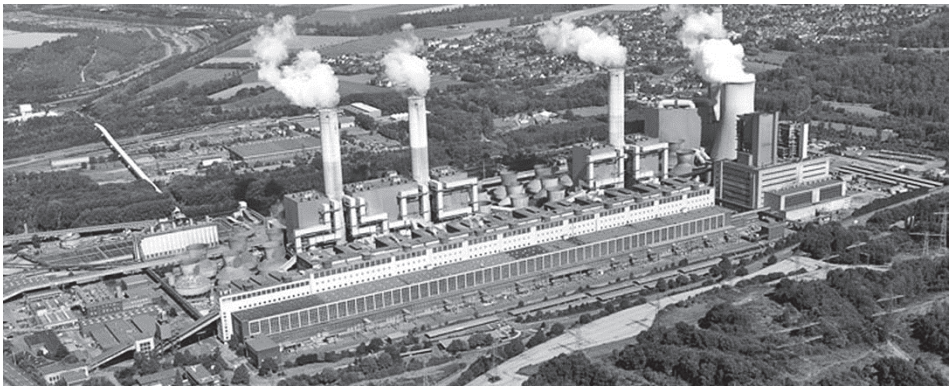


Abb. Fb-54: Kraftwerk Frimmersdorf [V37]

Technische Daten:

KW-Typ	Braunkohlenkraftwerk mit 14 Blöcken
Einsatzbereich	Grundlast
Braunkohleneinsatz	20,4 Mio. t/a
Leistung (brutto)	2.265 MW
Leistung (netto)	2.029 MW
Bruttostromerzeugung	15,89 TWA

3.9.5 Kraftwerk BoA 2 & 3

Am bestehenden Standort Neurath in Grevenbroich entstehen zwei neue Braunkohlenblöcke mit optimierter Anlagentechnik (BoA). Nach dem 2003 in Betrieb gegangenen Erstling in Niederaußem werden sie die Blöcke 2 und 3 dieser weltweit modernsten Bauart sein.

Die beiden Kraftwerksblöcke werden eine Bruttoleistung von jeweils 1.100 MW und einen Wirkungsgrad von über 43 % haben. Wie alle anderen großen Braunkohlenkraftwerke wird auch das neue Kraftwerk in der Grundlast arbeiten.

- **Optimierter Kraftwerksprozess**

Obwohl die BoA-Blöcke von ihrem prinzipiellen Aufbau her mit vorhandenen Anlagen vergleichbar sind, stellen sie aufgrund zahlreicher bedeutender Verbesserungen in den einzelnen Anlagenteilen und Verfahrensschritten die heute beste zur Verfügung stehende Technik zur Braunkohlenverstromung dar.

Daraus resultiert eine bessere Ausnutzung des eingesetzten Brennstoffs und damit eine noch umweltverträglichere Stromerzeugung als in älteren Anlagen. So ist der Wirkungsgrad im Vergleich rund 31 % höher. Das neue BoA-Kraftwerk wird pro Jahr bis zu 6 Mio. t CO_2 weniger ausstoßen als die Altanlagen, die durch die BoA 2 und 3 ersetzt werden. Neben den CO_2-Emissionen verringern sich auch die spezifischen SO_2-, NO_x- und Staubemissionen um etwa 31 %. RWE investiert hierfür mehr als 2,2 Mrd. € in das BoA-Projekt.

7541014/10787806875Biblio

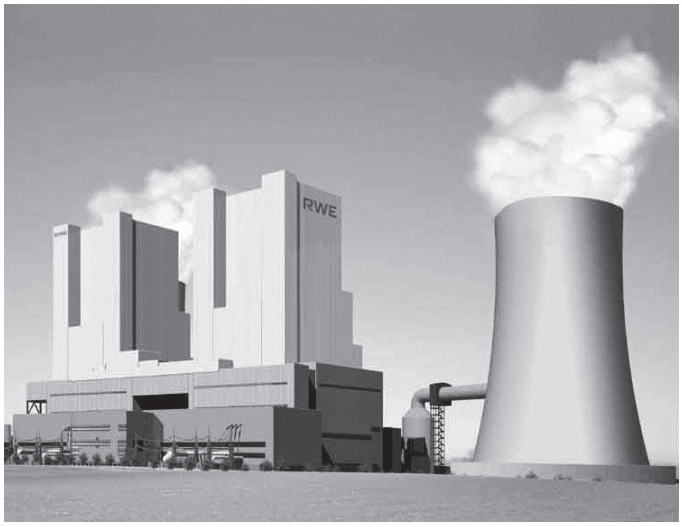


Abb. Fb-55: Das neue modernste Braunkohlenkraftwerk der Welt – Neurath BoA 2 & 3 [V37]

- **Infrastruktur**

Die beiden neuen Blöcke werden auf dem Gelände östlich des bestehenden Kraftwerks Neurath errichtet und zum Teil an die Ver- und Entsorgungseinrichtungen bestehender Kraftwerke angeschlossen, die dafür teilweise ertüchtigt beziehungsweise erweitert werden.

Technische Daten KW BoA 2 & 3

Technische Daten pro Block		Nennbetrieb	max. Auslegung
Feuerungswärmeleistung	MW	2.392	2.800
Rohbraunkohleneinsatz (Garantiekohle)	t/h	820	1.326
Bruttoleistung	MW	1.100	1.122
Nettowirkungsgrad	%	> 43	> 43
Dampfleistung	t/h	2.870	2.960
Frischdampfdruck/-temperatur*	Bar Grad	272/600	280,4/600
HZÜ-Druck/-Temperatur*	Bar Grad	55,5/605	56,7/605
Kondensatordruck	mbar	48	48
Speisewasservorwärmer	Stufen	9	9
Speisewasser-Eintrittstemperatur	Grad	292	294
Rauchgasabwärmenutzung	Grad	350/160/125	350/160/125

7541014/10787806875Biblio

3.10 RWE Power – Zahlen – Daten – Fakten

Veredlungsbetriebe (Trockenkohleerzeugung)	
Fortuna-Nord	1,8 Mio. t
Frechen	1,9 Mio. t
Ville/Berrenrath	0,5 Mio. t

Tagebaue	Abraum	Kohle
Garzweiler	121,4 Mio. m³	37,7 Mio. t
Hambach	254,3 Mio. m³	34,0 Mio. t
Inden	82,3 Mio. m³	20,3 Mio. t

Rekultivierung (RWE Power-Anteil)		
Gesamtfläche	213,2 km²	(205,9 km²)
davon		
landwirtschaftlich	112,1 km²	(109,9 km²)
forstlich	81,5 km²	(78,7 km²)
Wasserflächen	8,0 km²	(6,4 km²)
Sonstiges	11,6 km²	(10,9 km²)

Kraftwerke (installierte Leistung/netto)	
Frimmersdorf	1.625 MW
Goldenberg	151 MW
Neurath	2.063 MW
Niederaußem	3.680 MW
Weisweiler (incl. VGT u. MVA)	2.614 MW

Braunkohlenförderung und -verwendung	
Deutschland	169,9 Mio. t
RWE Power	92,0 Mio. t
davon	
zur Stromerzeugung	81,8 Mio. t
zur Veredlung	10,2 Mio. t

Braunkohle (Rheinland)	
Geologische Vorräte	55,0 Mrd. t
Wirtschaftlich gewinnbare Vorräte	35,0 Mrd. t
Genehmigte und erschlossene Tagebaue	3,6 Mrd. t
Reichweite	ca. 350 Jahre
Verhältnis Abraum/Kohle	5:1 (m³/t)

Schaufelradbagger	
Leistung	max. 240.000 m³/Tag
Länge	240 m
Höhe	96 m
Gewicht	13.500 t
Besatzung	4 Personen

4 Lausitzer Braunkohlenrevier

Das Lausitzer Revier umfasst folgende Tagebaue:

- Welzow-Süd
- Nochten
- Jänschwalde
- Cottbus-Nord
- Reichwalde (ab 2010)

Das als Lausitzer Braunkohlenrevier bezeichnete Gebiet erstreckt sich über 500.000 ha. Davon liegen zwei Drittel im Land Brandenburg und ein Drittel im Freistaat Sachsen. Jährlich werden ca. 60 Mio. t Braunkohle subventionsfrei im Tagebaubetrieb gefördert und in nahe liegenden Wärmekraftwerken sicher, effizient und umweltschonend in Energie umgewandelt. Betreiber sind die Vattenfall Europe Mining AG und Vattenfall Europe Generation AG, Cottbus.

7541014/10787806875Biblio

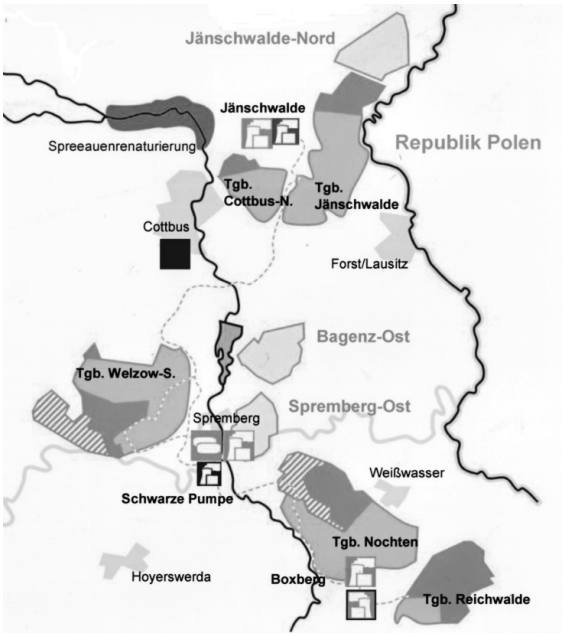


Abb. Fb-56: Übersichtsplan Lausitzer Braunkohlenrevier [18]

Im Tagebau Cottbus-Nord sind die 8 m bis 10 m mächtigen Flöze bis zu 55 m Abraum überlagert. Die Überlagerung im Tagebau Jänschwalde beträgt 45 m bis 95 m bei einer Flözstärke von 10 m bis 12 m.

Beim Tagebau Nochten haben die Lausitzer Flöze 1 und 2 eine Abraumhöhe bis zu 100 m bei einer Abraumhöhe bis zu 30 m.

Eine Überdeckung bis zu 130 m hat das 2. Lausitzer Flöz bei einer Flözstärke von 10 m bis 16 m im Tagebau Welzow-Süd.

4.1 Tagebautechnologie[24)]

4.1.1 Genehmigungsrechtliche Grundlagen

- **Bergbauliche Begriffe (eine Ergänzung aus dem Abschnitt „Rheinisches Revier“)**

Zum Fachwissen jedes Mitarbeiters im Tagebaubetrieb gehört die Kenntnis von Begriffen der Tagebautechnologie, die für die tägliche Arbeit benötigt werden und zur Vermeidung von Missverständnissen eindeutig definiert sein müssen.

- **Braunkohlenplan**

Der Braunkohlenplan ist das grundlegende landesplanerische Genehmigungsdokument für das Betreiben eines Tagebaus hinsichtlich der Auswirkungen auf das Territorium. Er umfasst die Gesamtentwicklung des Abbaufeldes mit der bergbaulichen Beeinflussung

24) Grundlagen aus: „Vattenfall – Grundlagen der Tagebauführung im Lausitzer Revier“

7541014/10787806875Biblio

von Landschaft, Menschen und der Infrastruktur (z. B. Inanspruchnahme und Ersatz von Siedlungsgebieten, Verkehrswegen, Versorgungseinrichtungen, Nutzflächen).

Das Braunkohlenplanverfahren wird von der Landesregierung (Brandenburg bzw. Sachsen) auf der Grundlage der Landesplanungsgesetze geführt. Es ist durch eine breite öffentliche Beteiligung von Kommunen, Institutionen, Trägern öffentlicher Belange und betroffenen Versorgungsträgern gekennzeichnet.

Im Ergebnis des Verfahrens werden Ziele formuliert, die eine verbindliche Arbeitsgrundlage für die Behörden bei der Zulassung bergrechtlicher Betriebspläne darstellen. Ihre Realisierung ist eine wesentliche Voraussetzung zur Sicherung der Akzeptanz des Braunkohlenbergbaus in der Öffentlichkeit.

- **Rahmenbetriebsplan**

Mit dem Rahmenbetriebsplan werden die grundlegenden bergrechtlichen Voraussetzungen zum Betreiben eines Tagebaus geschaffen. Er ist im Bundesberggesetz geregelt und wird beim Oberbergamt bzw. Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe zur Zulassung eingereicht.

Inhaltlich werden alle im Abbaufeld geplanten Maßnahmen im zeitlichen Ablauf dargestellt. Das sind im Wesentlichen:

– Übersicht über das Vorhaben,
– Berechtsamsverhältnisse,
– technische Konzeption,
– Vorsorgemaßnahmen zur Abwendung von Gefahren und möglichen schädlichen Einwirkungen sowie zur Wiedernutzbarmachung,
– verbleibende unvermeidbare Beeinträchtigungen und Gefährdungen und
– Betriebssicherheit und Schutz der Öffentlichkeit vor Gefahren des Betriebes.

Die Zulassung durch die Bergbehörde erfolgt in der Regel mit Nebenbestimmungen, die terminlich und inhaltlich durch den Bergbaubetreibenden zu realisieren sind.

- **Hauptbetriebsplan**

Der Hauptbetriebsplan – in der Regel für 2 Jahre erstellt – bildet entsprechend Bundesberggesetz die genehmigungsrechtliche Grundlage zur Errichtung und Führung eines Tagebaues. Er wird vom Bergbaubetreibenden bei der zuständigen Bergbehörde zur Zulassung eingereicht und baut auf den Rahmenbetriebsplan auf.

Durch die Bergbehörde wird in der Regel eine Beteiligung betroffener Kommunen (als Planungsträger) und anderer Behörden erfolgen, um die Übereinstimmung mit dem öffentlichen Interesse und heranzuziehenden Rechtsvorschriften zu gewährleisten. Die Zulassung kann mit Festlegung von Nebenbestimmungen erfolgen, deren termingerechte Realisierung vom Bergbaubetreibenden bei der Bergbehörde nachzuweisen ist.

Der wesentliche Inhalt des Hauptbetriebsplanes ist:

– allgemeine Übersicht über den Betrieb,
– Berechtsamsverhältnisse,
– Standortsituation,

7541014/10787806875Biblio

- Angaben zur Betriebsentwicklung,
- technische Konzeption des Betriebes,
- Wiedernutzbarmachung,
- Bergbau- und öffentliche Sicherheit.

- **Sonderbetriebsplan**

Sonderbetriebspläne werden im Allgemeinen für Objekte und Anlagen erarbeitet, die nicht unmittelbar an den Produktionsprozess gebunden sind. Sie müssen zeitlich nicht befristet sein. Sie werden bei der zuständigen Bergbehörde zur Zulassung eingereicht. Die Zulassung von Sonderbetriebsplänen kann mit Nebenbestimmungen erfolgen, die vom Bergbaubetreibenden zu realisieren sind.

Als typisches Beispiel kann der Sonderbetriebsplan „Dichtwand“ genannt werden. Abweichungen, die zum Inhalt eines bestätigten Betriebsplanes eintreten, sind bei der Bergbehörde ebenfalls zur Zulassung einzureichen.

- **Abschlussbetriebsplan**

Die Einstellung eines Betriebes bedarf der Aufstellung eines Abschlussbetriebsplanes. Dieser soll die technische Durchführung und die geplante Dauer der Betriebseinstellung darstellen.

Abschlussbetriebspläne haben zum Ziel, bergbauliche Objekte aus der Bergaufsicht entlassen zu können und die Freigabe der Flächen zur gewerblichen oder anderweitigen Nutzung zu ermöglichen. Es müssen Angaben zur Beseitigung der betrieblichen Anlagen und Einrichtungen oder über ihre Weiterverwendung nach dem Ende der Bergaufsicht erfolgen. Im Abschlussbetriebsplan muss nachgewiesen werden, dass die Ziele der Wiedernutzbarmachung laut Braunkohlenplan erreicht sind bzw. werden.

Mit dem Abschlussbetriebsplan ist der eindeutige und lückenlose Nachweis zu erbringen, dass von der ehemals bergbaulichen Tätigkeit keine Gefährdungen für die Folgenutzung mehr bestehen.

Sofern die Verhältnisse nach dem Auslauf schon während des Betriebes für ein Objekt klar definiert werden können, kann ein Abschlussbetriebsplan zeitlich weit vor dem Auslauftermin erarbeitet werden. Das wurde z. B. beim Depot Nochten praktiziert. Für kleinere Objekte sind auch Teilabschlussbetriebspläne möglich (Beispiel: Findlingspark Nochten). Abschlussbetriebspläne werden bei der zuständigen Bergbehörde zur Zulassung eingereicht. Diese kann mit Nebenbestimmungen versehen werden, die vom Bergbaubetreibenden zu realisieren sind.

4.1.2 Grundlagen der Tagebauführung

- **Jahresplanung**

Die Jahresplanung ist das komplexe betriebliche Dokument für die Fahrweise des Tagebaues innerhalb eines Geschäftsjahres mit Vorausschau auf das Folgejahr.

Sie unterliegt keiner Genehmigungspflicht durch die Bergbehörde oder andere Behörden. In ihr wird detailliert die geplante Tagebauentwicklung für alle Betriebsbereiche dargestellt.

7541014/10787806875Biblio

Schwerpunktkomplexe einer Jahresplanung sind:

- Beschreibung der technologischen Entwicklung aller Betriebsabteilungen einschließlich der dazu gehörenden Abbau- und Kippenpläne,
- Rohkohleförderung einschließlich der Bestandsentwicklung nach Monaten, Darstellung von Rekonstruktionsmaßnahmen, Umbauten und Komplexinstandsetzungen an Tagebau-Großgeräten,
- Geotechnik und Bergbausicherheit für alle Betriebsbereiche,
- Wasserwirtschaft,
- Landinanspruchnahme und Rekultivierung.

- **Monatsplanung**

Die Bedeutung der Monatsplanung liegt in der weiteren Präzisierung der Jahresplanung entsprechend der aktuellen Situation (Rohkohlebedarf, zwischenzeitlich eingetretene technologische und sonstige Veränderungen). Bei eingetretenen Abweichungen von der Jahresplanung (z. B. Abbaufortschritt) sind in der Monatsplanung die notwendigen Anpassungen an die planmäßige Entwicklung vorzunehmen.

Die wesentlichen Schwerpunkte der Monatsplanung für die Betriebsbereiche Vorschnitt, Abraumförderbrücke und Grube sind:

- Produktionsvorgaben einschließlich Anforderung an Kohlequalitäten,
- Kennziffern: Fördervolumen Vefj, Betriebszeit tB, zeitliche Auslastung TiT, Bagger-effekt ri,
- technologische Schwerpunkte,
- Arbeitszeitregime,
- gerätetechnische Maßnahmen (Reparaturen u. a.), Abbau- und Verkippungsfortschritt,
- geotechnische Vorgaben (Tagebausicherheit),
- Entwässerung (Rückbau und Wiederinbetriebnahme von Pegeln und Filterbrunnen, Filterbrunnen-Bohrprogramm, Oberflächenentwässerung), Schwerpunkte,
- Bereich Aus- und Vorrichtung (Hilfsgeräteeinsatz) für die jeweilige Betriebsabteilung,
- Einhaltung der Qualitäten für die Rekultivierung in der Abschlussschüttung.

- **Wochenplanung**

Die Wochenplanung hat die konkrete Festlegung des Betriebsablaufes bis zur Schichteinteilung für alle Abteilungen zum Inhalt.

Für den Grubenbetrieb werden auf der Grundlage der Tagesbilanzen die Fahrweise der Grubengeräte sowie die Auf- und Abhaldung für die Kohlehalde/Grabenbunker unter Berücksichtigung der Qualitätsanforderungen festgelegt.
Es ist eine exakte Abstimmung der Fahrweise zwischen Abraumförderbrücke und Grubengeräten erforderlich, insbesondere bei geringen sofort greifbaren Beständen (Sicherung von Mindestblockbreiten für die Grubengeräte) und bei hohen Beständen (Schüttfreiheit für die Förderbrücke).

7541014/10787806875Biblio

Innerhalb der Wochenplanung für Vorschnitt, Brückenbetrieb und Grube erfolgt die Festlegung der Stillstände und Reparaturen aller Geräte in Abstimmung mit der Abteilung Instandhaltung.
Weiterhin wird der technologische Einsatz aller Großgeräte mit Angabe der Fahrspur bzw. des Abstandes von der Bandanlage (Vorschnitt und Grube) und der Stationsbereiche für Baggerung/Verkippung festgelegt.
Die zeitliche Planung der Rückarbeiten mit Festlegung der Rückbereiche komplettiert das System der technologischen Fahrweise innerhalb der Wochenplanung.

Ein wesentlicher Teilkomplex der Wochenplanung ist der geotechnische Teil mit umfassenden Vorgaben zur geotechnischen Sicherheit im Tagebau.
Dazu gehören im Einzelnen:

- der zulässige Böschungswinkel in den fortschreitenden und bleibenden Böschungen für Vorschnitt, Abraumförderbrücke und Grube,
- die Mindest-Vorlandbreiten vor den Tiefschnittböschungen, für die Absetzer-Tiefschüttung und die Vorkippe der Abraumförderbrücke,
- die Vorlandbreiten und Sicherheitsabstände für Hilfsgeräte und Fahrzeuge,
- die Geometrie der Abraumförderbrückenkippe (zulässige Gesamtkippenhöhen, Massendrittelung bei der F 60, erforderliche Vorbermenbreiten), Verhaltensanforderungen (z. B. Beobachtungsfahrweisen) in geotechnisch besonders gefährdeten Bereichen.

Weitere wichtige Vorgaben der Wochenplanung sind:

- die Planumsgestaltung (Steigen/Fallen für alle Arbeitsebenen mit Angabe der Stationsbereiche),
- die bergmännischen Einbauten mit genauer Stationsangabe für alle Baggerböschungen zur Vermeidung von Schäden an den Großgeräten,
- die Bohrarbeiten, der Rückbau und die Wiederinbetriebnahme von Filterbrunnen und Pegeln im Tagebau,
- die Einhaltung der Qualitäten für die Rekultivierung in der Abschlussschüttung.

- **Tagesplanung**

In der Tagesplanung werden die Vorgaben der Wochenplanung untersetzt und die konkreten Arbeitsaufgaben für den Tag festgelegt.

Wesentliche Bestandteile der Tagesplanung sind:

- technologische Vorgaben zum Einsatz der Großgeräte, z. B. Baggerbereiche, Abbaurichtung, Angaben zur Fahrspur bzw. zur Blockbreite, Vorgaben,
- Planumsgestaltung zu technologischen Besonderheiten,
- Festlegung zu Änderungen des Förderregimes,
- Leistungsvorgaben für jede Schicht,
- erforderlicher Einsatz von Hilfsgeräten,
- Festlegung der Bereiche von Rückarbeiten,
- geplante Reparaturmaßnahmen,
- Hinweise zu Schwerpunkten der Tagebausicherheit, des Brandschutzes und der Gerätesicherheit.

7541014/10787806875Biblio

Bestandteil der Tagesplanung des Grubenbetriebes sind Vorgaben zum Haldenregime und zur Qualitätsfahrweise.

4.1.3 Einsatztechnologie der Großgeräte

4.1.3.1 Vorschnitt

Der Vorschnitt ist der einer Abraumförderbrücke (AFB) auf der Baggerseite vorgeschaltete Abraumbereich eines Braunkohlentagebaus. Zur Prozesslinie gehört der auf der Kippenseite der AFB nachfolgende Abraumbereich. Die Prozesslinie Vorschnitt hat zwei wesentliche Aufgaben:

- Gewinnung, Förderung und Verkippung des Anteiles am Deckgebirge, der die mögliche Abtragsmächtigkeit der Förderbrücke übersteigt,
- Schaffung der Voraussetzungen für eine optimale Rekultivierung und Landschaftsgestaltung auf der Kippenseite.

Beide Aufgaben sind als gleichwertig zu betrachten.

In den Tagebauen Jänschwalde, Welzow-Süd und Nochten arbeiten moderne Vorschnitt-Bandbetriebe.

Auf der Baggerseite sind überwiegend Schaufelradbagger mit Raupenfahrwerken eingesetzt. Sie bieten gegenüber den gleisgebundenen Baggern aufgrund größerer Rückbreiten technologische Vorteile.

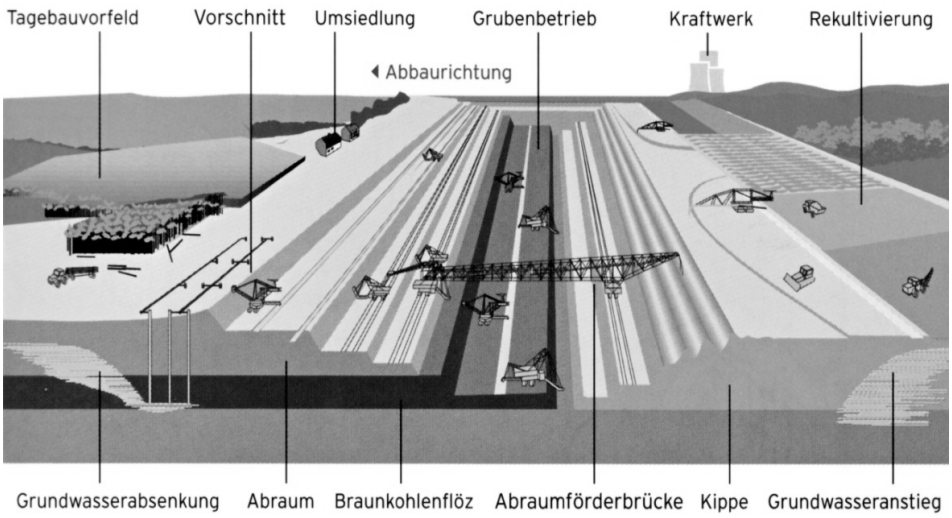


Abb. Fb-57: System der Tagebauführung im Direkt-Versturz-System (DVS) im Lausitzer Revier [18]

7541014/10787806875Biblio

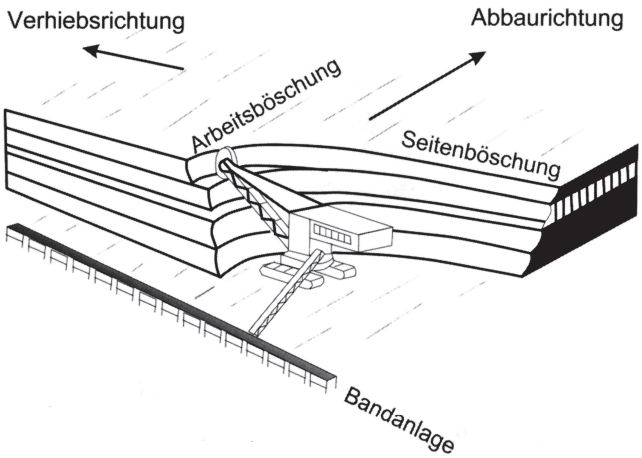


Abb. Fb-58: Einsatz eines Schaufelradbaggers im Kopfblockverhieb [18]

Im Tagebau Welzow-Süd ist neben dem SRs 6300 mit dem 1285 Es 3150 ein Eimerkettenbagger im Einsatz, dessen Hauptfunktionen die Sicherung des Abtrages des Deckgebirges und das notwendige Freischneiden des Schlauches im Tiefschnitt für die Zubringerbrücke der F 60 an der südlichen Abbaukante sind. Da seine Bauart und Baggertechnologie viele Gemeinsamkeiten mit den F 60-Baggern aufweist, wird in diesem Abschnitt bei den Gewinnungsgeräten ausschließlich die technologische Fahrweise von Schaufelradbaggern behandelt.

Abb. Fb-59: Zwei schienengebundene Eimerkettenbagger in der Abraumgewinnung [18]

7541014/10787806875Biblio

Die Schaufelradbagger arbeiten im Blockverhieb (Abb. Fb-58). Das Raupenfahrwerk des Baggers steht dabei in Verhiebsrichtung, und der Bagger gewinnt in mehreren Scheiben durch Ausschwenken des Schaufelradauslegers den Abraum in der Arbeitsböschung.

4.1.3.2 Spangeometrie

Beim Gewinnungsvorgang schneidet jede Schaufel einen annähernd kreisförmig gekrümmten Span aus der Böschungsscheibe. Man unterscheidet zwischen Horizontal- und Vertikalspan.

Der Horizontalspan entsteht durch eine horizontale Einstellbewegung (Vorfahren des Baggers in Richtung Arbeitsböschung). Beim Vertikalspan erfolgt die Einstellung durch Absenken des Schaufelradauslegers.
Nachstehend sind beide Spanformen dargestellt.

In der Praxis hat sich die Baggerung im **Horizontalschnitt** aufgrund der besseren Füllungsverhältnisse und damit des höheren effektiven Fördervolumens durchgesetzt. Der **Senkschnitt** ist eine technologische Besonderheit.

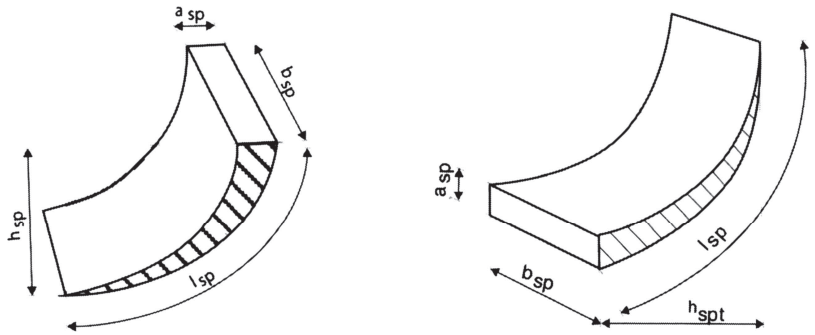


Abb. Fb-60: Horizontalspan (links) – Vertikalspan (rechts) [18]

4.1.3.3 Sichelschnitt

Im Blockverhieb entsteht bei vorschublosen Schaufelradbaggern mit konstantem Schwenkradius eine Spanfolge, die in Richtung der Baggerachse das Maximum der Spandicke hat und beim Ausschwenken in Richtung der Seitenböschung durch eine stetig verringerte Spandicke und damit ein verringertes effektives Fördervolumen gekennzeichnet ist.

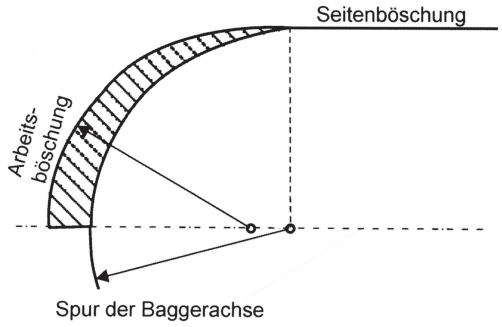


Abb. Fb-61: Sichelschnitt [18]

7541014/10787806875Biblio

Wenn aufgrund der vorgegebenen Böschungsgeometrie in der obersten Scheibe bis rechtwinklig zur Baggerachse ausgeschwenkt werden muss, erreicht die Spandicke annähernd null.

Auf den modernen Schaufelradbaggern sind Baggerprogrammsteuerungen installiert, die neben anderen Funktionen eine schwenkwinkelabhängige Regelung der Schwenkgeschwindigkeit bewirken und damit zur Verringerung der Sichelschnittverluste beitragen. Auf das volle Ausschwenken in den oberen Scheiben wird verzichtet, wenn entsprechende Reserven in der Böschungsgeometrie vorhanden sind.

Der Freischnittwinkel ist der Winkel zwischen der gemeinsamen Tangente an Schaufel und äußerster Konstruktionskante des Schaufelradauslegerkopfes und der Verbindungslinie zwischen Schaufel- und Baggermitte, gemessen in horizontaler Ebene.

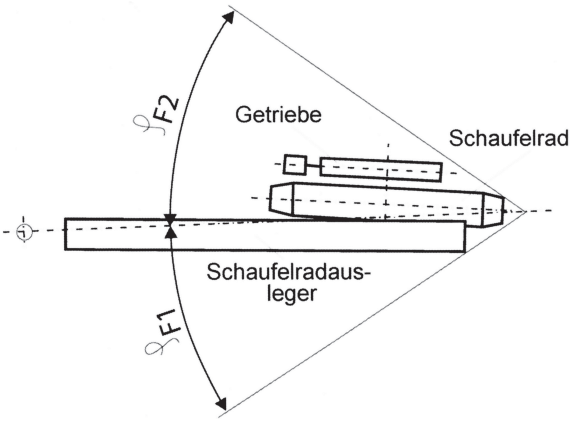


Abb. Fb-62: Freischnittwinkel des Schaufelrades [18]

Er bestimmt den Mindestabstand zwischen der Unterkante der Seitenböschung und der Baggermitte, bei dem die Seitenböschung in der untersten Scheibe noch freigeschnitten werden kann. Wird dieser Abstand unterschritten, kann die Richtung der Seitenböschung nicht mehr parallel zur Baggerachse gehalten werden. Der Bagger kann sich nicht mehr freischneiden.

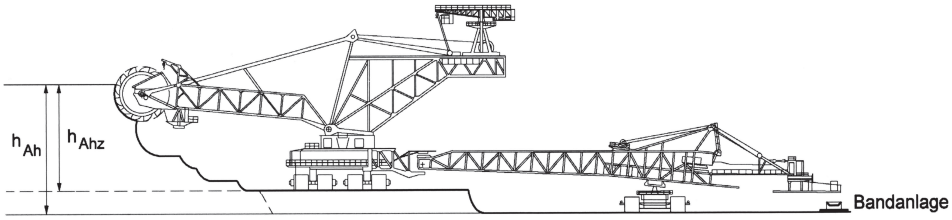
Zu beachten ist, dass der Freischnittwinkel auf der Getriebeseite und der Radbandseite des Schaufelradauslegers meist unterschiedlich groß ist, so dass abhängig von der Fahrtrichtung bei der Baggerung unterschiedliche Mindestabstände zwischen der Seitenböschung und der Baggermitte notwendig sind. Die praktische Bedeutung des Freischnittwinkels liegt vor allem darin, dass er neben anderen Gerätedaten die mögliche Abtragshöhe bei einem geotechnisch vorgegebenen Böschungswinkel für die Seitenböschung bestimmt.

4.1.3.4 Hochstufenbaggerung mit Verladegerät

Diese Gewinnungstechnologie kann angewendet werden, wenn die vorhandene Abtragshöhe die konstruktiv mögliche oder die durch geotechnische Vorgaben (Böschungswinkel) zulässige Abtragshöhe übersteigt.
Das kann in der Praxis auftreten, weil mit steigender Böschungshöhe der geotechnisch zulässige Böschungswinkel kleiner wird, während sich der aus der Gerätegeometrie ergebende Böschungswinkel mit der Böschungshöhe vergrößert.

7541014/10787806875Biblio

Das Grundprinzip der Hochstufenbaggerung ist in Abb. Fb-63 dargestellt.



h_{Ah} = Abtragshöhe in m – h_{Ahz} = zul. Abtragshöhe in m

Abb. Fb-63: Grundprinzip der Hochstufenbaggerung [18]

Es erfolgt eine Unterteilung des Hochschnittes in zwei Teilschnitte. Der Bagger schneidet in Strossenrichtung eine Rampe in die Arbeitsböschung ein, über die er auf eine Hilfsarbeitsebene gelangt und den oberen Teilschnitt gewinnt. Das Verladegerät bleibt auf der unteren Arbeitsebene.
Nach dem Ausbaggern fährt der Bagger auf diese Arbeitsebene zurück und gewinnt den unteren Teilschnitt.

Die mögliche Abtragshöhe für Hochstufenbaggerung hängt von maschinentechnischen Parametern ab (zulässige Höhendifferenz zwischen Bagger und Verladegerät bei zweiteiligen Schaufelradbaggern, Beherrschung des Beladevorganges vom Verladeausleger auf das Fördermittel bei Baggern ohne Verladegerät). Sie kann aber auch geotechnisch begrenzt sein (Vorland auf der Hilfsarbeitsebene).

4.1.3.5 Tiefstufenbaggerung mit Verladegerät

Im Gegensatz zur Hochstufenbaggerung fährt der Bagger auf einer tiefer gelegenen Arbeitsebene als das Verladegerät. Er schneidet mit dem Schaufelrad eine geneigte Ebene. Die Teufe wird durch eine Endschalterkombination „Hoch-Tiefstufe“ begrenzt.

Die Tiefstufenbaggerung wird zur Arbeitsebenenkorrektur angewendet. Auch hier hängt die zulässige Höhendifferenz von maschinen- und geotechnischen Parametern ab.

Entscheidend für den effektiven Einsatz der Vorschnittgeräte ist eine sorgfältige Planung des Baggereinsatzes auf der Grundlage der geotechnischen, technologischen und maschinentechnischen Bedingungen. Dazu gehören insbesondere:

- Anzahl und Höhe der Scheiben in den einzelnen Strossenabschnitten. Die optimale Scheibenhöhe, bezogen auf den erreichbaren Volumenstrom, beträgt das 0,5- bis 0,7-Fache.
- Schaffung der Voraussetzungen zur Erzielung maximaler Blockbreiten. Beim SRs 6300 sind beispielsweise Blockbreiten bis über 100 m möglich.

Blockbreiten sind:

- hohe Effektivleistung infolge geringer Sichelschnittverluste,
- Erhöhung der reinen Betriebszeit durch Verringerung der Nebenarbeiten (z. B. Scheibenwechsel),
- Senkung des Verschleißes an den Fahrwerken durch Reduzierung der Fahrbewegungen pro Mengeneinheit an Abraum,

7541014/10787806875Biblio

- Einsparung an Elektroenergie,
- Rationalisierung der Rückarbeiten,
- die Fahrweise des Vorschnittes ist vorausschauend so zu steuern, dass ein für das Gesamtsystem des Tagebaus optimaler Vorlauf vor der AFB zu jedem Zeitpunkt gesichert ist.

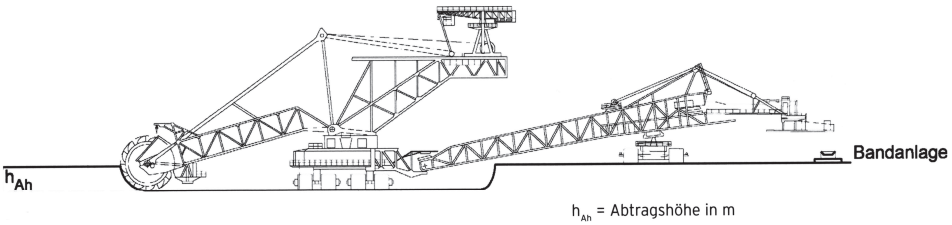


Abb. Fb-64: Grundprinzip der Tiefstufenbaggerung [18]

4.1.3.6 Verkippung

In allen Vorschnitten sind zweiteilige Bandabsetzer mit Aufnahme- und Abwurfgerät auf Raupenfahrwerken eingesetzt. Die Verkippung erfolgt im Regelfall im Blockversturz. Dabei wird der Abraum jeweils aus dem Stand durch Schwenken des Abwurfauslegers in Tief- oder Hochschüttung verstürzt.
Die großen Längen der Abwurfausleger ermöglichen breite Kippenblöcke und große Versturztiefen (z. B. Randschlauchschließung) sowie große Rückbreiten der Bandanlage.
Zur Vermeidung aufwändiger und zeitraubender Umbauten bei den Rückarbeiten werden die Kippen von Bandabsetzern im Allgemeinen als Schwenksektoren entwickelt. Der Bereich des Kippendrehpunktes ist sowohl Abstellplatz des Absetzers bei den Rückarbeiten als auch Reparaturplatz.

Es werden große Anstrengungen unternommen, um dem gestiegenen Umweltbewusstsein in der Öffentlichkeit gerecht zu werden und alle Möglichkeiten zur Erhöhung der Akzeptanz der Braunkohle zu nutzen.

Die Gestaltung der Absetzerkippen schafft die Grundlage für eine bleibende Kulturlandschaft, die mehr als ein Ersatz für die in Anspruch genommenen Flächen sein kann.

Im Folgenden werden einige technologische Grundsätze zur Entwicklung der Absetzerkippen unter dem Blickwinkel der Rekultivierung und Landschaftsgestaltung erläutert:

Um die Zeitspanne zwischen Flächenentzug und Rekultivierung so kurz wie möglich zu halten und Umweltbelastungen zu reduzieren (z. B. Staubbelästigung durch freiliegende F 60-Kippe), sollte die Abschlussschüttung dem offenen Tagebau zeitnah folgen.

Die hergestellte Oberfläche der Absetzerkippe liegt über dem endgültigen Grundwasserstand.

Lokale Hochschüttungen, z. B. zur Landschaftsgestaltung für Ortschaften im Tagebaurandbereich, werden vielfältig genutzt.

7541014/10787806875Biblio

Eine Grundforderung der Rekultivierung besteht darin, die kulturfreundlichsten Böden auf die Oberfläche der Absetzerkippe zu bringen. Dazu ist eine sehr genaue technologische Abstimmung zwischen Bagger- und Kippenseite erforderlich.

Im Betriebsablauf lässt es sich nicht immer vermeiden, dass lokal ungeeignete Bodenarten ins Planum gelangen. Durch 2 m bis 3 m hohe Rückwärtsschüttungen mit kulturfreundlichen Böden nach dem entsprechenden Kippenfortschritt wird diese Situation bereinigt. Die entstehende flachwellige Kippenoberfläche trägt mit zu einem abwechslungsreichen Kippenrelief bei.

4.1.3.7 Förderbrückenbetrieb

- **Technologische Grundlagen**

Die wesentlichen Vorteile der Förderbrückentechnologie liegen in der hohen Betriebskonzentration sowie im extrem kurzen Förderweg des Abraumes zur Brückenkippe. Damit ist sie allen anderen Technologien überlegen und hat grundlegende Bedeutung für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Braunkohle gegenüber anderen Energieträgern. Als ein Nachteil ist der begrenzte Vorrat an sofort greifbarer Kohle im Grubenbetrieb zu nennen.

Bei der Beherrschung komplizierter geologischer Lagerstättenverhältnisse, wie Muldenstrukturen, Grabenbrüche und Pleistozänstörungen, sind mit den Förderbrückenverbänden im Laufe von Jahrzehnten wertvolle Erfahrungen gesammelt und grundlegend neue Erkenntnisse gewonnen worden.

Die F 34 im vorschnittfreien Tagebau Cottbus-Nord ist mit zwei rechtsseitig (in Förderrichtung) auf einem gemeinsamen Querförderer angeordneten Baggern Typ Es 1120.2 (Eimerkettenbagger) bestückt.

Diese Förderbrücke ist leistungs- und abtragsverstärkt. Ihre Stützweite wurde von 180 m auf 200 m vergrößert und der Ausleger von 75 m auf 95 m verlängert. Des Weiteren ist sie mit einem Zwischen- und Vorschüttband auf der Kippenseite ausgerüstet.

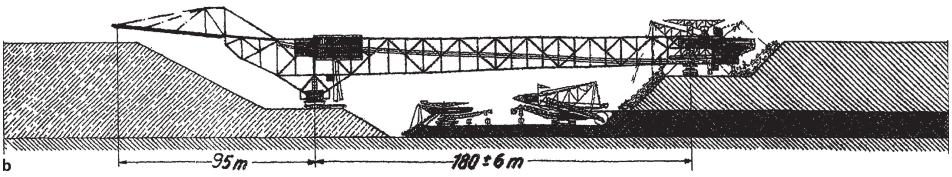


Abb. Fb-65: Förderbandbrücke F 34 [18]

Die drei in Betrieb befindlichen Abraumförderbrücken Typ F 60 sind mit Zubringer-und Hauptbrücke auf zwei baggerseitigen Arbeitsebenen eingesetzt.

Eine weitere Gemeinsamkeit ist die Baggeranordnung mit jeweils einem Es 3150 (Eimerkettenbagger) bzw. Es 3750 (Eimerkettenbagger) auf der oberen Arbeitsebene linksseitig der Zubringerbrücke und zwei Geräten der gleichen Typen, die beidseitig der Hauptbrücke angeordnet sind. Seit dem 01.04.2010 sind auch die Förderbrücken Typ F 60 in Jänschwalde ohne Zubringer im Einsatz.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-66: Einer der größten Eimerkettenbagger im Lausitzer Revier – der Es 3750 – auf Schienenlaufwerk. Er hat eine Förderleistung bis zu 14.000 m³/h bei einer Abbauhöhe bis zu 36 m und eine mögliche Tiefe von 33,5 m. [18]

Abb. Fb-67: Schienenfahrwerk des Es 3750 m [18]

7541014/10787806875Biblio

Bei den Förderbrücken Typ F 60 in Welzow-Süd und Nochten ist der Zubringer auf dem Obergurt der Hauptbrücke abgestützt. Die Hauptbrücke hat mit dem oberen und unteren Hauptband zwei parallele Förderwege. In dieser Hinsicht bildet die F 60 Jänschwalde eine Ausnahme.

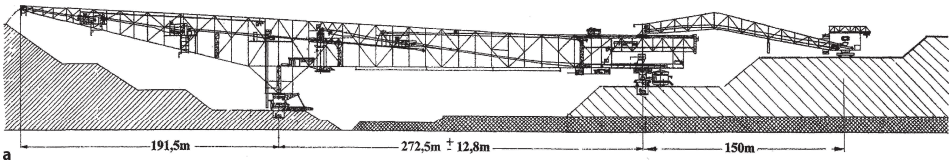


Abb. Fb-68: Abraum-Förderbandbrücke (AFB) vom Typ F 60 [18]

Ihr Zubringer ist über dem linken Querförderer in Förderrichtung auf der Hauptarbeitsebene abgestützt. Die Massen aller drei Bagger werden über ein gemeinsames Hauptband zur Kippe abgefördert.

Die grundsätzliche technologische Fahrweise von Abraumförderbrücken ist dadurch gekennzeichnet, dass der Brückenverband in einem Strossenbereich baggert, während in einem bereits ausgebaggerten Strossenbereich die Gleise gerückt werden. Bei guter Organisation und ausreichender Strossenlänge steht immer mindestens ein Strossenbereich zum Baggern zur Verfügung. Damit treten keine Stillstände durch Rückarbeiten ein, und es können sehr hohe zeitliche Auslastungen erzielt werden.

Strossenverlängerungen erfolgen durch Gleisvorstrecken am Strossenende. Der Strossenendwinkel α ist der Winkel, den die fortschreitende Baggerböschung mit der Abbaugrenze in Abbaurichtung bildet.

$\alpha >$ 900 bedeutet Strossenverlängerung,

$\alpha <$ 900 bedeutet Strossenverkürzung.

Der maximal mögliche Strossenendwinkel einer Förderbrücke ist konstruktionsbedingt, insbesondere durch die Querfördererlänge. Entscheidend ist, dass in der Strossenendstellung der Förderbrücke (Bagger- und Kippenstütze am Gleisende) noch ein ausreichend großer Verteilungsweg für die Massen der Kopfbaggerung durch Ausschwenken der Kippenstütze in Richtung Strossenmitte bis zur maximalen Winkelstellung vorhanden ist.

Sind bedingt durch die Feldesform Strossenverlängerungen notwendig, die über den maximalen Strossenendwinkel hinausgehen, muss die Brückenstrosse gekrümmt werden. Dadurch wird infolge des zurückhängenden Strossenendes die Strossenrichtung so verändert, dass ein fahrbarer Strossenendwinkel entsteht.

Die speziell an der F 60 Nochten gewonnenen Erfahrungen besagen, dass die Krümmungsradien nicht enger als R = 5.000 m gewählt werden sollten, um den Verschleiß an Gleisen und Fahrwerken in Grenzen zu halten und die Gleisrückarbeiten mit dem notwendigen Bau von Trennstellen zu beherrschen (Winterbetrieb!).

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Anpassung der Gruben- an die Brückenstrossen, wobei auch die Grubenbandanlage gekrümmt mit R = 6.000 m bis 7.000 m zu betreiben ist.

7541014/10787806875Biblio

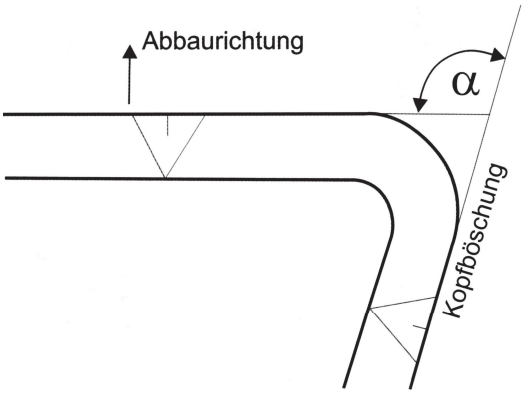


Abb. Fb-69: Strossenendwinkel [18]

- **Massenverteilung und Fahrweise am Strossenende**

Ein Grundprinzip jedes Förderbrückentagebaus ist es, der Brücke aus Effektivitätsgründen die maximal mögliche Abtragsmächtigkeit zuzuordnen. Das setzt sowohl eine sorgfältige Planung als auch eine ebenso disziplinierte Brückenfahrweise voraus. Kernstück der Massenverteilung auf der Kippe ist das Winkelstellungsfahrprogramm, mit dem ein optimaler Kippenaufbau über die gesamte Strosse erreicht werden soll.

Die unterschiedlichen Winkelstellungen werden durch Steuerung der Fahrgeschwindigkeit an der Kippenstütze erzielt. An der F 60 ist das Programm automatisiert fahrbar.

In der Projektierungsphase ist für einen ausreichend großen Zeitraum die Trennebene zwischen Vorschnitt und Abraumförderbrücke nach folgenden Kriterien festzulegen:

1. technologisch bzw. geotechnisch mögliche Abtragsmächtigkeit auf der Baggerseite,
2. Massenunterbringung unter dem Brückenausleger,
3. geotechnisch zulässige Gesamtkippenhöhen.

In verschiedenen Strossenabschnitten können unterschiedliche Kriterien wirksam sein. Der jeweils kleinste Wert ist maßgeblich.
Auf dieser Grundlage wird über einen Massenverteilungsplan, gewissermaßen ein vorausgedachtes Winkelstellungsfahrprogramm, die Massenunterbringung mit den notwendigen betrieblichen Reserven nachgewiesen.

Aufgabe der Brückenbesatzung ist es, auf der Grundlage der detaillierten Vorgaben, insbesondere des Winkelstellungsfahrprogrammes, die Einhaltung aller Parameter zu gewährleisten.

Bei den drei F 60 mit beidseitig der Hauptbrücke angeordneten Baggern treten die größten kippenseitigen Probleme meist an den Strossenenden auf.

Während in der Strossenmitte im 2. und 3. Brückenschnitt die Baggerung wechselweise durch beide Geräte erfolgt, gibt es an den Strossenenden einen Bereich, den nur noch ein Bagger gewinnen kann. Die Baggerung des Nachholabschnittes wird als Nachholschnitt bezeichnet. Beim Fahren im einfachen Baggerabstand, der Kurzblockfahrweise, kann bei genauer Einteilung der Baggerungs- und Rücklängen der Nachholabschnitt entfallen. Diese Fahrweise hat aber immer einen extrem ungleichmäßigen Kippenaufbau in Strossenrichtung zur Folge und kann speziell am Strossenende zu einer unkontrollierten Massenzusammendrängung führen (s. Abb Fb-70).

7541014/10787806875Biblio

Die Länge des Nachholabschnittes beträgt an der F 60 Nochten und Welzow-Süd ca. 250 m, in Jänschwalde ca. 350 m. Er tritt im 2. und 3. Brückenschnitt auf und muss ebenso wie die Massen der Kopfbaggerung im Einbaggerbetrieb gewonnen werden.

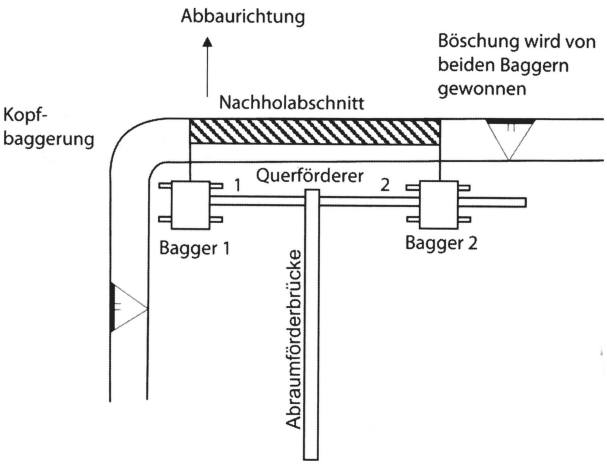


Abb. Fb-70: Schema für Nachholabschnitt am Strossenende [18]

4.1.3.8 Baggertechnologie

Die Baggertechnologien bestimmen entscheidend das effektive Fördervolumen an den Brückenverbänden. Im Laufe vieler Betriebsjahre wurden diese Technologien immer weiter vervollkommnet.

Allgemeine Grundsätze:

- Die Baggerung erfolgt im Frontverhieb. Es sind immer möglichst große Fahrlängen (mindestens 1 km bei der F 60) anzustreben, um die Wendeverluste zu minimieren.
- Wichtig ist die Herstellung gleichmäßiger Böschungen in allen Brückenschnitten, um Leistungsverluste durch häufiges Heben und Senken der Eimerleiter zu vermeiden.
- Der Wechselschnitt (ein Bagger im Hochschnitt, der andere im Tiefschnitt) am unteren Verband ist zu vermeiden.
- Aufgrund unterschiedlicher optimaler Fahrgeschwindigkeiten in den Schnitten entstehen Verluste. Auch bei blutenden Böschungen ist das konzentrierte Ausbaggern eines Schnittes mit zwei Baggern von Vorteil.

- **Hochschnittbaggerung**

Die herkömmliche Hochschnitttechnologie bei Eimerkettenbaggern ist dadurch gekennzeichnet, dass der Bagger nach dem Rücken in rechtwinkliger Stellung zum Gleis mit dem Rinnenfuß an der Böschungsunterkante steht. Alle Eimerleiterteile sind angehoben und der Böschung angepasst. Bei der Baggerung erfolgt spanweise eine Absenkung der Eimerleiter sowie die Abwinkelung des Hochbaggerplanierstückes 1 bis zur horizontalen Stellung. Die Rückbreite wird entsprechend der Länge des Hochbaggerplanierstückes gewählt.

Nachteile dieser Technologie sind Leistungsverluste in der Endphase der Ausbaggerung durch ungünstige Füllungsverhältnisse am Rinneneinlauf bei flach stehendem Hochbaggerplanierstück sowie durch die notwendige Planumsbaggerung.

7541014/10787806875Biblio

- **Wesentlich effektivere Technologie**

Es wird auf eine Böschung aufgerückt, die nur bis zur rechtwinkligen Gerätestellung mit teilweise abgesenktem Hochbaggerplanierstück ausgebaggert ist. Die nächste Ausbaggerung beginnt eingeschwenkt. Es wird grundsätzlich in Fahrtrichtung eingeschwenkt (stoßende Baggerung). Bei jeder Fahrt wird der Schwenkwinkel verringert, bis die rechtwinklige Stellung mit der anfangs erläuterten Böschungsgeometrie erreicht ist. Gleichzeitig erfolgt dabei mittels der Rinnenpflüge die Herstellung des Planums. In der gesamten Ausbaggerungsphase wird ein hohes effektives Fördervolumen erzielt.

Beim Auftreten von bindigen Schichten im Planumsbereich oder stark blutenden Böschungen muss das Planum unterschnitten und bekiest werden. In Jänschwalde erfolgt die Eigenbekiesung durch Rückwärtslauf des Bandes 14 bzw. über die Baggerschurre der Brückenbagger an den F 60 Welzow-Süd.

In Nochten erfolgt dies durch Rückwärtslauf des oberen Hauptförderers mit rolligen Massen aus dem 1. Brückenschnitt. Für diese Situation hat sich die Technologie des doppelten Aufrückens auf den Hochschnitt mit folgendem Ablauf bewährt:

1. Volles Ausbaggern des Hochschnittes bis zur rechtwinkligen Baggerstellung und Unterschneiden des Planums,
2. Ausbaggerung des Tiefschnittes, gleichzeitig Bekiesung des Planums,
3. Gleisrücken,
4. zweite Ausbaggerung des Tiefschnittes, bei Bedarf Nachbekiesung,
5. erneutes Gleisrücken, danach wieder Hochschnittbaggerung.

Die Rückbreiten werden der Baggergeometrie (Länge des Unterschneidungsprofils in Abbaurichtung) und der örtlichen geologischen Situation angepasst. Wesentliche Vorteile des doppelten Aufrückens auf den Hochschnitt sind:

– Reduzierung der stark leistungsgeminderten Unterschneidungs- und Schlammbaggerung auf ca. 50 %.
– Günstige Anschnittbedingungen; die Eimerrinne liegt an der Böschung an und läuft nicht im Unterschneidungsprofil, was beim einfachen Aufrücken der Fall wäre.
– Langfahren ohne vollständiges Ausbaggern des Hochschnittes ist möglich (z. B. Ausweichfahrten wegen Rückarbeiten), ohne die Wasserführung zu zerstören. Damit kann beispielsweise ein Schwenkabbau mit relativ kurzen Strossen ohne Leerfahrten der F 60 beherrscht werden, wenn in der Drehpunkthälfte starke Wasseraustritte vorhanden sind.
– Bei geringen sofort greifbaren Beständen in der Grube kann in kurzer Zeit die Freilegung für einen Abbaublock im Kohlehochschnitt erfolgen.

- **Tiefschnittbaggerung**

Die ideale Schnittgeometrie liegt beim Parallelschnitt vor (Abb. Fb-71).
Weil stets die volle Eimerleiterlänge im Eingriff ist, kann ein gleichmäßig hohes effektives Fördervolumen erzielt werden.

Die Voraussetzung zur Anwendung des reinen Parallelschnittes ist jedoch kontinuierliches Rücken, welches bei den derzeitig im Einsatz befindlichen Förderbrücken nicht zur Anwendung kommt.

7541014/10787806875Biblio

Beim diskontinuierlichen Rücken erfolgt die Baggerung im Fächerschnitt. Dieser ist mit Anschnittverlusten verbunden, weil die geringe Spanlänge in der Anfangsphase der Ausbaggerung keine ausreichende Eimerfüllung ermöglicht.
Zur Reduzierung der Anschnittverluste ist beim Baggern grundsätzlich die maximale Arbeitsfahrgeschwindigkeit zu wählen (Erhöhung der Spanbreite).

Ein weiterer Nachteil des Fächerschnittes ist die Dreiecksform des Spanes im Längsschnitt. Im unteren Teil der Böschung ist die Spandicke am größten und verringert sich bis zum Rinneneinlauf auf null. Das hat einen ungünstigen Füllungsverlauf im Eimer zur Folge.

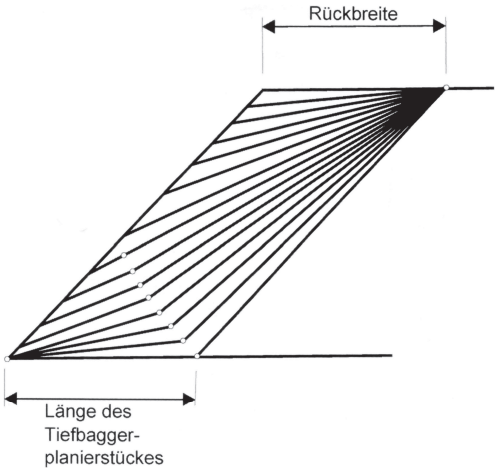


Abb. Fb-71: Ideale Schnittgeometrie beim Parallelschnitt [18]

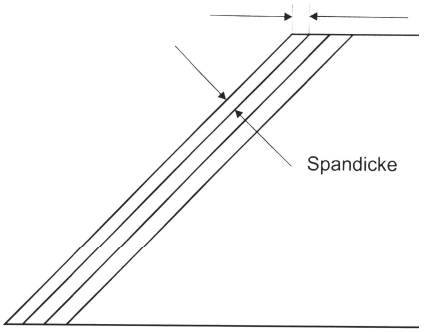


Abb. Fb-72: Fächerschnitt [18]

Eine Methode zur Verringerung der Anschnittverluste ist der vorgezogene Anschnitt. Nach dem vollständigen Ausbaggern des Tiefschnittes wird die Leiter gehoben und der Bagger so weit entgegen der Fahrtrichtung eingeschwenkt, dass die Eimerrinne um die Rückbreite versetzt an der künftigen Tiefschnittoberkante läuft.

Der Anschnitt wird gewissermaßen vorweggenommen. Der Effekt liegt im Wesentlichen in der Verlängerung des Füllweges beim 1. Span durch die Einschwenkstellung des Baggers gegenüber der rechtwinkligen Stellung.

Als eine effektive Technologie der Tiefschnittausbaggerung hat sich der Anschnitt mit angehobener Eimerrinne erwiesen. Die Rinne wird in der ersten Fahrt nach dem Rücken um ca. 2 m angehoben und damit ein wesentlich kleinerer Winkel zwischen Tiefschnitt-

7541014/10787806875Biblio

böschung und Eimerleiter als beim reinen Fächerschnitt erzielt. Dadurch werden in den folgenden Durchfahrten schnell große Spanlängen möglich.

Obwohl bei den ersten beiden Spänen durch das Hochziehen des Walles zum Rinneneinlauf nur ein geringes effektives Fördervolumen erzielt wird, ist diese Technologie in der Gesamtheit der Tiefschnittgewinnung optimal. Im Hauptteil der Ausbaggerung kommt die Spangeometrie dem Parallelschnitt nahe.

Im Bild Fb-73 ist die Spanfolge beim Anschnitt mit angehobener Eimerrinne dargestellt.

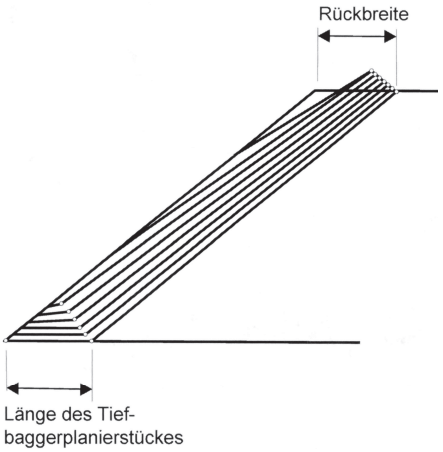


Abb. Fb-73: Spanfolge beim Anschnitt mit angehobener Eimerrinne [18]

Eine weitere Standardtechnologie ist das eingeschwenkte Baggern im Tiefschnitt nach Beendigung der Normalphase der Ausbaggerung. Es wird grundsätzlich entgegen der Fahrtrichtung eingeschwenkt (ziehende Baggerung).

Vorteile sind:

- flexible Fahrweise bei der Tiefschnittausbaggerung (keine Leerfahrten),
- größere Rückbreiten als durch die Länge des Tief-Baggerplanierstückes bedingten sind möglich,
- hohes effektives Fördervolumen (Spangeometrie ähnlich dem Parallelspan).

Es ist jedoch zu beachten, dass durch die eingeschwenkte Baggerung sowohl das Vorland verringert als auch die Böschung versteilt wird. Deshalb sind immer die bodenmechanischen Vorgaben zur Gewährleistung der Standsicherheit maßgeblich.

4.1.4 Grubenbetrieb

Die technologische Fahrweise in Grubenbetrieben von Förderbrückentagebauen erfordert eine ständige exakte Abstimmung mit dem Brückenbetrieb. Bei begrenzten Platzverhältnissen muss der Blockverhieb in der Grube mit dem Frontverhieb an der Förderbrücke koordiniert werden.
Die Ausstattung der Grubenbetriebe mit relativ vielen und gegenüber den Abraumbetrieben kleineren Geräten trägt diesen Bedingungen Rechnung.

Im Grubenbetrieb Cottbus-Nord sind auf der Hochschnittseite zwei Schaufelradbagger SRs 702/704 mit geringem Platzbedarf bei hoher Förderleistung und auf der Tiefschnittseite zwei ERs 500 (Eimerkettenbagger) eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Zwei Bandwagen BRs 1200 zur Umsetzung von Mittelmassen komplettieren die Geräteausrüstung, die speziell auf den Einsatz unter der F 34 (Abraumförderbrücke) zugeschnitten ist. Die Kohleförderung erfolgt im Zugbetrieb mit 3 Strossengleisen direkt in die Bunker des Kraftwerkes Jänschwalde.

Die Grubenbetriebe der drei F 60-Tagebaue sind einheitlich mit den Gerätetypen SRs 1300/1301 (Schaufelradbagger) im Hochschnitt und ERs 710 (Eimerkettenbagger) im Tiefschnitt sowie Bandförderung mit 2,0 m Bandbreite ausgestattet.

Aufgrund der o. g. Abhängigkeiten vom Brückenbetrieb kann im Gegensatz zum Vorschnitt meist nicht die maximale Blockbreite der Grubengeräte genutzt werden. Das Optimum der Block- und Rückbreiten für die Grubenbetriebe der F 60-Tagebaue liegt bei ca. 20 m im Parallelabbau und 25 m bis 30 m im Schwenkabbau (Strossenende).

Eine wichtige Aufgabe der Grubenbetriebe ist die Absicherung einer gleichmäßigen Kohlequalität bezüglich der Asche- und Schwefelgehalte.
Die Neubaukraftwerke Schwarze Pumpe und Boxberg sowie die mit Rauchgas-Entschwefelungsanlagen nachgerüsteten Kraftwerke Jänschwalde und Boxberg Werk 3 stellen diesbezüglich sehr hohe Anforderungen. Brikettierkohle mit besonders geringen Asche- und Schwefelgehalten wird zur Brikettfabrik Schwarze Pumpe geliefert. Anhand der geologischen Qualitätsschnitte wird die genaue Baggertechnologie für alle Strossenbereiche festgelegt. Die Ausstattung der Grubenbetriebe mit nur einer Bandlinie ermöglicht eine gezielte Mischungsfahrweise beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Bagger.

Zur selektiven Gewinnung besonders wertvoller Flözpartien oder zum großflächigen Freilegen und Umsetzen von Mittelmassen im Kohlehochschnitt ist der Einsatz der Schaufelradbagger im Seitenblockverhieb möglich.

Dem Vorteil der selektiven Gewinnung steht als Nachteil der größere Platzbedarf gegenüber. Der Maximalbestand an sofort greifbarer Kohle verringert sich gegenüber dem Kopfblockverhieb.

Hangendabraum und Mittelmassen werden fast ausschließlich in die Vorkippe der Förderbrücke umgesetzt. Den Schaufelradbaggern werden dabei zur Erzielung großer Reichweiten meist Bandwagen nachgeschaltet.

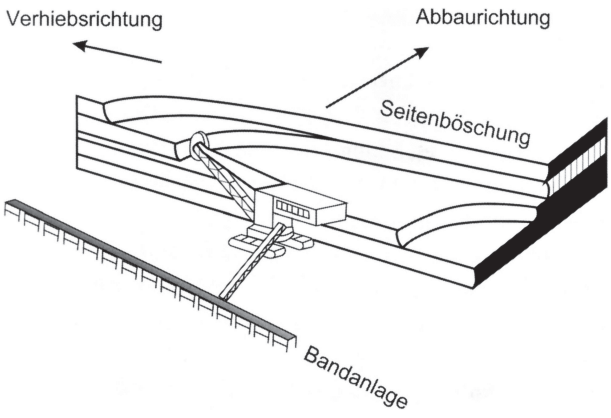


Abb. Fb-74:
Seitenblockverhieb [18]

7541014/10787806875Biblio

Es ist unter bestimmten Voraussetzungen aber auch möglich, mit den Schaufelradbaggern SRs 1300/1301 Hangendabraum oder Mittelmassen direkt in die Vorkippe zu verstürzen.

Dabei wird zuvor der Kohletiefschnitt auf den technologisch möglichen Mindestabstand zur Bandanlage ausgebaggert. Der Schaufelradbagger fährt in der engsten Spur zur Bandanlage. Der Verladeausleger wird rechtwinklig zu den Baggerfahrwerken über die Bandanlage geschwenkt.
Durch Anbau einer hydraulischen Hebevorrichtung für die Prallkappe kann zusätzlich die Wurfparabel des Verladebandes ausgenutzt werden.

Die Technologie des Direktversturzes ohne Bandwagen kommt seit vielen Jahren im Grubenbetrieb Nochten zur Anwendung.

Wenn z. B. in Flözmulden die Tiefschnittmächtigkeit größer als die mögliche Abtragstiefe des eingesetzten Eimerkettenbaggers ist, kann die Baggerung mit Tiefstufe zur Anwendung kommen. Der Bagger gewinnt zuerst den oberen Teil des Tiefschnittes und fährt anschließend über eine Rampe auf die so geschaffene Hilfsarbeitsebene zur Gewinnung des unteren Teiles. Das Fördermittel bleibt auf der ursprünglichen Arbeitsebene.

Der größte Einnerkettenbagger hat einen Eimerinhalt von 3,75 m³, ein theoretisches Fördervolumen von 6.030 m³/h, eine maximale Abtragsmächtigkeit in Hoch- und Tiefschnitt von 65 m und ein Dienstgewicht von 4.600 t. Diese Bagger erreichen Jahreshöchstleistungen von mehr als 40 Mill. m³.

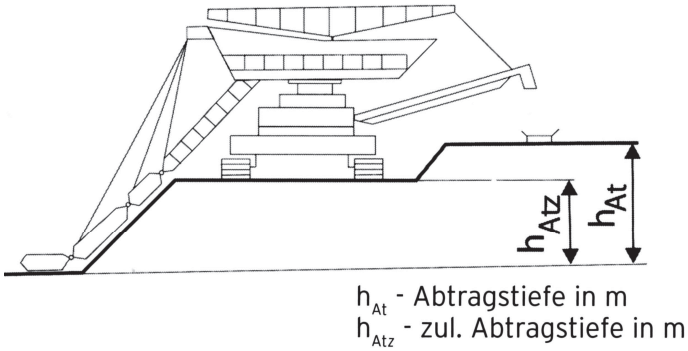


Abb. Fb-75: Tiefstufenbaggerung mit Eimerkettenbagger [18]

Die mehrfach knickbaren Eimerleiter der Geräte ERs 710 ermöglichen eine selektive Gewinnung verschiedener Schichten im Tiefschnitt. Diese Technologie wird z. B. in großem Umfang bei der Gewinnung der Unterbegleiterkohle im Tagebau Welzow-Süd genutzt. Nach Gewinnung von ca. 1 m Kohle unter der Grubenarbeitsebene wird das ca. 4 m mächtige Mittel mit abgesenkten Hochbaggerplanierstücken und horizontaler Hauptleiter gebaggert und mittels nachgeschaltetem Bandwagen in die Vorkippe der F 60 verstürzt. Danach erfolgt die Gewinnung des ebenfalls ca. 4 m mächtigen Unterbegleiterflözes mit Hauptleiter und Tiefbaggerplanierstück.

Bei der Festlegung der Grubenarbeitsebene in den Förderbrückentagebauen ist eine Vielzahl von Gesichtspunkten zu beachten, wie

7541014/10787806875Biblio

- Durchfahrtsfreiheit der Bagger unter dem Untergurt der Förderbrücke,
- Mittelmassen möglichst im Kohlehochschnitt,
- ausreichende Tiefschnittmächtigkeit für ein tragfähiges Grubenplanum,
- Anforderungen bezüglich der Kohlequalität.

Die Toleranzen für die Lage der Arbeitsebene sind deshalb meist gering. Anstelle der leistungsgerechten Schnitteinteilung bei vorhandenen Geräten ist daher ein schnittgerechter Geräteeinsatz anzustreben. Das ist eine Aufgabe, die bereits in der langfristigen Planung zu beachten ist. Eine Möglichkeit für einen flexiblen Geräteeinsatz ist das Pendeln eines Eimerkettenbaggers zwischen Hoch- und Tiefschnitt am Strossenende, wenn im Hochschnitt keine Mittelmassen oder Hangendabraum anstehen.

4.1.5 Kohlehalden und Grabenbunker

Wesentliche Funktionen von Kohlehalden und Grabenbunkern sind:

- Erhöhung der Versorgungssicherheit durch einen ausreichend großen, vom Grubenbetrieb unabhängigen Kohlevorrat,
- Zwischenlagerung der Kohle zum Ausgleich förderfreier Zeiten der Grubenbetriebe infolge Rückarbeiten, Reparaturen an der Bandanlage, Betriebsruhe an Wochenenden und Feiertagen,
- getrennte Lagerung und Vorratshaltung besonderer Kohlesorten,
- Mischung zur Vergleichmäßigung der Kohlequalität.

Im Tagebau Welzow-Süd ist an der Kohleverladung auf Rasensohle neben der Direktverladung ein Grabenbunker angelegt. Er wird über die Bandanlage durch einen Haldenschüttgerät AsG 8800 beschickt.

Die Entnahme erfolgt durch einen starren Eimerkettenbagger Es 1120, der zum Grabenschöpfer umgebaut wurde. Das Gerät fährt auf stationären Gleisanlagen.

Im Tagebau Nochten ist im Jahr 1997 eine neue Kohleverladung unmittelbar am Kraftwerk Boxberg in Betrieb genommen worden. Bis zu diesem Betriebspunkt erfolgt die Bandförderung aus der Grube.

Neben der Möglichkeit eines Umschlages in Kohlezüge am Kohlering des Kraftwerkes zur Versorgung des Werkes 3 oder zum Transport nach Schwarze Pumpe gibt es eine direkte Bandverbindung ins Werk 4 (Neubaublock). Die Zwischenlagerung der Kohle erfolgt auf drei Kohlehalden A, B und C.

An den Halden A und B ist ein kombiniertes Schütt- und Abhaldegerät (Ks-S) im Einsatz. Das Gerät ist schwenkbar, hat Schienenfahrwerke und ist in seiner Arbeitsweise eine Kombination von Schaufelradbagger und Absetzer (reversierbares Radband). An den Halden B und C arbeiten als weitere Geräte zwei Schaufelrad-Rückgewinnungsgeräte (SRG) und ein Haldenschütter (AsG).

Bei der Energieerzeugung aus Rohbraunkohle in den Kraftwerken entstehen:

- Aschen (Filterasche und Nassasche),
- Wasser bei der Rauchgasentschwefelung,
- REA-Wasser und Gips (REA-Gips).

7541014/10787806875Biblio

Der Transport dieser Produkte erfolgt mit Zügen zu den kraftwerksnahen Depots in Jänschwalde und Nochten.

Die Depots werden in Tiefschüttung und Hochschüttung durch die Absetzer (Jänschwalde: ein As 1600 und ein As 1120; Nochten ein A2s 1120) aufgebaut. Die Trockenasche (Filterasche ohne REA-Wasser) wird in der Tiefschüttung eingebaut. Die Hochschüttung besteht vorrangig aus REA-Asche (Filterasche mit REA-Wasser versetzt). Nassasche wird nur in der Hochschüttung verkippt.

Der Gips wird in einem abgegrenzten Bereich in der Hochschüttung mit dem Ziel für eine spätere Verwendung eingelagert.
Für die Herstellung der Depots gelten sehr hohe Anforderungen. Das Plateau und die Seitenböschungen der Hochschüttung werden vor der Wiedernutzbarmachung mit einer Oberflächenabdichtung, bestehend aus einer mineralischen Dichtung aus Ton, einer Entwässerungsschicht und einer Rekultivierungsschicht, abgedeckt.

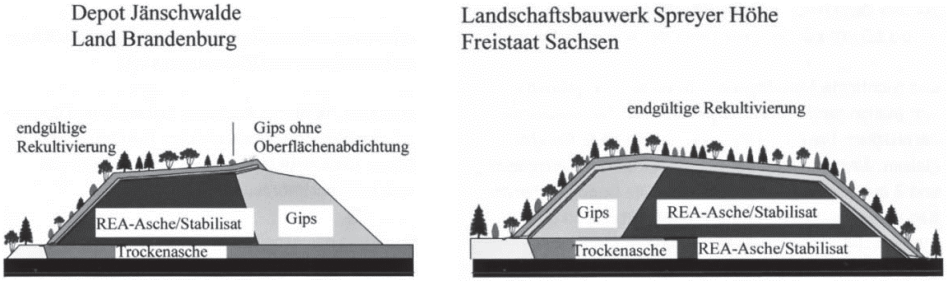


Abb. Fb-76: Aufbau der Depots [18]

Zur Verhinderung des Eindringens von Niederschlagswasser in den Depotkörper werden die Flächen geneigt hergestellt und mit Dränagesystemen versehen. Auf dem Depot Jänschwalde wird aufgrund bestehender Rückgewinnungsverträge der Gips mit einer Oberflächenabdichtung versehen.

4.1.6 Rücken von Gleisen und Bandanlagen

Zum Gleisrücken sind dieselelektrische Rückmaschinen mit Querraupen eingesetzt. Das Gleis wird in einen Rollenkopf eingespannt, der in der Mitte zwischen den Drehgestellen angebracht ist. Mittels einer starken Hydraulikeinrichtung erfolgt ein Anheben und eine horizontale Verschiebung des Gleises um das Rückmaß von 40 cm bis 60 cm während der Fahrt der Rückmaschine.

Das wichtigste Einsatzgebiet für diese gleisgebundenen Rückmaschinen sind die Gleisroste der Abraumförderbrücken. Die F 60 (Abraumförderbrücke) fährt auf insgesamt 12 Gerätegleisen, davon 5 auf jeder baggerseitigen Arbeitsebene und 2 auf der Kippenarbeitsebene. Die Doppelgleise der Bagger sowie die Gleise der Kippenstütze sind durch Distanzschienen verbunden, so dass auf jeder baggerseitigen Arbeitsebene 3 und auf der Kippenseite 1 Gleissystem zu rücken sind.

Voraussetzung für die Rückarbeiten ist die Herstellung eines ordnungsgemäßen Feinplanums. Die Rückbreiten an den F 60 liegen bei 8 m bis 10 m. An den Grenzen zu den nicht gerückten Gleisabschnitten entstehen S-bogenförmige Rückeinläufe.
Ihre Mindestradien werden durch die Kurvengängigkeit der Querförderer bestimmt.

7541014/10787806875Biblio

An mehreren Stellen in der Strosse sind Aussetzstellen für die Gleisrückmaschinen angelegt, in denen sie mittels der Querraupen profilfrei zum Brückenverband abgestellt werden können.

Weitere Einsatzgebiete für die gleisgebundenen Rückmaschinen sind die drei Beladegleise im Grubenbetrieb Cottbus-Nord und die Gleisanlagen der Depots mit Kippgleis und Gerätegleisen. Die qualitätsgerechte Ausführung der Rückarbeiten mit einer stabilen Gleislage ist eine wesentliche Voraussetzung für einen störungsfreien Betriebsablauf in den Förderbrückenbetrieben und den anderen genannten Betriebsbereichen mit rückbaren Gleisanlagen.

Das Rücken der Bandanlagen von 2,5 m und 2,0 m Gurtbreite erfolgt mit Rückraupen. Die Rückvorrichtung besteht aus einem Kranausleger mit dem Rollenkopf zum Einspannen der Rückschiene, die auf den Schwellen der Bandsegmente befestigt ist. Das Rückmaß wird durch die Fahrspur der Raupe bestimmt. Die Rückarbeiten an den Bandanlagen der Vorschnitte und Grubenbetriebe werden mit Reparaturen an den Großgeräten und Verbindungsbandanlagen koordiniert. Beim Parallelabbau ist periodisch die Verlängerung/Verkürzung des Kopfbandes notwendig.

4.1.7 Hilfsgerätetechnik

Der hohe Mechanisierungsgrad der Tagebaue ist wesentlich durch eine moderne und variabel einsetzbare Hilfsgerätetechnik bedingt. Von den Erkundungsarbeiten über die Vorbereitung und Begleitung der Hauptprozesse bis zur Rekultivierung ist ein Tagebaubetrieb ohne Hilfsgeräte nicht denkbar. Aus Kostengründen wird der betriebseigene Hilfsgerätebestand gering gehalten und nur die Grundlast abgesichert.

Die wichtigsten Hilfsgeräte neben den bereits erwähnten Gleisrückmaschinen und Rückraupen sind:

Planierraupen, Raddozzer, Radlader, Schwenk- und Baggerlader, Hydraulikbagger, Grabenfräsen, Geräteträger, Mobilkrane, Geländetieflader sowie eine Vielzahl von Zug- und Transportfahrzeugen.

Die Planierung der Arbeitsebenen von Baggern und Absetzern beansprucht einen großen Teil des täglichen Hilfsgeräteeinsatzes. Durch sauberes Arbeiten beim Planumsbaggern und -schütten, gut dosierte Bekiesung an der F 60 sowie ordnungsgemäßes Freilegen der Kohle ohne Restabraum kann der Großgerätefahrer erheblich zur Verringerung des Planierungsaufwandes beitragen.

4.1.8 Transport von Großgeräten

Der Landtransport von Großgeräten verlangt eine oft monatelange akribische Vorbereitung. Anhand einer genauen Trassierung mit Erarbeitung einer Hindernisliste zur Kreuzung von Straßen, Gleisanlagen, Hochspannungsleitungen, Flussläufen usw. wird ein detaillierter Zeitplan aufgestellt, der mit den Rechtsträgern dieser Anlagen abzustimmen ist. Bei Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen ist die Vegetationsperiode zu berücksichtigen.

Rampen sind vor der Freigabe zum Befahren hinsichtlich Kontrolle der zulässigen Transportneigungen markscheiderisch einzumessen. Die Tragfähigkeit der Trasse wird geotechnisch bewertet. Im Bedarfsfalle erfolgt eine Stabilisierung durch Auskofferung nicht tragfähiger Schichten und Einbringung von rolligem Material.

7541014/10787806875Biblio

Bei der Transportdurchführung werden hohe Anforderungen an die gesamte Transportmannschaft und insbesondere an den Großgerätefahrer gestellt. Das betrifft vor allem die Bewältigung der oftmals komplizierten Hindernisse, aber auch alle anderen Trassenbereiche. Nur durch eine umsichtige und konzentrierte Arbeitsweise kann bei unvorhergesehenen Ereignissen schnell und richtig reagiert werden.

4.1.9 Gewinnung von Begleitrohstoffen

Im Tagebaubetrieb bestehen vielfältige Möglichkeiten, neben dem Hauptprodukt Rohbraunkohle wertvolle Begleitrohstoffe zu gewinnen. Das beginnt im Vorfeld bei der Gewinnung des Mutterbodens von Landwirtschaftsflächen sowie von Torflagerstätten mit Hilfsgerätetechnik. Die Schaufelradbagger der Vorschnittbetriebe sind zur selektiven Gewinnung von Tonen und Kiesen geeignet, die in der keramischen Industrie, im Deponiebau und im Bauwesen verarbeitet werden. Sande grober und mittlerer Körnungen werden als Füll- und Bettungsstoffe im Erdbau eingesetzt. Die feinkörnigen Dünensande dienen als Zuschlagstoffe bei der Betonherstellung und zur Kalksandsteinproduktion.

In den Vorschnitten und Förderbrückenbetrieben treten als Wirkung der Eiszeiten Findlinge unterschiedlicher Größen und Strukturen auf. Sie werden mit Hilfsgerätetechnik gewonnen, auf speziellen Lagerplätzen deponiert und in vielfältiger Weise zur Landschaftsgestaltung eingesetzt.

4.2 Gerätetechnik

Fördergeräte dienen dem Transport von Gütern (evtl. auch Personen). Deren Aufteilung erfolgt in Stück- und Massengüter. Die Fördertechnik wird entsprechend dem Einsatzgebiet in Unstetig- und Stetigförderer eingeteilt.

Unstetigförderer, wie die Hebezeuge und die Flurförderer, arbeiten in einzelnen Arbeitsspielen und diskontinuierlich. Sie fördern überwiegend Stückgut und können mehrere Bewegungen ausführen.

Stetigförderer sind vor allem die Tagebaugroßgeräte und Bandanlagen im Bergbau. Sie fördern kontinuierlich in längeren zusammenhängenden Zeitabschnitten überwiegend Abraum und Kohle.

Tagebaugeräte im Braunkohlenbergbau sind:

- Abraumförderbrücken,
- Direktversturzgeräte,
- Eimerkettenbagger,
- Schaufelradbagger,
- Bandanlagen,
- Grabenaufnahmegeräte,
- Zugschaufelbagger,
- Absetzer und Bandwagen ab 200 t Dienstmasse,
- Schrägförderanlagen einschließlich der dazugehörenden Querförderer und Bandbrücken.

7541014/10787806875Biblio

4.2.1 Konstruktionselemente

Grundlage für den Bau eines Tagebaugroßgerätes durch einen dazu befähigten und zugelassenen Gerätehersteller ist die Erarbeitung einer Dokumentation. Sie ist durch Sachverständige für Tagebaugroßgeräte zu prüfen und zu begutachten. Inhalt der Dokumentation sind vor allem statische Berechnungen, Standsicherheitsnachweise und Konstruktionsunterlagen für den Stahl- und Maschinenbau.

Wesentliche Bestandteile des Stahlbaus, der in der Regel als Raumfachwerk oder Tragwerk ausgebildet ist, sind u. a.:

- Radausleger,
- Eimerleiter und -rinnen,
- Ballastausleger,
- Oberbaugerüst,
- Seilrollenausleger (auch Radausleger- oder Eimerleitermast),
- Abwurf- und Verladeausleger,
- Ringträger im Ober- und Unterbau,
- Schwenksäulen,
- Schwingensysteme im Unterbau (bzw. der Förderbrücke) über den Fahrwerken,
- Brückenhauptträger,
- Zubringer,
- seitlicher Austragsförderer,
- Querförderer,
- Montagekräne.

Zum Einsatz kommen hochfeste Baustähle, die auf der Grundlage entsprechender Berechnungsvorschriften und vorgegebener Leistungsparameter ein ausgewogenes Masse-Leistungs-Verhältnis garantieren.

Wesentliche Bestandteile des Maschinenbaus sind u. a.:

- Windwerke (Hubwerke) an Auslegern und Eimerleitern,
- Schienen- und Raupenfahrwerke einschließlich deren Stützelemente,
- Schwenkwerke,
- Kugellaufbahnen,
- Rollbahnträgerschienen und andere Laufschienen,
- Hals- und Drehstützlager,
- Seile,
- Gurtförderer mit allen Bestandteilen, wie u. a.,
- Motore, Getriebe, Trommeln, Fördergurte,
- Bremsen, Kupplungen, Spanneinrichtungen, Sicherheitseinrichtungen usw.,
- Verlade- und Übergabeeinrichtungen,
- Montagekranausrüstungen.

7541014/10787806875Biblio

Die Maschinenbauteile mit ihren Hauptbestandteilen wie Wälzlager, Verzahnungsteile, Hydraulik und Pneumatik sowie den verwendeten Medien wie Öle und Fette haben einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensdauer und die Kosten.

Während des Einsatzes eines Tagebaugroßgerätes ist ein entsprechendes Betriebs-Instandhaltungs-, Reparatur-, Kontroll-, Wartungs- und Sicherheitsregime erforderlich.

Hinweis: Nachfolgend soll auf einige wesentliche Maschinenelemente eingegangen werden.

4.2.1.1 Windwerke

Windwerke (auch Hubwerke) sind für das Heben und Senken von Auslegern und Auslegerteilen wie Eimerleitern, Eimerrinnen, Schaufelradauslegern sowie Abwurf- und Verladeauslegern erforderlich.

Die mechanischen Windwerke sind unterteilt in Seil-, Spindel- und Hydraulikwindwerke.

- **Seilwindwerke**

Grundkonstruktion für die Seilwindwerke ist das Flaschenzugprinzip.

Beim Eimerkettenbagger ist das feste Rollenpaket am Seilrollenmast und das bewegliche an den einzelnen Leiterteilen eingebaut. Der Antrieb besteht in der Regel aus zwei Getrieben und einer Seiltrommel, an der die Seilenden eines Seiles befestigt sind. Es kann aber auch ein Getriebe vorhanden sein, worauf zwei Seiltrommeln verlagert sind.

Bei den Schaufelradbaggern ist das feste Rollenpaket am feststehenden Mast des Gegenauslegers und das bewegliche am Mast des Radauslegers angeordnet (der Mast ist mit dem Radausleger fest verbunden und gelenkig gelagert). Es können zwei Seile von einer Trommel, aber auch 4 Seile von 4 Trommeln (zwei getrennte Systeme pro Seite mit zwei Antrieben und Vorgelegewellen zu den Trommeln) angeordnet sein.

Die Winden sind auf dem Gegenausleger angeordnet. Oft besteht die Hubwinde aus einer Seiltrommel mit Zahnkranz, in welchen 2 Vorgelegewellen mit Ritzel eingreifen.

Jede Vorgelegewelle wird von einem Motor über ein Stirnradgetriebe angetrieben. Der Motor ist durch eine Kupplung mit Bremsscheibe und der Betriebsbremse mit dem Getriebe verbunden. Auf einem zweiten Wellenende des Getriebes befindet sich eine Bremsscheibe mit der Haltebremse, die auch Sicherheitsbremse genannt wird und nach der Betriebsbremse einfällt.

Gegen zu hohe Belastung (z. B. am Schaufelrad und Radausleger) ist die Straffseilsicherung und bei Aufliegen des Schaufelrades und entstehendem Schlaffseil eine Schlaffseilsicherung vorhanden.

- **Spindelwindwerke**

Die Spindelwinde dient zum Heben und Senken von kurzen Auslegern. Indem eine mit einem Getriebe verbundene Stahlspindel mit Außengewinde in einer Rotgussmutter bewegt wird, erfolgt eine Heb- und Senkbewegung.

- **Hydraulikwindwerke**

Als Winden zum Heben und Senken werden auch Hydraulikzylinder eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Als Straff- und Schlaffseilsicherung sind an diesen Geräten geeichte Druckmessdosen eingebaut. Entsprechend der Belastung ist ein minimaler und ein maximaler Druck eingestellt, der bei Erreichen zur Abschaltung bzw. zum Heben des Auslegers führt.

4.2.1.2 Schienenfahrwerke

Die hohen Eigenlasten der Tagebaugroßgeräte sowie die wechselnden Neigungen und Kurvenradien stellen an die Konstruktion der Fahrwerke besondere Anforderungen.
Aus der senkrechten Auflast werden annähernd gleiche Radlasten bis max. 25 t gefordert. Dies wird gewährleistet durch eine statisch bestimmte Dreipunktabstützung des Unterbaus mit unterschiedlichen Schwingensystemen und der entsprechenden Anzahl von Lauf- und Treibrädern.

Entsprechend dem Gerätegewicht und der Einhaltung der maximalen Radlasten werden 2- und 4-Schienenfahrwerke angewendet.

4.2.1.3 Raupenfahrwerke

Raupenfahrwerke werden derzeit an Schaufelradbaggern, Absetzern und auch an Eimerkettenbaggern verwendet. Entsprechend den vorhandenen Böden bzw. dem Kohleplanum sind unterschiedliche zulässige Pressungen zu beachten. Daraus ergeben sich, auch unter Berücksichtigung der Masse des Gerätes, die erforderliche Anzahl und die konstruktive Gestaltung der Raupenfahrwerke.

Geräte mit relativ geringer Eigenmasse sind mit zwei Raupenfahrwerken ausgerüstet.

4.2.1.4 Gurtförderer

Gurtförderer befinden sich auf Tagebaugeräten oder arbeiten als eigenständige Anlagen.

Eigenständige Anlagen arbeiten im:
- Abraumbetrieb,
- Kohlebetrieb,
- Mischbetrieb (Kohle – Abraum).

Sektionen einer Gurtförderanlage:
- Antriebsstation,
- Umlenkstation.

Bedingungen für die Gurtfortbewegung:
- ausreichende Gurtvorspannung,
- hoher Reibwert an der Antriebstrommel (geeigneter Trommelbelag),
- Umschlingungswinkel,
- ausreichendes Antriebsdrehmoment (Antriebsleistung).

Zur Überwindung der Bewegungswiderstände eines Gurtförderers (hervorgerufen durch Tragrollen, Fördergurt, Fördergut, Neigung etc.) wird das Antriebsdrehmoment von der Antriebstrommel durch Reibung auf den Fördergurt übertragen. Bedingung für diese kraftschlüssige Übertragung ist die Gurtvorspannung, die in allen Abschnitten des Gurtförderers gleich groß ist.

7541014/10787806875Biblio

4.2.1.5 Gurtzugverteilung an einem Gurtförderer

- **Gezogenes Band**

Bei einem gezogenen Band befindet sich die Antriebstrommel am Kopf des Förderers, wo sich in der Regel auch die Abwurfstelle befindet. Im Untertrum steigen die Gurtzugkräfte von der Antriebstrommel zur Umlenktrommel infolge der Bewegungswiderstände aus Fördergurt und Untertrumtragrollen an. An der Umlenktrommel sind die Gurtzüge im Ober- und Untertrum gleich groß.

Im Obertrum steigen die Gurtzüge von der Umlenk- zur Antriebstrommel infolge der Bewegungswiderstände aus Fördergurt, Obertrumtragrollen und Fördergut weiter an. Die Gurtzugkräfte im auf die Antriebstrommel auflaufenden Obertrum bestimmen die erforderliche Gurtvorspannkraft und die Größe des benötigten Antriebsdrehmomentes.

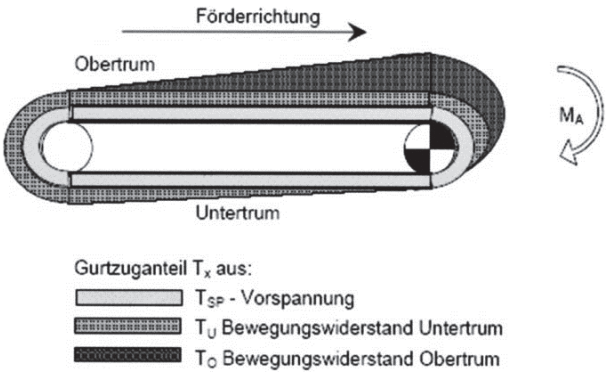


Abb. Fb-77:
Systemdarstellung für ein gezogenes Band [15]

- **Geschobenes Band**

Im umgekehrten Fall werden die infolge der Fördergutbeladung hohen Gurtzugkräfte an der Umlenktrommel (Abwurfstelle) in voller Höhe vom Obertrum in das Untertrum eingeleitet. Dort summieren sie sich bis zur Antriebstrommel am Heck mit den Gurtzugkräften aus den Bewegungswiderständen des Untertrumes.

Das erforderliche Antriebsdrehmoment und daraus resultierend die Antriebsleistung entsprechen denen eines vergleichbaren gezogenen Bandes. Die Gurtzugkräfte an den Trommeln sind jedoch wesentlich höher.

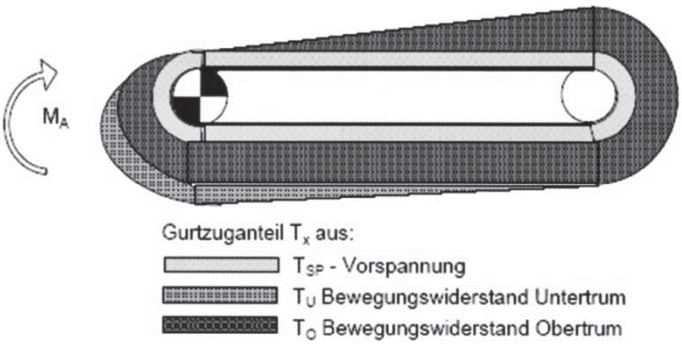
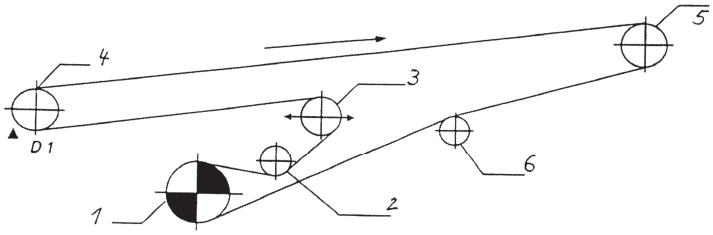


Abb. Fb-78:
Systemdarstellung für ein geschobenes Band [15]

7541014/10787806875Biblio

- **Antriebstrommel**

Sie dient zur Umkehrung der Gurtlaufrichtung und zur Übertragung der Antriebskraft. Zur Unterstützung der Kraftübertragung ist sie mit einem Reibbelag ausgerüstet.



1: Antriebstrommel – 2 + 6: Drucktrommeln – 3: Spanntrommel – 4: Umlenktrommel – 5: Abwurftrommel.

Abb. Fb-79: Förderbandsystem am Beispiel des Haldenförderers 2 der Abraumförderbrücke AFB 60 in den Tagebauen Nochten und Welzow [18]

4.2.2 Großgeräte

Zu den Großgeräten, die in Deutschland häufig eingesetzt werden, gehören u. a.:

- Eimerkettenbagger,
- Schaufelradbagger,
- Abraumförderbrücken,
- Absetzer,
- Haldenschüttgeräte,
- Schürfkübelbagger.

Bei der Vielzahl der Großgerätetypen können aus den schon genannten Gründen nur einige näher besprochen werden.

4.2.2.1 Eimerkettenbagger

Eimerkettenbagger sind kontinuierlich arbeitende, vorzugsweise in Hoch- und Tiefschnitt, aber auch im Vorkopf- und Blockbetrieb eingesetzte Geräte.
Sie werden an Abraumförderbrücken und auch als Einzelgeräte im Grubenbetrieb und im Vorschnitt eingesetzt und garantieren einen stetigen Massenstrom und sehr hohe Leistungen.

Die Bagger können mit ihrer Eimerleiter vom Hoch- in den Tiefschnitt wechseln und umgekehrt sowie dabei Fahrleitungen, Bandanlagen und Querförderer überschwenken. Ihr Hauptarbeitsorgan ist die Eimerkette, die durch die Festkörperreibung in Eimerleiter und Rinne sehr verschleißintensiv ist.

- **Gerätesystematik**

Eimerkettenbagger auf Schienen des Typs ES 3710/3710 sind schwenkbar mit Nennvolumen der Eimer bis 3,750 m^3.

Wesentliche Teile der tragenden Stahlkonstruktion sind der Oberbau mit Baggergerüst, Eimerleiterausleger, Eimerleiter und Ballastausleger sowie der Unterbau mit dem Ringträger und den Fahrwerksschwingen.

7541014/10787806875Biblio

Die Eimer sind ein kostenintensives Verschleißteil in Schalenbauart und genormt für die einzelnen Baggertypen. Die Eimerschaken sind am Messerträger verschweißt. Das Messer ist mit Reißzähnen oder Vorschneidecken versehen, die in der Werkstatt aufgearbeitet (Auftragsschweißung) werden.

Auch die Kette unterliegt einer hohen Beanspruchung und besteht aus Eimern und zwei endlosen Laschenketten. Die Kettenbolzen sind jetzt in den Gelenken verschraubt. Die Kette wird in festgelegten Zyklen geschmiert. Die Abdichtung des Kettengelenkes wird speziell bei Verschleißfortschritt immer weniger wirksam.

Die Eimerkettenbagger auf Raupen des Typs ERs 710 sind schwenkbar und haben ein Nennvolumen des Eimers von 0,71 m³.

Abb. Fb-80a: Eimerkettenbagger auf Schienenfahrwerk [18]

Hauptunterschiede zu den Eimerkettenbaggern auf Schienen sind das Raupenfahrwerk und die mittig angeordnete Schwenksäule, die in den unteren Ringträger eingespannt ist. Um die Säule, einer geschweißten Blechkonstruktion, drehen sich folgende Hauptteile von oben nach unten:

- zweiarmiger Ausleger oder Gegengewichtsträger (Abstützung oben mit Halslager als Gleitlager und unten mit einer Kugellaufbahn),
- Baggeroberbau mit Graborgan (Abstützung oben mit Halslager als Rollenlager und unten mit Kugellaufbahn),
- ringförmiger Drehteller (Abstützung mit Kugellaufbahn),
- Mittelbau mit dem angelenkten Abwurfausleger (Abstützung mit Kugellaufbahn).

Abb. Fb-80b: Eimerkettenbagger Typ ERs 710 auf Raupen, Leistung: 3.500 m³/h, Gewinnungshöhe/ -tiefe: 17,5 m/10 m [18]

7541014/10787806875Biblio

Der Antrieb erfolgt aufgrund umfangreicher Ertüchtigungen der Geräte mit Direktantriebssystemen.

- **Fahrwerkstechnologie**

– Schienenfahrwerke

Annähernd gleiche Radlasten bis max. 25 t werden gewährleistet durch eine statisch bestimmte Dreipunktabstützung des Unterbaus mit unterschiedlichen Schwingensystemen und der entsprechenden Anzahl von Lauf- und Treibrädern. Die Räder sind mit Bandagen versehen, die in der Werkstatt nach speziellen Technologien aufgezogen werden. Es werden Schienen der Größe R 65 mit einer Festigkeit von 70 kg/mm² verwendet.

Mit dem Bau der AFB 34 m und der Geräte Es 1120.2 wurden seitens der Geräteherstellers die Einheitsfahrwerke als Baukastensysteme mit unterschiedlichen Varianten der Kombination, für den Betreiber sehr kostengünstig, entwickelt. Entsprechend dem Gerätegewicht und der Einhaltung der maximalen Radlasten werden 2- und 4-Schienenfahrwerke angewendet.

– Raupenfahrwerke

Geräte mit relativ geringer Eigenmasse, wie bei dem SRs 702/704, sind mit zwei Raupenfahrwerken ausgerüstet. Bagger mit großer Eigenlast sind mit mehreren Raupen, Raupenpaaren und Doppelraupenpaaren in symmetrischer und unsymmetrischer Anordnung versehen.

Auch bei Raupenfahrwerken erfolgt die Abstützung zum Unterbau durch eine 3-Punkt-Abstützung. Die Lenkung und damit die Einstellung des Kurvenradius erfolgt mit schwenkbaren Lenkraupen.

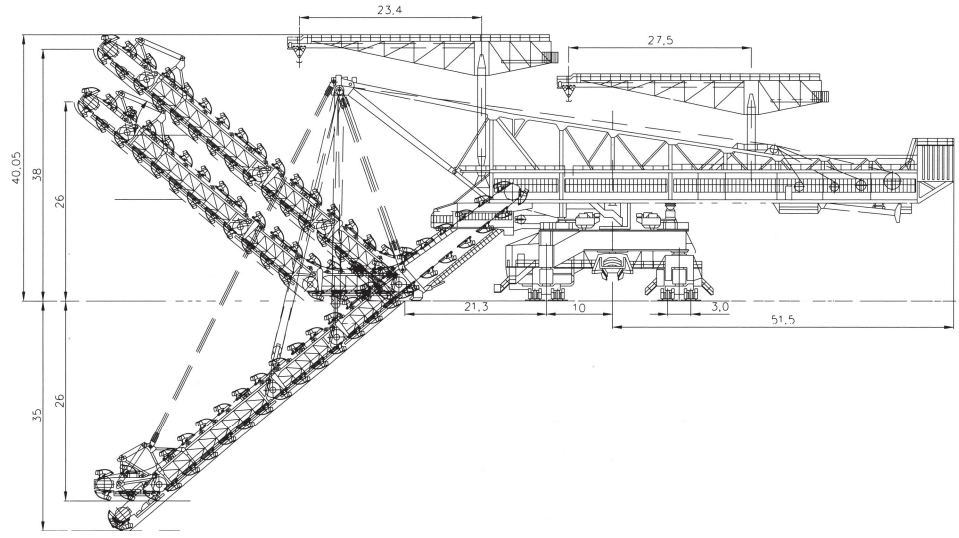


Abb. Fb-81: Eimerkettenbagger Es 3750/1308 auf Schienenfahrwerk – eingesetzt im Tagebau Welzow [18]

7541014/10787806875Biblio

Technische Daten

Tagebaugerät/WVK-Nr.:	Es 3750/1308
Lieferwerk/Baujahr:	VEB GDW Magdeburg/1990
Eimerkettengeschwindigkeit	1,51–1,9 m/s
Eimerinhalt:	3,75 m³
Schwenkbarkeit (Oberbau):	360°
Dienstmasse:	5.000 t
Eimerkettenantriebsleistung:	2 × 1.900 kW
Anzahl der Räder/angetrieben:	256/128
Abtragshöhe/Abtragstiefe:	28/27 m

4.2.2.2 Schaufelradbagger

Schaufelradbagger sind ebenfalls kontinuierlich arbeitende, vorzugsweise im Hochschnitt sowie im Vorkopf- und Blockbetrieb eingesetzte Geräte.
Sie werden als Einzelgeräte im Grubenbetrieb, im Vorschnitt in Verbindung mit Bandanlagen und z. T. im Zugbetrieb eingesetzt und garantieren einen stetigen Massenstrom mit sehr hohen Leistungen.

Ihr Hauptarbeitsorgan ist das Schaufelrad, das am Umfang mit Schaufeln bestückt ist.

Gerätesystematik der wesentlichen Schaufelradbagger:

- SRs 6300 – Schaufelradbagger auf Raupen, schwenkbar, Nennvolumen einer Schaufel 3,3 m³ = 3.300 l,
- SRs 1300/1301 – Schaufelradbagger auf Raupen, schwenkbar, Nennvolumen einer Schaufel 1,3 m³ = 1.300 l.

- **Schaufelradbagger mit Vorschub**

Diese Konstruktionsart ist nicht mehr im Einsatz. Der hintere Teil des Radauslegers stützte sich gelenkig auf einer Vorschubkatze mit eigenem Fahrantrieb ab. Die Vorschubkatze bewegte sich auf einer Fahrbahn, die auf dem Gegen- oder Ballastausleger angeordnet war.

Dadurch konnte die Spantiefe am Schaufelrad, neben der Bewegung mit den Fahrwerken, auch mit dem Vorschub eingestellt werden.
Diese Lösung hatte für den Betrieb große Vorteile, war aber aus konstruktiver und statischer Sicht sehr aufwändig (u. a. waren ein Rückförderband und ein fahrbarer Gegenballast zur Vorschubkatze notwendig).

Der Zwang zu höheren Leistungen und damit größeren Geräten führte zur ausschließlichen Nutzung der vorschublosen Geräte.

7541014/10787806875Biblio

- **Schaufelradbagger ohne Vorschub**

Die Radausleger dieser Bagger haben im Bereich der Radbandübergabe einen unveränderlichen Gelenkpunkt. Nur um diesen Gelenkpunkt im Bereich des Gerüstes ist der Radausleger heb- und senkbar. Der vorschublose Bagger muss um den Betrag der Spandicke verfahren werden.

- **Schaufelradbagger in geschlossener Bauweise (C-Form)**

Durch die C-Form fallen im mittleren Bereich des Oberbaus mindestens ein bis zwei Übergabebänder weg, da durch den vorhandenen Platz die Möglichkeit besteht, den Massenstrom vom Radauslegerband direkt in die Aufgabeschurre des Verladeauslegers zu leiten.

Typische Bagger dieser Bauform mit großer Stückzahl in den Grubenbetrieben sind die Geräte SRs 1300/1301.

- **Schaufelradbagger in aufgelöster Bauweise**

Das noch bei der C-Form vorhandene Baggergerüst ist nicht mehr erkennbar. Der Oberbau wird in zwei Dreiecke eingeteilt. Das eine Dreieck, das beweglich bzw. gelenkig am oberen Ringträger verlagert ist, besteht aus Radausleger, Radauslegerzugseilen und Radauslegermast.

Das andere Dreieck, das starr mit dem oberen Ringträger verbunden ist, besteht aus Ballast- bzw. Gegenausleger, Ballastauslegerzugseilen und Ballastauslegermast. An den oberen Enden beider Maste sind die Seilrollenpakete mit den Hubwerksseilen als Flaschenzug eingeschert.

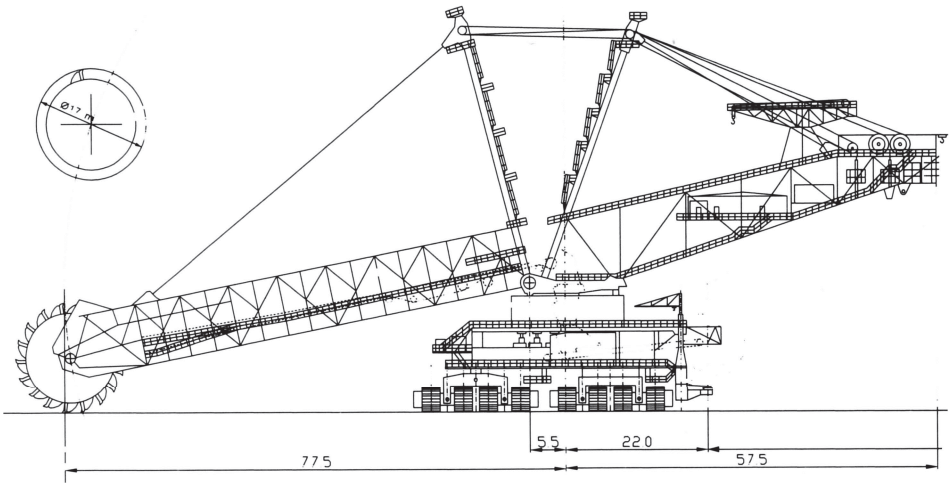


Abb. Fb-82: Schaufelradbagger Typ SRs 1301 – Schaufelantrieb: 560 kW, Abtragshöhe: 26 m, Abtragstiefe: 5,00 m, Schaufelrad mit 14 Schaufeln, Leistung: 3.500 m³/h – Einsatz im Abraum. Bagger der Bauart SRs 6300 sind im Vorschnittbetrieb der Tagebaue Nochten und Welzow eingesetzt. [18]

7541014/10787806875Biblio

Während der Radausleger mit seinem Abwurfende in der Zerfallscheibe in zwei Gelenkpunkten verlagert ist, ist der Gegengewichtsausleger starr an die Zerfallscheibe angeschlossen. Die Zerfallscheibe kann sich bei Aufliegen des Schaufelrades (Abheben vom oberen Ringträger) öffnen. Bei Betrieb der Hubwerke, die sich am Ende des Ballastauslegers befinden, wird das vordere, bewegliche Dreieck je nach Bedarf gehoben oder abgesenkt.

Abb. Fb-83: Schaufelradbagger SRs 6300/1510 + 1519 – die größten Schaufelradbagger im Lausitzer Revier [18]

Technische Daten SRs 6300

Tagebaugroßgerät/WVK-Nr.:	SRs 6300/1510
Lieferwerk/Baujahr:	VEB Schwermaschinenbau/1979
Dienstmasse 6100 (ohne Verladegerät)	6.100 t
theor. Fördervolumen:	10.500 m³
Schaufel-Ø/Schaufelanzahl:	17 m/18 Stück
Schaufelinhalt:	3,3 m³
Schaufelradantriebsleistung:	2.350 kW
Schnittgeschwindigkeit:	2,62/3,52 m/s
Fahrgeschwindigkeit:	9,1 m/min
Anzahl der angetriebenen Raupen:	12 (ohne Verladegerät)
Abtragshöhe/Abtragstiefe:	50/16 m
Kabelaufnahmelänge	2.000 m

7541014/10787806875Biblio

4.2.2.3 Abraumförderbrücken (AFB)

Abraumförderbrücken stellen in Verbindung mit den Gewinnungsgeräten auf der Baggerseite eine Direktversturzkombination dar.

Der Abraum wird also auf direktem Weg von der Baggerseite über die darunterliegende Grube zur Haldenseite befördert und dort verkippt. Die Gewinnungsgeräte und die AFB bewegen sich auf Schienenfahrwerken.

- **Gerätesystematik der Abraumförderbrücken**

AFB 34 m Abraumförderbrücke mit 34 m Abtragshöhe

AFB 60 m Abraumförderbrücke mit 60 m Abtragshöhe

- **Abraumförderbrücken auf zwei Stützen**

Eine Abraumförderbrücke auf zwei Stützen ist die AFB 34 m.

Die Hauptbestandteile der tragenden Stahlkonstruktion sind der Brückenhauptträger mit dem Rollbahnträger, der Haldenausleger, die bagger- und haldenseitige Abstützung mit dem Schwingensystem, der Rollentisch auf der Baggerseite, die Drehstütze auf der Haldenseite sowie die Traggerüste von Bagger-und Brückenquerförderer mit ihren Abstützungen. Brückenhauptträger, Haldenausleger und Querförderer sind als Raumfachwerke, vorwiegend in Schweißkonstruktion, konzipiert. Hinzu kommen die tragenden Maschinenbauteile, wie eine Vielzahl von Stützkugeln und Säulen, das obere und untere Halslager sowie das Drehstützenlager.

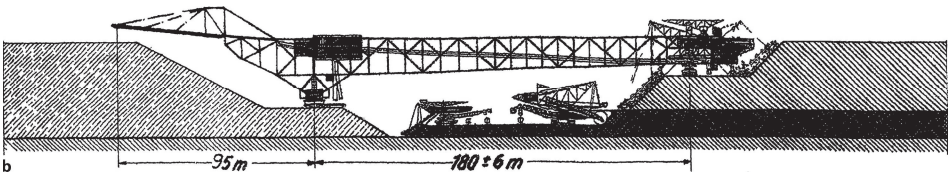


Abb. Fb-84: Abraumförderbrücke auf zwei Stützen – System AFB 34 m eingesetzt im Tagebau Welzow [18]

Die beiden Gewinnungsgeräte auf der Baggerseite sind die Eimerkettenschwenkbagger Es 1120.2, die auf einer Seite der AFB angeordnet sind.

Mit ihren Aufgabebändern wird das Fördergut auf den Baggerquerförderer, dann auf den Brückenquerförderer und von dort über die Hauptschurre auf das Hauptband gegeben. Oberhalb der haldenseitigen Stütze, im Maschinenhaus, befindet sich neben den Antrieben für das Haupt- und Haldenband auch die Übergabe auf das Haldenband.

Ein Teil des Förderstromes kann auch von dieser Übergabe über ein Schurrensystem auf das reversible Vorhaldenband und das Schwenkband abgezweigt werden.
Beide Bänder sind Nachrüstungen und werden für die Stabilisierung der Kippenarbeitsebene und die Erhöhung der Standsicherheit der AFB benötigt.

7541014/10787806875Biblio

- **Abraumförderbrücken auf drei Stützen**

Eine Abraumförderbrücke auf drei Stützen ist die AFB 60 m. Die AFB 60 m stellt für alle Mitarbeiter von Herstellern und Betreibern und auch für Besucher eine bewundernswerte Ingenieurleistung dar.

Die Abraumförderbücken AFB 60 m arbeiten im Tagebau Reichswalde im 2-Stützenbetrieb.

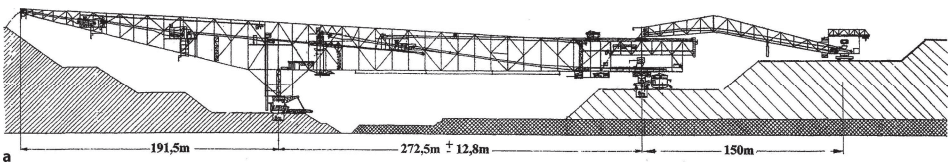


Abb. Fb-85: Abraumförderbrücke auf drei Stützen System AFB 60 – eingesetzt in den Tagebauen Welzow und Nochten [18]

Die Aufteilung des tragenden Stahl- und Maschinenbaus für die AFB 34 m trifft auch für die AFB 60 m zu, wird aber durch die dritte Stütze auf der oberen Arbeitsebene (OAE) sowie durch den Zubringer und die obere Querförderanlage ergänzt. Weiterhin wird die Gestaltung der Vorkippe durch den seitlichen Austragsförderer realisiert. Natürlich sind auch die Dimensionen, die Betriebsvarianten und die Leistungsfähigkeit von wesentlich höherer Größenordnung, aber auch Problematik.

Die tragenden Stahl- und Maschinenbauteile sind untereinander bis auf das Planum so verbunden, dass eine statisch bestimmte und kinematisch starre Gliederung garantiert ist. Die einzelnen Teile des Tragwerkes müssen relative Bewegungen zueinander ausführen, ohne dass Zugkräfte auftreten und die Freigängigkeit beeinträchtigt wird.

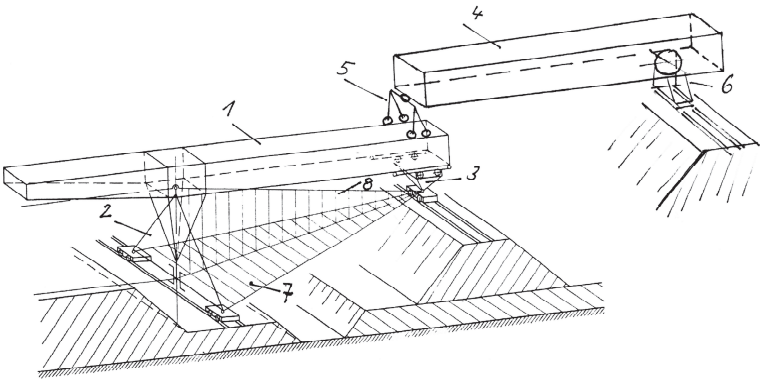


Abb. Fb-86: Stützsystem der 3-fach gestützten Abraumbrücke ABF 60 [18]

Zur Abb. Fb-86:
Brockenkörper der Hauptbrücke – 2 feste Stütze der Hauptbrücke – 3 bewegliche Stütze der Hauptbrücke – 4 Zubringerbrücke – 5 bewegliche Stütze der Zubringerbrücke – 6 feste Stütze der Zubringerbrücke – 7 waagerechtes Stützdreieck der Hauptbrücke – 8 senkrechtes Stützdreieck der Hauptbrücke.

7541014/10787806875Biblio

- **Absetzer**

Zur Freilegung der Rohbraunkohle muss das darüber lagernde Deckgebirge beseitigt werden. Dafür sind drei Prozesse erforderlich:

– Gewinnung,
– Förderung,
– Verkippung.

Absetzer dienen der Verkippung von im Vorschnitt gewonnenem Abraum.

Die Bauart der Absetzer richtet sich nach der Art des Schüttguttransportes.

4.2.2.4 Zugförderung

Bei dieser Möglichkeit, Schüttgut zu transportieren, wird das Schüttgut auf der Kippenseite in einen parallel zum Gleis verlaufenden Graben geschüttet. Anschließend wird über das Aufnahmegerät des Absetzers das Gut wieder aufgenommen und anschließend nach Transport über die Bandanlage des Gerätes im Frontversturz verkippt.

Abb. Fb-87: Beispiel für eine Zugförderung [18]

Charakteristisch ist hier die Eimerkette des Aufnahmegerätes. Die gleisgebundenen Absetzer finden ihre Anwendung heutzutage auf Deponien und Halden (Kohle, Gips, Asche). Nachfolgend ist ein schienenfahrbarer Eimerkettenschwenkabsetzer As 1600 mit seinen Hauptbaugruppen dargestellt.

- **Bandförderung**

Hierbei erhält der Absetzer den gewonnenen Abraum über das Kippenstrossenband und den Übergabewagen kontinuierlich.

Die Arbeitsweise erfolgt meist im Blockversturz. Es ist auch möglich, die Bandabsetzer direkt mit dem Gewinnungsgerät zu koppeln. Diese Art der Gerätekopplung wird auch als Direktversturzkombination bezeichnet.

7541014/10787806875Biblio

Der Einsatz in dieser Konfiguration erfolgt meist im Grubenbetrieb zum direkten Verstürzen von Hangend- oder Mittelabraum auf das ausgekohlte Liegende.

Dabei sind folgende Aufgaben zu erfüllen:

– Verbindung zwischen Gewinnungsgerät und Bandanlage,
– Absetzen von Abraummassen im Direktversturz.

- **Bandabsetzer**

Die Bandabsetzer sind zweiteilige Geräte, die aus einem Abwurfgerät und einem Zwischenförderer bestehen. Beide Geräteteile haben eigene Raupenfahrwerke und Fahrantriebe, sind aber nur miteinander abgestimmt verfahrbar. Der Zwischenförderer mit dem Aufnahmeband übernimmt das Fördergut vom Übergabewagen des Kippenstrossenbandes und leitet es weiter zum Abwurfband. Von dort aus wird der Abraum über das Abwurfgerät transportiert und anschließend über die Abwurfgurttrommel im Block verkippt.

Abb. Fb-88: Bandabsetzer in Aktion [18]

- **Abwurfgerät**

Das Abwurfgerät besteht aus folgenden Hauptbaugruppen:

– Raupenfahrwerk,
– Unterbau,
– Oberbau,
– Abwurfausleger,
– Gegenausleger,
– Maste.

Das Raupenfahrwerk besteht aus drei Doppelraupen, unterteilt in zwei Festraupenpaaren und ein Lenkraupenpaar.

7541014/10787806875Biblio

Der Unterbau setzt sich aus dem Pratzenringträger, der Kugeldrehverbindung, dem Schwenkwerk und den Häusern zusammen. Das Schwenkwerk mit seinen drei Antrieben dreht den Oberbau über die Kugeldrehverbindung. Der Oberbau besteht u. a. aus dem Ringträger, dem oberen Kugeldrehkranz und dem Turm.

Am Turm befinden sich die Verlagerungspunkte des Abwurf- und Gegenauslegers und die Aufhängung des Zwischenförderers.

Der Abwurfausleger, auch ein Teil des Oberbaus, bildet mit dem Mast, den gelenkig miteinander verbundenen Auslegerfeldern, der Traverse, den vollverschlossenen Aufhängeseilen und der seitlichen Abspannung eine Einheit. Die Tragseile haben an ihren unteren Enden nachstellbare Verbindungsstücke, ansonsten weisen sie unveränderliche Längen auf.

Abb. Fb-89: Abwurfgerät in Aktion [18]

4.3 Tagebau Welzow-Süd

Die Lagerstätte Welzow-Süd befindet sich in Brandenburg und erstreckt sich westlich des Flusslaufes der Spree und der Stadt Spremberg. Gegenwärtig wird das 2. Lausitzer Flöz abgebaut.

Es liegt in 90 bis maximal 130 m Tiefe und ist 10 m bis 16 m mächtig. Der Tagebau Welzow-Süd fördert jährlich ca. 21 Mio. t Rohbraunkohle.

Abb. Fb-90: Abraumförderbrücke im Tagebau Welzow-Süd [18]

7541014/10787806875Biblio

4.3.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt

Voraussetzung für den sicheren Tagebaubetrieb ist das Freihalten der Lagerstätte von Wasser.

Ist das Vorfeld der Tagebaue beräumt, werden Filterbrunnen gebohrt, die mittels Unterwassermotorpumpen ca. 100 m^3 Grundwasser pro Minute heben. Nach erfolgter Reinigung wird es zur Stabilisierung des regionalen Wasserhaushaltes in die Spree und in schützenswerte Feuchtgebiete geleitet. Ein Teil des gehobenen Wassers findet als Speisewasser zur Dampferzeugung im Kraftwerk Schwarze Pumpe Verwendung.

4.3.2 Abraumförderung und Verkippung

Sind die Bodenschichten ausreichend entwässert, können Abraumbagger die Sande, Kiese und Tone über der Kohle abtragen. Im Tagebau Welzow-Süd arbeiten ein Schaufelradbagger und ein Eimerkettenbagger der Abraumförderbrücke (AFB) voraus und tragen die Erdschichten ab, die der Brückenverband aufgrund seiner Abtragsmöglichkeit nicht gewinnen kann.

2,5 m breite Bandanlagen transportieren den Vorschnitt-Abraum zur bereits ausgekohlten Kippenseite des Tagebaus. Absetzer verstürzen das Bodenmaterial und formen dabei das Relief der künftigen Bergbaufolgelandschaft.

7541014/10787806875Biblio

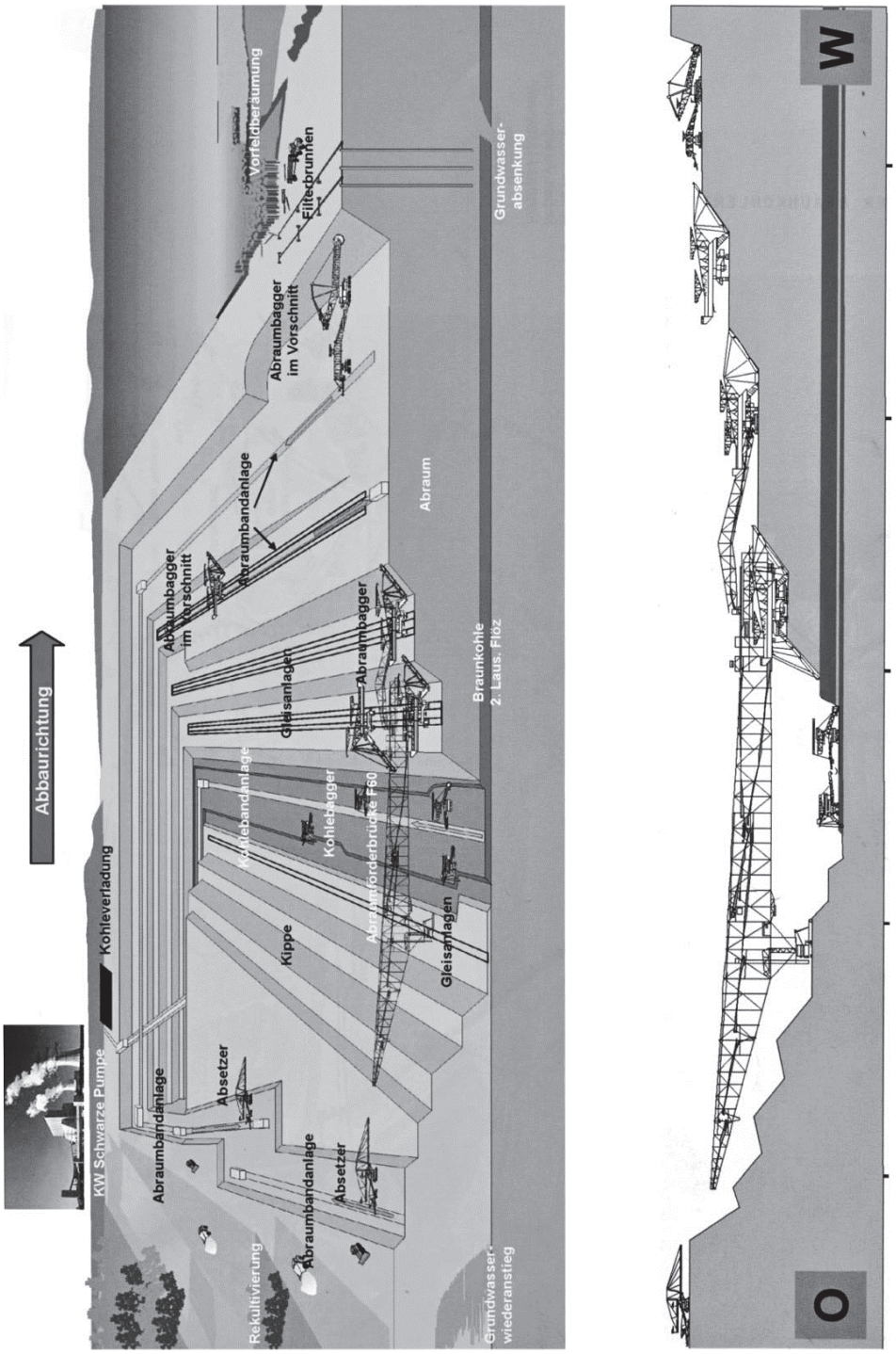


Abb. Fb-91: Systemdarstellung der Abbautechnik Tagebau Welzow-Süd mit Förderbrücke F 60-32 [18]

7541014/10787806875Biblio

Das unmittelbare Freilegen der Braunkohle erfolgt mit einer AFB vom Typ F 60 – ein Geräteverband bestehend aus drei leistungsstarken Eimerkettenbaggern vom Typ ES 3150 und Es 3750 und einer über 600 m langen Bandbrücke. Förderbrücken gehören zu den größten beweglichen Technik-Anlagen der Welt. Sie ermöglichen es, den Abraum auf kurzem Weg, quer über den Grubenbetrieb des Tagebaus, zu fördern und zu verkippen.

4.3.3 Vorschnitt

Der Vorschnitt ist der einer Abraumförderbrücke (AFB) auf der Baggerseite vorgeschaltete Abraumbereich eines Braunkohlentagebaus. Zur Prozesslinie gehört der auf der Kippenseite der AFB nachfolgende Abraumbereich. Die Prozesslinie Vorschnitt hat zwei wesentliche Aufgaben:

- Gewinnung, Förderung und Verkippung des Anteiles am Deckgebirge, der die mögliche Abtragsmächtigkeit der Förderbrücke übersteigt,
- Schaffung der Voraussetzungen für eine optimale Rekultivierung und Landschaftsgestaltung auf der Kippenseite.

Beide Aufgaben sind als gleichwertig zu betrachten.

Im Lausitzer Revier arbeiten in den Tagebauen Jänschwalde, Welzow-Süd und Nochten moderne Vorschnitt-Bandbetriebe.

4.3.4 Rohkohlengewinnung und Förderung

Unmittelbar unter der Abraumförderbrücke arbeitet der Grubenbetrieb. Hier erfolgt der eigentliche Abbau des Rohstoffs mit Schaufelrad- und Eimerkettenbaggern im Hoch- und Tiefschnitt. Unterschiedliche Kohlenqualitäten werden selektiv ausgehalten und über eine 2 m breite Bandanlage zur Kohlenverladung oder zum Grabenbunker auf der Rasensohle gefördert. Von hier erfolgt der weitere Abtransport in Zügen zu den Verbrauchern.

Aus dem Tagebau Welzow-Süd werden täglich bis zu 90.000 t Braunkohle gefördert. Hauptabnehmer sind das Kraftwerk Schwarze Pumpe und die Brikettfabrik Schwarze Pumpe. Es hat eine Leistung von 2 × 800 MW bei einem Verbrauch von 36.000 t/Tag. Die Jährliche Förderung im Tagebau Welzow-Süd beträgt 17 Mio. t. Neben einem Rohkohleabsatz per Bahn zur Brikettfabrik Schwarze Pumpe gehen bis zu 5 Mio. t/Jahr über die werkseigene Kohlebahn zum Kraftwerk Jänschwalde und werden dort verstromt.

4.3.5 Geräteeinsatz und Förderung

Geräteeinsatz am Standort Welzow

Abraumbewegung:	
1 Schaufelradbagger Typ SRs 6300 mit ca.	17.000 m³/h
1 Eimerkettenbagger Typ Es mit ca.	3.150 m³/h
1 Abraum-Förderbrücke Typ F60 mit ca.	25.600 m³/h
Kohlegewinnung:	
1 Schaufelradbagger Typ SRs 1301mit ca.	3.500 m³/h
1 Eimerkettenbagger Typ ERs 710 mit ca.	1.400 m³/h

7541014/10787806875Biblio

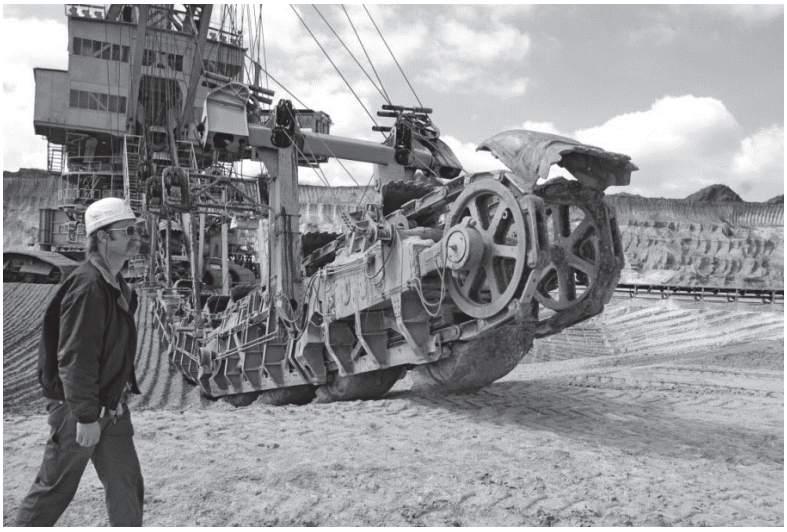


Abb. Fb-92: Eimerkettenbagger bei der Abraumgewinnung [18]

4.3.6 Rekultivierung und Renaturierung

Für die Bergbautreibenden ist es eine besondere Herausforderung, notwendige Eingriffe in die Umwelt schnellstmöglich auszugleichen und Einwirkungen auf den Menschen, unter Ausnutzung des Standes der Technik, zu verhindern bzw. auf ein Minimum zu beschränken. Bergbau nimmt Land in Anspruch und lässt zeitgleich neues Land entstehen. Dem Abbau der Braunkohle folgt stets das Rekultivieren des Bergbaufolgelandes. Aufgeforstet wird mit einheimischen Baumarten wie Kiefer, Eiche, Ahorn, Erle und Buche. Ziel der Rekultivierung ist es, neue Kulturlandschaften zu schaffen, sowohl für die Forst- und Landwirtschaft als auch für den Naturschutz, für Freizeit und Erholung.

In der jüngeren Vergangenheit entstanden auf den rekultivierten Flächen des Tagebaus Welzow-Süd die Freizeit- und Erholungsgebiete Pulsberger Hochkippe und Buckwitzberg sowie die Stradower Höhe mit Verweilbereichen, Radwanderwegen und Aussichtspunkten. Bisher wurden 4.015 ha rekultiviert. Dazu gehören auch gewaltige Altlasten aus der DDR-Zeit.

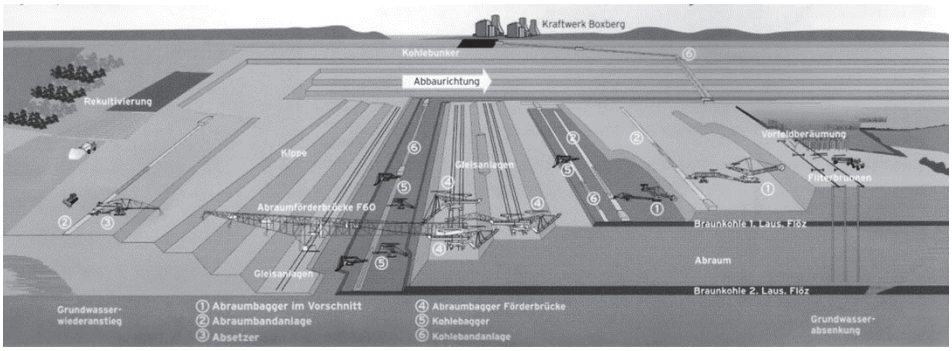


Abb. Fb-93: Systemdarstellung der Abbautechnik Tagebau Nochten [18]

7541014/10787806875Biblio

4.4 Tagebau Nochten

Die Lagerstätte Nochten befindet sich im Freistaat Sachsen und erstreckt sich südwestlich der Stadt Weißwasser. Hier wird das 2. Lausitzer Flöz abgebaut. Es liegt in 65 m bis maximal 100 m Tiefe und ist durchschnittlich 12 m mächtig. Seit 2006 wird zudem das 1. Lausitzer Flöz abgebaut. Es liegt in 20 m bis etwa 40 m Tiefe und ist durchschnittlich 3 m mächtig. Der Tagebau Nochten fördert jährlich etwa 19 Mio. t Rohbraunkohle.

4.4.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt

Voraussetzung für den sicheren Tagebaubetrieb ist das Freihalten der Lagerstätte von Wasser. Ist das Vorfeld des Tagebaus beräumt, werden Filterbrunnen gebohrt, die mittels Unterwassermotorpumpen über 220 m^3 Grundwasser pro Minute heben. Nach erfolgter Reinigung wird dieses zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes in die Spree und in den Weißen Schöps geleitet. Mit einem Teil des gehobenen Wassers werden Teiche und schützenswerte Feuchtgebiete im Umfeld des Tagebaus versorgt.

Näheres zur Wasserhaltung siehe rheinisches Braunkohlenrevier.

4.4.2 Abraumförderung und Verkippung

Sind die Bodenschichten ausreichend entwässert, können Abraumbagger die Sande, Kiese und Tone über der Kohle abtragen.

Im Tagebau Nochten arbeiten zwei Schaufelradbagger im Vorschnitt der Abraumförderbrücken (AFB) voraus.
2,5 m breite Bandanlagen transportieren die abgetragenen Massen zur bereits ausgekohlten Kippenseite des Tagebaus. Hier schüttet ein Absetzer mit diesem Bodenmaterial das Relief der künftigen Bergbaufolgelandschaft. Kulturfähige Böden werden als oberste Schicht aufgebracht.

Das unmittelbare Freilegen der Braunkohle erfolgt mit einer AFB vom Typ F 60 – ein Geräteverband, bestehend aus drei leistungsstarken Eimerkettenbaggern und einer über 600 m langen Bandbrücke.
Förderbrücken gehören zu den größten beweglichen Technik-Anlagen der Welt. Sie ermöglichen es, den Abraum auf kurzem Weg, quer über die Grube des Tagebaus zu fördern und zu verkippen.

4.4.3 Rohkohlegewinnung und Förderung

Das 1. Lausitzer Flöz wird zwischen dem Vorschnitt und dem Brückenbetrieb abgebaut. Unmittelbar unter der Abraumförderbrücke gewinnen Schaufelradbagger und Eimerkettenbagger im Grubenbetrieb das 2. Lausitzer Flöz.

Schaufelradbagger arbeiten vorwiegend im Hochschnitt, Eimerkettenbagger können durch Umschwenken ihrer Eimerleiter im Hoch- und Tiefschnitt Kohle gewinnen.

2 m breite Bandanlagen fördern die Braunkohle zum Kohlelagerplatz auf der Rasensohle und von dort in das Kraftwerk.

Aus dem Tagebau Nochten werden täglich bis zu 100.000 t Braunkohle gefördert. Sie wird vom Kraftwerk Boxberg für folgende Leistungen abgenommen: 2 × 500 MW + 1 × 900 MW = 1.900 MW. Dazu kommen ab 2011 1 × 675 MW.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-94: Bandanlage mit 2,0 m Breite fördert die Braunkohle zum Kraftwerk. [18]

Abb. Fb-95: Einsatzbeispiel Abraumförderbrücke [18]

4.4.4 Geräteeinsatz und Förderung

Abraumbewegung:	
2 Schaufelradbagger Typ SRs 6300 mit ca.	20.000 m³/h
1 Abraum-Förderbrücke Typ AFB 60 mit ca.	25.600 m³/h
Kohlegewinnung:	
1 Schaufelradbagger Typ SRs 1301mit ca.	2.800 m³/h
1 Eimerkettenbagger Typ ERs 710 mit ca.	1.400 m³/h

4.5 Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord

Die Lagerstätte Jänschwalde/Cottbus-Nord befindet sich in Brandenburg und erstreckt sich nordöstlich der Stadt Cottbus. Hier wird das 2. Lausitzer Flöz abgebaut. Im Tagebau Cottbus-Nord liegt es bis zu 55 m tief und ist 8 m bis 10 m mächtig. Ca. 6 Mio. t Rohbraunkohle fördert der Tagebau Cottbus-Nord jährlich. Im Tagebau Jänschwalde beträgt die Abraummächtigkeit 45 m bis 95 m, bei einem 10 m bis 12 m mächtigen Braunkohlenflöz. Ca. 9 Mio. t bis 13 Mio. t Rohbraunkohle fördert der Tagebau Jänschwalde jährlich.

7541014/10787806875Biblio

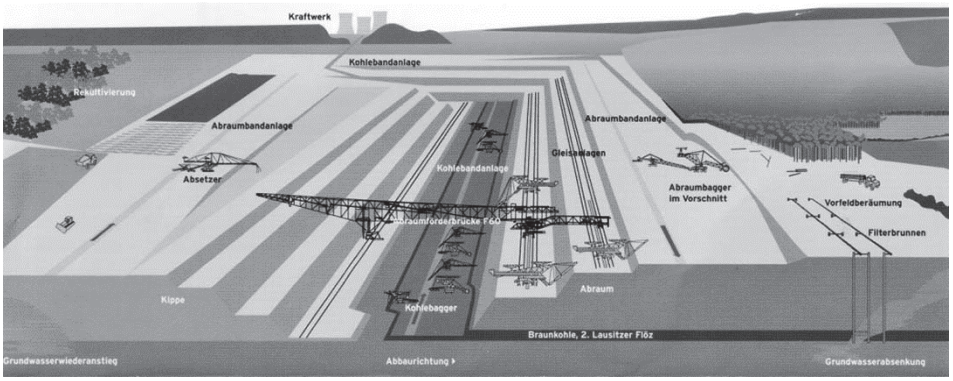


Abb. Fb-96: Systemdarstellung der Abbautechnik der Lagerstätte Jänschwalde (Cottbus-Nord ähnlich) [18]

4.5.1 Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt

Voraussetzung für den sicheren Tagebaubetrieb ist das Freihalten der Lagerstätte von Wasser.

Nach Beräumung des Vorfeldes der Tagebaue werden Filterbrunnen gebohrt, die mittels Unterwassermotorpumpen ca. 320 m³ Grundwasser pro Minute heben. Ein Teil des gehobenen Wassers wird nach erfolgter Reinigung als Ökowasser zur Stabilisierung des regionalen Wasserhaushaltes in die Spree und in schützenswerte Feuchtgebiete geleitet.

Anteilig erfolgt die Deckung des Brauchwasserbedarfes im Kraftwerk Jänschwalde.
Das gehobene Grundwasser wird dem Wasserkreislauf wieder zugeführt.
Zum Erhalt der Grundwasserstände in der Umgebung der Tagebaue wurden entlang der südlichen, westlichen und nördlichen Tagebaugrenze von Cottbus-Nord und der östlichen Tagebaugrenze von Jänschwalde unterirdische Dichtwände angelegt.

4.5.2 Abraumförderung und Verkippung

Sind die Bodenschichten ausreichend entwässert, können Abraumbagger die Sande, Kiese und Tone über der Kohle abtragen. Im Tagebau Jänschwalde arbeitet ein Schaufelradbagger im sogenannten Vorschnitt der Abraumförderbrücke voraus.

2 m breite Bandanlagen transportieren die abgetragenen Massen zur bereits ausgekohlten Kippenseite des Tagebaus. Hier schüttet ein Absetzer mit diesem Bodenmaterial das Relief der künftigen Bergbaufolgelandschaft. Kulturfähige Böden werden als oberste Schicht aufgebracht.

7541014/10787806875Biblio

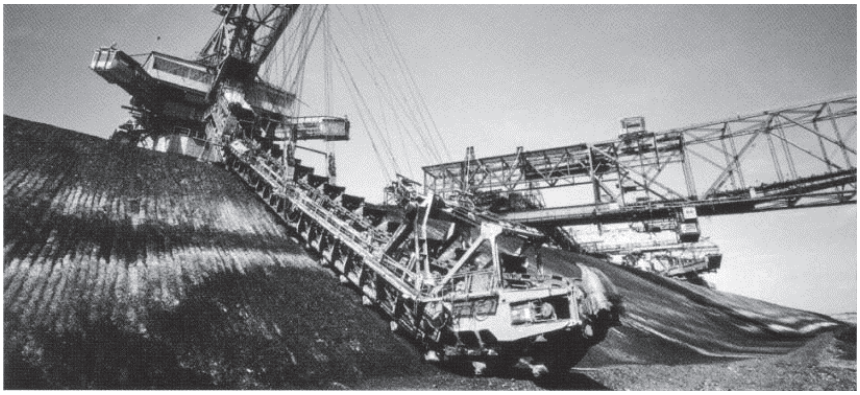


Abb. Fb-97: Eimerkettenbagger im Tagebau Jänschwalde [18]

Im Tagebau Cottbus-Nord ist aufgrund des vergleichsweise geringen Deckgebirges eine AFB vom Typ F 34 mit einer Gesamtlänge von 300 m im Einsatz.

Die zwei an die AFB angeschlossenen Eimerkettenbagger vom Typ Es 1120.2 ermöglichen die Abraumgewinnung bis zu einer Mächtigkeit von 45 m. Ein Vorschnittbetrieb ist im Tagebau Cottbus-Nord nicht erforderlich.

Unmittelbar unter der Abraumförderbrücke arbeitet der Grubenbetrieb. Hier erfolgt der eigentliche Abbau der Braunkohle mittels Schaufelradbagger und Eimerkettenbagger im Hoch- und Tiefschnitt.

Nur im Tagebau Cottbus-Nord wird die Rohkohle bereits in der Grube in Wagen des unternehmenseigenen Eisenbahnbetriebes verladen. Etwa 1.000 t gelangen mit jedem Kohlenzug in das benachbarte Kraftwerk Jänschwalde. Im Tagebau Jänschwalde fördern 2 m breite Bandanlagen die Braunkohle zur Kohlenverladung. Von hier erfolgt der weitere Abtransport in Zügen zum Kraftwerk Jänschwalde.

Aus beiden Tagebauen werden zusammen täglich bis zu 80.000 t Braunkohle gefördert, die für die Bekohlung des Kraftwerkes Jänschwalde, mit einer installierten Leistung von 3.000 MW, eingesetzt werden.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-98: Schaufelrad des Baggers Typ SRs 2000 im Tagebau Jänschwalde bei der Abraumförderung [18]

Geräteeinsatz (gesamt für beide Tagebaue)

Abraum:	
1 Schaufelbagger Typ SRs 2000 mit ca.	9.500 m³/h
1 Abraumförderbrücke Typ F 60 mit ca.	34.200 m³/h
1 Abraumförderbrücke Typ F 34 mit ca.	8.100 m³/h
Gewinnung:	
1 Schaufelradbagger Typ SRs 1300 mit ca.	3.900 m³/h
1 Schaufelradbagger Typ ERs 702/704 mit ca.	1.500 m³/h
1 Eimerkettenbagger Typ ERs 710 mit ca.	1.400 m³/h
1 Eimerkettenbagger Typ ERs 500 mit ca.	1.200 m³/h

4.5.3 Elektrotechnik und Elektronik

Die Elektrotechnik ist ein wesentlicher Bestandteil zum Betreiben und Bedienen eines Großgerätes oder einer Anlage. Baggerführer oder Leitstandfahrer sollten Grundkenntnisse der Elektrotechnik besitzen, um die laufenden, gesteuerten Prozesse eines Tagebaues zu verstehen und das Gerät sicher bedienen zu können. Dabei geht es nicht darum, dass Baggerführer mit gelernten Elektrotechnikern gleichzusetzen sind, sie sollten aber bestimmte Abhängigkeiten, Verriegelungen, Zusammenhänge der Antriebe untereinander, Abschaltkriterien, Wirkungsweisen von Sicherheitseinrichtungen auf bestimmte Anlagenteile sowie die Bedienung des Gerätes kennen und Unregelmäßigkeiten schon im Entstehen erkennen.

7541014/10787806875Biblio

4.5.3.1 Einspeisung der Tagebaue mit Strom

Im Zeitalter der modernen Technik ist ein Betreiben eines Unternehmens, eines einzelnen Betriebszweiges oder auch eines Haushaltes ohne elektrischen Strom nicht mehr vorstellbar. Die gesamte Antriebstechnik, die Kommunikation untereinander und miteinander, die Kontrolle, die Überwachung, die Verständigung und die Protokollierung basieren auf elektrischem Strom – egal in welcher Spannungshöhe, in welcher Leistung und in der Art (Wechsel- oder Gleichstrom).

Tagebaue werden von einem in unmittelbarer Nähe befindlichen Kraftwerk aus mit Spannung versorgt. Sie werden mit zwei oder drei voneinander getrennten 110-kV-Freileitungen eingespeist. Diese 110-kV-Freileitungen enden in einem betriebseigenen Umspannwerk, wo dann die Spannung von 110 kV auf 30 kV, 6 kV oder andere niedrigere Spannungsebenen heruntertransformiert wird. Vom Umspannwerk aus wird dann die benötigte Spannung zu den einzelnen Verbrauchern über Freileitungen, Kabel oder in Kombination herangeführt.

Aus Sicherheitsgründen des Tagebaus muss immer eine Einspeisung zur Verfügung stehen, damit im äußersten Notfall die Entwässerung weiter betrieben werden kann.

Die Einspeisungen erfolgen für den
Tagebau Welzow mit 3 × 110 kV vom Kraftwerk Schwarze Pumpe,
Tagebau Nochten mit 2 × 110 kV vom Kraftwerk Boxberg,
Tagebau Jänschwalde mit 2 × 110 kV vom Kraftwerk Jänschwalde,
Tagebau Cottbus-Nord mit 1 × 110 kV vom Kraftwerk Jänschwalde.

4.5.3.2 Prozess-, Steuer- und Leitsystem

Um Geräte, Anlagen oder ganze Unternehmen steuern, lenken und überwachen zu können, bedarf es einer komplizierten, aber auch einer funktionssicheren Steuertechnik. Je größer die zu steuernde Anlage ist, umso schneller und präziser muss die Steuerung sein.

Sie muss in der Lage sein, Fehler und Unregelmäßigkeiten schnell zu erkennen, einzugreifen und die Störungen teilweise selbstständig zu korrigieren. Sie muss bei schwerwiegenden Problemen die Anlagen und Geräte stets in einen sicheren Zustand versetzen. Das eingesetzte Prozess- und Leitsystem überwacht das Betriebsgeschehen ununterbrochen und mit höchster Präzision.

Eventuell auftretende Fehler werden im Entstehungsprozess erkannt, signalisiert und teilweise ihrer Entstehung entgegengewirkt.
Der Mensch als Bedienkraft wird immer mehr in der Funktion als Überwacher eingesetzt. Ein einmal vorgegebenes Programm läuft stets und ständig in den vorgegebenen Parametern ab.

Moderne Steuerungen sind in der Lage, je nach Größe der Speicherkapazität des Rechners, Betriebszustände über Monate zu speichern und zu vergleichen. Steuerungsanlagen dienen der Signalverarbeitung auf dem gesamten Tagebaugerät. Alle Signale von peripheren Geräten werden für die Antriebssteuerung sowie die Betriebs- und Störmeldung verarbeitet.

7541014/10787806875Biblio

In konventionellen Steuerungen werden die Prozessverknüpfungen mit Relaissteuerungen auf elektromagnetischer oder elektronischer Basis realisiert. Die Signalübertragung erfolgt drahtgebunden.

4.5.3.3 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Die aktuelle Generation in der Steuerungstechnik sind speicherprogrammierte Steuerungen. Dabei erfolgt die Signalverarbeitung mikroprozessorgesteuert.

Die Signalübertragung erfolgt im äußeren Bereich drahtgebunden und im inneren Bereich über Lichtwellenleiter (LWL); überregionale Datenübertragung und Fernwirktechnik wird ebenfalls über LWL realisiert. Diese Technik ermöglicht gegenüber konventionellen Steuerungen einen hohen Verknüpfungsgrad und eine hohe Übertragungsgeschwindigkeit von Signalen.

4.5.3.4 Visualisierung

- **Alarmliste**

Liste aller aktuell anstehenden Alarme, wobei zwischen quittierten und unquittierten Alarmen unterschieden wird. Alarme sind nach ihrer Priorität farbig gekennzeichnet.

- **Ereignisliste**

Liste aller Alarme, Meldungen und registrierten Bedienhandlungen.

Alle kommenden und gehenden Ereignisse werden nach Priorität farbig gekennzeichnet.

- **Systemliste**

– Störungsliste des Anlagensystems,
– Systemstatus,
– Übersichtsbilder (hierarchisch) über Funktion und Zustand der Systemeinheiten (OS, AC, dezentrale Einheiten).

- **Statuslisten**

Es werden Statuslisten konfiguriert, die je Aggregat sämtliche Betriebszustände anzeigen und alle für das Aggregat im Störungsfall relevanten Ereignisse anzeigen.

Mit diesen Listen wird eine schnelle Übersicht zu den die Störung verursachenden Signalen aufgeblendet.

Festlegung der Farben zur Visualisierung von Antriebszuständen:

Blau	Antrieb Aus
Weiß blinkend Weiß	Antrieb fährt an, Antrieb Ein
Rot	Antrieb Störung
Grün blinkend Grün	Antrieb gesperrt, Reparaturschaltung Antrieb entriegelt
Gelb	Antrieb Warnung/Reparaturdrehzahl angewählt

7541014/10787806875Biblio

4.6 Rekultivierung und Renaturierung im Lausitzer Revier

Durch eine intensive und nachhaltige Rekultivierung muss der Natur eine vielseitig nutzbare Landschaft zurückgegeben werden. Die Gebiete sind dann für die Natur Entwicklungsraum und für die Menschen Freizeit- und Erholungsgebiete.
Sie dienen nach der Rekultivierung aber auch als Erwerbsgrundlage und sollen zum typischen Landschaftsbild passen.

4.6.1 Gesetzliche Grundlagen

Wichtigste Grundlage für die bergbauliche Tätigkeit ist das Bundesberggesetz. Es regelt die Bedingungen, unter denen der Bergbautreibende Anspruch auf die Zulassung eines Betriebsplanes hat.

Zu den notwendigen Voraussetzungen gehört in jedem Fall der Nachweis, dass und wie der Bergbautreibende Vorsorge für die Wiedernutzbarmachung trifft. Laut Gesetz wird die Wiedernutzbarmachung definiert als ordnungsgemäße Gestaltung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Flächen unter Beachtung des öffentlichen Interesses. Dieses wird mit den Braunkohlenplänen zur gesetzlichen Grundlage erhoben.

Braunkohlenpläne sind Teil der Regionalplanung und werden durch Landesregierungen für verbindlich erklärt. Sie legen unter anderem auch die Ziele der Raumordnung und die Grundzüge der zukünftigen Oberflächengestalt des Kippenlandes fest. Die darauf aufbauenden bergrechtlichen Rahmenbetriebspläne beinhalten neben konkreten Anforderungen zum Vermeiden, Minimieren oder Ausgleichen der Umwelteinwirkungen bereits detaillierte Aussagen zur Gestaltung der künftigen Bergbaufolgelandschaft.

Hauptbetriebspläne präzisieren die Anforderungen an die Rekultivierung im Allgemeinen für zwei Jahre im Voraus. Abschlussbetriebspläne beinhalten letztendlich alle Schritte zur Beendigung der bergbaulichen Tätigkeit in einem Abbaugebiet, einschließlich der Wiedernutzbarmachung.

4.6.2 Neue Waldflächen und Agrarland

Die Nutzung der Bergbaufolgelandschaft spielt in der Rekultivierung eine bedeutende Rolle. Die Schaffung neuer Waldflächen bietet die einmalige Chance, großflächig waldbauliche Ziele umzusetzen, die sich sonst nur über viele Generationen von Forstleuten verwirklichen lassen. Die Vorbereitung auf die landwirtschaftliche Nutzung erfordert ebenso wie bei den anderen Nutzungsarten eine vorausschauende Planung.

Zu den Rekultivierungs- und Renaturierungsmaßnahmen gehören unter anderem die Verkippung geeigneter Böden und die Regulierung des Säure- und Nährstoffhaushalts der Böden, indem Bodenverdichtungen vermieden werden.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-99: Bergbaufolgelandschaft – links: Beispiel für die Rekultivierung – Millenniumshain mit Säuleneichen und Kugelahorn – rechts: Beispiel für eine Renaturierung – Lasszinswiesen [V39]

Zur Abb. Fb-99

- **Millenniumshain und Hain der Feuerwehrleute**

In den Randbereichen des Tagebaus Cottbus-Nord wurden in den Jahren 2000 bis 2002 zwei Landschaftsprojekte verwirklicht, die sich mit der Gestaltung des Cottbuser Ostsees in das Gesamtbild der Bergbaufolgelandschaft einfügen werden. Ein schachbrettartiges Karree aus über 200 Säuleneichen und Kugelahornen bildet den Millenniumshain. Gegenüber der Anlage erinnert eine Anpflanzung von 50 Roteichen an die Anschläge vom 11. September 2001. Amerikanische Kinder, deren Väter als Feuerwehrmänner bei den Rettungseinsätzen am New Yorker World-Trade-Center ihr Leben ließen, setzten diese Bäume am 7. Juni 2002 in die Erde.

- **Lasszinswiesen**

Der Schutz wertvoller Landschaftsbestandteile im Umfeld der Tagebaue gehört zu den Aufgaben des Bergbauunternehmens. Mittels Monitoring werden ausgewählte Lebensgemeinschaften als Indikatoren beobachtet. So können Schutzmaßnahmen geplant und deren Erfolg kontrolliert werden.

Ein dauerhaftes Monitoring besteht beispielsweise für die Lasszinswiesen (Bild rechts). Die Ergebnisse des Biomonitorings werden auch bei der Gestaltung von anspruchsvollen Renaturierungsflächen in der Bergbaufolgelandschaft berücksichtigt. Durch geeignete Technik wird ein für die Landwirtschaft geeignetes Oberflächenrelief geschaffen.

Für Freizeit und Erholung legt Vattenfall Europe Mining Wege an, schüttet außerdem Rodelberge auf oder schafft ganze Freizeitkomplexe wie den Findlingspark Nochten.

Die Nutzung der Bergbau-Folgelandschaft als Waldfläche spielt in der Rekultivierung eine bedeutende Rolle. Neue Waldflächen bieten die einmalige Chance, großflächig waldbauliche Ziele umzusetzen. Um dies zu verwirklichen, sind sonst viele Generationen von Forstleuten nötig.

7541014/10787806875Biblio

Um ehemalige Bergbau-Flächen landwirtschaftlich nutzbar zu machen, ist eine vorausschauende Planung der Rekultivierung erforderlich. Hierzu gehören unter anderem die Verkippung geeigneter Böden und die Regulierung des Säure- und Nährstoffhaushalts der Böden. Durch geeignete Techniken schaffen wir eine für die Landwirtschaft geeignete Boden-Oberfläche.

4.6.3 Beispiele für Renaturierungsmaßnahmen

Um diese Ziele nach der Bergbau-Phase zu erreichen, forstet Vattenfall Wälder auf und legt Heiden, Felder, Weiden und Gewässer an. Dabei werden ausgewählte Flurgehölze für die Anlage von Hecken, Wegrainen oder Waldsäumen verwendet. Außerdem werden durch Renaturierungsmaßnahmen die Voraussetzungen für Ökosysteme wie Trockenrasen, Vermoorungen oder Wasserflächen und Erholungsgebiete geschaffen.

Abb. Fb-100: Biotop auf einem ehemaligen Braunkohlenabbau [V39]

Und darüber hinaus ist das Einwandern bestimmter Arten in das Gebiet zu ermöglichen und damit ein Biotop-Verbund unerlässlich. Ausgehend vom Aktionsradius der Arten werden deshalb kleine Biotope meist direkt mittels Saum, Band oder Linie miteinander verbunden.
Für Arten mit großer Mobilität genügen sogenannte Trittsteine wie Benjeshecken, abgelegtes Totholz oder Lesesteinhaufen.

Ein Beispiel für das zielgerichtete Anlegen eines integrierten Naturschutzareals ist der „Neue Lugteich“ auf der Innenkippe des Tagebaus Welzow-Süd.
Erstmalig wurde hier während des aktiven Bergbaubetriebes ein Feuchtgebiet mit entsprechenden Einzugsbereichen hergestellt.

Ganz unterschiedliche Lebensräume werden hier zukünftig zu finden sein, unter ihnen auch Dünensandbereiche und Tieflandfichten. Bereits 2002 wurde Wacholder aus dem Vorfeld des Tagebaus eingebracht. Im Frühjahr darauf folgten Fichten und Kiefern. Zu gegebener Zeit sollen in diesem Feuchtgebiet auch Amphibien heimisch werden.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-101: Renaturierung im ehemaligen Abbau Nochten. Der Lausitzer Findlingspark unweit des Kraftwerkes Boxberg [V39]

Das Lausitzer Revier hat eine Landinanspruchnahme (einschließlich der erforderlichen Betriebsflächen) von 116.250 ha. Davon wurden durch die o. g. Maßnahmen 54.284,4 ha wieder nutzbar gemacht.

4.7 Grundwasserabsenkung und -haltung

4.7.1 Begriffsbestimmung

Ein vorhandenes Grundwasserniveau auf eine, vor dem Abbau erforderliche Höhe abzusenken, wird als Grundwasserabsenkung (oder auch Entwässerung) bezeichnet.

Das durch Absenkung erreichte Grundwasserniveau zu halten, wird als Grundwasserhaltung bezeichnet. Die Begriffe werden auch in Fachbüchern leider immer wieder falsch angewendet. Sie treffen im Braunkohlentagebau beide zu.

4.7.2 Ziel der Grundwasserabsenkung

Nach dem Beräumen und vor dem Abbau des Deckgebirges und der Gewinnung der Kohle im Tagebau sind diese zu entwässern.

Entwässerung ist der planmäßige Wasserentzug aus Deckgebirge und Kohle. Sie ist eine wesentliche Voraussetzung für die Standsicherheit von Böschungen, die Abbaggerung und den Transport der Bodenschichten. In den fünf Vattenfall-Tagebauen beträgt die Grubenwasserhebung ca. 1 Mio. m^3/Tag.

Wasser realisiert durch seine Höhe auch einen Druck, der einerseits bei der Entspannung des Liegenden abgebaut und andererseits bei der Entwässerung des Hangenden

7541014/10787806875Biblio

im Böschungsbereich vermindert wird. Trotz optimierter Entwässerung können in örtlichen Mulden Restwasserstände verbleiben. Durch die Neigung der GW-Sohle und der GW-Fließrichtung zum offenen Tagebau kann an der Böschung Grundwasser austreten und muss geeignet abgeleitet werden.

Die Liegendentspannung betrifft die GW-Leiter, die sich unter dem betrieblichen Liegenden befinden. Je nach Teufe des Tagebaus beträgt dieser Bereich 15 m bis 25 m.

Die Herstellung von Entwässerungsanlagen verursacht durch die ständige Errichtung von Filterbrunnen erhebliche wiederkehrende Investitionskosten. Im Durchschnitt müssen 2 Filterbrunnen je Tag infolge von Abbaggerung erneuert werden. Durch die Nutzung von wiederverwendungsfähigem Material für Ableiter (PE-HD-Rohre) sowie eines einheitlichen Brunnenkopfes können Kosten eingespart werden.

Das Betreiben der Entwässerungsanlagen (Grundwasserhaltung) über mehrere Jahre verursacht hohe Betriebskosten, verursacht durch den ständigen Elektroenergieverbrauch der Unterwassermotorpumpen (UWM-Pumpen) und den Aufwand beim Pumpenwechsel. Das Ziel ist es, mit den geringsten Kosten die optimale Entwässerung zu erreichen.

Die Tagebauentwässerung führt zu einer großräumigen Grundwasserabsenkung in die Tiefe und in die Fläche. Die Entwässerung des Hangenden über der Kohle und die Entspannung bis unter das betriebliche Liegende verursachen einen tiefen Entwässerungstrichter. Damit verbunden ist eine Ausdehnung des Trichters in der Fläche (Reichweite). Die Entwässerung muss ca. 3 bis 4 Jahre vor der entsprechenden Abbauphase beginnen.

Dabei sind die im Erdkörper vorhandene Wassermenge und die ständig zuströmende Wassermenge zu heben. Nach ca. 3 Jahren stellt sich ein annähernd stationärer Zustand ein, der an einer relativ niedrigen konstanten Fördermenge der Brunnen erkennbar ist bzw. an gemessenen oder berechneten Absenkungskurven (Sickerlinie) ermittelt wird.

Durch Außerbetriebnahme von Filterbrunnen vor dem Abbaubereich tritt sofort ein GW-Wiederanstieg ein. Völlig wasserfreie GWL sind kaum zu erreichen.

Bei Nichterreichen sind weitere Brunnen innerhalb der Abbaufigur auf Arbeitsebenen und Bermen abzuteufen und zu betreiben.

Folgende Entwässerungsschwerpunkte können im Allgemeinen formuliert werden:

nach der Lage (Beispiele):

- Drehbereiche,
- Randschläuche,
- Berme zwischen Vorschnitt und Förderbrücke (Wiederanstieg),
- Abbau Unterbegleiterkohlen,

nach der Hydrogeologie:

- Schluff-Feinsand-Wechsellagerungen,
- Pleistozänentwässerung (lokale Mulden),
- geologische Grabensysteme mit großen Sprunghöhen.

7541014/10787806875Biblio

4.7.3 Entwässerungsverfahren

Wichtige Entwässerungsverfahren sind: Filterbrunnen-, Strecken- und Baugrubenentwässerung. Sie beruhen auf Ausnutzung der Schwerkraft, d. h. die Entwässerungsanlagen werden in Tiefpunkten errichtet.

Seit den 60er Jahren wird hauptsächlich die Filterbrunnenentwässerung angewendet. Wesentliche Voraussetzungen für eine große Anzahl von Filterbrunnen sind eine leistungsfähige Brunnenbohrtechnik und leistungsfähige Unterwassermotorpumpen (UWM-Pumpen). Die Entwässerung erfolgt über (vertikale) Filterbrunnen, die vorzugsweise in Riegeln angeordnet werden. Das Grundwasser fließt dem Brunnen zu.

Die GW-Oberfläche senkt sich am Brunnen in Form einer Parabel ab und bildet einen Trichter. Zwischen 2 Brunnen verbleibt ein GW-„Berg“, der sich über die Entwässerungszeit verringert. Je nach Teufe unterscheidet man auch Hangend-, Liegend- und Kohlebrunnen sowie kombinierte Filterbrunnen. Ihre Lage wird von hydrologischen und geologischen Verhältnissen, z. B. Mulden, bestimmt. Die konkreten Abstände der Feldriegel (FR) im Tagebauvorfeld und die Abstände der Brunnen im Einfach- oder Doppelrandriegel (RR) werden mit numerischen Simulationsverfahren berechnet.

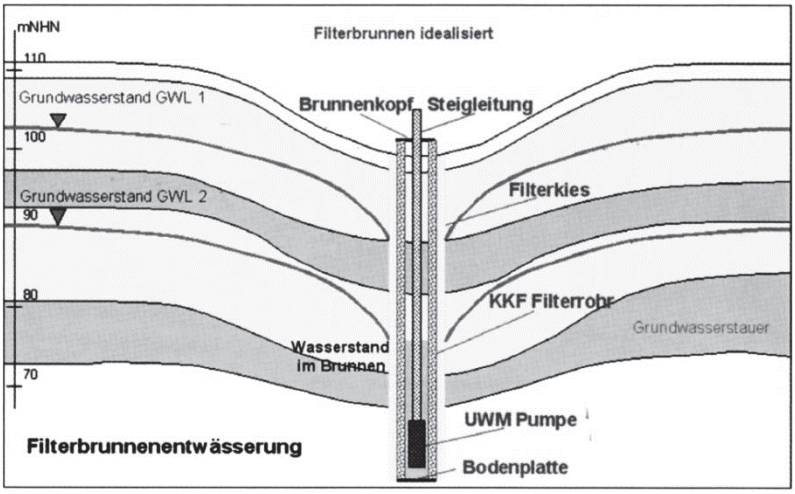


Abb. Fb-102: System des Filter-Absenkbrunnens [2]

Weitere Verfahren zur Grundwasserabsenkung sind: Tiefdränagen, Horizontalbrunnen sowie Vakuumentwässerung und Saugbrunnen. Letztere sind lediglich geeignet für Absenktiefen bis max. 8 m, bei Staffelanwendung auch tiefer, jedoch sehr aufwändig und störungsanfällig.

Die Anwendung dieser Verfahren im Braunkohlentagebau erfolgt nur punktuell. Das Vakuumverfahren ist außerdem sehr störungsanfällig.

7541014/10787806875Biblio

4.7.4 Dichtwandverfahren mit Abdichtungsfrästechnik

Die Dichtwandtechnik ergänzt sinnvoll die Tagebauentwässerung. Dichtwände werden am Tagebaurand gegenüber besonders zu schützenden Objekten angelegt. Gleichzeitig vermindern sie den entwässerungstechnischen Aufwand und verursachen minimale Betriebskosten. Die Kosten treten nur einmalig bei der Herstellung auf.

- **Verfahren**

Es wird ein bis zu 120 m tiefer Schlitz in die Erde gefräst, der über größere Distanzen um das abzudichtende Gelände herumgezogen wird. Dieser Schlitz ist während der Herstellungsphase ständig mit einer Ton-Wasser-Suspension bis zur Erdoberfläche gefüllt, um ein Zusammenbrechen der seitlichen Schlitzwände auszuschließen.

Unterstützend wird hierbei das natürlich anstehende oberflächennahe Grundwasser um 2 m bis 6 m abgesenkt und zur Erreichung einer ausreichenden Stützkraft im Schlitz gegen den Erddruck weist die verwendete Ton-Wasser-Suspension eine Dichte von 1,1 bis 1,3 g/cm³ auf. Durch den Überdruck im Schlitzinneren fließt ein Teil des Suspensionswassers in die umliegenden Erdschichten ab.

Die im Suspensionswasser schwebenden Tonpartikel jedoch verkeilen sich an den beiden Innenseiten des Schlitzes, da sie sich wegen ihrer Form und Größe nicht in das Porengerüst der Sande hineinbewegen können. Dieser Abström- und Anlagerungsprozess findet so lange statt, bis die Tonpartikel eine etwa 6 cm bis 8 cm dicke Tonkruste gebildet haben, die den Schlitz gegenüber z. B. dem Grundwasser abdichtet (siehe Abb. Fb-103). Der Verlust an abströmendem Wasser und sich verkeilten Tonplättchen muss durch Zugabe von neu angemischter Tonsuspension ausgeglichen werden.

Nachdem sich die Kruste gebildet hat, kann das abgefräste Erdreich wieder in die durch Absperrwände voneinander getrennten ca. 50 m langen Schlitzabschnitte zurückverfüllt werden, so dass kein Ab- und Antransport der Erdmassen erforderlich ist. Lediglich Überschussmassen werden abtransportiert.

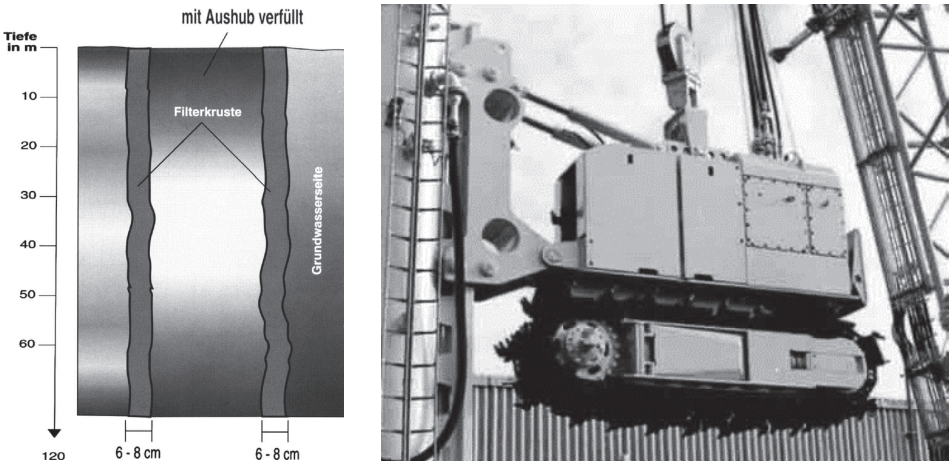


Abb. Fb-103: Abdichtungsschema (links) – Schlitzwandfräse System Wirth (rechts) [37]

7541014/10787806875Biblio

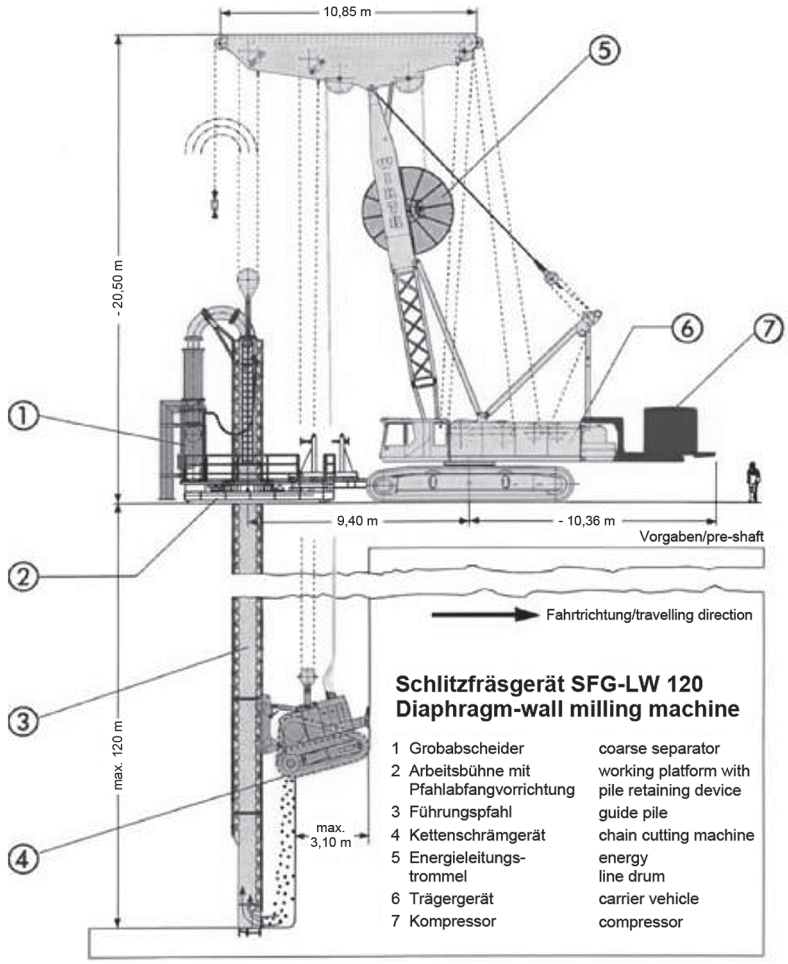


Abb. Fb-104: Schlitzwandschrämgerät System Wirth Typ SFG LW 120 – Zur Gerätekombination gehören noch eine Einbauvorrichtung zum Setzen der Absperrwände sowie eine Separieranlage zum Aushalten unerwünschter Feststoffteilchen. [37]

Der Wasserwegsamkeit (Durchlässigkeitskoeffizient) der beidseitig im Schlitz entstandenen Tonkrusten ist gegenüber dem angrenzenden Material der GWL um das 100.000-Fache geringer. Ein Wassertropfen würde ca. 32 Jahre brauchen, um durch die Dichtwand von einer Seite zur anderen Seite hindurchzugelangen.

- **Verfahrensschritte**

Phase 1: Herstellen des Startschachtes

Der Erdschlitz wird aus einem suspensionsgestützten Startschacht auf der vorbereiteten Dichtwandtrasse aufgefahren. Die Herstellung des Startschachts erfolgt bis zu einer Tiefe von max. 120 m mit dem Trägergerät und dem Schlitzwandgreifer.

7541014/10787806875Biblio

Phase 2: Einbau des Führungspfahles

Nach Fertigstellung des Startschachtes wird der Schlitzwandgreifer abgelegt. Mit dem Trägergerät wird anschließend über dem Startschacht die Arbeitsbühne aufgebaut. Das Trägergerät rückt in Position und koppelt über eine hydraulische Kupplung an die Arbeitsbühne an.

Die bereitgestellten Schüsse des Führungspfahles werden in der technologisch vorgeschriebenen Reihenfolge bis zur projektierten Endtiefe des Erdschlitzes in den Startschacht eingebaut. Zum Verbinden der einzelnen Schüsse wird der bereits eingebaute Teil des Führungspfahles in der Pfahlabfangvorrichtung auf der Arbeitsbühne gehalten.

Der Führungspfahl kann mit seiner Gesamtmasse vollständig auf der Schlitzsohle abgestellt werden, wobei er durch die Pfahlabfangvorrichtung geführt wird, so dass das Abschlagen des Führungspfahles von der Aufhängung möglich ist.

Phase 3: Auffahren des suspensionsgestützten Erdschlitzes

Nach dem kompletten Aufbau der Förderanlage und der Herstellung der Verbindungen der Versorgungs- und Messleitungen wird durch das Trägergerät das bereitgestellte Kettenschrämgerät mit dem Führungswagen aufgenommen und an den Führungspfahl gesetzt.

Das Kettenschrämgerät wird über die Energieleitung an die Versorgungs-, Mess- und Steuereinrichtungen des Trägergerätes angeschlossen. Sind die Arbeiten abgeschlossen, wird mit der Förderanlage der Suspensionsumlauf hergestellt, der Antrieb des Kettenschrämgerätes eingeschaltet und das Kettenschrämgerät mit der Winde des Trägergerätes bis auf die projektierte Endtiefe des Erdschlitzes abgesenkt.

Herstellen des Startschachtes **Einbau des Führungspfahles**

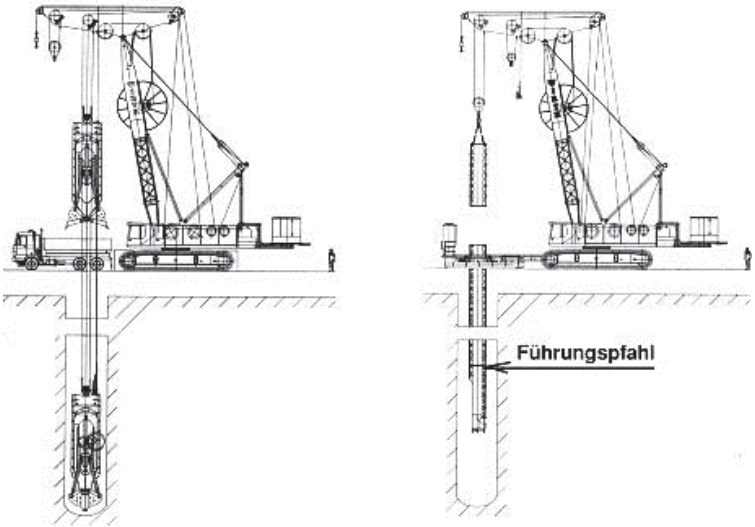


Abb. Fb-105: Phase 1 (links) und Phase 2 (rechts) [2]

7541014/10787806875Biblio

Nach Fertigstellen des Frässchnittes und Erreichen der Endtiefe wird der Antrieb abgeschaltet und das Kettenschrämgerät bis über die Arbeitsbühne heraufgeholt. Während der Schlitzherstellung ist der Führungspfahl im Regelfall nur mit einer vorzugebenden Teillast von 10 t bis 15 t auf der Schlitzsohle abzusetzen.

Der durch das Kettenschrämgerät gelöste Feststoff wird mit der Air-Lift-Förderanlage über das Förderrohr des Führungspfahles von der Sohle des Erdschlitzes abgefördert.
Bei unregelmäßiger Abförderung des Feststoffes von der Schlitzsohle und auftretender Gefahr der Verstopfung des Förderrohres ist der Führungspfahl im Förderprozess bis zu 2 m anzuheben.

Phase 4: Abfördern des Feststoffes

Das 3-Phasen-Fördergemisch, bestehend aus Suspension, Feststoff und Druckluft, wird über den Auslaufkrümmer und den Förderschlauch in das Standrohr ausgegossen. Im nachgeschalteten Grobabscheider erfolgt die Entlüftung und Feststoff über einer Korngröße von 100 mm wird ausgeschieden.

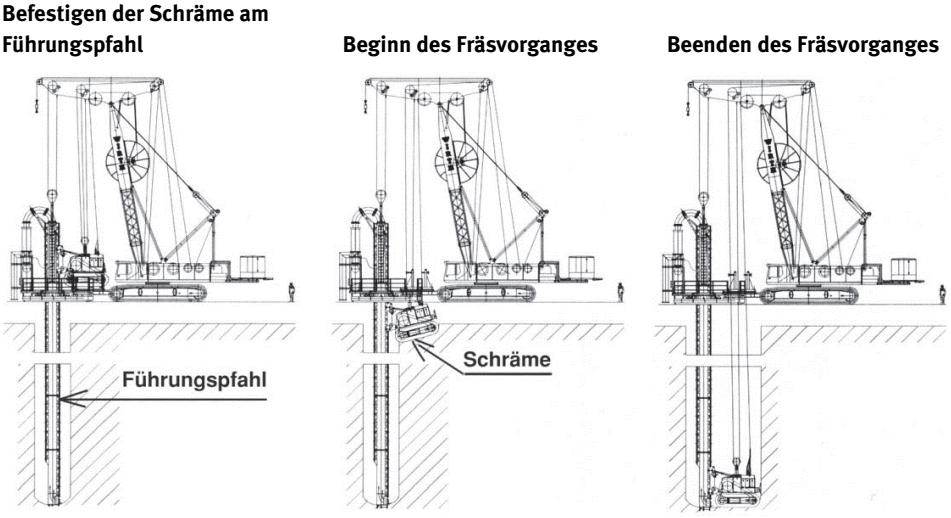


Abb. Fb-106: Phase 3 (links), Phase 4 (Mitte) und Phase 5 (rechts) [2]

Phase 5: Herstellen des Frässchnittes

Zum Herstellen des nächsten und jedes weiteren Frässchnittes ist nach Anheben des Führungspfahles das Trägergerät mit dem Fahrantrieb auf der Dichtwandtrasse um die Länge des nächsten Frässchnittes im Rückwärtsgang zurückzusetzen und anschließend der Führungspfahl auf die Sohle des Erdschlitzes erneut abzustellen.

Vor dem Absetzen des Führungspfahles ist seine ordnungsgemäße Stellung zu kontrollieren. Erforderliche Korrekturen von Führungspfahl und Kettenschrämgerät quer zur Schlitzachse sind durch Querverschiebung der Umlenkrollen im Auslegerkopf des Trägergerätes vorzunehmen.

Radien größer 30 m können durch Einstellen der Winkelverstellung und Ausrichten des Auslegers gefahren werden.

7541014/10787806875Biblio

4.7.4.1 Gründe der Vattenfall AG zur Anwendung der Dichtwände

Vorteile einer Dichtwand sind die wirksame Abdichtung durch die entstehende Tonkruste im Erdschlitz – eine dauerplastische, gegen organische und anorganische Stoffe resistente Eigenschaft des Dichtstoffes – sowie die durchgängige Abdichtung auch in großen Tiefen.

Eine der wesentlichsten Randbedingungen zum erfolgreichen Einsatz von Dichtwänden ist die Existenz einer sich im Untergrund über weite Gebiete ungestört abgelagerten wasserundurchlässigen Schicht. Diese Schicht bildet quasi den „Topf-Boden“ der Dichtwand, während die Dichtwand selbst lediglich die Funktion der „Topf-Wand“ innehat. Die Dichtwand muss dabei ca. 2 m tief in die horizontal abgelagerte wasserundurchlässige Schicht eingebunden werden.

Sind Ziele zum Grundwasserschutz sicher und nachhaltig durch die Herstellung von Dichtwänden erreichbar, entscheidet sich Vattenfall immer für dieses Verfahren.

Werden diese Ziele nicht erreicht, und/oder handelt es sich bei dem in Anspruch zu nehmenden Gebiet um kleinräumig begrenzte Biotope, kann alternativ auch das Verfahren zur Infiltration von Grundwasser zwischen dem Tagebau und dem Schutzobjekt eingesetzt werden. Diese Variante wird z. B. zum Erhalt der 2.000 ha großen Jänschwalder Lasszinswiesen angewendet.

4.7.4.2 Auswirkungen der Dichtwand auf das in Anspruch genommene Gebiet

Zur Errichtung einer Dichtwand wird eine Trassenbreite von 30 m bis 40 m benötigt. Die Trasse wird nach Beendigung der Arbeiten wieder rekultiviert und kann wie vor der Errichtung genutzt werden. Eine Überbauung mit z. B. Verkehrswegen ist möglich, jedoch sollten Gebäude aus Sicherheitsgründen nicht auf einer Dichtwand errichtet werden.

Eine teilweise Perforation wird notwendig, wenn die Dichtwand nach dem Bergbau den natürlichen Grundwasserfluss so weit hemmt, dass das Grundwasser über den ehemals natürlichen Wasserstand aufgestaut wird.
Hierzu werden ca. 20 m tiefe Löcher mit rund 1,5 m Durchmesser gebohrt und anschließend mit Sand gefüllt.

4.7.4.3 Investitionsaufwand für die Errichtung einer Dichtwand?

Bei dem kontinuierlichen Schlitzverfahren zur Herstellung überlanger tiefer Dichtwände liegen die spezifischen Kosten pro Quadratmeter hergestellter Dichtwand – einschließlich der vor- und nachlaufenden Arbeiten – bei 60 € bis 100 €. Die 7,1 km lange Dichtwand am Tagebau Cottbus-Nord hat Kosten von ca. 30 Mio. € verursacht.

4.7.4.4 Ein Blick zurück

Mit der Kohlekrise in der DDR in den Jahren 1966 bis 1968 hatte Kohle keine Priorität mehr. In Folge wurden die Tagebaue stillgelegt und die Vorbereitungsarbeiten zur Förderung der Braunkohle in der Lausitz und in Mitteldeutschland beendet.

1968 aber passte das Partnerland Sowjetunion den Ölpreis an den internationalen Markt an. Von da ab hieß es ab 1969 wieder: Volle Kraft voraus im Braunkohlenabbau!

7541014/10787806875Biblio

Damals wurde nach umweltschonenden Verfahren der Kohleförderung gesucht. Großräschener Ingenieure arbeiteten fieberhaft an einer Technologie, die es möglich machen sollte, Kohle untertägig abzubauen.

Man kam zu dem Schluss, dass die Lausitz ist mit ihrem Sand- und Tonvorkommen im Deckgebirge ungeeignet für einen Abbau unter Tage ist.

Anfang der 1970er Jahre standen die scheinbar erfolglosen Forscher unter heftiger Kritik. Doch sie hatten im Tagebau Spreetal bei Bluno ein Gerät getestet, mit dem es ihnen gelungen war, tiefe Schlitze ins Erdreich zu fräsen, als es daran ging, das nun wieder in die Planung aufgenommene Kraftwerk Jänschwalde mit Kohle zu versorgen.

Das Problem bestand darin, dass der Tagebau Jänschwalde nah an der Neiße verlaufen würde und die polnischen Nachbarn gern einen finanziellen Ausgleich für den entstehenden Wasserverlust gehabt hätten. Die Idee einer anderen Lösung jedoch stammte aus Freiberg von M. Fischer und K. Strzodka. Mit jenem Gerät der Großräschener Ingenieure sollte ein Nachteil in einen Vorteil verwandelt werden:

Bohrt man Filterbrunnen in die Erde, muss man in der Lausitz immer wieder feststellen, dass die Brunnen, die man aufwändig gebohrt hat, mit Ton verkleistern und nicht so viel Wasser fördern, wie gedacht. Dieses Ärgernis kannten die beiden Wissenschaftler und beschlossen, die Verkleisterung, die sogenannte Kolmation, extra herbeizuführen. Das Verfahren, einen tief gefrästen Schlitz in der Erde kontinuierlich mit einer Ton-Wasser-Mischung zu verfüllen, entstand. „Unter genau definiertem Druck setzt sich der Ton an den Schlitzwänden ab und wird fest. Es entsteht, ganz ohne Beton und dick verfüllte Flächen, eine dichte, nur wenige Zentimeter dicke Wand“, erklärt Ingolf Arnold.

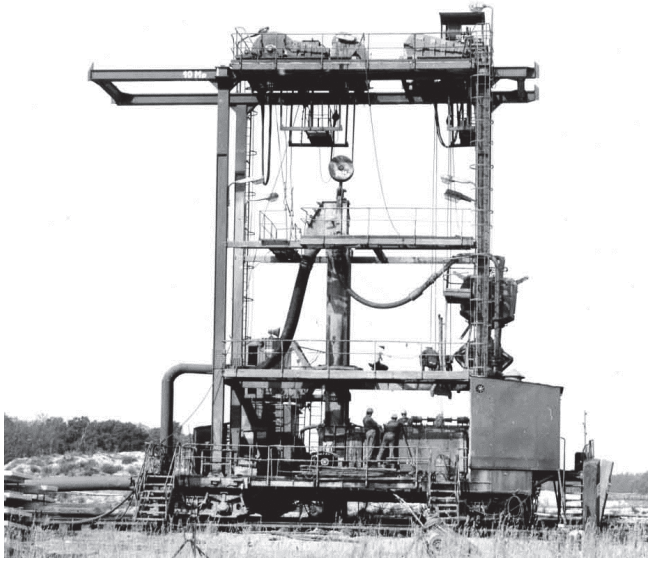


Abb. Fb-107: Das erste Dichtwandgerät Typ SG 73 B1 [V39]

Entwickel wurde das Gerät von M. Fischer und K. Strzodka von der Bergakademie Freiberg. Konstruiert und gebaut haben es Ingenieure und Techniker des Lausitzer Reviers.

Seit 1979 sind in Lausitzer Tagebauen zwei Dichtwände auf diese Weise entstanden, im Tagebau Jänschwalde und im Tagebau Cottbus-Nord.

7541014/10787806875Biblio

Geologen, Ingenieure, Bodenmechaniker, Steiger und ihre Bergleute an den Schlitzwandfräsen haben in den vergangenen dreißig Jahren ihr Wissen gesammelt und geben es immer wieder an ihre Nachfolger weiter.

4.7.4.5 Neuer Stand

Seit 2010 ist ein neues Gerät der Fa. Bauer mit der Typenbezeichnung SFG VB 130 (Schlitzwandfräsgerät Vattenfall Bauer 130 m max. Tiefe) im Einsatz, mit dem bisher eine Schlitztiefe bis 110 m erreicht wurde.

Abb. Fb-108:
Schlitzwandfräsgerät Typ SFG VB 130 (Vattenfall-Bauer 130 m Tiefe) [V39]

In den Lausitzer Braunkohletagebauen sind bereits drei Dichtwände errichtet worden, und zwar:

- Tagebau Berzdorf mit einer Gesamtlänge von 5,5 km (Herstellung von 1983 bis 1993),
- Tagebau Jänschwalde mit einer Gesamtlänge von 10,9 km (seit 1979 mit einer Unterbrechung von 2001 bis 2007 sind 9,1 km realisiert) und
- Tagebau Cottbus-Nord mit einer Gesamtlänge von 7,1 km (Herstellung von 1993 bis 2007 mit einer Unterbrechung von 1998 bis 2000).

Weitere Dichtwände sind für die Tagebaue Reichwalde mit ca. 7 km und Welzow-Süd mit 14 km in Vorbereitung.

7541014/10787806875Biblio

Während die Dichtwandtechnik aufgrund der Lagerungsverhältnisse auch im mitteldeutschen Revier Anwendung finden kann, ist im rheinischen Revier der Einsatz von Dichtwänden nicht möglich.

Grund ist hier, dass die komplexe, heterogene Hydrogeologie eine ausreichende Dichtwirkung der erforderlichen stauenden Schichten nicht gewährleistet und zudem die erforderlichen Teufen den wirtschaftlichen Einsatz von Dichtwänden nicht zulassen.

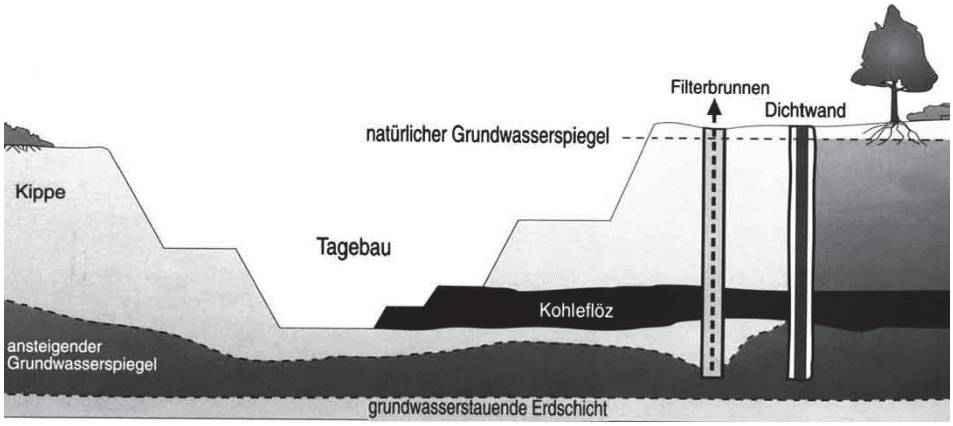


Abb. Fb-109: System und Funktion der Dichtwandanwendung [2]

Im Gegensatz zur Baugrubenentwässerung handelt es sich bei den Dichtwänden im Braunkohlenbergbau um keinen in sich geschlossenen Ring. An den jeweiligen Enden der Dichtwand kommt es zu einer Umströmung und damit zu einer Zuströmung von Grundwasser zum Tagebau. An den Endbereichen ist also die Dichtwirkung nicht gegeben. Die Länge des Umströmungsbereiches ist je nach hydrogeologischer Situation unterschiedlich.

Grundwasserfließrichtung, Grundwassergefälle und der Aufbau der Grundwasserleiter sind die bestimmenden Faktoren. Ist die Herstellung der Dichtwand über den beidseitigen Umströmungsbereich vorangeschritten, beginnt der Grundwasseraufstau und damit setzt die Dichtwirkung ein.

Die Dichtwand als Absperrelement für den Grundwasserzufluss wird so lange benötigt, wie der anliegende Tagebaubereich offen liegt. Das heißt, mit Anlegen der Kippe an das Randböschungssystem verliert die Dichtwand ihre Aufgabe der Dichtwirkung.

Weiteres zur Grundwasserabsenkung im Braunkohlentagebau siehe Abschnitt „Rheinisches Braunkohlenrevier“.

4.8 Kraftwerke

4.8.1 Kraftwerk Boxberg

Das Kraftwerk befindet sich im Landkreis Görlitz, etwa 15 Kilometer südlich der sächsischen Stadt Weißwasser. Bereits 1968 wurde hier in unmittelbarer Nachbarschaft zur Gemeinde Boxberg der Grundstein für das bis weit in die 90er Jahre hinein größte Braunkohlekraftwerk Deutschlands gelegt.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-110: Kraftwerk Boxberg [V39]

Das im Grundlastbereich betriebene Kraftwerk ging in den 1970er Jahren mit einer installierten Gesamtleistung von 3.520 MW an den Start. Die beiden 500-Megawatt-Blöcke (Werk III) wurden im Zeitraum 1992 bis 1995 mit modernster Umwelttechnik nachgerüstet und für einen unbefristeten Weiterbetrieb ertüchtigt.

Die 12 × 210-Megawatt-Anlagen (Werk I und II) wurden hingegen schrittweise stillgelegt und werden zurückgebaut. Teilersatz dafür ist das Werk IV, bestehend aus zwei Einzelblockanlagen. Der 900-MW-Block (Block Q) speist bereits seit 2000 sicher und hocheffizient Braunkohlestrom in das Netz. Der Neubaublock R (Leistung: 675 MW) wird nach neuestem Stand der Technik gebaut und 2011 seinen Dauerbetrieb aufnehmen.

4.8.2 Kraftwerk Jänschwalde

Das Kraftwerk befindet sich im Spree-Neiße-Kreis, etwa 16 km nördlich der Stadt Cottbus. Bereits 1976 wurde in unmittelbarer Nähe der Stadt Peitz der Grundstein für das Braunkohlekraftwerk gelegt. Das im Grundlastbereich betriebene Kraftwerk ging 1981 mit dem ersten der insgesamt 6 Blöcke ans Netz und wurde 1989 mit einer installierten Gesamtleistung von 3.000 Megawatt fertig gestellt.

Im Zeitraum von 1991 bis 1996 wurden alle Blöcke mit modernster Umweltschutztechnik nachgerüstet und für einen effizienten Weiterbetrieb ertüchtigt.

Abb. Fb-111: Kraftwerk Jänschwalde [V39]

7541014/10787806875Biblio

Im Kraftwerk Jänschwalde wird Rohbraunkohle aus den Tagebauen Jänschwalde, Cottbus-Nord und Welzow-Süd verstromt. Sie gelangt per Bahn vom Tagebau bis zu den Grabenbunkern im Kraftwerk.

Bei Volllast werden täglich etwa 80.000 t Braunkohle benötigt. Aus 1 kg Braunkohle kann 1 kWh Strom erzeugt werden.

4.8.3 Kraftwerk Schwarze Pumpe

Das im Grundlastbereich betriebene Kraftwerk Schwarze Pumpe befindet sich unweit des brandenburgischen Ortes Spremberg, ca. 30 km südlich von Cottbus. Im Herbst 1993 wurde sein Grundstein gelegt, knapp vier Jahre später nahm bereits der erste 800-MW-Block seinen Dauerbetrieb auf. Die Inbetriebnahme des zweiten 800-MW-Blockes erfolgte ein halbes Jahr später.

Das Kraftwerk Schwarze Pumpe ist eine Braunkohlen-Doppelblockanlage und zugleich das erste Werk einer neuen Generation von Braunkohlenkraftwerken, das hinsichtlich Umweltschutzstandards auch im internationalen Vergleich neue Maßstäbe setzt.

Vattenfall hat rund 70 Mio. € in den Bau der weltweit ersten Pilotanlage für ein Braunkohlenkraftwerk mit CO_2-Abscheidung am Standort Schwarze Pumpe auf Basis der Oxyfuel-Technologie investiert. Mit diesem innovativen Verfahren wird das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid bis zu 90 % abgeschieden. Die Anlage liefert seit im Sommer 2008 im Dauerbetrieb.

Abb. Fb-112: Kraftwerk Schwarze Pumpe [V39]

Im Kraftwerk Schwarze Pumpe wird Rohbraunkohle hauptsächlich aus dem Tagebau Welzow-Süd, aber auch aus Nochten verstromt. Sie gelangt per Bahn vom Tagebau bis zum Entladebunker im Kraftwerk. Bei voller Leistung werden täglich etwa 36.000 t Braunkohle benötigt. Bei einem Wirkungsgrad von 41 % wird aus 0,8 kg Braunkohle 1 kWh Strom erzeugt.

7541014/10787806875Biblio

4.8.4 Kraftwerk Lippendorf

Das von einem Verbund von Energieunternehmen im mitteldeutschen Braunkohlenrevier errichtete Kraftwerk Lippendorf verfügt über eine Gesamtleistung von 1.840 MW.

Versorgt wird das sächsische Kraftwerk durch den Tagebau „Vereinigtes Schleenhain“ der Mitteldeutschen Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG). Mit einem Nettowirkungsgrad von rund 43 % gehört das Kraftwerk Lippendorf weltweit zu den modernsten Anlagen der Braunkohlenverstromung.

Während der von Block R erzeugte Strom von Vattenfall vermarktet wird, wird der von Block S erzeugte Strom von den Anteilseignern Eon und EnBW vermarktet. Das Doppelblock-Kraftwerk wird im Grundlastbereich betrieben.

Abb. Fb-113:
Verbundkraftwerk Lippendorf [V39]

5 Mitteldeutsches Braunkohlenrevier

5.1 MIBRAG-Reviere

Die Ablagerungen der mitteldeutschen Braunkohlen entstanden im frühen Tertiär und waren im Wesentlichen mit dem Oligozän abgeschlossen.

Die industrielle Nutzung der Lagerstätten begann in der Mitte des 19. Jahrhunderts im Tief- und Tagebauverfahren. Aus über 20 Bergwerken in dieser Region wurden noch 1989 rund 110 Mio. t Rohkohle gefördert.

7541014/10787806875Biblio

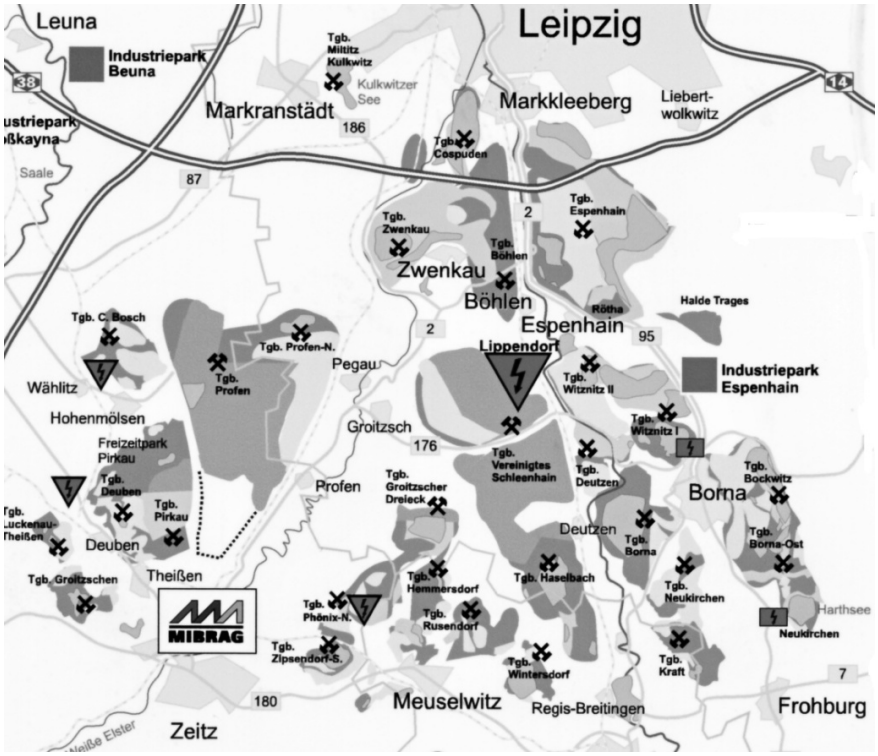


Abb. Fb-114-1: Lageplan des mitteldeutschen Braunkohlenreviers [V43]

Das mitteldeutsche Revier umfasst heute zwei Tagebaue, die einen Verbund ehemals eigenständiger Betriebsteile darstellen. Der Anteil der Förderung aus beiden Tagebauen der Mitteldeutschen Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG) lag nach dem Geschäftsbericht 2010 bei 19,6 Mio. t. Die Gewinnung von Braunkohlenstaub betrug dabei 192,5 kt.

Die Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH wurde als erstes Unternehmen der ostdeutschen Braunkohlenindustrie 1994 privatisiert.

Die Aktivitäten konzentrieren sich auf den Süden Sachsen-Anhalts, wo sich auch der Firmensitz befindet, und den Südraum Leipzig.

Die MIBRAG ist Alleingesellschafter der GALA-MIBRAG-Service GmbH und MBEG Montan Bildungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH. Darüber hinaus ist das Braunkohlenunternehmen an vier weiteren Firmen beteiligt. Dazu gehört die ROMONTA GmbH, Braunkohleveredlung (Montanwachs).

Das Leistungsspektrum der Gesellschaften ist breit gefächert. Es reicht vom Landschaftsbau über Entsorgung bis zu bergbauspezifischen Ingenieurleistungen.

Die Landinanspruchnahme der MIBRAG betrug lt. Veröffentlichung der DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) für 2011 bisher 48.430,4 ha. Davon wurden bereits 37.114,4 ha zu nutzbaren Flächen gemacht. Die Nutzbarmachung folgt unmittelbar dem Abbau (siehe Abb. Fb-114-2).

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-114-2: Die Rekultivierung und Nutzbarmachung erfolgt unmittelbar hinter dem Absetzer [V43]

Zum Unternehmen gehören die beiden Tagebaue Profen in Sachsen-Anhalt und Vereinigtes Schleenhain in Sachsen, eine Staubfabrik in Deuben sowie die Industriekraftwerke in Deuben, Mumsdorf und Wählitz. Die Geschäftstätigkeit der MIBRAG ist langfristig auf die Versorgung der beiden hochmodernen Kraftwerke Lippendorf und Schkopau und die Heizkraftwerke in Chemnitz und Dessau gerichtet. Die Produktion von Braunkohlenstaub für die Zementindustrie wird der Marktentwicklung angepasst fortgeführt. Im Mai 2011 wurde in Deuben für die Rheinbraun Brennstoff GmbH die Produktion von Briketts, aus rheinischer Braunkohle, wieder aufgenommen.

Seit der Privatisierung investierte die MIBRAG über eine Mrd. € in moderne Ausrüstungen, Systeme und Anlagen. Damit ist sie ein wichtiger Wirtschaftsmotor in der Region.

Der Braunkohlenbergbau schaut in Mitteldeutschland auf eine lange Tradition zurück und hat in den vergangenen Jahrzehnten einen rasanten Wandel vollzogen.
Die MIBRAG schafft durch den Einsatz von Technik und Kapital in Sachsen und Sachsen-Anhalt nachhaltig wirkende wirtschaftliche, gesellschaftliche und soziale Werte. Dazu zählen sichere Arbeitsplätze, qualifizierte Ausbildung und langfristiges Wirtschaftswachstum.
Das Bergbauunternehmen setzt auf gute Nachbarschaft zu Bürgern, Kommunen und Vereinen rund um die Tagebaue Vereinigtes Schleenhain und Profen. Jedes Jahr werden zahlreiche sportliche, kulturelle und soziale Initiativen sowie Projekte der Wirtschaftsförderung und Bildung unterstützt (siehe Abb. Fb-114-3 und Fb-114-4).

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-114-3: Kinder und Erzieherinnen des Patenkindergartens „Montalino“ Draschwitz bei einem Besuch in den Tageanlagen [V43]

Abb. Fb-114-4: Relaxen und Stimmung waren angesagt beim MIBRAG-Picknick im Juli 2010 [V43]

5.2 Personal und Leistungen

Beschäftigt waren (lt. Geschäftsbericht 2010) 2.000 Mitarbeiter – davon 151 Auszubildende. Damit ist die MIBRAG einer der größten Arbeitgeber Mitteldeutschlands. Das mitteldeutsche Bergbauunternehmen gab im Geschäftsjahr 2010 über 112 Mio.€ an Löhnen und Sozialleistungen aus. Die MIBRAG realisiert ca. 65 % aller Lieferungen und Leistungen mit Firmen aus der Region.

7541014/10787806875Biblio

Mit 1,75 anzeigepflichtigen Arbeitsunfällen je einer Million geleisteten Arbeitsstunden im Jahre 2010 lag die MIBRAG weit unter dem Durchschnitt aller deutschen Braunkohlebetriebe mit 3,3 anzeigepflichtigen Arbeitsunfällen je einer Million Arbeitsstunden.

Der Anteil der Auszubildenden lag 2011 bei ca. 8 % von der Gesamtbelegschaft. Ausgebildet wird in den Berufen:

- Elektroniker/in,
- Gärtner/in,
- Industriemechaniker/in,
- Zerspanungsmechaniker/in,
- Maschinen- und Anlagenführer/in,
- Brunnenbauer/in,
- Chemielaborant/in.

Jährlich legen ca. 40 Auszubildende ihre Schlussprüfung ab.

Abb. Fb-115a: links: Am ersten Tag der Ausbildung erhalten die Auszubildenden ihre Arbeitsschutzausrüstung – rechts: Nach erfolgreicher Ausbildung werden alle Jungfacharbeiter von MIBRAG unbefristet übernommen. [V43]

Als ein in Mitteldeutschland verwurzeltes, innovatives Bergbauunternehmen investierte die MIBRAG seit 1994 über 1 Mrd. € in moderne, saubere Technik. Das Unternehmen widmet höchste Aufmerksamkeit dem Umweltschutz und der Wiedernutzbarmachung der Flächen.

Darüber hinaus unterstützt die MIBRAG Regionalinitiativen zur Bildung und Beschäftigung ebenso wie vielfältige Jugend-, Kultur- und Sportprojekte, fördert Archäologie und ermöglicht eine Fülle gesellschaftlicher Aktivitäten vor Ort.

Das mitteldeutsche Bergbauunternehmen förderte 2010 bei 61,8 m^3 Abraum 19,7 Mio. t Rohbraunkohle und produzierte über 0,2 Mio. t Braunkohlenstaub.

Je Tonne Rohkohle müssen im Mittel 3,13 m^3 Abraum bewegt und ca. 5,3 m^3 Wasser/Tonne Kohle gefördert werden. Das sind jährlich mehr als 100 Mio. m^3. Das Wasser dient vor allem der schnellen Flutung der Seen im Südraum Leipzig. Der Umsatz belief sich 2010 auf über 387,1 Mio. €.

7541014/10787806875Biblio

Fb-115b: Am 6. Dezember gründeten 21 Drachenbootbegeisterte – darunter 20 MIBRAG-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter – den neuen Verein „MIBRAG Sport e. V." [V43]

Die Gesamterzeugung der Industriekraftwerke der MIBRAG lag bei 1.402 GWh. Hauptabnehmer der Rohbraunkohle sind die beiden Kraftwerke Lippendorf in Sachsen und Schkopau in Sachsen-Anhalt, die Südzucker AG Zeitz und die Stadtwerke Dessau. Braunkohlenstaub wird von der Zementindustrie weiterverarbeitet.

Die MIBRAG versorgt mit ihren drei eigenen Kraftwerken Wählitz, Deuben und Mumsdorf außerdem etwa 9.000 Endverbraucher – dazu zählen Haushalte, Industrie- und Handwerksbetriebe – mit Fernwärme, Heißwasser und Dampf.

Der Tagebau Vereinigtes Schleenhain liefert seit 1999 über Bandanlagen kontinuierlich Rohbraunkohle an das Kraftwerk Lippendorf (1.840 MW).

In die Modernisierung und den Umbau des Tagebaus flossen mehr als 280 Mio. €. So wurden unter anderem ein Kohlenmisch- und -stapelplatz errichtet und neue Bandanlagen installiert sowie Tagebaugroßgeräte ertüchtigt.

Für vier Jahrzehnte wird der Tagebau Schleenhain jährlich mindestens 10 Mio. t Rohbraunkohle an das Kraftwerk Lippendorf im Südraum von Leipzig liefern.

5.3 Lagerstättenbedingungen

In den aufgeschlossenen Lagerstätten der Tagebaue Profen und Vereinigtes Schleenhain sind die bis zu 120 m mächtigen Tertiärfolgen von ca. 20 m quartären Sedimenten überlagert.

Der jüngste Teil des Liegenden wird von Ablagerungen des Zechsteins gebildet, aus denen Anhydrit über größere Bereiche ausgewaschen wurde und nur noch als Einsturzgebirge vorliegt. Darüber stehen in der tertiären Schichtenfolge folgende vier Braunkohlenflöze an:

- Das sächsisch-thüringische Unterflöz (Flöz 1),
- das Bornaer Hauptflöz (Flöz 23U),
- das Thüringer Hauptflöz (Flöz 23O) und
- das Böhlener Oberflöz (Flöz 4).

7541014/10787806875Biblio

Das quartäre Deckgebirge beinhaltet pleistozäne sowie glaziale Schotter, Geschiebemergel und Bändertone. Sporadisch treten Schmelzwassersande auf.
Löss der Weichselkaltzeit ist über große Flächen verbreitet, in Flussauen sind Auekiese und Auelehme abgelagert.

Die Ablagerungsbedingungen sind exemplarisch am Normalprofil des Tagebaus Vereinigtes Schleenhain dargestellt.
Die Ablagerungen des Flözes 1 sind sehr stark von Auslaugungsvorgängen im Untergrund beeinflusst, die zu Kessel- und Muldenbildungen führten (siehe Abb. Fb-116).
Deshalb besteht das Flöz entweder aus einem 2 m bis 5 m mächtigen, ungegliederten Flöz oder ist, bedingt durch die Auslaugungsvorgänge, in mehrere Flözbänke untergliedert. Dort erreicht es Mächtigkeiten bis zu 50 m. Die Hauptflöze sind jeweils relativ homogene Flözkörper mit Mächtigkeiten von 10 m bis 25 m. Flöz 4 ist in den heute betriebenen Tagebauen nur sporadisch ausgebildet und wird bis 5 m mächtig.

Die tertiären Sande in den Deckgebirgen der Tagebaue sind im Allgemeinen als setzungsfließempfindlich einzustufen, weshalb hinsichtlich möglicher Setzungsfließgefahr besonderes Augenmerk auf die Kippen gerichtet wird.

5.4 Allgemeines zur Gewinnungs- und Fördertechnik

Mit der Neuausrichtung der Braunkohlenindustrie im mitteldeutschen Raum nach der Wiedervereinigung Deutschlands wurde die Ausstattung der Tagebaue in der Gewinnungs- und Fördertechnik einschließlich der Kippen- und Haldenwirtschaft reorganisiert. Bei der Umrüstung bestand die Möglichkeit, diese Gewinnungsbetriebe den veränderten materiellen und technischen Voraussetzungen neu anzupassen.

Dabei wurden die üblichen Technologien mit Großgeräten und kontinuierlicher Förderung mit dem Einsatz mobiler Gewinnungs- und Fördereinheiten oder die Kombination beider Systeme miteinander verglichen. Das Abbausystem entspricht dem BBV – Bagger-Band-Versatz, wie auch im rheinischen Revier.

Schwerpunkte der Tagebautätigkeit bilden die Bereiche Grundwasserabsenkung, Abraum und Kohlegewinnung, Rekultivierung und Renaturierung.

Während Braunkohle und Abraum mit Schaufelradbaggern (Abb. Fa-117) und Eimerkettenbaggern (Abb. Fb-126) gewonnen wird, verteilen die Absetzer den Abraum auf Kippen.

Schwerpunkte der Tagebautätigkeit bilden die Bereiche Grundwasserabsenkung, Abraum und Kohlegewinnung, Rekultivierung und Renaturierung. Während Braunkohle und Abraum mit Schaufelradbaggern (Abb. Fa-117) und Eimerkettenbaggern (Abb. Fb-126) gewonnen wird, verteilen die Absetzer den Abraum auf Kippen.

7541014/10787806875Biblio

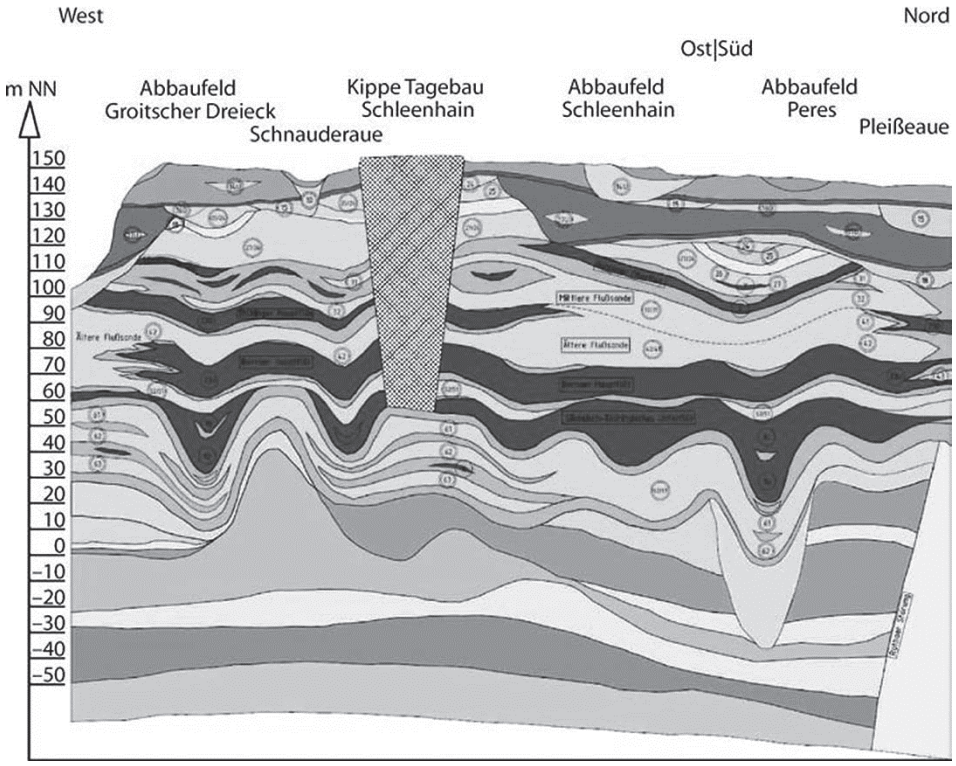


Abb. Fb-116: Geologisches Profil Tagebau Schleenhain zeigt u. a. die Kessel- und Muldenbildungen [V43]

Der Transport von Braunkohle und Abraum erfolgt über Bandanlagen. In einigen Bereichen (z. B. Kessel) wurde für die Restkohlengewinnung mobile Technik eingesetzt. Der Abbau ist inzwischen abgeschlossen.

Die Bandabsetzer verteilen den Abraum in die ausgekohlten Bereiche. Sie sind mit GPS-Scanner ausgerüstet (Abb. Fb-118 + 119). Mit dieser Technik konnte die Absetztechnik teilautomatisiert und mit Hilfe von Monitoren überwacht werden. Trotzdem ist das Können des Absetzerfahrers gefragt, denn die Laser haben bei Regen und Schnee gewisse Probleme.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-117: Schaufelradbagger in der Abraumgewinnung [V43]

Abb. Fb-118: Mit GPS unterstützter Bandabsetzer in Aktion [V43]

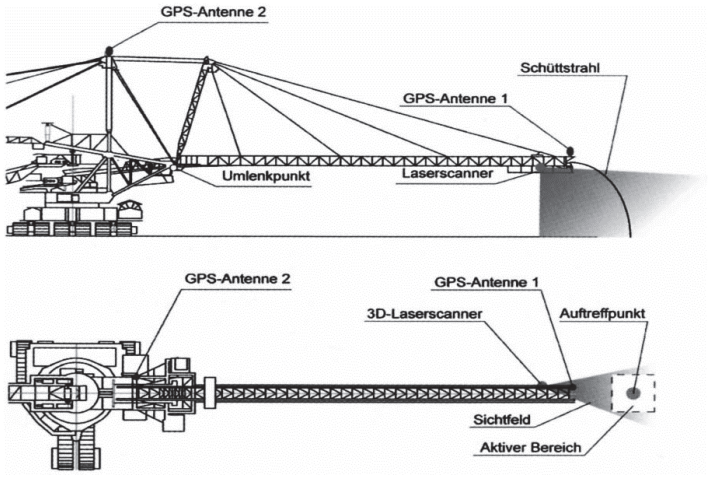


Abb. Fb-119: System der GPS- und scannerbasierten Absetzerpositionierung [V43]

7541014/10787806875Biblio

5.5 Gerätetechnik

5.5.1 Neue Förderband-Rückraupe

Bei der MIBRAG wurde im Februar 2007 nach zweijähriger Entwicklungszeit eine neu entwickelte Förderband-Rückraupe eingesetzt. „Das ist der Mercedes unter den Rückraupen“, sagt Olaf Gerth, Raupenfahrer im Tagebau Vereinigtes Schleenhain, der in der Projektgruppe für das Gerät mitgearbeitet hat.

Wie die Bagger und Absetzer müssen auch die Bandanlagen und ihre Antriebsstationen immer wieder den Standort wechseln. Für dieses Rücken werden spezielle Raupen mit Kranausleger eingesetzt. Zwei oder mehrere dieser Förderband-Rückraupen heben die Bandanlage an einer seitlichen Schiene an und ziehen sie in mehrfacher Vorbeifahrt in die neue Lage.
Eine Rückraupe ist mit beweglichem, seitlichem Kranausleger und Rückrollenkopf zum Versetzen, also zum Rücken, einer Bandanlage ausgestattet.

Ein gefährdungsfreieres Arbeiten zu gewährleisten, war die Anforderung an eine neue Rückraupentechnik lt.Torsten Wenke, Leiter des MIBRAG-Teams aus Fahrsteigern, Fahrern, Konstrukteuren und Baumaschinisten.

Abb. Fb-120: Rückraupe Typ Liebherr PR 754 Li – sie erleichtert die schwere Arbeit des Rückens und führt zu einer Leistungssteigerung. [V43]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-121: Die Rückraupe in eine anderen Arbeitsposition [V43]

Anfang 2007 wurde der Prototyp, eine Liebherr PR 752 Li, getestet. An der Kombi-Raupe, die sowohl schieben als auch rücken kann, wurde während des Testjahres immer wieder etwas verbessert.

Seit Oktober 2008 verfügt der Tagebau Vereinigtes Schleenhain über einen weiteren Rückdozer vom Typ Liebherr PR 754 Li. Eine dritte Rückraupe dieser Bauart ist im Tagebau Profen eingesetzt.

Die Vorteile der neuen Technologie rufen inzwischen auch in- und ausländische Interessierte auf den Plan. Dank hydraulisch gesteuerter Rückköpfe ist das Aussteigen beim Ein- und Ausspannen Vergangenheit.
Die verbesserte Bauweise führt zu optimalen Sichtverhältnissen, der Fahrersitz ist ergonomisch angepasst, die Bedienelemente sind übersichtlich angeordnet. Die Hydraulikverbindungen sind mit einem Schnellkupplungssystem ausgerüstet, das Abstützsystem wurde modifiziert. Unterm Strich steht ein vereinfachtes Wechseln des Rückkopfes; die gesamte Raupe hält besser Balance.

Trotz modernster Technik bleibt das Rücken der z. T. kilometerlangen Bandanlagen eine schwierige Aufgabe. Insbesondere bei durch Regen und Schnee verschlammten und gefrorenen Arbeitsebenen sind Schwellen und Schienen durch Schlamm verdeckt und eingefroren, muss jede einzelne Schwelle mit Hacke und Schaufel freigelegt und mit der Baggerschaufel angehoben werden.

5.5.2 Generalüberholung von Großgeräten

Alle eingesetzten Großgeräte werden entsprechend den Anforderungen des Unternehmens konstruiert, in Einzelteilen angeliefert und am Einsatzort montiert. Die Geräte bleiben i. d. R. dort, bis sie verschrottet werden. Das gilt grundsätzlich für alle Großgeräte im Braunkohlentagebau.

7541014/10787806875Biblio

Der harte Einsatz führt zu einem hohen Verschleiß und z. T. großen Reparaturen, aber auch laufende maschinen- und elektrotechnische Arbeiten, um die Geräte ständig auf dem modernsten Stand zu bringen.

2002 wurde ein Großgerät, und zwar der Absetzer 1104 Profen erstmals zur Überholung komplett eingerüstet (Abb. Fb-122).

2010 wurden zwei Großgeräte einer Abraumlinie gleichzeitig einer Generalreparatur unterzogen. Die MIBRAG hat für das Sieben-Monats-Projekt zahlreiche, vor allem regionale Firmen unter Vertrag genommen.
Viele wohlbekannte und klangvolle Namen sind darunter: Ilako, Dessau und InterRing, Leuna, für Korrosionsschutz, Regiser Anlagenmontagen RAM und Technische Dienste Espenhain, und – ganz zuerst im Einsatz – die Gerüstbauer der Firma Hilgers aus Zedtlitz. Die MIBRAG beschäftigt ca. 1.900 Zulieferer und Dienstleister. Etwa 65 % der Lieferungen und Leistungen werden von Firmen aus der Region (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) abgewickelt.

Abb. Fb-122: Das Gerüst für die Ertüchtigungsarbeiten am Bandabsetzer Geräte-Nr. 1124 (V43]

Für die Sanierung des Schaufelradbaggers 1528-SRs 2000 und des Absetzers 1124 waren insgesamt 7 Monate vorgesehen. Mit einem Investitionsaufwand von etwa 9 Mio. € sind beide Großgeräte zugleich für die nächsten Jahre und den Übergang ins Abbaufeld Peres fit gemacht worden.

Er bestand aus einem kompletten Korrosionsschutz, einer kompletten elektrischen und elektronischen Neuausrüstung und einem vollkommen erneuerten Schaufelrad sowie einem sanierten Schaufelradgetriebe.
„Völlig neu“ oder „saniert“ heißt in diesem Zusammenhang nicht einfach Ersatz des alten, sondern Ersatz durch Technik auf dem letzten Stand von Konstruktions- und Materialwissenschaften. Auch Ergonomie und Umweltschutztechnik nach neuesten Erkenntnissen wurden mit eingebaut.

7541014/10787806875Biblio

Der Schaufelradbagger 1528 SRs 2000 hat eine Höhe von 40 m und beim Absetzer sind es 50 m. Um bis in den letzten Winkel der Konstruktionen mit dem Korrosionsschutz vorzudringen, braucht man ebenso große Gerüste wie die Anlagen. Der 1983 gebaute Bagger hat ein Einsatzgewicht von 2.350 t Stahl. Das Gerüst, das ihn damals umhüllte, wog 230 t.

Das ebenfalls vollkommen überholte Schaufelrad hat einen Durchmesser von 9 m und ein Gewicht von ca. 40 t. Auch das Schaufelradgetriebe wurde vollkommen saniert.

Beim Absetzer sind die Verhältnisse ähnlich: 2.400 t zu 311 t Gerüst. Diese müssen Rahmen für Rahmen, Stange für Stange und Planke für Planke erst einmal herangeschleppt und zusammengefügt werden. – Bei den Gerüstbauern sind Trittsicherheit, Schwindelfreiheit und Vermeidung jedweden Leichtsinns quasi die Lebensversicherung.

Abb. Fb-123: Der Bagger 1528-SRs 2000 bekommt ein komplett neues Schaufelrad mit einem Ø von 9 m. Die Schaufeln werden nachträglich angebracht. [V43]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-124a: Der Schaufelradbagger SRs 130 – Gerät-Nr. 1553 – eingesetzt im Tagebau Profen [V43]

Technische Daten des SRs 1301

Baujahr	1988	Theor. Fördervolumen	3.500 m³/h
Eigenmasse	1.700 t	Länge/Breite/Höhe	79/21/35 m
Abtragshöhe	26 m	Abtragstiefe	5 m
Fördervolumen effektiv	Kohle: 1.490 t/h	Abraum: 1.923 m³/h	
Schaufelantrieb	500 kW	Anzahl d. Schaufeln	12
Jahresfördervolumen	Kohle: 430.373 t	Abraum: 7.285.600 m³	
Letzte Ertüchtigungen	2002 u. 2009	u. a. neues Schaufelrad mit Getriebe	

5.5.3 Schaufelradbagger

Markenzeichen der Tagebautechnik sind die Schaufelradbagger. Die Geräte fördern sowohl Abraum als auch Kohle. Dies geschieht mit Schaufeln, die in ein Rad eingelassen sind wie die Zähne eines Zahnrades. Über eine schiefe Ebene rutscht das gebaggerte Material auf ein Förderband. Das Schaufelrad ist am Ende des Fachwerkauslegers gelagert, der auch das Förderband für den Abtransport der Massen trägt.

Der Schaufelradausleger gehört zu dem schwenkbaren Oberbau des Baggers und kann gehoben und gesenkt werden. Das besorgt die Hubwinde auf dem Gegengewichtsausleger. Seile übertragen die notwendigen Hubkräfte über Pylone aus Stahlfachwerk.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-124b: Schaufelradbagger 1528 SRs 2000 im Einsatz [V43]

Das Gewicht eines Baggers ruht auf bis zu zwölf Raupenfahrwerken, die in zwei bzw. drei Gruppen zusammengefasst sind. Das Fahrwerk wird elektrisch angetrieben.

Ober- und Unterbau des Baggers sind über einen Drehkranz schwenkbar miteinander verbunden. Eine Zwischenbrücke verbindet den eigentlichen Bagger mit dem ebenfalls fahrbaren Beladegerät: Dort fällt die Kohle oder der Abraum auf das Förderband, das vom Bagger in Richtung Bandsammelpunkt führt.

Vier bis fünf Mann sind pro Schicht zur Bedienung eines Schaufelradbaggers erforderlich: Der diensthabende Baggerführer steuert das Großgerät von einer Kanzel in der Nähe des Schaufelrads. Der Gruppenleiter überwacht Fahrmanöver und Grabarbeit vom Boden aus und gibt dem Baggerführer über Sprechfunk Anweisungen.

Bei der MIBRAG sind insgesamt 9 Schaufelradbagger mit einem Fördervolumen (theoretisch) von 1.800 bis 3.770 m^3/h im Einsatz (Stand 2010). Ein weiterer SRs ist im Kohlenmisch- und Stapelplatz Profen eingesetzt.

Abb. Fb-125: Raupenfahrwerk eines Schaufelradbaggers mit Elektro-Direktantrieb [V43]

7541014/10787806875Biblio

5.5.4 Eimerkettenbagger

Eimerkettenbagger sind kontinuierlich arbeitende, vorzugsweise in Hoch- und Tiefschnitt, aber auch im Vorkopf- und Blockbetrieb eingesetzte Geräte. Sie sind als Einzelgeräte im Grubenbetrieb und im Vorschnitt eingesetzt und garantieren einen stetigen Massenstrom und sehr hohe Leistungen. Die Bagger können mit ihrer Eimerleiter vom Hoch- in den Tiefschnitt wechseln und umgekehrt sowie dabei Fahrleitungen, Bandanlagen und Querförderer überschwenken. Ihr Hauptorgan ist die Eimerkette, die durch die Festkörperreibung in Eimerleiter und Rinne sehr verschleißfest ist. Bei der MIBRAG sind 6 Geräte mit einem Fördervolumen von 1.100 bis 5.000 m³/h eingesetzt.

Abb. Fb-126: Eimerkettenbagger Typ ERS 710 – Geräte-Nr.: 353 – eingesetzt im Tagebau Vereinigtes Schleenhain [V43]

Technische Daten ERs 710

Baujahr	1984	Theor. Fördervolumen	2.500 m³/h
Eigenmasse	1.030 t	Länge/Breite/Höhe	83/19/21m
Abtragshöhe	17,5 m	Abtragstiefe	16 m
Fördervolumen effektiv	Kohle: 883 t/h	Abraum: 639 m³/h	
Letzte Ertüchtigung	2006: Maschinenbau, Stahlbau, Verschleiß, Fahrwege		

5.5.5 Bandanlagen

Eine Bandanlage besteht im Prinzip aus zwei Bandtrommeln, über die ein endloses Förderband läuft. An mindestens einer Trommel ist ein Motor mit Getriebe angebracht, der das Förderband antreibt.

7541014/10787806875Biblio

Die Antriebsstationen, mit Motoren ausgerüstete Stahlkonstruktionen von der Größe bis zu der eines Einfamilienhauses, beschleunigen das Band auf bis zu 7,50 m/s; das sind 27 km/h. Reibung überträgt die Umfangskraft vom Antrieb der Trommeln auf den gespannten Gummigurt.

Die Bänder werden aus mehreren, bis zu 200 m langen Gurtabschnitten aus Gummi zusammengesetzt. Sie sind bis zu 2,80 m breit. In das Gummi sind etwa 200 Stahlseile zur Kraftübertragung und Stabilisierung eingearbeitet.

Die beiden Endpunkte der Bandstrecken – eine Antriebsstation am Kopf der Anlage und die Umkehrstation am hinteren Ende – stehen bis zu 5 km auseinander. Lange oder nicht geradlinig verlaufende Förderwege setzen sich aus mehreren aufeinander folgenden Bandstrecken zusammen.

Die Bandanlagen der Gewinnungsseite führen zum Massenverteiler. Dort kreuzen sie die Bänder, die zu den Absetzern, dem Kohlebunker oder den Kohlenverladungen führen. Am Knotenpunkt kann jedes ankommende mit jedem abgehenden Band verbunden werden: Die Mitarbeiter der Betriebsüberwachung (BÜ) – das ist die Schaltzentrale des Tagebaus – können den Materialstrom wie auf einem Verschiebebahnhof flexibel und gezielt lenken. Abraum und Kohle werden per Knopfdruck auf die weiterführenden Förderstrecken verteilt und so zu den Empfängern – Absetzern, Kraftwerk, Zugbeladung oder Kohlebunker – dirigiert. Das sorgt dafür, dass die Belieferung der Verbraucher mit Kohle ununterbrochen sichergestellt ist. Der Bandsammelpunkt bleibt über Jahrzehnte an derselben Stelle des Tagebaus.

Abb. Fb-127: Massenverteiler „Schwerzau“ [V43]

Hochtechnologie hält heute immer mehr Einzug in Tagebaue und deren Umfeld. Allein in Technik und Innovation hat die MIBRAG seit 1994 über 1 Mrd. € investiert. So verfügt beispielsweise das Abbaufeld Schwerzau des Tagebaus Profen mit dem Massenverteiler über moderne Bergbaulogistik. Daran eng gekoppelt sind GPS-positionierte Schaufelradbagger und Bandabsetzer.

7541014/10787806875Biblio

5.5.6 Bandabsetzer

Absetzer sind die Gegenstücke zu den Schaufelrad- und Eimerkettenbaggern. Was die Bagger auf der Gewinnungsseite des Tagebaus an Abraum abgetragen haben, verteilen die Absetzer in bereits ausgekohlten Tagebaubereichen.

Abb. Fb-128: Bandabsetzer Typ A2Rs-B 10.000 – Geräte-Nr. 1104 – eingesetzt im Tagebau Profen – Unmittelbar hinter dem Bandabsetzer beginnen die Rekultivierungsarbeiten. [V43]

Technische Daten

Baujahr	1982	Theor. Fördervolumen	3.803 m³/h
Eigenmasse	3.803 t	Länge/Höhe	247/60 m
Abwurflänge	110 m	Abwurfhöhe	27 m
Theor. Fördervolumen	10.000 m³/h	effekt. Fördervolumen	3.617 m³/h
Jahresfördervolumen	20.309.200 m³	Bandbreite	2.000 mm
Ertüchtigungen	2003: kompl. Korrosionsschutzanstrich, maschinen- u. stahlbautechnische Ertüchtigung von Fahr-, Schwenk- und Hubwerken		

Über mehrere Förderbänder des Absetzers gelangt Kies, Sand oder Ton auf den bis zu 150 m langen, höhenverstellbaren und schwenkbaren Abwurfausleger. Von dort aus stürzt der Abraum auf die Kippe, und zwar auf den Punkt genau. Jeder Absetzer wird von drei Mitarbeitern bedient.

Bei der MIBRAG sind insgesamt 4 Bandabsetzer mit einem Fördervolumen bis 10.000 m³/h im Einsatz (Stand 2010).

7541014/10787806875Biblio

5.5.7 Bandwagen

Bandwagen sind fahrbare Gurtbandförderer auf Raupenfahrwerk. Sie werden i. d. R. als Verbindungsglied zwischen Bagger und Gurtbandförderer eingesetzt.

Sie dienen z. B. zur Erzielung größerer Rückbreiten, zur Überbrückung von Antriebs- und Umkehrstationen sowie von Höhenunterschieden bzw. zum Direktversturz von Abraum.

Abb. Fb-129: Bandwagen Typ BRs 120 – Geräte-Nr. 833 – eingesetzt im Tagebau Vereinigtes Schleenhain [V43]

Technische Daten BRs 120

Baujahr	1990	Theor. Fördervolumen	3.500 m³/h
Eigenmasse	506 t	Länge/Breite/Höhe	110/16/24 m
Ertüchtigungen	Je nach Einsatz regelmäßige Ertüchtigungen beim Maschinenbau, Stahlbau, Förderwege und Verschleiß, letzte Ertüchtigung erfolgte 5/2008		

Bei der MIBRAG sind insgesamt 10 Bandwagen mit einem Fördervolumen (theoretisch) von 3.500 bis 5.500 m³/h im Einsatz (Stand 2010).

5.6 Energieversorgung

Die elektrischen Antriebsmotoren der Bandanlagen und der Großgeräte (Bagger und Absetzer) erreichen Einzelleistungen von bis zu 2.000 kW/Motor. Die entsprechenden Leitungen können mit eingebauten Kabeltrommeln auf- und abgewickelt werden. Die Energieversorgung erfolgt über werkseigene Kraftwerke und muss über entsprechende Ringleitungen stets gesichert sein. Dies betrifft insbesondere die Grundwasserabsenkung. Ein Ausfall könnte erhebliche Schäden verursachen. Der Gesamtstrombedarf kann den Bedarf einer mittleren Kleinstadt erreichen.

7541014/10787806875Biblio

5.7 Tagebau Profen

Der Tagebau Profen liegt in Sachsen-Anhalt. Er besteht aus den drei Abbaufeldern Profen-Süd, Schwerzau und Domsen.

In Profen-Süd wird seit 1973 und in Schwerzau seit 2006 Kohle gewonnen. Der Beginn des Abbaus in Domsen ist für 2016 geplant. Hauptabnehmer der Braunkohle aus dem Tagebau Profen ist das Kraftwerk Schkopau in Sachsen-Anhalt. Es versorgt die Dow Olefinverbund GmbH in Schkopau mit Strom und Prozesswärme und liefert außerdem Strom in das Netz der Deutschen Bahn sowie in das öffentliche Netz. Das Kraftwerk Schkopau sichert damit Tausende Arbeitsplätze in Mitteldeutschland.

Abgebaut werden die Flöze: Oberflöz, Thüringer Flöz, Sächsisch-Thüringisches Unterflöz. Der Rohheizwert der Braunkohle beträgt 10 MJ/kg bei einem Schwefelgehalt von 1,5 %. Das Alter der Kohle beträgt 20 bis 45 Mio. Jahre. Der Abbau begann 1941 und hat eine voraussichtliche Laufzeit bis 2035.

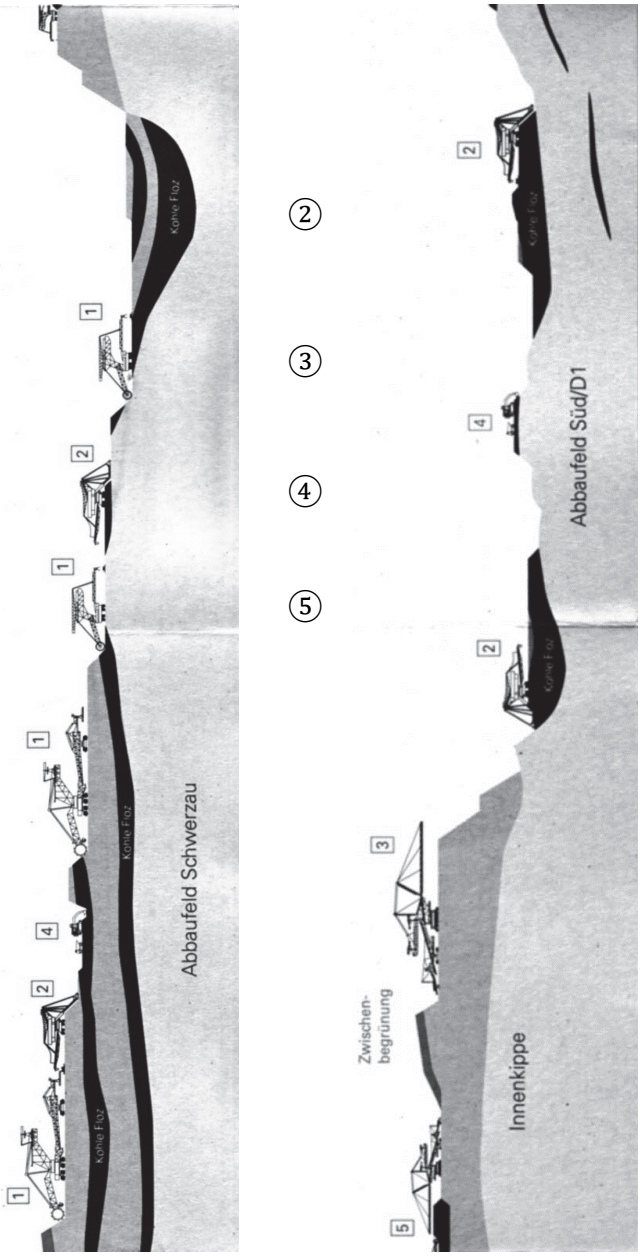
Der Kohlemisch- und Stapelplatz (KMS) Profen hat ein Fassungsvermögen von 400.000 t. Hier wird die Rohbraunkohle zwischengelagert, gemischt und zerkleinert. So entsteht aus den verschiedenen Kohlequalitäten ein gleichmäßig qualitativ hochwertiges Produkt für die Verstromung und Veredlung. Die Kohle wird per Zug zu den Kunden transportiert.

- **Großgeräte – Hauptausrüstung**

Im Tagebau Profen werden folgende Großgeräte eingesetzt:

4 Schaufelradbagger fördern Abraum und Kohle,
4 Eimerkettenbagger fördern Abraum und Kohle,
2 Absetzer verkippen Abraum,
Kohlemisch- und Stapelplatz (KMS) mit einem Absetzer und einem Schaufelradbagger.
Insgesamt sind 34 km Bandanlagen in Betrieb.

7541014/10787806875Biblio



① Schaufelradbagger

② Eimerkettenbagger

③ Bandabsetzer

④ Mobile Geräte

⑤ Bandabsetzer

Kohlenmisch- u. Stapelplatz

34 km Bandanlagen

Abb. Fb-130: Schnitt durch den Tagebau Profen mit Abbausystem und Geräteeinsatz [V43]

7541014/10787806875Biblio

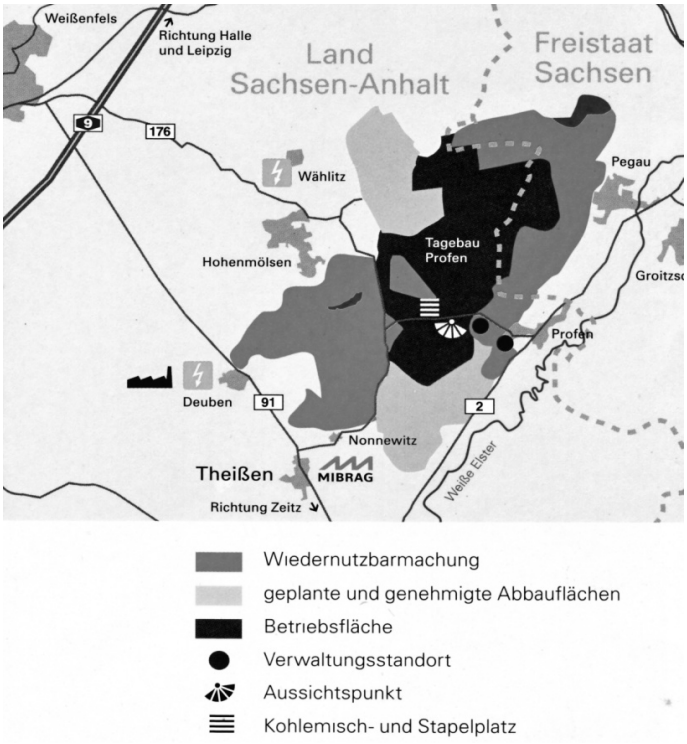


Abb. Fb-131: Lageplan MIBRAG-Tagebau Profen [V43]

Abb. Fb-132: Umsetzung des Schaufelradbaggers 1553 SRs 1300 vom Abbaufeld Profen-Süd zum Abbaufeld Schwerzau im September 2001 [Ostkohle-theinze2009]

7541014/10787806875Biblio

5.8 Tagebau Vereinigtes Schleenhain

Der 1999 nach umfangreicher Modernisierung wieder in Betrieb genommene Tagebau Vereinigtes Schleenhain liegt in Sachsen. Er vereinigt die Abbaufelder Schleenhain, Peres und Groitzscher Dreieck. Im Abbaufeld Schleenhain wird bis 2021 und in Peres ab 2013 Kohle gewonnen. Der Beginn des Abbaus im Groitzscher Dreieck ist für 2028 geplant.

Hauptabnehmer der Braunkohle aus dem Tagebau Vereinigtes Schleenhain ist das Kraftwerk Lippendorf, es kann ca. 5 Mio. Haushalte mit Strom und die Stadtwerke Leipzig mit Fernwärme versorgen.

Der Kohlemisch- und Stapelplatz (KMS) Peres hat ein Fassungsvermögen von 400.000 t. Hier wird die Rohbraunkohle zerkleinert, gemischt und zwischengelagert. So entsteht aus den verschiedenen Kohlequalitäten ein gleichmäßig qualitativ hochwertiges Produkt für das Kraftwerk Lippendorf. Von Peres aus liefert eine Bandanlage die Kohle direkt ins nahe gelegene Kraftwerk.

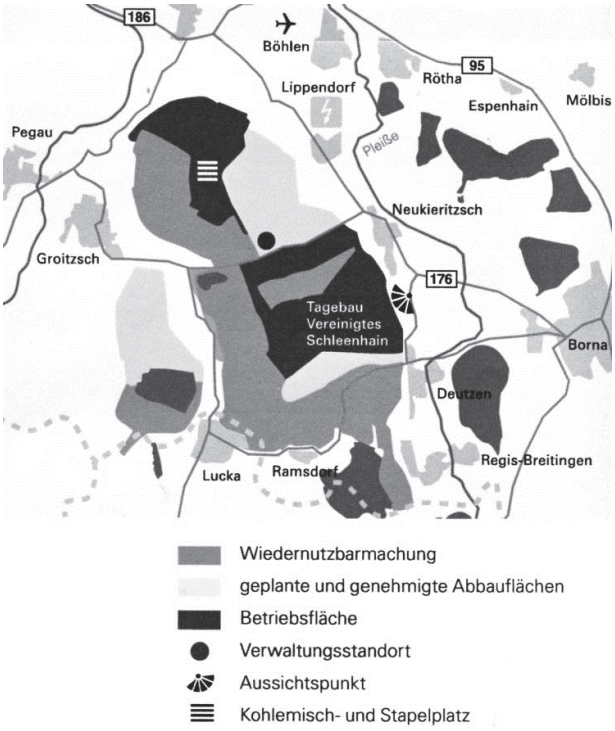


Abb. Fb-133: Lageplan MIBRAG-Tagebau Vereinigtes Schleenhain [V43]

Der Tagebau Vereinigtes Schleenhain hat sieben Gewinnungsschnitte und zwei Kippenebenen. In geologisch schwierigen Kessellagen, bei geringer Flözmächtigkeit und zur Restauskohlung wurde bisher mobile Gewinnungs- und Fördertechnik eingesetzt.

Diese Bereiche sind inzwischen ausgekohlt, so dass zz. keine mobile Gewinnungs- und Fördertechnik mehr eingesetzt wird.

Um jährlich bis zu 11 Mio. t Rohbraunkohle zu fördern, müssen zwischen 25 und 30 Mio. m³ Abraum bewegt und bis zu 40 Mio. m³ Wasser gehoben werden.

7541014/10787806875Biblio

Der Aufschluss begann 1949, ein Abbau ist bis 2040 geplant. Die Abbautechnik entspricht im Wesentlichen der Technik im Tagebau Profen.
Abgebaut werden die Flöze: Böhlener Oberflöz, Thüringer Hauptflöz, Sächsisch-Thüringisches Unterflöz und das Bornaer Hauptflöz. Die Kohlenqualität entspricht der im Tagebau Profen.

- **Hauptausrüstung**

5 Schaufelradbagger
2 Eimerkettenbagger
2 Absetzer
Kohlemisch- und Stapelplatz mit 2 Portalkratzern und einem Haldengerät –
36 km Bandanlagen.

Abb. Fb-134: Schaufelradbagger Typ SR 7003 (Rekonstruktion) mit 400 kW, Leistung: 2.500 m^3 Schnitthöhe 20 m, Schnitttiefe 2,5 m, eingesetzt in Schleenhain – wird umgesetzt [V43]

Abb. Fb-135: Schaufelradbagger Ger.-Nr. 1554 mit Bandwagen – Einsatz im Tagebau Schleenhain [V43]

7541014/10787806875Biblio

5.9 Immissionsschutz

Die Aktivitäten der MIBRAG zur Minderung von Lärm- und Staubemission sind vielfältig. So werden alle Tagebauflächen, auf denen weder Abbau noch Verkippung erfolgt, zeitweilig zwischenbegrünt. Das betrifft im Tagebau Profen etwa die Hälfte der Betriebsflächen.

Steile Böschungssysteme und unebene Flächen werden im Hydroseeder-Verfahren begrünt. Dabei verteilt eine Saatkanone das mit Wasser, biologischem Kleber, Düngemittel, Zellulose und Strohmulch gemischte Saatgut. In unzugänglichen Bereichen übernimmt ein Helikopter die Begrünung.

Außerdem werden umfangreiche Schutzpflanzungen in ortsnahen Bereichen durchgeführt, Dämme bepflanzt, Wassersprüh- und Vernebelungsanlagen eingesetzt sowie die Fahrwege benetzt.

Der Lärm an stationären und beweglichen Anlagen wird durch das Anbringen von Hauben auf den Transportbändern der Kohlebandanlage, Umhausung von Antriebsstationen, Einbau von Fahrwerksschmierungen an Tagebaugeräten und lärmgeminderten Rollen in Bandanlagen herabgesetzt. Außerdem werden an mehreren Standorten im Tagebauumfeld regelmäßig Kontrollmessungen für Staub- und Lärmimmissionen durchgeführt und ausgewertet.

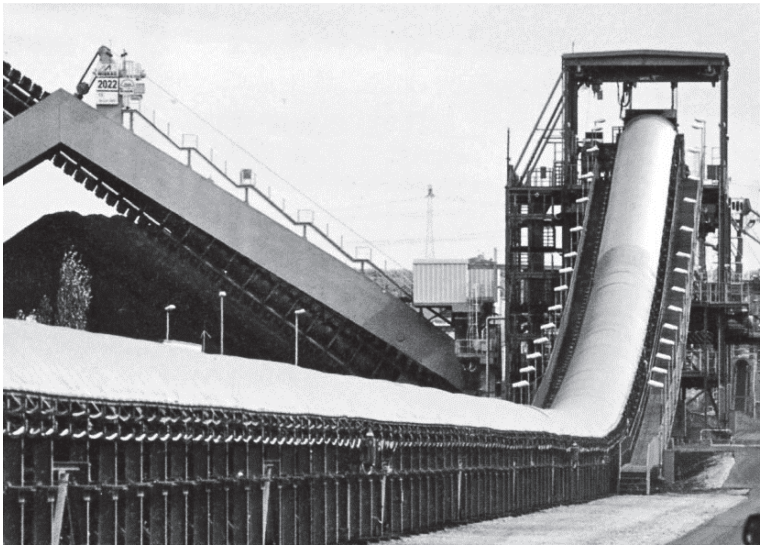
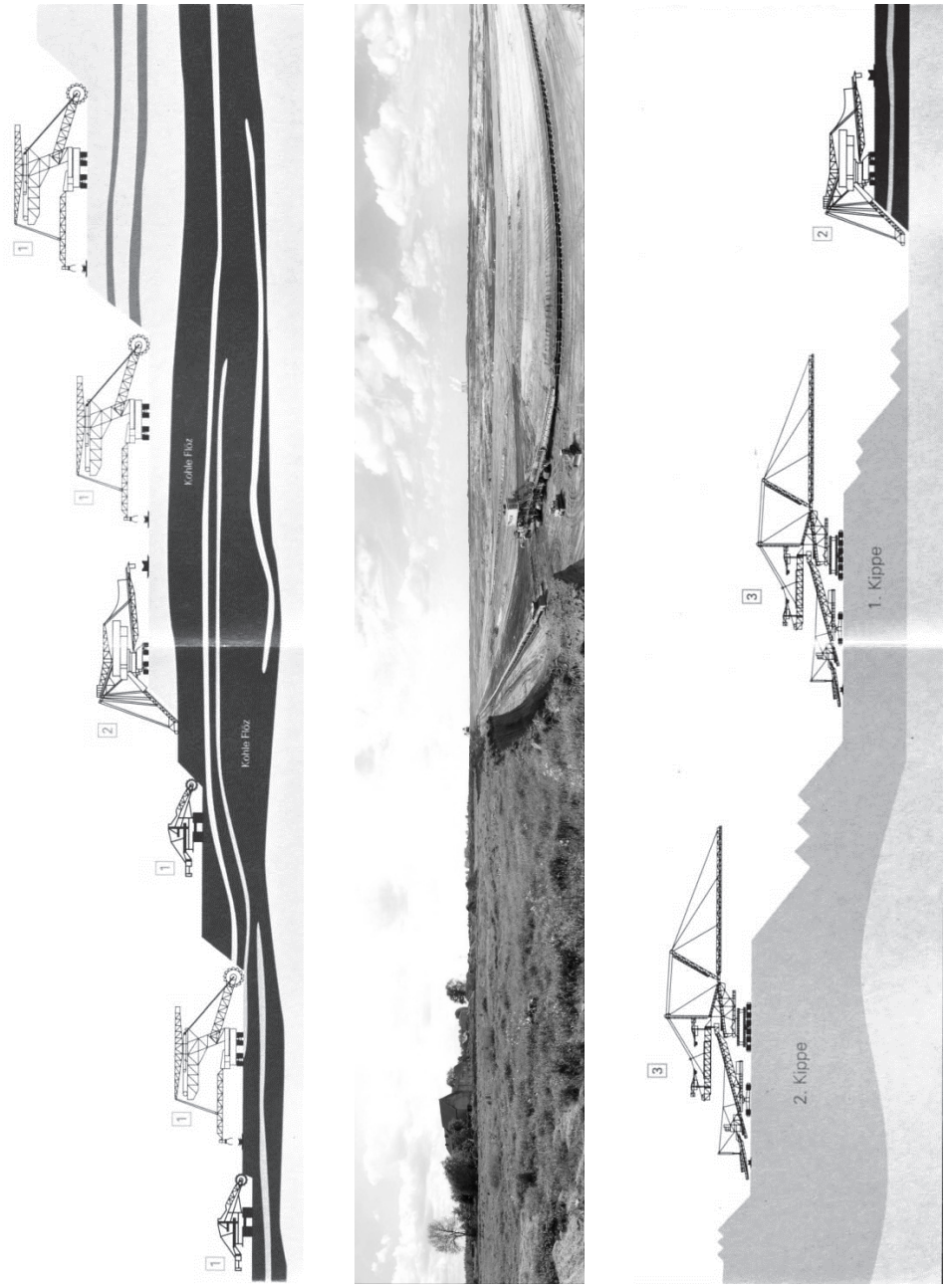


Abb. Fb-136: Abdeckte Förderbänder zur Staubvermeidung – Tagebau Schleenhain [V43]

7541014/10787806875Biblio



① 5 Schaufelradbagger ② 2 Eimerkettenbagger ③ 2 Absetzer Kohlenmisch- u. Stapelplatz mit 2 Portalkratzen und Haldengerät 36 km Bandanlagen

Abb. Fb-137: Schnitte durch den Tagebau Vereinigtes Schleenhain mit Abbausystem und Geräteeinsatz [V43]

7541014/10787806875Biblio

5.10 Rekultivierung

Moderner Tagebau und Rekultivierung gehören heute untrennbar zusammen. Die MIBRAG plant und gestaltet gemeinsam mit den Kommunen, Verbänden und Bürgern eine nutzbare und ökologisch wertvolle Landschaft nach dem Bergbau.
Weil für den Tagebau Profen hauptsächlich Äcker weichen mussten, wird hier ein hoher Anteil an Landwirtschaftsflächen wiederhergestellt.

In den ersten sieben Jahren der Wiedernutzbarmachung muss ein festgelegter Fruchtfolgeplan eingehalten werden. Statt die Pflanzen zu ernten, werden sie in den Boden eingearbeitet. Damit wird der Boden mit organischen Substanzen angereichert und homogenisiert. Das trägt zum Aufbau eines stabilen Bodengefüges bei.

Abb. Fb-138:
Aussaat auf frisch geschütteten Abraum [V43]

Abb. Fb-139:
Blühender Raps auf rekultivierten Ackerflächen [V43]

Mit der Flächeninanspruchnahme durch den Bergbau wird der Landwirtschaft in beträchtlichem Maße die Produktionsgrundlage entzogen. Eine Wiederherstellung entsprechender Flächen ist daher Teil des Bergbauprozesses.

Die Nutzung als konkurrenzfähiger, landwirtschaftlicher Produktionsstandort stellt besonders hohe Ansprüche an das Bodensubstrat und den gesamten Rekultivierungs-

7541014/10787806875Biblio

prozess. Nur die wertvollsten Bodensubstrate können verwendet werden. Besonders eignen sich Geschiebemergel, Kipp- und Lehmsande sowie Schluffe und Lehme als Abschlussschichten. Die Überdeckung beträgt ca. 2 m, um mittelfristig eine tiefgründige Bodenfruchtbarkeit zu gewährleisten.

Dagegen ist die Neigung zu schadhaften Bodenverdichtungen stark erhöht. Ein Bodenauftrag durch das Tagebaugroßgerät (Absetzer) aus geringer Fallhöhe, möglichst wenig Überfahrten zur Planierung und Flächenvorbereitung und eine mehrjährige Boden schonende Bearbeitung in der Rekultivierungsphase tragen zum Erfolg der landwirtschaftlichen Rekultivierung entscheidend bei. Die weitere Bearbeitung erfolgt nach kontinuierlicher Bodenanalyse.

Der forstlichen Rekultivierung kommt in den ostdeutschen Braunkohlenrevieren eine Schlüsselstellung für die nachbergbauliche Landschaftsentwicklung zu. Vor allem durch ihre ökologische Ausgleichsfunktion und Einfluss auf die Grundwasserqualität leisten die sich im Aufbau befindlichen Kippenwälder einen wesentlichen Beitrag zur Revitalisierung des durch den Rohstoffabbau stark gestörten Natur- und Kulturraums. Dabei nimmt der Waldanteil im landwirtschaftlich geprägten mitteldeutschen Revier etwa 40 % der Rekultivierungsfläche ein.

In der dünner besiedelten und weniger industrialisierten Lausitz erreicht die forstliche Wiedernutzbarmachung rund 30.00 ha, dies sind 60 % der Rückgabefläche.

Abb. Fb-140: Beispiele für eine forstliche Rekultivierung [V43]

Abb. Fb-141: Beispiel für eine natürlich entstandene Aufforstung, die z. T. wegen tausender Orchideen niedergehalten wird. [V43]

7541014/10787806875Biblio

Hinzu kommt eine anfängliche Wuchsdepression der Kulturen („Verpflanzungsschock"), insbesondere von Halbschatten- und Schattenbaumarten. Erst ab dem dritten oder gar vierten Standjahr ist ein relevanter Höhenzuwachs nachweisbar.

In Abgrenzung zu den Renaturierungsbereichen (Vorrangflächen des Naturschutzes) können auch geplante Waldflächen einer natürlichen Wiederbewaldung unterliegen. Dies ist zweifelsohne die kostengünstigste Variante der Bestandesbegrünung. Dem gegenüber steht jedoch der lange Zeitraum, bis derartige Flächen die Waldeigenschaft nach den Landeswaldgesetzen aufweisen und das festgeschriebene Sanierungsziel erreichen.

5.11 Wiedernutzbarmachung[25)]

„Im Rahmen der Wiedernutzbarmachung wurden insgesamt 325,0 Hektar (ha) auf den Innenkippen der Tagebaue Vereinigtes Schleenhain und Profen für eine spätere landwirtschaftliche Nutzung vorbereitet.

Die schwierigen Witterungsverhältnisse führten dazu, dass die Arbeiten auf den landwirtschaftlichen Flächen in engen Zeitfenstern durchgeführt werden mussten. Die Tiefenlockerung von Flächenanteilen konnte hierbei nicht im geplanten Umfang realisiert werden. Die Zugangsflächen für die land- beziehungsweise forstwirtschaftliche Wiedernutzbarmachung wurden entsprechend bodengeologisch untersucht und daraus die notwendigen Arbeiten für die Rekultivierung abgeleitet.

Erstmalig konnten 30,0 ha landwirtschaftliche Nutzfläche auf der Innenkippe im Tagebau Vereinigtes Schleenhain an den zukünftigen Bewirtschafter übergeben werden. Darüber hinaus wurden Vorbereitungen getroffen, um die landwirtschaftliche Bewirtschaftung von weiteren 30,0 ha auf der Innenkippe im Tagebau Profen ab 2011 zu ermöglichen.

Der Wege- und Grabenbau war witterungsbedingt nur eingeschränkt möglich. Die begonnenen Arbeiten am Wegenetz einschließlich des Vorflutsystems auf der Innenkippe Profen konnten dennoch weitestgehend abgeschlossen werden. Nahe des Ortes Pödelwitz am Tagebau Vereinigtes Schleenhain wurden auf 1,6 ha Anpflanzungen durchgeführt, weitere wurden im Laufe des Jahres vorbereitet.

In beiden Tagebaubereichen begrünte das Unternehmen 2010 im Interesse eines erhöhten Immissionsschutzes 155,0 ha Tagebaubetriebsflächen temporär. 110,0 ha davon entfielen auf die Betriebsflächen des Abbaufeldes Schwerzau im Tagebau Profen." Die Landinanspruchnahme betrug im mitteldeutschen Revier nach DEBRIV 2011 insgesamt 59.746.4 ha. Davon wurden 37.114,4 ha durch die o. g. Maßnahmen wieder nutzbar gemacht.

5.12 Renaturierung

Unter Renaturierung versteht man die Wiederherstellung von naturnahen Lebensräumen. Z. B. wird versucht, Bächen und Flüssen das ursprüngliche nicht begradigte Flussbett wiederherzustellen, die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Über-

25) Wörtlich übernommen aus dem Geschäftsbericht 2010 der MIBRAG

7541014/10787806875Biblio

schwemmungsgefahr zu reduzieren sowie ursprüngliche Tier- und Pflanzenarten wieder anzusiedeln. Zu den zeitaufwändigsten teuersten Renaturierungsprojekten zählen die Renaturierung von ehemaligen Braunkohlentagebauen, aber auch die Moorrenaturierungen. Durch die Renaturierung werden u. a. Erholungs- und Freizeiteinrichtungen geschaffen, die zum Teil eine Aufwertung gegenüber dem Zustand vor den Bergbautätigkeiten darstellen.

- **Renaturierung im MIBRAG-Revier**

Abb. Fb-142: Tagebau Zwenkau: Die Flutung mit MIBRAG-Sümpfungswasser schreitet voran, das Fahrgastschiff „Santa Barbara“ verkehrt bereits. [V43]

Abb. Fb-143: Gäste besteigen den neuen Geyersberg. [V43]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-144: Am Mondsee (ehem. Tagebau, bis 1989) gegen Abend [V43]

Abb. Fb-145: Bergbaufolgelandschaft – Haselbacher See [V43]

Abb. Fb-146: Aussichts- und Ruheplatz in der Bergbaufolgelandschaft [V43]

7541014/10787806875Biblio

Im Verlauf der natürlichen Sukzession können sich auf geeigneten Standorten sowie bei Vorhandensein von Lieferbiotopen in der Umgebung sehr schnell Silbergras-Pionierfluren und Sandtrockenrasen, Kalkmagerraseninitiale, Röhrichte, Weidengebüsche und Pionierwälder mit Birken oder Kiefern bilden. Mittel- bis langfristig ist eine Entwicklung von Sümpfen, Niedermooren, Seggenriedern sowie Heiden und Laubmischwäldern möglich.

Abb. Fb-147: Kippengelände beim Tagebau Profen: Orchideen en masse [V43]

Auf Sonderstandorten können sich beispielsweise bei wechselnden Wasserständen Zwergbinsen-Gesellschaften entwickeln.

Im mitteldeutschen Raum sind makrophytenreiche Gewässer, zum Teil mit ausgeprägten Hochgras-Beständen wie Land-Reitgras-Fluren zu finden.

Unter den besonderen landschaftsökologischen Rahmenbedingungen der Bergbaufolgelandschaft sind auch viele Kleintierarten wie Zikaden, Laufkäfer, Spinnen und Heuschrecken wieder heimisch geworden.

5.13 Umsiedlungen

Seit dem Zweiten Weltkrieg sind fast 50.000 Menschen im Zuge der Braunkohlentagebaue umgesiedelt. Damit ist die Umsiedlung der unbestritten gravierendste Eingriff dieses Industriezweigs in die seit langem bestehende Kulturlandschaft. Hierbei geht es nicht nur um faire Entschädigungen für materiellen Besitz, wie Wohnhäuser, Grundstücke und Betriebe. Sie ermöglichen den Betroffenen an ihrem neuen Wohnort einen wirtschaftlich unbeschadeten Neubeginn.

Bei der Umsiedlung geht es vor allem um immaterielle Werte wie Tradition, Gemeinschaft und Heimat, die mit Geld nicht entschädigt werden können. Belastungen für den Einzelnen, für die einzelne Familie sind unvermeidlich. Doch kann man sie durch eine weiterhin intakte Dorfgemeinschaft abfedern.

7541014/10787806875Biblio

Das Gefüge einer Dorfgemeinschaft besteht aus vielschichtigen Verflechtungen zwischen den einzelnen Umsiedlern, aus familiären Bindungen, Freundschaften, Nachbarschaften sowie Mitgliedschaften in Vereinen und Vereinigungen. Bei jeder Umsiedlung gilt es, Strukturen und Wandel dieses Beziehungsgeflechts zu erkennen und zu fördern, damit sich die Dorfgemeinschaft am neuen Standort etablieren und weiterentwickeln kann. Dazu verfolgen alle Beteiligten das Konzept der gemeinsamen Umsiedlung. Dabei siedeln möglichst viele Bewohner des alten Dorfes möglichst zügig mit in einen neuen, gemeinsam mit ihnen ausgewählten und geplanten Standort. Das Konzept hat sich in Jahrzehnten bewährt.

Dieser oft langwierige Prozess erfordert einen angemessenen Interessenausgleich zwischen energiewirtschaftlichen, arbeitsmarktpolitischen, sozialen und umweltbezogenen Belangen. Auf Grundlage von landesplanerischen und bergrechtlichen Genehmigungsverfahren sind die betroffenen Bürger sowie Vertreter aus Politik und den Braunkohlenunternehmen an der konkreten Ausgestaltung gleichsam beteiligt.

- **Umsiedlungsbeispiele im MIBRAG-Revier**

Abb. Fb-148: Umsiedlungsort Großgrimma [V43]

Die folgenden Bilder zeigen Einzelheiten vom Siedlungsort Schwerzau in Draschwitz. [V43]

Abb. Fb-149

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-150

Abb. Fb-151

Im MIBRAG-Revier bereits erfolgreiche Umsiedlungen der Gemeinden Schwerzau und Großgrimma sowie Heuersdorf machen deutlich, dass die notwendigen Eingriffe für den Einzelnen und die Gemeinschaft sozialverträglich gestaltbar sind und letztlich für die Beteiligten auch eine neue Chance sein können.

- **Der Umzug der Emmaus-Kirche von Heuersdorf nach Borna**

Am 23.10.2007 wurde die Emmaus-Kirche vom alten Standort in Heuerswerder ins zwölf Kilometer entfernte Borna transportiert. Auf dem Weg mussten Bahnübergänge und die Flüsse Whyra und Pleiße überquert und Hochspannungsleitungen unterquert werden. Dieser Umzug stellte eine nicht alltägliche Meisterleistung dar. Er war absolut einmalig und fand weltweit große Beachtung.

7541014/10787806875Biblio

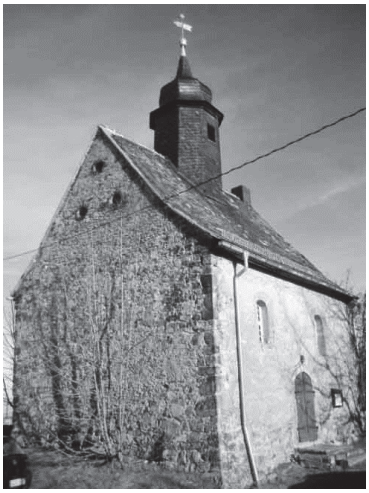


Abb. Fb-152: links: Kirche am alten Standort in Heuersdorf – rechts: Vorbereitung für den Transport [V43]

Abb. Fb-153: 1000 Tonnen auf dem Weg nach Borna [V43]

Abb. Fb-154: Der Spezialtieflader [V43]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fb-155: Am neuen Standort neben der Marienkirche Borna [V43]

Hinweis: Alle Bilder wurden freundlicherweise von der Abt. Öffentlichkeitsarbeit der MIBRAG freigegeben.

7541014/10787806875Biblio

Ft Bergbau auf Torf

Als Torfstich oder Torfstechen wird der obertägige Abbau von Torf bezeichnet. Dieses organische Material, das in Mooren durch beginnende Inkohlung aus abgestorbenen Pflanzen entsteht, dient als niederenergetischer Brennstoff, zur Verbesserung der Bodendurchlüftung im Gartenbau und in geringem Umfang auch zur Herstellung von Textilfasern und für medizinische Heilzwecke.

Abb. Ft-1: Moorlandschaft [4]

1 Entstehung

Moore, aus denen der Torf entstanden ist, sind Anhäufungen von Pflanzenresten, die durch Sauerstoffmangel in Nässegebieten nur unvollständig zersetzt (verfault) sind. Sie bauen sich aus unterschiedlichen Torfschichten auf.

Niedermoore entstehen vielfach aus verlandeten Seen oder feuchten Senken. Sie sind nährstoffreich, weil sie im Einflussbereich des nährstoffreichen Grundwassers liegen. Typische Pflanzen im Niedermoor sind: Schilfrohr, Rohrkolben, Binsen u. a.; vorerst entsteht ein nährstoffreiches Niedermoor mit Niedermoortorf.

Bei geeigneten Bedingungen koppelt sich die Oberfläche des Moores durch Auflagerungen allmählich vom stehenden Grundwasser in der Senke ab. Das Moorwasser hat nun einen niedrigen pH-Wert (um die 3,4 bis 3,7) und kaum noch Nährstoffe und nur wenig Sauerstoff sind gelöst, so dass die Zersetzung pflanzlicher Substanzen gehemmt ist. An diese Bedingung sind die Hochmoor-Pflanzengesellschaften angepasst, deren Ablagerungen den Hochmoortorf bilden.

Hochmoore sind nur auf nährstoffarmes Regenwasser angewiesen. Es besteht keine Verbindung zum Grundwasser. Jährlich wächst ein Hochmoor ca. 1 mm. Sehr eindrucksvolle Hochmoore sind am Ewigen Meer und im Bockhorner Moor zu finden.

7541014/10787806875Biblio

Regelmäßig finden hier organisierte Moorwanderungen statt. Typische Pflanzen im Hochmoor sind: Torfmoos, Sonnentau, Wollgras und in den Trockenzeiten Heide und Birken. Die Entstehung des norddeutschen Teufelsmoores bei Worpswede benötigte ca. 8.000 Jahre.

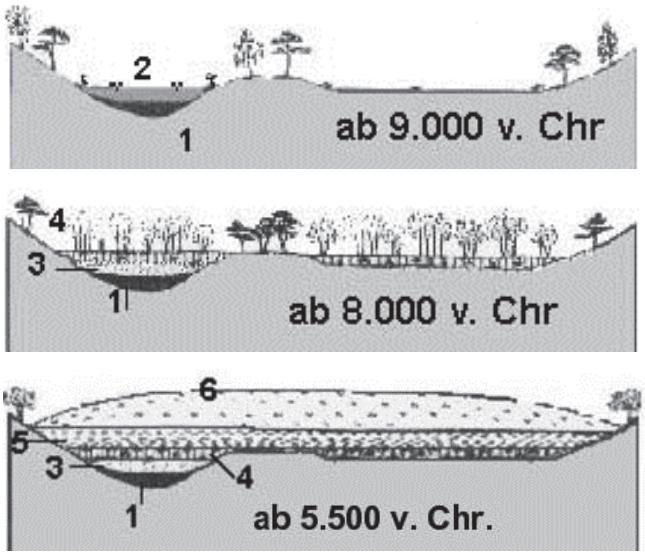


Abb. Ft-2: Phasen der Torfentstehung [1]

1 Faulschlamm setzt sich in den Schmelzwasserseen ab.
2 Seen und Versumpfungsgebiete verlanden (Schilfrohr, Binsen und andere Sumpfpflanzen).
3 Abgestorbene Pflanzen vertorfen und Niedermoor entsteht.
4 Es bilden sich Bruchwälder (u. a. Erlen- und Birkenbruchwälder).
5 Bruchwaldtorf entsteht (ca. 7000 v. Chr.).
6 Torfpolster ersticken die Bruchwälder, und abgestorbene Torfmoose vertorfen (ab 5500 v. Chr.): – untere Schichten sind stark zersetzter Schwarztorf – obere Schichten sind schwach zersetzter Weißtorf.

Bei Hochmoortorfen unterscheidet man nach dem Grad der Verdichtung und dementsprechend nach dem Heizwert. Die Variation reicht vom Weißtorf über den Brauntorf bis zum Schwarztorf.

Der helle Weißtorf lässt die Struktur der Pflanzen noch deutlich erkennen, bei weiterer Zersetzung entsteht ein homogener, wenigstens bei Betrachtung mit bloßem Auge strukturloser Körper, Brauntorf oder auch Bunttorf genannt. Die älteste Torfschicht ist der so genannte Schwarztorf. Die unteren Schichten eines Torflagers sind dabei (weil älter, größerem Druck ausgesetzt und während der Entstehung auch durchlüftet) in der Zersetzung weiter fortgeschritten als die oberen.

Weitere je nach dem Grad der Zersetzung verwendete Begriffe sind: Rasen-, Faser- und Pechtorf. Rasentorf ist die jüngste Bildung und besteht aus wenig veränderten, noch gut erkennbaren Pflanzenresten.

7541014/10787806875Biblio

Er ist gelbbraun und lockerer. Fasertorf besteht aus brauner, bereits strukturlos gewordener Masse und mit Fasern schwer zersetzbaren Pflanzenmaterials durchsetzt. Pechtorf ist dunkler und kompakter als Fasertorf. Er ist der älteste, schwerste Torf und zeigt kaum noch erkennbare Pflanzenreste.

Abb. Ft-3: Torfmoos [1]

Die Pflanzen, die zur Vermoorung und Vertorfung führen, sind solche, welche in großer Anzahl vorkommen und stark wuchern, besonders aber verfilzte Wurzeln treiben: die Heiden (Besenheide, Glocken-Heide), Sauergräser (besonders Seggen-Arten und Wollgräser und Simsen), Binsen, Schwarz-Erlen, vor allem aber Torfmoose. In hoch gelegenen Regionen kann auch die Bergkiefer eine Rolle spielen.

Je nach Beteiligung einzelner der genannten Pflanzen an der Moorbildung der Ökologie und den hydrologischen Verhältnissen unterscheidet man Niedermoore, Zwischenmoore sowie Hochmoore. In ersteren dominieren Seggenriede, Röhrichte und Bruchwälder, in den nährstoffärmeren Zwischen- und Hochmooren sind Torf- und Braunmoose die Haupttorfbildner.

Abb. Ft-4:
Moorlandschaft [1]

7541014/10787806875Biblio

2 Vorräte

Die größten Torfvorkommen liegen in der norddeutschen Tiefebene (z. B. Wiesmoor, Bourtanger Moor), wie der Übersichtspan Abb. Ft-5 zeigt.

Die Gesamtfläche der vorhandenen Moore in Deutschland liegt bei 370.000 ha, das entspricht 4 % der Gesamtfläche Deutschlands. Nicht die gesamte Fläche ist wirtschaftlich abbaubar. Ein großer Teil ist nicht abbauwürdig oder steht unter Naturschutz. Sehr große Vorkommen gibt es in Russland, Finnland und Irland.

3 Historischer Rückblick

In der gemäßigten Klimazone ist das Torfstechen schon seit etwa 3000 v. Chr. nachweisbar. Bevor Torf gestochen werden konnte, musste das Moor durch ein verzweigtes Grabensystem entwässert und durch ein System von Zwischendämmen mit Wegen zwischen Torfstich und Torfdarre erschlossen werden.

Bei der Anlage eines Torfstichs wurde zunächst mit dem Spaten die Moosnarbe von den Moorbauern entfernt, dann wurde der darunter befindliche Weißtorf mit der Schaufel ausgehoben.

Abb. Ft-5: Torfvorkommen in Deutschland [1]

7541014/10787806875Biblio

Der tiefer liegende Brauntorf wurde mit Stiekern oder Stecheisen in Soden gestochen und nach dem Hauptabnehmer auch „Bäckertorf“ genannt. Dieses Torfstechen war eine körperlich extrem anstrengende Arbeit. Die Torfsoden wurden auf Torfkarren verladen und meist von Kindern zum Trockenplatz gezogen. Dort wurde er so aufgestapelt, dass das Regenwasser an den Außenwänden ablaufen konnte. Der Torf trocknete den ganzen Sommer über, bis zum Spätherbst wurde er nicht nur erheblich leichter, sondern auch sein Volumen schrumpfte stark zusammen.

Wegen seines hohen Brennwertes war der zuunterst liegende Schwarztorf am wertvollsten. Wenn keine ausreichende Moorentwässerung gelang, war sein Abbau aber ausgesprochen schwierig, weil ihn die Torfstecher in halbflüssigem Zustand aus den bis zu sechs Meter tiefen Torfgruben heben mussten. Auf dem Trockenplatz wurde der schwarze Torfschlamm eben verteilt und durch Trampeln mit den Füßen „gepettet“.

War das meiste Wasser auf diese Weise herausgepresst, blieb der Schwarztorf zum Trocknen liegen und wurde anschließend in Soden geschnitten.

Die Torfgewinnung ist in den letzten Jahrzehnten aus mehreren Gründen stark zurückgegangen. Zum einen muss das entsprechende Feuchtgebiet durch Gräben trockengelegt werden, bevor in einem Moor Torf gestochen werden kann. Da insbesondere Hochmoore aufgrund der großen Niederschlagsmenge, die sie aufnehmen können, eine wichtige regulatorische Wirkung auf den Wasserhaushalt haben, ergaben sich als Folge Nachteile durch die Entwässerung.

Zum Zweiten wurde dem Artenschutz im Lauf der Zeit ein größerer Wert beigemessen, und die meisten Arten der Moorflora und -fauna gelten als bedroht oder stark bedroht. Zum Dritten bemüht man sich heute, im Sinne des Landschaftsschutzes ursprüngliche Lebensräume zu erhalten.

Nicht zuletzt ist der Torfabbau heute wirtschaftlich kaum mehr lohnend, weil die großen, im industriellen Maßstab lohnenden Moorflächen mittlerweile abgetorft sind und andere hochenergetische fossile Brennstoffe die Funktion der Torfs weitgehend übernommen haben. Moore wachsen extrem langsam, ein intakter Torfkörper nimmt pro Jahr nur um einen Millimeter an Mächtigkeit zu, d. h., es dauert 1.000 Jahre, um einen einzigen Meter Torf zu erzeugen. Wegen dieser Langsamwüchsigkeit erholen sich Moorflächen auch nach Renaturierungsversuchen nur sehr langsam. Daher wird heutzutage die Zulassung neuer Torfstichflächen sehr restriktiv und mit strengen Auflagen gehandhabt. Aus den gleichen Gründen wird auch die Verwendung von Torf im Gartenbau in den letzten Jahrzehnten zunehmend kritisiert.

Darüber hinaus kann Torf zwar die Durchlüftung des Bodens verbessern, die Bodenqualität selbst wird aber verschlechtert, weil Torf zum einen extrem nährstoffarm ist und zum anderen die Bodenversauerung fördert.

7541014/10787806875Biblio

4 Rekultivierung und Renaturierung

Neben der Rekultivierung zur Agrarnutzung (Acker und Wald) entstehen zunehmend Biotope auf abgetorften Flächen.

Abb. Ft-6:
Kultivierungsarbeiten nach der Abtorfung [1]

Das wachsende Umweltbewusstsein der Bevölkerung veranlasst in einigen Ländern Europas die Torfindustrie mittlerweile, einige ehemalige Abbaugebiete wieder zu vernässen, um zumindest kleinere Moorflächen mit typischer Moorvegetation wieder zu regenerieren.

Abb. Ft-7: Renaturierte Torfabbaufläche in einer ehemaligen Moorlandschaft [1]

Die Renaturierung bzw. Hochmoorregeneration erfolgt in folgende Phasen:

- **Kurzfristig – Wiedervernässung**

Durch Schließen der Entwässerungsgräben und Aufstau des Niederschlagswassers wird die Wiedervernässung der trockengelegten Flächen eingeleitet. Im Laufe von 2 bis 4 Jahren, je nach Niederschlagsmenge, quillt die vorhandene Torfrestschicht der ehemaligen Torflagerstätte durch Wasserspeicherung auf.

7541014/10787806875Biblio

- **Mittelfristig – Renaturierung**

Ist die Wiedervernässung abgeschlossen, bietet die mit Wasser vollgesogene ehemalige Torfabbaufläche hochmoortypischen Pflanzen die Möglichkeit, sich neu anzusiedeln. Gleichzeitig sterben die für Moore nicht typischen Pflanzen durch den gestiegenen Wasserstand ab. Die sich wieder ausbreitenden Pflanzenarten, wie Wollgräser und Torfmoose, bieten in diesem Stadium wieder den moortypischen Tieren einen geeigneten Lebensraum.

- **Langfristig – Regeneration**

Versuche haben gezeigt, dass sich nach einigen Jahren in wiedervernässten Gebieten eine geschlossene Torfmoosfläche bilden kann. Bei Wasserüberschuss und unter Luftabschluss beginnen diese Pflanzen zu vertorfen und führen zu neuem Torfwachstum. Aus einem trockengelegten Moor kann so nach dem Torfabbau wieder ein wachsendes, das heißt lebendes Moor entstehen.

Die Torfwirtschaft befürwortet die Erhaltung der heute noch vorhandenen natürlichen und naturnahen Moorflächen.

Die Schaffung neuer Feuchtbiotope nach Torfabbau durch Wiedervernässung mit dem Ziel der Renaturierung bzw. Hochmoorregeneration ist ein wesentlicher Beitrag zum Naturschutz. In den nächsten Jahrzehnten werden rund 18.000 ha renaturiert sein; das ist mehr als die Hälfte der heute für die Torfgewinnung genutzten Flächen. Die bisherigen Erfolge in der Wiedervernässung/Renaturierung sind als durchaus ermutigend anzusprechen. Dies gilt für zahlreiche wissenschaftliche Versuche wie auch für die unter praktischen Erfahrungen gewonnenen Ergebnisse (Abb. Ft-7).

5 Gewinnung

5.1 Schwach zersetzter Hochmoortorf

Bis vor etwa 35 Jahren wurde der schwach zersetzte Torf mit Spezialspaten ausschließlich von Hand schichtweise in Form von Soden aus dem Moor gelöst. Die Tagesleistung eines Torfgräbers lag bei rund 25 m³. Heute werden spezielle Grabemaschinen (Abb. Ft-8) eingesetzt. Sie schneiden in einem Arbeitsgang Soden, heben sie aus dem Moor heraus und legen sie auf der Grabenkante ab.

In einer Schicht können 600 m bis 800 m oder 300 m³ bis 400 m³ Torf gegraben werden. Zum Trocknen sind die Soden je nach Wetterlage mehrmals von Hand umzusetzen oder maschinell zu rütteln.

Die bis auf einen Wassergehalt von rund 50 Gewichtsprozent getrockneten Soden werden mit bis zu 100 m breiten Sammlern teilmechanisiert oder vollmechanisiert geborgen, in Loren verladen und über Feldbahnen zur Fabrik oder Vorratsmiete gebracht. Da überwiegend in den Sommermonaten eine ausreichende Trocknung erzielt wird, die Absatzspitzen jedoch im Herbst und Frühjahr liegen, sind für die Aufbereitung Mietenvorräte oder Fertigwarenlager anzulegen.

Ein weiteres Gewinnungsverfahren ist das Fräsen in dünner Schicht. Die gelösten Torfteile werden bei diesem Verfahren zum Trocknen mit Spezialwendern und Häuflern bearbeitet und mit Sammlern geborgen.

7541014/10787806875Biblio

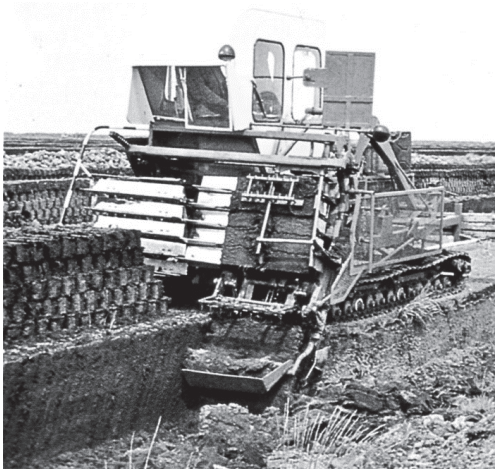


Abb. Ft-8: Gewinnungsmaschine für schwach zersetzten Torf [1]

5.2 Gewinnung von stark zersetztem Hochmoortorf

Die Industrietorfgewinnung ist schon seit vielen Jahren voll mechanisiert. Eimerleiterbagger verschiedener Konstruktion fördern den Torf, homogenisieren ihn in einem Mischwerk und legen ihn in bis zu 50 m langen Strängen auf dem Trockenfeld ab.

Die Spezialbagger können in einer Saison, das heißt von Anfang April bis Anfang August, bis zu 200.000 m^3 Rohtorf fördern; das ergibt rund 25.000 t Industrietorf mit etwa 30 v. H. Wassergehalt, wobei 1 kg Torf einer halben Steinkohleneinheit (SKE) gleichzusetzen ist.

Die in Soden geteilten Stränge bleiben auf dem Trockenfeld liegen, bis sie „handfest“ geworden sind und mit Spezialgeräten gewendet werden können. Nach der Trocknung werden die Soden mit Aufnahmegeräten gesammelt und am Rande der Felder zu großen Vorratsmieten aufgeschüttet.

Bei der Gewinnung von stark zersetztem Torf als Ausgangsmaterial für die Substratherstellung und Bodenverbesserung wird mit den gleichen Baggern wie bei der Industrietorfproduktion gearbeitet. Hier darf die Förderung erst im Spätherbst erfolgen, damit der gebaggerte Torf mit möglichst hohem Wassergehalt im Laufe des Winters durchfriert und dadurch locker wird. Erst im Frühjahr wird er dann bei einem Wassergehalt von rund 70 v. H. zu großen Mieten zusammengeschoben und auf Vorrat gehalten.

Abb. Ft-9: Großflächiger maschineller Torfabbau [1]

7541014/10787806875Biblio

5.3 Wirtschaftliche Bedeutung

Seit etwa 4.000 Jahren unterliegen Moorflächen in Mitteleuropa einer mehr oder minder intensiven Nutzung. Bereits seit Beginn der Bronzezeit wurde Brenntorf gewonnen, der in Form luftgetrockneter Soden möglicherweise die Basis der Kupfer- und Zinnschmelze für die Bronzeherstellung bildete.

Aus frühen Quellen (z. B. Plinius) wissen wir, dass Torf besonders an der Nordseeküste (aufgrund der großen Küstenmoore und mangels geeigneter Alternativen) schon sehr lange als Brennstoff genutzt wird.
Die Wärmeausbeute ist zwar geringer als jene von Braunkohle, jedoch besser als die von Holz. In größerem Umfang setzte die Torfnutzung erst mit der Holzverknappung ab etwa 1750 ein, bis sie um 1900 allmählich durch die Kohlefeuerung abgelöst wurde.

In den Gebirgsregionen Europas hatte der Torfstich geringere Bedeutung als im Flachland, vermutlich weil durch den Kiefernbestand einfacher zu gewinnendes Brennmaterial in ausreichender Menge existierte. Torf wurde eher als Nebenprodukt bei der Trockenlegung feuchter Wiesen gestochen und in der Landwirtschaft als Streu in den Ställen verwendet; nur in Notzeiten diente er auch als minderwertiger Brennstoff.

Teilweise wurde der gestochene Torf auch zu Torfkohle weiterverarbeitet, der Prozess ist der gleiche wie bei der Gewinnung von Holzkohle. Torfkohle hat einen Brennwert von mehr als 20 MJ/kg, sodass man sie bei Holzkohleknappheit sogar zur Erzverhüttung einsetzte. Nachdem die während der Industrialisierung abgeholzten Wälder wieder aufgeforstet waren, ging der Bedarf nach Torfkohle zurück.

Heute findet in Deutschland nur noch in den nördlichen Regionen Torfabbau statt (z. B. in Ostfriesland, am Rande des Naturschutzgebietes „Ewiges Moor“). Er läuft aber immer mehr aus.

5.4 Verwendung heute

Torf hat als Brennstoff in trockenem Zustand einen Heizwert von 20 bis 22 MJ/kg, vergleichbar mit Braunkohle. Allerdings hat frischer Torf einen sehr hohen Wassergehalt und muss daher vor der Verbrennung in der Regel aufwändig getrocknet werden. Zudem hat Torf einen sehr hohen Aschegehalt, einen niedrigen Ascheschmelzpunkt und enthält einige chemische Bestandteile, die sich bei der Verbrennung korrosiv und/oder umweltschädlich verhalten. Für Deutschland ist er als Brennstoff ohne Bedeutung.

Als Brennstoff für die allgemeine Anwendung wird Torf heute in nennenswerter Menge nur noch in jenen Regionen verwendet, in denen es ausgedehnte Moorlandschaften gibt. In der EU sind dies vor allem Skandinavien (Finnland, Schweden), die britischen Inseln (Irland, Schottland) sowie das Baltikum (Estland, Lettland, Litauen).

Unerlässlich ist der Torf als Brennstoff noch bei der Malzherstellung für viele schottische Whiskysorten, da der Torfrauch erheblich zum Geschmack des Endproduktes beiträgt; außerhalb Schottlands produzierte Whiskies verwenden meist keinen Torfrauch.

Einige moorreiche Länder betreiben auch heute noch Torfkraftwerke, in denen Torf in großem Maßstab als Brennstoff zur Stromerzeugung eingesetzt wird (z. B. Finnland mit über 60 Torfkraftwerken).
Früher wurde der Torf überwiegend in Soden-/Ballenform auf einem Rost verbrannt, heute überwiegend in gemahlener Form in einer Wirbelschicht.

7541014/1078780687 5Biblio

Man kann Torf, statt ihn direkt als Brennstoff zu verwenden, auch zu Torfkohle umwandeln, indem man ihn – ähnlich wie bei der Herstellung von Holzkohle – unter geringer Luft- bzw. Sauerstoffzufuhr langsam in einem Kohlenmeiler „verkohlt“. Auf diese Weise gewinnt man einen Brennstoff, der einen wesentlich höheren Heizwert und günstigere Verbrennungseigenschaften aufweist.

Dieses Verfahren war im 18. und frühen 19. Jahrhundert verbreitet, da der Bedarf an heizwertreichen Brennstoffen mit der Industrialisierung in der Erzverhüttung, in Ziegeleien und weiteren Industrien rapide anstieg.

Torf wurde regional in großen Mengen in Heizkraftwerken verheizt, um Gärtnereibetriebe mit Wärme für Gewächshäuser zu versorgen. Ein großer Betrieb in Wiesmoor, die Wiesmoor-Gärtnerei, wurde noch im 20. Jahrhundert in der Nachbarschaft eines Torfkraftwerks eröffnet. Die Regionen Ammerland und Ostfriesland sind für große Vielfalten an Azaleenkulturen bekannt. Der Ursprung der Gewächshauskulturen in den Niederlanden und in Flandern geht auf die Nutzung des Torfs als Heizmaterial und als Substrat zurück.

5.5 Kultursubstrat

Da Torf ein Vielfaches seines Eigengewichtes an Wasser speichern kann, wird er mit Kalk neutralisiert, mit Nährsalzen und weiteren Zuschlagstoffen wie Ton oder Sand aufgemischt und so zum Kultursubstrat weiterverarbeitet.

Einige Pflanzen wie Azaleen benötigen einen sauren Boden und so dient die Beimischung von Torf üblicherweise auch zur präzisen Regelung des Säurehaushaltes des Bodens. In der Berufsgärtnerei gibt es in diesem Bereich kaum Ersatzmöglichkeiten für Torf. Kritisiert wird von Naturschützern insbesondere der Einsatz von Torf im privaten Garten. Von Hobbygärtnern werden jedes Jahr zur Bodenverbesserung rund 2,3 Mio. m^3 Torf ausgebracht. Ohne vorhergehendes Neutralisieren und Düngen kann dieser lediglich die Durchlüftung des Bodens verbessern, sonst jedoch durchaus die Bodenqualität verschlechtern, da Hochmoortorf extrem nährstoffarm ist und zur Bodenversauerung führt.

Es empfiehlt sich, den Torf vor der Ausbringung thermisch zu behandeln (zum Beispiel durch Dämpfen), um gegebenenfalls bestehende Krankheitserreger und Schädlinge sowie Unkräuter bzw. deren Samen abzutöten und blockierte Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen.

Aus Rinde oder Holzabfällen werden deshalb inzwischen Torfersatzstoffe hergestellt, die eine ähnliche bodenverbessernde Wirkung haben, aber kaum zur Versauerung des Bodens beitragen. In vielen Fällen ist einfacher Kompost das beste Mittel zur Bodenverbesserung.

In den letzten Jahrzehnten des 19. und den ersten des 20. Jahrhunderts baute das Torfstreu- und Mullewerk Haspelmoor großflächig Torf ab. Er diente als Stallstreu und überwiegend als Isoliermaterial für Eiskeller und oberirdische Eishütten für Brauereien und Gaststätten. Haspelmoor-Torf wurde in ganz Europa vertrieben.

Torf wurde früher gelegentlich auch als preiswerte Schlafunterlage (Torfbett) verwendet und eignete sich besonders für Bettnässer und Kleinkinder. Auch in jüngster Zeit werden Torffasern als natürlicher Rohstoff für Matratzen, Bettdecken und Kissen wieder verwendet.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ft-10: Torfstecher-Denkmal in Bremervörde [1]

7541014/10787806875Biblio

Ff Bergbau auf Festgestein

Im Folgenden kann nur auf einige sehr wichtige Vorkommen eingegangen werden. Es handelt sich überwiegend um Mittel- und Großgewinnungsunternehmen, wobei die Techniken der Gewinnung bei den jeweiligen Mineralen vergleichbar sind. Maßgebend ist die zur Verfügung stehende Abbaufläche. Durch den Einsatz von Großgeräten (Bagger, Fahrzeugen, Bohrgeräten, Brechern, Sortiergeräten usw.) und moderner Sprengtechnik ist der Personalbedarf verhältnismäßig gering.

1 Genehmigungsverfahren

Da der Abbau von Festgestein ebenso wie die übrigen Bodenschätze der bergbehördlichen Aufsicht untersteht, ist auch hierfür das gesetzliche Genehmigungsverfahren (wie im Abschnitt „Bergbau auf Braunkohle“ ausführlich beschrieben) zu beachten.

Daneben gelten ebenso die Auflagen der jeweiligen Landesbehörden und die Vorschriften der örtlichen Gemeinden. Da der Umweltschutz eine immer stärkere Bedeutung hat, ist bei jeder bergbaulichen Maßnahme die Ökologie zu beachten, was eine Zusammenarbeit mit den Umweltverbänden voraussetzt. Die betrifft insbesondere die Rekultivierung und Renaturierung.

Zu berücksichtigen sind die Staub-, Lärm- und Verkehrsbelastung, Erschütterungen durch Sprengarbeit usw. Einen sehr großen Raum nimmt auch die Rekultivierung ein. Abbaugenehmigungen werden heute nur noch erteilt, wenn alle vorgenannten Punkte mit den Zulassungsbehörden abgestimmt sind. Nicht selten scheitert ein Abbauvorhaben an zu hohen Anforderungen.

Um spätere Einsprüche zu vermeiden, sollte eine gute Darstellung der Maßnahme auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten angestrebt werden. Schließlich sind die Unternehmen Arbeitgeber und Steuerzahler und somit auch eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Lage der betreffenden Gemeinden.

Weitere Hinweise siehe Abschnitt „Fb Braunkohle“.

2 Erkundung

Vor der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen stehen in der Regel die Suche und Erkundung (Prospektion) der Lagerstätte.

Zu den Hartgesteinen gehören fast alle in der unten gezeigten Tabelle. Art und Umfang des Abbaus richten sich nach Größe, Geländeform (Tektonik), Überlagerung, Eigenschaften des Gesteins (Festigkeit, Klüftigkeit usw.).

Die wesentlichen Festgesteine bzw. Minerale, die in Deutschland vorkommen sind:

7541014/10787806875Biblio

Sandstein	Kalkstein	Granit	Basaltlava
Trachyte	Vulkan. Tuffe	Dorit	Kalkstein
Quarzit	Schiefer	Anhydrit	Gneis
Dolomit	Gips	Jura-Marmor	Diabas
Ton	Quarzsand	Sand	Kies

Ziele der Erkundung sind die Ermittlung von:

- Eigenschaften der Rohstoffe,
- Art und Umfang der Lagerstätte sowie die Bilanzierung der Vorräte Deckgebirgs- und Abraumverhältnis,
- Lagerungsverhältnissen einschließlich Klüftung, Bankung etc. (für Planung der Abbau- und Gewinnungstechnik).

Für die Gewinnung von Naturstein als Werk- und Dekorationsstein ist neben der Erfüllung bestimmter gesteinstechnischer Kennwerte die Gewinnbarkeit von Rohblöcken und -platten einer bestimmten **Rohblockgröße** (Abb. Ff-1) Voraussetzung.
Die gute Spaltbarkeit ist eine Vorausaussetzung bei der Weiterverarbeitung für plattenartige Werkstoffe (Schieferplatten, Gehwegplatten, Verkleidungen usw.).

Natursteinvorkommen mit zu geringer Bankmächtigkeit oder zu enger und unregelmäßiger Klüftung können bei Vorliegen der sonstigen Voraussetzungen nur für die Gewinnung von Schotter oder Splitt, nicht aber von Werksteinen genutzt werden.
Festgesteine mit hohen Ansprüchen (wie z. B. Marmor und Schieferton) werden auch z. T. noch im Untertage-Bergbau gewonnen.

Abb. Ff-1: Transport von großen Quarzit-Sandstein-Blöcken mit schweren Radladern [1]

7541014/10787806875Biblio

3 Aufschluss

Die Natursteingewinnung beginnt mit dem Aufschluss der abbauwürdigen Vorkommen. Je nach geologischer und räumlich-geographischer Situation werden unterschiedliche Aufschlussarten bevorzugt.

Erster Schritt ist das Beräumen (Entfernen des Abraums, d. h. der nicht verwertbaren Deckschichten) oberhalb der nutzbaren Gesteine (bergmännisch: das Hangende). Soll der Steinbruch von einem Talhang her in das Anstehende hineingetrieben werden, erfolgt ein **Hangaufschluss** (Abb. Ff-3). Aufschluss- und Abbauphase verlaufen hier weitgehend parallel, d. h., kurz nach dem Beräumen kann produziert werden.

Wird der Steinbruch im ebenen Gelände angelegt, erfordert das Beräumen mehr Aufwand. Ein Graben wird in das Gebirge (**Grabenaufschluss** Abb. Ff-2) mit einem hohen Aufwand an Bohr- und Sprengarbeiten gezogen. Durch Anlegen einer (schiefen) Transportebene und „birnenförmige“ Weiterführung des Abbaus beim Erreichen der künftigen Abbausohle kann die Erweiterung zum **Birnenaufschluss** (Abb. Ff-4) erfolgen.

Aus dem Grabenaufschluss kann ein **Strossenabbau** (Abb. Ff-3), d. h. ein Abbau auf verschiedenen Höhenniveaus/Ebenen innerhalb der Lagerstätte mit Parallelbetrieb, entwickelt werden (nur bei ausreichend großen Lagerstätten möglich).

Ebenfalls möglich ist der **Kesselabbau** in die Tiefe bei kleinflächigen Lagerstätten (Erweiterung, Wasserhaltung schwierig), bei dem ein **Kesselbruch** entsteht.

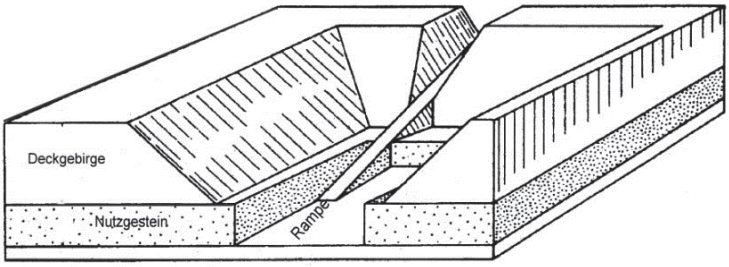


Abb. Ff-2: Grabenaufschluss [1]

Aus einem Hangaufschluss entsteht im Abbau ein **Hanglehnenbruch**. Aus dem Birnenaufschluss (Abb. Ff-4) kann der Abbau im Schwenkbetrieb (Abbau schwenkt um einen festen oder variablen Drehpunkt, z. B. schwenkbaren Kabelkran) oder im Strossenabbau weiterbetrieben werden.

Abb. Ff-3: Hangaufschluss [1]

7541014/10787806875Biblio

Typisch für die Werksteinindustrie ist der **Blockabbau** (nicht in der ganzen Lagerstätte, sondern nur in einzelnen abgeräumten und freigemachten Abbaublöcken, im Hangabbau, aber auch im Kesselabbau).
In der Regel erfolgt der Abbau von Naturstein, wie oben dargestellt, im Tagebau. Bei Marmor geht die Tendenz immer mehr zum Untertagebau über.

Knapper werdende Ressourcen und immer strengere Umweltauflagen werden den Marmorabbau zunehmend unter Tage drängen. Die EU-Kommission fördert deshalb ein Forschungsprojekt, in dem Wissenschaftler und Praktiker erproben, wie diese teure Art der Steingewinnung mit der bestmöglichen Ausbeute erfolgen kann.

Abb. Ff-4: Birnenaufschluss mit Strossenabbau [1]

4 Besonderheiten

Die **Marmorgewinnung** (vielleicht auch andere Nutzgesteine) der Zukunft wird sich immer häufiger unter Tage abspielen. Es gibt vielfältige Gründe für diese Prognose; der wichtigste ist, dass die mit geringem Aufwand erreichbaren oberflächennahen Ressourcen vielerorts zur Neige gehen und überdies sehen sich die Marmorproduzenten bei der althergebrachten Gewinnung im Steinbruch mit immer strengeren Umweltauflagen konfrontiert. Von Vorteil wäre für einige der heutigen Steinbruchbetreiber, dass sie unter Tage unabhängiger von den klimatischen Bedingungen arbeiten könnten.

Die Europäische Kommission in Brüssel fördert deshalb ein Forschungsprojekt, das die effektivsten Methoden für Natursteingewinnung im Berg ermitteln will. Ziel des Forschungsprojekts ist es, die europäische Industrie optimal auf die künftigen Bedingungen vorzubereiten.

Untertägiger Bergbau bringt erschwerte Arbeitsbedingungen mit sich, vor allem auch in Hinblick auf die Sicherheit. Dafür will das Forschungsprojekt das nötige Know-how entwickeln. Wer einen untertägigen Steinbruch betreiben will, muss dafür Sorge tragen,

7541014/10787806875Biblio

dass er dies unter einem festen „Dach“ tun kann. Als Abbaumethode bietet sich der Kammer-Pfeiler-Bau (bekannt aus dem bergmännischen Salzabbau) an, bei dem die Pfeiler die Last des Deckgebirges tragen müssen, während rings herum das Nutzgestein abgebaut wird.

Allerdings muss man wissen, erstens welche Dimensionen diese Pfeiler mindestens haben müssen, und zweitens sollte man im Hinblick auf optimale Ausbeute nicht vergessen, dass jeder Pfeiler die gewinnbare Marmormenge verringert. Bezüglich der optimalen Abmessungen und der günstigsten Anordnung von untertägigen Kammern und Pfeilern hat man sich bei den bisherigen Versuchen in erster Linie mit den praktischen Erfahrungen aus dem Steinbruchbetrieb begnügt. In dem Forschungsprojekt versucht man jetzt erstmals, sämtliche geologischen und geotechnischen Faktoren, die den untertägigen Marmorbergbau beeinflussen könnten, systematisch und auch quantitativ mit Messdaten zu erfassen. Diese Modelle und Simulationen müssen möglichst realitätsnah korrigiert und verbessert werden. Zunächst laufen die Versuche vornehmlich in den typischen Marmorgebieten in Italien, Griechenland und Spanien. Auch aus Deutschland kommen einige der bekanntesten Marmorsorten weltweit.
Obwohl es sich bei diesen Steinen genau genommen oft nicht um Marmor handelt, sondern um Kalksteine, werden sie oft als Marmor angeboten und verkauft. Ob in Deutschland der Abbau von Naturstein mit Zunahme der Umweltauflagen auch zunehmen wird, bleibt abzuwarten.

5 Abbautechnik

Der **Abbau** der Lagerstätte richtet sich nach

- Tektonik (Lagerung, Klüfte usw.),
- Ausbildung der Lagerstätte (Typ),
- angewandter Aufschlussart.

Die Gesteinsart (Sandstein, Basalt, Granit, Kalkstein usw.) hat für den Aufschluss keine maßgebende Bedeutung. Wichtig ist die weitere Verarbeitbarkeit. Blöcke, Säulen und Platten erfordern wesentlich andere Abbauverfahren als die spätere Verwendung als Schüttgut, z. B. Straßenbaumaterial (Schotter, Splitt usw.).

Abb. Ff-5: Hydraulikbagger Liebherr R 996, 650 t, 2.240 kW, Schaufel. 34 m³ [V21]

7541014/10787806875Biblio

Je nach Klüftung und Verwitterungzustand erfolgt der Abbau des nutzbaren Materials neben schweren Baggern und Hydraulikmeißeln überwiegend durch Bohr- und durch Sprengarbeiten. Für die Massengewinnung wird hierzu insbesondere das Großbohrlochsprengverfahren eingesetzt. Sorgfältige Planung und Durchführung der Sprengungen gewährleisten dabei ein kleinstückiges, gut ladefähiges Haufwerk.

Unter Einsatz schwerster Hydraulik-Raupenbagger (z. B. den Liebherr R 996 mit einer Motorleistung von 2.240 kW, einem Dienstgewicht von 650 t und einem Schaufelinhalt von 34 m^3 – Abb. Ff-5) kann vielfach auf Bohr- und Sprengarbeit verzichtet werden. Bei gesprengtem Haufwerk erreicht der Bagger mit seiner 35-m^3-Schaufel gewaltige Ladeleistungen.

6 Bohrtechnik

Durch den Einsatz moderner **Großloch-Bohrmaschinen** ist es möglich, die Bohrlöcher richtungsgenau niederzubringen. Zusätzliches Vermessen der hergestellten Bohrlöcher und der Bruchwände ermöglicht eine sehr exakte Berechnung der notwendigen Sprengstoffmenge und deren optimale Anordnung innerhalb des Bohrloches. Hiermit wird erreicht, dass Steinflug ausgeschlossen werden kann und Erschütterungen minimiert werden.

Dieses Gewinnungsverfahren zeichnet sich durch eine hohe Wirtschaftlichkeit aus. Es stößt jedoch an Grenzen, wenn das Abbaugebiet des Steinbruchs in die Nähe der Wohnbebauung von Städten und Dörfern geführt werden muss.

- **Gerätebeispiele**

Nachdem bereits seit Jahrzehnten mit HAUSHERR Drehbohrgeräten im Steinbruch der Fa. Schwenk, Zementwerke, gearbeitet wird, wurde im Jahr 2005 die Flotte der Bohrgeräte um eine neue HAUSHERR HBM 80 S erweitert, die es nun auch ermöglicht, alternativ mit Tieflochhammer zu bohren.

Die HBM 120 S verfügt über einen 2-stufigen Schraubenkompressor, der maximal 25 bar und 18 m^3/min liefert. Angetrieben von einem 292 kW-starken Caterpillar C10-Dieselmotor wird derzeit mit einem Walter-Tieflochhammer W 80 gebohrt.

Durch die großzügige Maschinenauslegung von HAUSHERR (Ff-6a) ist es möglich, den Dieselmotor mit einer auf 1.500 U/min. reduzierten Drehzahl laufen zu lassen. Im Schnitt verbraucht der Motor so nur zwischen 31 l bis 33 l/h. Mit dem Walter-Tieflochhammer konnten bei der Fa. Schwenk durchschnittlich Brutto-Bohrleistungen von 360 m pro Schicht erreicht werden, von der die reine Bohrzeit etwa 6 Stunden beträgt.

7541014/10787806875Biblio

Der Bohrantrieb hat ein Drehmoment vom 4.200 Nm. Sowohl das Ersatzteilaufkommen wie auch der Bohrwerkzeugverbrauch waren im ersten Jahr verschwindend gering. Durch nun regelmäßiges Nachschleifen der Tieflochhammerkronen im 1.000-Meter-Intervall halten diese nun mindestens 7.500 Bohrmeter.

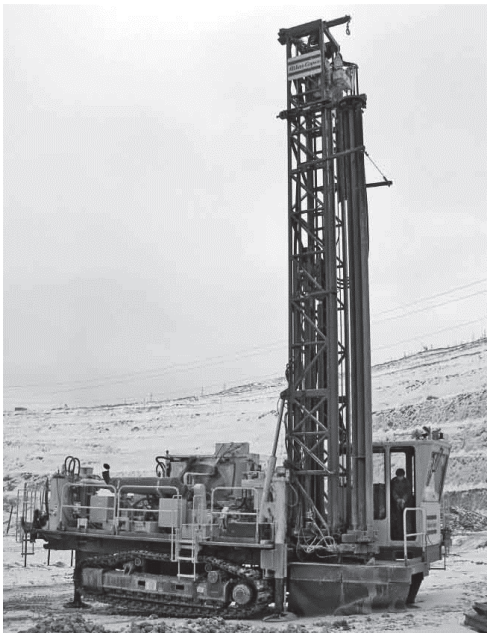
Abb. Ff-6a: Hausherr-Großlochbohrgerät HBM 120 S [V69]

Technische Daten der HBM 120 S

Typ	HBM 120S
Bohrdurchmesser DTH	90–203 mm
Bohrlochdurchmesser Rotary	90–170 mm
Bohrtiefe max.	56 m
Antriebsleistung	222–402 kW
Kompressorleistung	7–25 bar/14–27 m³/min.
Vorschub-/Rückzugkraft	0–120 kN
Drehmoment Bohrantrieb	0–6.900 Nm
Bohrrohr- u. Gestängelänge	6.000/8.000 mm
Bohrrohrdurchmesser	76–127 mm
Einsatzgewicht ca.	20–30 t

Es wurden daher besondere Verfahren entwickelt, die mit Lasertechnik sowohl in trockenen als auch in nassen Bohrlöchern arbeiten und mit denen sich auch Bohrlöcher von mehr als 50 mm Durchmesser vermessen lassen. Die Ergebnisse werden vor Ort mit einem PC berechnet und am Bildschirm angezeigt. So ist eine genaue Ermittlung der erforderlichen Sprengladung möglich. Eine nähere Beschreibung des Systems würde den Rahmen des Buches sprengen.

7541014/10787806875Biblio



Techn. Daten zur DM 45: Antrieb: 446–630 PS/328-470 kW (je nach Motor), Bohrtiefe: 53,3 m, Bohrrohre/Bohrgestänge: Länge 5,5 m, Verrohrung-Ø: max. 229 mm, Bohrgestänge: max. 9 Zoll, Tieflochhammer mit Schlagbohrkrone d = 9 ⅞ Zoll.
L/B/H = 9,7/5,23/13,3 m, Gestängemagazin, Staubabsaugung. Die Maschine ist besonders für die Bohrtechnik mit Imlochhammer und Großlochbohrungen geeignet.

Abb. Ff-6b: Sprenglochbohrgerät Atlas-Copco DM 45 [Atlas-Copco]

7 Sprengtechniken

7.1 Sprengverfahren

Unter **Sprengverfahren** versteht man den vielfältigen Einsatz von Spreng- und Zündmitteln. Im Vordergrund steht dabei der Sprengzweck zur Lösung technischer Aufgaben, wie z. B. die Gewinnungsarbeiten für die Grundstoffindustrie, Herstellen von Hohlräumen im Berg- und Tunnelbau, Arbeiten im Bau- und Abbruchgewerbe und dgl.

Hohe technische Standards bei der Spreng- und Bohrtechnik bilden die Grundlage für optimale Sprengungen mit unterschiedlichen Sprengverfahren.
Neben den Verfahren mit Einzelsprengungen, wie z. B. Knäpper-, Kessel-, Lassen-, Spaltsprengungen, Strossensprengungen, sind die Sprengverfahren bei Aushub-, Gewinnungs-, Vortriebssprengungen, Abbruch- und andere Sondersprengverfahren üblich.

Im Steinbruchbetrieb steht die Bohr- und Sprengarbeit im Vordergrund. Die rationellen Verfahrensweisen mit Sprenganlagen bilden die Grundlagen für eine technische und wirtschaftliche Gewinnung.

Neben der Gewinnung von Gebirge, das zur Weiterverarbeitung als Zuschlagsstoffe, Schotter und Splitte dient, unterliegt die Gewinnung von Werksteinen zur Weiterverarbeitung einer besonders schonenden Behandlung. Letztere ist Voraussetzung zur Vermeidung von Haarrissen und sonstiger Beeinträchtigungen oder gar Zerstörungen des zu verarbeitenden Werksteines. Die besondere Technik besteht darin, dass die Gesteinsstücke, unter Ausnutzung ihrer natürlichen Teilbarkeit, schonend aus dem Gebirge herausgelöst werden. Dazu wird eine vorsichtige, allmähliche Auflockerung und Trennung des Gebirges entlang der vorgesehenen Spaltrichtung angestrebt. Dies wird durch kleinere Sprengungen, zum Teil mit Einzelschüssen unter Einsatz von Pulversprengstoffen, durchgeführt.

7541014/10787806875Biblio

Neben den folgenden speziellen Sprengtechniken in der Gesteinsgewinnung siehe Näheres zur Sprengtechnik im Abschnitt „E Grundlagen der Sprengtechnik“.

- **Kesselsprengungen**

Unter einer Kesselsprengung versteht man das Aufweiten des Bohrlostiefsten mittels einer brisanten Sprengladung, um das Bohrloch für die Aufnahme einer größeren Menge Sprengstoff zu erweitern. Das Verfahren wird angewandt, wenn der Bohrdurchmesser zu klein ist, um die erforderliche Menge Sprengstoff aufzunehmen.

- **Lassensprengungen**

Von einer Lassensprengung spricht man, wenn vorhandene Spalten und Klüfte als Laderaum für den Sprengstoff benutzt werden. Mann erspart sich das Herstellen von Bohrlöchern. Der Laderaum ist mit Holzpflöcken und Lehm abzugrenzen. Gesprengt wird mit Pulversprengstoff.

- **Schnüren**

Um Werksteine zu gewinnen, werden in vorhandene Spalten oder Bohrlöcher kleine Sprengladungen gezündet, um vorhandene Trennflächen zu erweitern. Die Ladungen müssen so bemessen werden, dass der Werkstein nicht beschädigt wird.

- **Knäppersprengung**

Zur Nachzerkleinerung von zu groß angefallenen Gesteinsstücken werden Knäpper- oder die Auflegersprengung angewendet. Bei den „Knäppern“ werden Bohrungen vorgesehen, deren Tiefe etwa 2/3 der Brockenhöhe entspricht.

- **Gefährdung durch Steinflug**

Die Möglichkeit eines Steinfluges bei Sprengungen kommt in der Regel durch eine Verkettung mehrerer Faktoren zustande.

Zum einen können dies vorhandene Mehrausbrüche, zum anderen nicht einsehbare Hohlräume sowie Schwächezonen innerhalb des Gebirges sein. Weiterhin ist u. a. der Zustand des Gebirges zu berücksichtigen (Klüftigkeit, Verwitterungszustand). Entsprechende Absicherungen sind unabdingbar.

7.2 Mischladetechnologie

Seit der Einführung der Mischladetechnologie auf dem deutschen Sprengstoffmarkt durch die Westspreng GmbH Ende der 70er Jahre, wurde die Weiterentwicklung der Mischladesysteme konsequent vorangetrieben. Seit Ende der 90er Jahre steht mit der UMS-Mischladetechnologie ein für die Bedürfnisse des hiesigen Marktes konstruiertes Mischladesystem zur Verfügung.

Mit dem Mischladesystem UMS 2000 hat der Anwender die Möglichkeit, den Aufbau seiner Ladesäulen durch das Herstellen von ANFO-Emulsionssprengstoffen oder deren Mischungen individuell den Gegebenheiten anzupassen und die Herstellung von Sprengstoffen an den Verwendungsort zu verlagern.

Bei den Mischladefahrzeugen unterscheidet man grundsätzlich solche, die nach dem SMS (Site-Mixed-System) oder nach dem RPS (Repumpable-System) arbeiten. Beide

7541014/10787806875Biblio

Systeme stellen die Sprengstoffe erst an der Sprengstelle her und unterscheiden sich hauptsächlich darin, dass beim SM-System die Emulsionsmatrix aus den auf dem Fahrzeug mitgeführten Rohstoffkomponenten erst gemischt wird, während RPS-Fahrzeuge eine bereits im stationären Betrieb hergestellte Emulsionsmatrix mit sich führen. Beide Matrizes werden vor Ort zu Sprengstoff sensibilisiert.

Die Firma Westspreng baut seit mehr als drei Jahren die Mischladefahrzeuge UMS 2000. Die Bandbreite reicht vom 2-Achser mit 5 t Nutzlast bis hin zum 3-Achser mit 10 t Nutzlast. Mit diesem System ist es möglich, die Emulsion in den durch die Zulassungen bestimmten Grenzen herzustellen und pneumatisch in die Bohrlöcher zu laden. Das von Westspreng zum Patent angemeldete System Heavy-ANFO wird direkt am Bohrlochmund aus zwei im Mischladefahrzeug fertig gemischten Sprengstoffen, ANFO und EMEX, gemischt und pneumatisch in das Bohrloch geladen. Erst bei diesem Vorgang erfolgt die vollständige Mischung zu ANFOMEX. Das von der Westspreng entwickelte Mischrohr für Heavy-ANFO besteht aus einem Rohr, in dem Emulsionssprengstoff und ANFO zu Heavy-ANFO-Sprengstoff vermischt werden. Das von Hand zu tragende Mischrohr ist über zwei Schläuche mit dem Mischladefahrzeug UMS 2000 verbunden. Bedingt durch den langen Blas- und Pumpschlauch kann mit dieser Technik ein großer Aktionsradius abgedeckt werden, ohne das Mischladefahrzeug ständig umzusetzen.

Vergleichbare Sprengsysteme und Sprengstoffe werden u. a. von der Fa. Dexplo angeboten. Auch hier werden entsprechende Transportfahrzeuge eingesetzt, der eigentliche Sprengstoff vor Ort aus mehreren Komponenten gemischt und pneumatisch in die Bohrlöcher gepumpt. Eine genaue Vermessung der Bohrlöcher ist für die Berechnung der Sprengstoffladung unabdingbar.

Die Fa. DEXPLO bietet folgende Sprengstoffarten bzw. Verfahren an:

- Emulsionssprengstoff NITRAN 5 und 9 als Patronen,
- Gelatinöser Gesteinssprengstoff ERGODYN 30 E als Patronen,
- Pulversprengstoff ANFOREX in Säcken,
- Emulsionssprengstoff BLENDEX 80 und 100 für die Mischladetechnologie.

Während des Mischvorganges werden 20 % Ammoniumnitrat zugemischt und so der Sprengstoff sensibilisiert.

Abb. Ff-7a: Sprengstoff-Mischladefahrzeug UMS 2000 [WESTPRENG]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-7b:
Sprengstoffeinfüllung mit einem Mischrohr-System ANFO [WESTPRENG]

7.3 Neue Zündsysteme[26)]

Neben den Zündsystemen, wie im Kap. E „Grundlagen der Sprengtechnik“ beschrieben, wurden für kleinere und mittlere Sprenganlagen auch programmierbare elektronische Zündsysteme entwickelt.

Die Geräte arbeiten mit hoher Genauigkeit und sind sehr flexibel. Ein solches Gerät, das Uni tronic-Zündsystem, wird nachfolgend in Kurzfassung erklärt.

7.3.1 Zündgerät

Das Uni tronic-Zündsystem besteht aus programmierbaren elektronischen Uni tronic 500-Zündern, dem Zündgerät „Blast Box 310“ zum Programmieren und Zünden sowie dem Scanner 120 und dem Zündkreisprüfgerät „Network Tester“ zum Identifizieren und Testen der Zünder und des Zündkreises. Jeder Uni tronic-Zünder hat eine eindeutige Identifikationsnummer (ID), die während der Fertigung in den Chip programmiert wird. Diese eindeutige ID wird auf einem Barcode auf dem Zünderetikett angegeben, das am Zünderdraht nahe dem Verbinder angebracht ist.

Ein Laserscanner wird benutzt, um den Barcode zu erfassen. Der Uni tronic™-Zünder passt in die Zünderaufnahme aller konventionellen Zündverstärker.

Aufgrund von Schutzstrukturen wie Funkenstrecken und Eingangswiderständen (vergleichbar mit dem i-kon-Zündsystem) weisen auch die Uni tronic-Zünder eine höchstmögliche Sicherheit gegen Streuströme, Überspannungen, statische Elektrizität und elektromagnetische Strahlung auf.

26) Aus einem Aufsatz der Zeitschrift „Steinbruch und Sandgrube“, Ausgabe 9/2010 „Zündsystem für kleinere bis mittelgroße Sprenganlagen“

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-7c: links: Scanner – rechts: Uni tronic-Blast Box [Orica]

7.3.2 Arbeitsvorgang

Nachdem die Sprenganlage geladen ist, wird jeder Zünder über den Klippverbinder mit der Busleitung verbunden. Weiterhin muss jedem Zünder eine Zündzeit zugewiesen werden. Dazu wird mit dem Scanner die Zünder-ID vom Etikett eingelesen. Zur Vergabe der Zündzeit kann entweder ein Auto-Inkrement-Modus oder die numerische Tastatur auf dem Scanner verwendet werden. Die Zünder-ID ist neben dem Barcode auch in einer für den Anwender lesbaren Schrift auf dem Etikett angegeben. Die Liste der Zünder und Zündzeiten kann auf dem Scanner kontrolliert und uneingeschränkt bearbeitet werden. Das erfolgreiche Einlesen einer Zünder-ID wird auf dem Display mit dem Aufleuchten einer grünen LED bestätigt, zusätzlich wird ein Signalton gegeben.

Die gesamte Zündanlage, aber auch einzelne Zünder, können jederzeit mit dem eigensicheren Zündkreisprüfgerät auf Durchgang, Leckstrom oder Kurzschluss überprüft werden. Je nach Größe der Anlage bietet es sich an, diese Überprüfung sektionsweise durchzuführen, etwa Reihe für Reihe.

7541014/10787806875Biblio

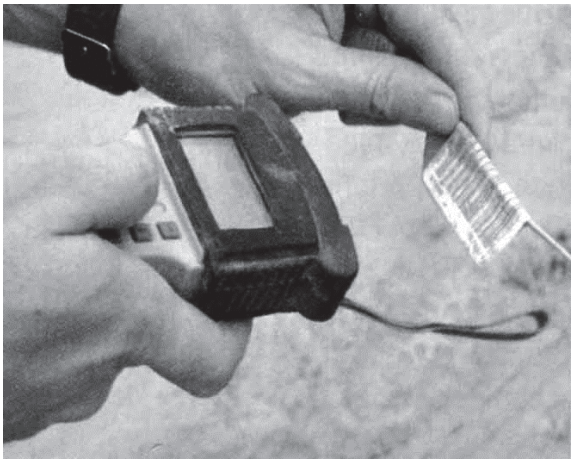


Abb. Ff-7d: Einlesen der Zünder-ID vom Barcode des Zünder-Etiketts [Orica]

7.3.3 Zündvorgang

Wenn die korrekte Funktion des Zündkreises überprüft ist, sind die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Programmierung der Sprenganlage hergestellt. Vor dem Verbinden der Blast Box mit der Zündanlage müssen die Sprengstelle und der Sicherheitsbereich geräumt sein. Das Zündgerät, die Blast Box 310, wird schließlich in sicherer Entfernung zur Sprenganlage aufgestellt und über eine herkömmliche Zündleitung mit der Sprenganlage verbunden.

Zum Einschalten der Blast Box 310 muss der Sprengberechtigte zunächst den digitalen Zündschlüssel in das Zündschloss stecken. Die Blast Box durchläuft dann einen Selbsttest und fordert zum Download der Zünderdaten, d. h. der eingescannten IDs und der zugewiesenen Zündzeiten auf.

Nach Durchlaufen der Programmiersequenz ist die Zündbereitschaft hergestellt und die Sprengung kann ausgelöst werden. Dazu müssen die beiden Zündtasten gleichzeitig gedrückt werden. Nach der Sprengung können die Informationen über die Zündanlage (Zünder-ID, Verzögerungszeit, Status bei der Programmiersequenz, Zündzeit) über eine serielle Schnittstelle der Blast Box ausgedruckt werden. Zur Erhöhung der Systemkapazität auf 1.000 Zünder in einer Sprenganlage ist eine Synchronisation von zwei Zündgeräten über ein Synchronisationskabel möglich.

7.3.4 Fernzündung über Funk

Das Uni tronic-Zündsystem ermöglicht auch eine Fernzündung über Funk. Dazu werden zwei Blast Boxen 310R (Remote) benötigt, die gemeinsam im Master-Slave-Modus arbeiten.

Die Funkfernzündung erfreut sich in der Praxis einer immer größeren Beliebtheit, da der in der Regel größere Abstand zur Sprenganlage logischerweise zu einer verbesserten Sicherheit beiträgt.

Darüber hinaus hat der Verantwortliche häufig eine bessere Übersicht über die Sprenganlage und kann daher plötzlich auftretende Gefahren selber besser erkennen.

7541014/10787806875Biblio

Ein weiterer praktischer Vorteil ist, dass das zum Teil aufwändige Verlegen der Zündleitung bis in die sichere Deckung bei einer Fernzündung entfallen kann. Neben einer direkten Zeitersparnis für die Sprengmannschaft führt dies häufig auch zu einer verlängerten Betriebszeit von Lade- und Bohrgeräten.

7.4 Laden und Transportieren

Ein gut organisiertes Lade- und Transportsystem ist wesentlich für die Wirtschaftlichkeit des Gewinnungsunternehmens.

Das durch genaue Bohrungen und professionelle Sprengung gelöste Gestein muss durch entsprechendes Lade- und Transportgerät für die Weiterverarbeitung abtransportiert werden. Schwerste Radlader und Großraum-Dumper gehören zu Erscheinungsbild eines Steinbruchs (Abb. Ff-8).

Abb. Ff-8: Radlader CAD 994 F mit 1.146 kW Motorleistung/12 Zyl. Nutzlast 38 t; der Schaufelinhalt von 36 m³ reicht, um mit einem Schaufelspiel spielend einen Großraum-Dumper mit einem Laderaum von ca. 24 m³ zu füllen.

7541014/10787806875Biblio

- **Beispiele für den Großgeräteeinsatz in Steinbrüchen**

Abb. Ff-9: Muldenkipper CAT 772, 399 kW/543 PS, Nutzlast. 46 t – Laderaum 31,3 m^3 – v_{max} = 80 km/h [CAT]

Abb. Ff-10: Großgeräteeinsatz in einem Kalksteinbruch [CAT]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-11: Mulden-Dumper CAT 775 und Radlader CAT 992G im Muschelkalksteinbruch Lukas Gläser in Kirchberg bei Backnang [CAT]

Abb. Ff-12: Liebherr-Hydraulikbagger Typ 984 – 106 t – 400 kW/543 PS – Löffelinhalt 6,2 m³ [V21]

8 Beispiele von Hartgestein- und Tonabbau

8.1 Kalksteinbrüche im Bereich Wülfrath

In der Gegend von Wülfrath gibt es mehrere Kalksteinvorkommen. Abgebaut wird zurzeit in den Steinbrüchen Prangenhausen und Rohdenhausen.

Der Abbau erfolgt durch Sprengen in folgenden Arbeitsschritten:

- Sprenglöcher bohren (bis zu 20 m ins Gestein),
- Sprenglöcher in die Mischladetechnologie verfüllen,
- Sprenglöcher zünden im Millisekundenabstand, um allzu starke Erschütterungen zu vermeiden.

7541014/10787806875Biblio

Das abgesprengte Gestein wird abtransportiert, um es in Kreiselbrechern zu zerkleinern. Über ein Transportband gelangt das zerkleinerte Gestein in die Wasch- und Vorsortieranlage. Diese besteht aus rotierenden Waschtrommeln und Schwingsieben. Die Siebe dienen zur Korngrößensortierung. Danach wird das Gestein im Glasierwerk nachgebrochen und zu Schotter, Splitt und Sand zermahlen oder in der Kalkbrennerei gebrannt.

In Wülfrath geschieht das in Drehrohröfen, die mit Braunkohlenstaub beheizt werden, der unter hohem Druck in den Ofen geblasen wird. Aus dem Ofen erhält man Stückkalk (Branntkalk), der zerkleinert oder zu Feinkalk zermahlen wird.

Abb. Ff-13: Beispiel für einen Kalksteinbruch im „Birnenaufschluss“ und Terrassenabbau [1]

8.2 Diabas – Abbau in Garching bei München

In Garching bei München wird das magmatische Gestein **Diabas** abgebaut, das sich hier vor mehr als 200 Mio. Jahren in Senkungsgebieten der Erdkruste bildete. Es zeichnet sich durch eine hohe Widerstandsfestigkeit aus. Diese Merkmale sind ausschlaggebend dafür, dass Diabas gerne im Straßenbau genutzt wird.
Warum das Material beliebt ist, hängt nicht zuletzt auch von seiner Helligkeit ab, die die Sicherheit auf den Straßen erhöht.
Inzwischen müssen die Straßen aufgrund des zunehmenden Verkehrs einiges an Mehrbelastung verkraften. Damit werden auch an die Baustoffe höhere Ansprüche gestellt. Der Diabas erfüllt die geforderten Qualitätskriterien hinsichtlich Griffigkeit im hohen Maß.

Der Abbau ist relativ aufwändig. Das Gestein muss durch Bohren und Sprengen gelöst werden. Typisch für den Diabas: Er ist sehr massiv, so dass eine direkte Gewinnung nicht in Frage kommt. Nicht selten fallen große Brocken an, die durch „Knäppern“ oder mittels Knäpperkugel zerkleinert werden. Dabei hebt ein Bagger die Kugel mit der Klappschaufel auf und lässt ihn auf den Brocken fallen. Ein einfaches, aber wirkungsvolles Verfahren.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-14: Hydraulik-Raupenbagger O&K RH 30 E mit Knäpperkugel [Schiegl]

Der gelockerte Diabas wird auf Mulden verladen, die ihn zur ersten Aufbereitungsstufe in die Vorbrechanlage transportieren, wo er in mehreren Stufen gebrochen und gesiebt wird, je nachdem, welches Produkt für den Straßenbau hergestellt wird. In erster Linie sind es Schottertragschichten, Pflastersplitte, Edelsplitte und Splitte für Asphalt und Betonmischanlagen. Ein Drittel der Produktion macht Frostschutz aus.

Abb. Ff-15: Brechanlage auf Raupenfahrwerk [Schiegl]

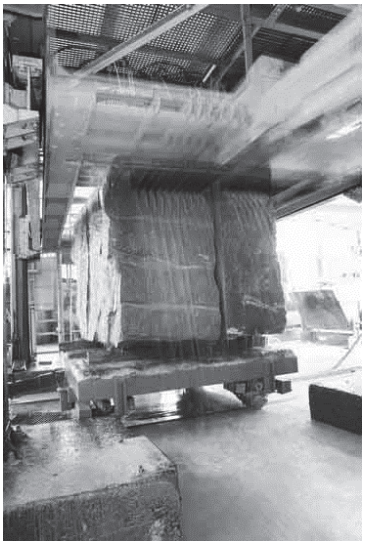
7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-16: Siebanlage auf Raupenfahrwerk [Schiegl]

8.3 Sandsteinabbau

Im Natursteinwerk Picard wird ausschließlich quarzithaltiger **Sandstein** aus eigenen Steinbrüchen gewonnen und verarbeitet. Die Produktpalette umfasst alles für den Baubedarf und Gärten: Fassadenbekleidungen für innen und außen, Bodenbeläge, Abdeckplatten, Mauerwerk, Brunnenanlagen, Treppen, Treppenbeläge und Fensterbänke.

Rohblöcke mit Standardblockmaß von ca. 230 cm in der Länge, bis zu 120 cm in der Breite (Lagerhöhe) und bis zu 140 cm in der Höhe und Halbfertigware können ebenso geliefert werden.



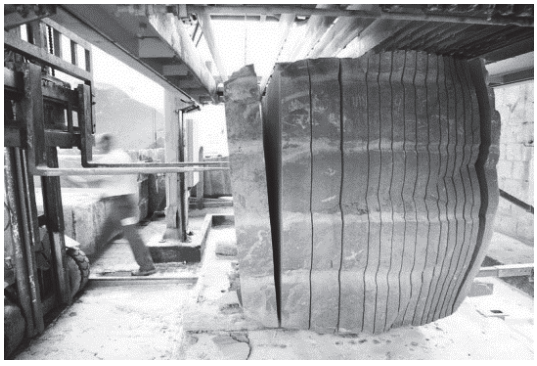


Abb. Ff-17: Links: Sandsteingatter
Rechts: Geschnittener Sandstein [Picard]

Im Steinbruch springen sofort die beiden Hauptabbauhorizonte ins Auge. Die untere Bank ist bis ca. 6 m mächtig und weist Nuancen von Hell- bis Dunkelrot auf. Die mit 3 m bis 4,5 m mächtige obere Bank zeigt neben Rot mehr die gelblich-weißen Farbtöne.

7541014/10787806875Biblio

Dazwischen befindet sich ein 1 m bis 2 m mächtiger Horizont feinkörnigen Sandsteins und Schluffsteine.

Das Material ist durch den Anteil an Quarzit sehr witterungsbeständig und daher für Außenanlagen, Brücken, Mauern und Monumentalbauwerke besonders geeignet. Eine weitere und auch historische Verwendungsmöglichkeit besteht in der Anwendung als Mühlstein. Er wurde mit Beginn der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts bis nach Russland und in die USA exportiert.

8.4 Tonabbau im Westerwald

Der Westerwald ist das älteste Tonbergbaugebiet in Deutschland – genannt: das Kannebäcker Ländchen.

Die Stephan Schmidt KG zählt heute zu den größten Produzenten von keramischen und feuerfesten Rohstoffen in Deutschland. Sie betreibt heute 15 Tagebaue im Westerwald und im Taunus sowie zwei in Sachsen. Das Unternehmen beschäftigt mehr als 170 Mitarbeiter und gewinnt aus seinen Tagebauen bis zu 1,4 Mio. t/a pro Jahr. Die Rohstoffprognosen für die einzelnen Grubenbetriebe gewährleisten eine Gewinnung an Qualitätsrohstoffen für die kommenden 120 Jahre.

Nach Gewinnung und Veredlung der Rohstoffe verlassen für ihren jeweiligen Einsatz spezifizierte Produkte das Unternehmen und finden in über 35 Ländern ihren Markt.

Hauptabnehmer sind vor allem Hersteller baukeramischer Produkte, sowie die sanitärkeramische Industrie, Porzellanfabriken, Feinsteingut- und Feinststeinzeug-Hersteller und die Emailindustrie. Benötigt werden die Produkte ferner zur Herstellung von feuerfesten Produkten, Bindemitteln und als Füllstoffe in der Kunststoff-, Gummi- und Futtermittelindustrie.

Außerdem finden Spezialtone ihren Einsatz im Spezialtiefbau und Deponiebau. Dieser vielseitige Absatzmarkt macht es der Stephan Schmidt KG möglich, sich einen Exportanteil von rund 60 % (inkl. europäischem Binnenmarkt) zu sichern.

In regionalgeologischer Hinsicht zählt die Lagerstätte zum sedimentären Tertiär des Westerwaldes. Die Lagerstätte ist im Bereich der Gruben „Wimpfsfeld I“ und „Wimpfsfeld II“ auf über 1,5 km Länge aufgeschlossen und weist bauwürdige Mächtigkeiten bis ca. 20 m bis 25 m auf. Über den an der Sohle anstehenden Gesteinen des devonischen Grundgebirges folgt die überwiegend tonig ausgebildete, sedimentäre Abfolge des Tertiärs. Die Basis der Tertiärfolge ist gelegentlich in bis zu 0,5 m mächtige Braunkohleflöze eingelagert

Abb. Ff-18: Panorama einer Tongrube im Westerwald [1]

7541014/10787806875Biblio

- **Abbau- und Gewinnungstechnik**

Zunächst wird der Abraum mit einem Tieflöffelbagger beseitigt und mit Dumpern auf eine Innenkippe geschüttet. Heute werden für diese Arbeit häufig schwere Maschinen wie etwa 80-t-Bagger oder Nutzlastmuldenkipper mit bis zu 40 t Nutzlast eingesetzt. Bei der relativ kleinen Grube der Stephan Schmidt KG kommt jedoch weniger schweres Gerät zum Einsatz.

Bei der Abraumwirtschaft wird der Abraum sortiert bzw. selektiert. Basalte zum Beispiel werden auf das ausgelenzte Liegende geschüttet. Mit dieser Maßnahme erreicht man eine größere Stabilität der Halde und beugt vor allem stehendem Wasser vor, das Hangrutschungen begünstigen würde.

Nachdem der Abraum auf die Innenkippe verbracht wurde, wird er mit Planierraupen eingeebnet und verdichtet. Auch durch die Kompaktierung und Verdichtung wird eventuellen Hangrutschungen vorgebeugt.

Nach dem Erreichen der Rohkippenhöhe wird eine Deckschicht von Mutterboden aufgebracht. Die Abraumhalde ist so für die Forstverwaltung für eine Bepflanzung mit Bäumen vorbereitet. Die Rekultivierung ist aufgrund von Umwelt- und Naturschutzgesetzen vorgeschrieben. Bei der unter Bergrecht stehenden Grube „Wimpfsfeld II“ ist das Rekultivierungsziel die Wiederaufforstung.

Das Fördergut wird mit Hydraulikbaggern der 25-t-Klasse (Komatsu, Liebherr), welche mit einer Tieflöffelausrüstung mit relativ kleinen Schaufeln und Vollkettenfahrwerk ausgestattet sind, abgebaut. Da die Lagerstätte aus 15–20 verschiedenen Einzelrohstoffen (Tonen) aufgebaut wird, ist ein selektiver Abbau notwendig. Die kleinen Schaufeln der Tieflöffelbagger ermöglichen es, sehr gut zu sortieren, und sind deshalb für den selektiven Abbau gut geeignet.

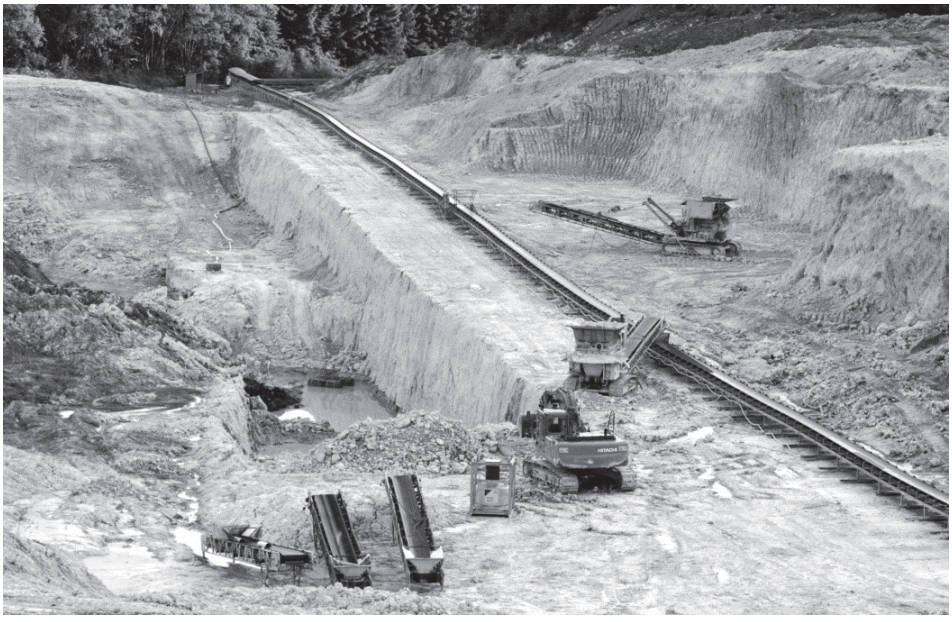


Abb. Ff-19: Tonabbau in Mengerskirchen (Westerwald) [4]

7541014/10787806875Biblio

Wird zum Beispiel für eine zu fertigende Tonmischung eine bestimmte Tonzusammensetzung benötigt, so kann der Baggerfahrer mit Hilfe der Tieflöffelausrüstung gezielt bestimmte Tonschichten sowohl unterhalb als auch oberhalb seines Standniveaus ansteuern und selektiv abbauen.

Zur Qualitätssicherung dient u. a. das schichtförmige Einlagern der verschiedenen Rohstoffkomponenten in überdachte Boxen mit eigens hierfür konstruierten Förder- und Abwurfbändern.

Mit mehr als 75.000 t Durchsatz pro Monat in vier Homogenisierungs- und Mischwerken kann direkt auf die Kundenwünsche eingegangen werden.

Tone werden selektiv nach Bedarf abgebaut und nach gewissen Rezepten gemischt, um eine bestimmte Tonkomposition im Bunker zu erhalten. Die Aufbereitungsanlagen Maienburg und Sedan haben eine Produktionskapazität von insgesamt 310.000 t/a und sind damit die größten und modernsten ihrer Art im deutschen Tonbergbau.

8.5 Kaolinabbau

Kaolin, auch als Porzellanerde, Porzellanton, Aluminiumsilikat oder in der Apotheke als Bolus Alba oder Pfeifenerde bezeichnet, ist ein feines, eisenfreies, weißes Gestein, das als Hauptbestandteil Kaolinit, ein Verwitterungsprodukt des Feldspats, enthält. Weitere Bestandteile sind verschiedene andere Tonminerale und unzersetzte Feldspatteilchen. Kaolin kann ebenso wie Ton je nach Festigkeit auch zu den Erden gezählt werden.

Kaolin wird hauptsächlich bei der Papierherstellung und Porzellanbereitung verwendet. Daneben wird Bolus Alba unter anderem als Bestandteil mancher Pudergrundlagen verwendet und auch Lebensmitteln zugesetzt.

Der Preis für 1 t Kaolin bewegte sich in den Jahren 2003 bis 2005 konstant um 70 britische Pfund, da der Verbrauch nur wenig geringer ist als die Fördermenge. Im Jahre 2003 wurde ein Verbrauch von 45 Mt durch eine Fördermenge von 45,6 Mt abgedeckt.

Lagerstätten von Kaolin sind ziemlich selten. Nennenswerte Lagerstätten befinden sich in Deutschland, England, USA, Südamerika, Japan, China, Indien und den Philippinen. Die weltweit sicheren und wahrscheinlichen Vorräte werden auf 14,2 Mrd. t berechnet.

Die größten Produzenten sind Kolumbien, die USA, Brasilien, Usbekistan und Deutschland. Aus diesen Ländern stammten 2003 rund zwei Drittel der Jahresproduktion.

Die weltweite Jahresproduktion von Kaolin betrug im Jahr 2003 45,6 Mio. t. Ausgehend von diesen Daten reichen die weltweiten Kaolinvorräte noch für ungefähr 300 Jahre bis ins Jahr 2300.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-20: Kaolinabbau bei Hirschau in der Oberpfalz [1]

Das Hauptabbaugebiet für Kaolin in Deutschland befindet sich bei Hirschau in der Oberpfalz sowie in Lohrheim im Taunus. Ein weiteres Abbaugebiet liegt im mittelsächsischen Hügelland bei Seilitz und Kemmlitz („Börtewitzer Becken“). Das dortige Vorkommen wird für das berühmte Meißener Porzellan gewonnen und ist über eine kaolinitische Verwitterung der dortigen Granite entstanden.

- **Seilitz! – Das kleinste Bergwerk Deutschlands**

Das Bergwerk der „Staatlichen Porzellan-Manufaktur Meissen“ in Seilitz ist heute eine Besonderheit. Es ist das kleinste Bergwerk Deutschlands und die älteste noch in Betrieb stehende Kaolingrube für besonders reines Kaolin in Europa. Die Grube ist von großer Bedeutung für die regionale Wirtschaft.

Im engeren Sinne bietet die Grube heute Arbeit für drei Bergleute, im weitere Sinne für etwa 900 Meissener Manufakturisten in der „Staatlichen Porzellan-Manufaktur Meissen“, in der das weltberühmte „Meissener Porzellan“ hergestellt wird, das wiederum jährlich zahlreiche Touristen nach Meissen und in die Region zieht.

8.6 Granitabbau

Granit kommt weltweit vor. In früheren Zeiten war der Abbau des Gesteins im Tagebau eine körperlich sehr schwere Arbeit. Heute wird er durch Bohr- und Sprengarbeit gelöst und mit schwerem Gerät geladen und transportiert. Das Gestein liegt unterschiedlich tief im Boden. Entsprechend aufwändig ist der Tagebau.

Deutschland ist sehr reich an Granitvorkommen. Vor allem die Mittelgebirge liefern viel von diesem Gestein. Große Abbaugebiete sind der Bayerische und der Oberpfälzer Wald. Seit über 100 Jahren findet dort eine Ausbeutung der Granitvorkommen statt. Wie ein Keil zieht sich unterirdisch der Granit Richtung Donau. Ferner wird im Fichtelgebirge Granit gefördert. Bohrungen haben ergeben, dass knapp die Hälfte von diesem Mittelgebirge aus Granit besteht. Dies sind etwa 350 km^2. Weitere Schwerpunkte im deutschen Granitabbau sind das Erzgebirge und der Harz. Ebenfalls Vorkommen von diesem Gestein finden sich im Odenwald und dem Schwarzwald.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-21: Blick in einen Granitsteinbruch in der Oberpfalz [Schiegl]

Je nach Herkunftsregion fällt die Farbgebung des Granits aus. Experten können an der Zusammensetzung und Färbung der Quarze erkennen, in welchem Land der Granit gebrochen wurde.

Für die Gewinnung von Blöcken und Platten wird heute überwiegend das Diamantseilverfahren angewendet. Vor beinahe 30 Jahren erfand Diamant Boart das erste Diamantseil für den Marmorabbau in Steinbrüchen. Der Erfolg zeigte sich gleich von der Inbetriebnahme der ersten Seile in Carrara an, denn innerhalb weniger Monate tauschten alle Steinbrüche ihre Drahtseil-Sägewerke gegen die neuen Diamantseil-Schneideausrüstungen aus.

Mitte der 1980er Jahre führte Diamant Boart als erster ein Diamantseil in den Granitsteinbrüchen ein. Dieses sollte die langwierige und geräuschvolle Schneidetechnik per Flammenlanze ablösen. Der Erfolg trat sofort ein, und zwar in dem Maße, dass heute die meisten Granitsteinbrüche dieses neue Schneideverfahren anwenden. Ungefähr 1987–1988 begann Diamant Boart Seile zum kantigen Zurichten der Steinblöcke und dann zum Schneiden von dicken Platten zu entwickeln.

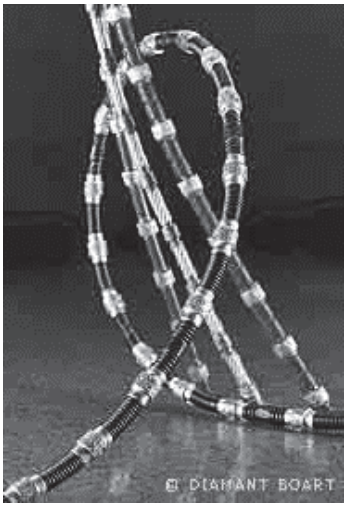


Abb. Ff-22: Diamant-Schneidseil (Schema) [Diabo]

7541014/10787806875Biblio

Die Marmor- und Granitproduzenten entdeckten sehr schnell die Vorteile dieser neuen Produkte: Produktivität, Flexibilität in der Anwendung, Qualität der Sägeflächen, ökologische Gewinnung – geringer Energieverbrauch und geringe Lärmbelästigung.

Dann entwickelte Diamant Boart dünne Seile für numerisch gesteuerte Maschinen, welche verschiedenartigste Profile in Marmor und Granit schneiden.
Über ein Antriebsaggregat mit einem Elektromotor wird ein Endlos-Seil über Umlenkrollen angetrieben. Die Schnittgeschwindigkeit des Sägeseils wird nach dem Sägestart langsam bis zur erforderlichen Schnittgeschwindigkeit hochgefahren. Die Schnittleistung beim Diamantsägeseil liegt je nach Material zwischen 8 m bis 16 m/h.

Das Antriebsaggregat wird kontinuierlich versetzt und hält das Seil in Spannung. Im Inneren von Diamantseilen befindet sich ein Stahlseil, auf das ca. 8 mm im Durchmesser messende runde „Hartmetallperlen“ aufgereiht sind.
Der Abstand der Hartmetallperlen beträgt ca. 2,5 cm. Sie sind mit künstlichen und natürlichen kleinen Diamanten besetzt.

Die Diamantseile werden beim Sägeeinsatz mit Wasser gekühlt. Sie sind je nach Anforderung unterschiedlich lang. Die Diamantperlen wurden früher mit Stahlfedern auf Abstand gehalten, heute sind es Kunststoffhülsen.

Abb. Ff-23: Aus einem Granitblock werden Hilfe der Diamantseiltechnik Platten geschnitten [Diamant Boart]

Im Steinbruch müssen, bevor das Sägeseil eingeführt wird, eine horizontale und eine vertikale Bohrung ausgeführt werden, die sich genau treffen. In diese Bohrungen wird das Seil eingeführt und anschließend werden die Seilenden verschraubt.

7541014/10787806875Biblio

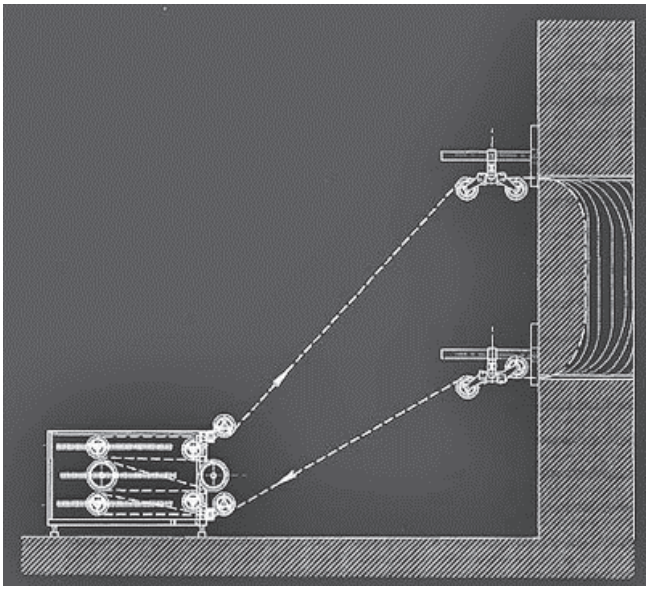


Abb. Ff-24: Diamant-Seilschneidsystem [Diamant Boart]

Seilsägen verrichten folgende Arbeiten:

- Steinbrüche: Rohblöcke werden im Steinbruch mit der Diamantseilsäge und Helikoidalsäge aus dem anstehenden Fels gewonnen.
- Steinverarbeitende Betriebe: Sägen von Konturen (vergleichbar mit überdimensionierten Laubsägen) der sogenannten Tranchen (großformatige unbekantete Platten ab ca. 8 cm Dicke aufwärts) sind möglich. Dafür entwickelten Maschinenbauer die Konturenseilsäge, deren schwenkbare Sägeeinheit einen hohen Freiheitsgrad für die Gestaltung eines Rohlings ermöglicht.
- Steinverarbeitende Betriebe: Ferner werden einfache Seilsägen dafür genutzt, um von Steinblöcken, die für die Gattersäge zu lang sind, oder für Kleinaufträge einzelne Tranchen von den Steinblöcken abzusägen.

Abb. Ff-25: Granitgewinnung 1926 [1]

7541014/10787806875Biblio

8.7 Schieferbergwerke

8.7.1 Schiefergewinnung in Deutschland[27)]

In Deutschland wird Schiefer von drei Unternehmen gewonnen:

- B. Rathscheck Söhne KG,
- Schiefergruben Magog GmbH & Co. KG,
- Vereinigte Thüringische Schiefergruben GmbH & Co. KG Unterloquitz.

Die beiden ersten Firmen bauen Lagerstätten im **Rheinischen Schiefergebirge**, nämlich Mayen in der Eifel und **Bad Fredeburg** im Sauerland. Im **Thüringischen Schiefergebirge** ist das dritte Unternehmen beheimatet. Insgesamt sieben Bergwerke sind in Produktion, davon sind sechs Tiefbaugruben.

Kennzeichnend für die Schieferindustrie ganz Europas ist der mittelständische Charakter der Unternehmen und der schlanke Personalstamm. Der Großteil der Beschäftigten ist über Tage in der Weiterverarbeitung angesiedelt.

8.7.2 Gewinnungsverfahren

Das Hauptprodukt der schieferproduzierenden Betriebe ist der Dach- und Wandschiefer. Bei der Wahl des Gewinnungsverfahrens ist daher zu berücksichtigen, dass möglichst große Blöcke schonend gewonnen und gefördert werden. Angewendet wird grundsätzlich ein Kammerbauverfahren. Man unterscheidet eine schwebende oder fallende Entwicklung der Lagerstätte, welche als **Firstenkammerbau** oder Strossenkammerbau bezeichnet wird. Der Strossenkammerbau hat gegenüber dem Firstenkammerbau einige gravierende Nachteile:

Die Firste muss gesichert werden und auch langfristig mittels einer Bühne o. Ä. kontrollierbar sein.

Die Festen zwischen den Abbaukammern müssen stärker dimensioniert sein, um Seitendrücke im späteren Abbaustadium aufnehmen zu können.

Die gesamte Kammer muss beräumt werden. Da bei Gewinnung von Schiefer immer zwischen 30 und 60 % des Kammerinhaltes als Berge bereits im Abbau anfallen, bedeutet dies eine erhebliche Belastung der Förderung.

In einem schwebenden Verfahren kann man diese Berge direkt als Versatz liegen lassen und als Arbeitsfläche verwenden.

Als Vorteil ist jedoch zu sehen, dass beim Strossenkammerabbau relativ einfache Maschinen ungehindert eingesetzt werden können. Vor allem beim Einsatz von gleisgebundenen Maschinen (z. B. Schrämmaschinen) sind die Vorteile erheblich. Bei dem zunehmenden Einsatz von gleisloser LHD-Technik (Load-Haulage-Dumper) schwinden diese Vorteile jedoch.

27) Quelle: http://straeten.org/schriften/schiefer/gewinnung.htm

7541014/10787806875Biblio

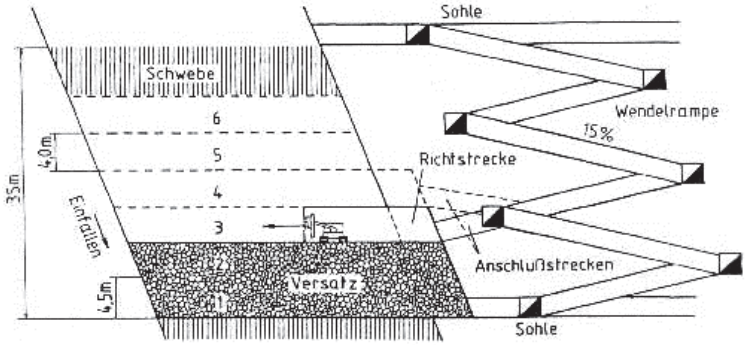


Abb. Ff-26a: Schema des Firstenkammerbauverfahrens [V75]

8.7.3 Gewinnungsmethoden

Neben dem in China heute immer noch gebräuchliche Handschrämen kommen in Europa drei maschinell unterstützte Gewinnungsmethoden zum Einsatz:

- sprengende Gewinnung,
- schrämende Gewinnung,
- sägende Gewinnung.

Bei der **sprengenden Gewinnung** wird das klassische Verfahren mit Bohren und Sprengen angewendet, wobei versucht wird, möglichst schonend zu sprengen, um die Blöcke nicht unnötig zu zerkleinern.

Bei der **schrämenden Gewinnung** sind Kettenschrämmaschinen im Einsatz, die beim Strossenabbau gleisgebunden Verwendung finden.

In der **sägenden Gewinnung** wurden zuerst Seilsägemaschinen eingesetzt. Der Sohlenabbau wurde dazu U-förmig durch eine Richtstrecke und zwei Seilsägequerschläge freigelegt. Dann sind drei Schnitte erstellt worden, der Firstschnitt, der Sohlschnitt und der Diagonalschnitt, so dass dann der untere und obere Keil hereingewonnen werden konnten.

Das moderne Verfahren verwendet an Auslegern montierte, von Elektromotoren angetriebene Sägen, mit denen verschiedene Sägemuster erstellt werden können, angepasst an die geologischen und petrologischen Bedingungen.

7541014/10787806875Biblio

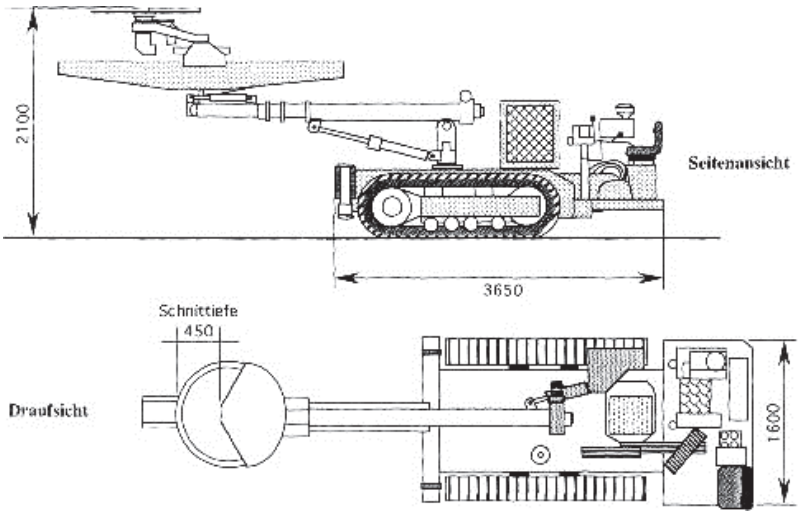


Abb. Ff-26b: Schematische Darstellung eines modernen Sägewagens [V75]

8.7.4 Firstenkammerabbauverfahren

Einem aktuellen Forschungsvorhaben zufolge scheint das am meisten geeignete Verfahren (in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten) die Anwendung eines Firstenkammerabbauverfahrens zu sein. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die beim Abbau anfallenden Berge direkt als Versatz in der Kammer verbleiben können und keine langfristige Sicherung der Firste eingebracht werden muss.

Als Gewinnungsgeräte werden Sägewagen eingesetzt, die über von Elektromotoren angetriebene Sägen verfügen. Diese sind auf Lafetten montiert, welche horizontal und vertikal frei schwenkbar und auf Teleskoparmen angebracht sind. Sägewagen ermöglichen die Durchführung an die Lagerstätte angepasster Sägeraster und damit eine schonenden Gewinnung möglichst großer Rohschieferblöcke. Durch ein Raupenfahrwerk verfügen sie über eine hohe Flexibilität. Das Ausbringen gegenüber der Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit beim Lösen von Schiefer beträgt etwa das Doppelte.

Zum Herauslösen der Schieferblöcke sind Beraubungsgeräte im Einsatz, die die vorher gesägten Blöcke aus der Ortsbrust entfernen.
Diese sind identisch zu den Sägewagen, nur das anstatt einer Sägeanlage ein hydraulischer Schlagkopfhammer montiert ist. Der Hammer ist mit einem Fachmeißel versehen und löst den Block in angemessener Geschwindigkeit entlang der Schieferung durch die Schlagwirkung aus dem Gesteinsverband heraus. Als neueste Entwicklung ist das Spreizsystem zu sehen, welches in Kombination mit einem zweiten Schlagkopfhammer, der mit einem Spitzmeißel versehen ist, und elektronischer Steuerung mit dem ersten Hammer noch bessere Löseergebnisse erzielt.

7541014/10787806875Biblio

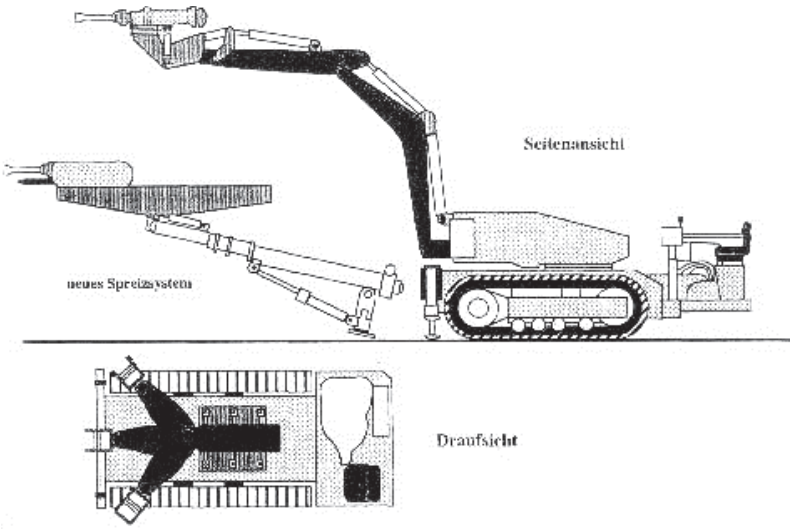


Abb. Ff-26c: Schematische Darstellung eines Beraubewagens mit neuem Spreizsystem [V75]

Das Laden und Fördern der Schieferblöcke wird von LHD-Fahrzeugen übernommen, welche alle Vorteile der Gleislostechnik in den Schieferbergbau bringen. Sie sind schnell, sehr flexibel einsetzbar und wirtschaftlich. Beim Ausfall eines LHD muss nicht der gesamte Förderstrom zum Stillstand kommen, ein anderes Fahrzeug tritt an seine Stelle.

8.7.5 Gewinnungsverfahren in den deutschen Schieferbergwerken

Die Firma I. B. Rathscheck Söhne GmbH betreibt zwei Bergwerke in Mayen, es sind dies die Gruben Katzenberg und Margareta. Die Schieferlager fallen hier mit etwa 70 gon nach Südosten hinein. Angewendet wird hier ein Firstenkammerbauverfahren. Anzumerken ist noch, dass auf dem Bergwerk Katzenberg nur die Förderung zwischen den Sohlen und bis zum Füllort mit Gleislostechnik erfolgt.
Die Förderung nach über Tage erfolgt durch einen Schacht mit einem Förderkorb. Im Bergwerk Margareta erfolgt die gesamte Förderung nach Übertage mittels einer Wendel mit Gleislostechnik.

Das Unternehmen Schiefergruben Magog GmbH & Co. KG unterhält zwei Tiefbaue in Bad Fredeburg im Sauerland. In den beiden Gruben Magog und Felicitas wird eine Kombination von Firsten- und Strossenkammerbauverfahren verwendet. Als Gewinnungsmethode ist ebenfalls die Sägemethode im Einsatz.

Bei den Vereinigten Thüringischen Schiefergruben GmbH & Co. KG sind sowohl zwei Tiefbaue als auch ein Tagebau in Betrieb. Es handelt sich hierbei um die Gruben Glückauf und Lehesten sowie den Tagebau Schmiedebach. In den Gruben Glückauf und Lehesten wird ein Firstenkammerbauverfahren angewendet. Allerdings wird hier der Schiefer durch die Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit aus dem Gesteinsverband gelöst. Das Laden und Fördern erfolgt ebenfalls über Gleislostechnik bis nach über Tage.

7541014/10787806875Biblio

Im Tagebau Schmiedebach wird das überlagernde Gebirge nach dem klassischen Festgestein-Tagebauverfahren mit Sprengstoff gelöst. Bei der Gewinnung des Schiefers wird ein Sprengstoff verwendet, der ein möglichst schonendes Hereinsprengen und Lösen ohne unnötige Zerkleinerung ermöglicht. Das Laden und der Transport des Rohschiefers erfolgen über Radlader und SKW. In diesem Tagebau wird ein besonderer gebänderter Schiefer gewonnen.

Er zeichnet sich durch Bänder im Schiefer aus, welche ein etwas abweichendes Kornspektrum besitzen und auf zeitweise unruhige Sedimentationsbedingungen während der Diagenese hinweisen. Dieser Schiefer wird nicht als Dachschiefer verwendet; aus ihm werden Produkte wie Wegeplatten und Mauersteine sowie Blähschiefer, Schiefersplitt und -mehl hergestellt.

8.7.6 Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Katzenberg[28)]

Das nach Produktion größte Schiefer-Bergwerk in Mitteleuropa ist das Moselschiefer-Bergwerk Katzenberg. Es gehört in Deutschland zu den Schieferbergwerken, die noch einen Untertageabbau betreiben.

Der Beginn des Moselschiefer-Bergwerks Katzenberg geht bis in die Spätantike zurück. Gewinnung am Katzenberg wird erstmals in Pachtverträgen 1362 bzw. 1408 urkundlich erwähnt. Dabei geht aus dem Vertragstext hervor, dass es sich um eine Weiterführung eines vorhandenen Abbaus handelt. Maschinenbetriebene Schachtförderung wurde 1870 eingeführt.

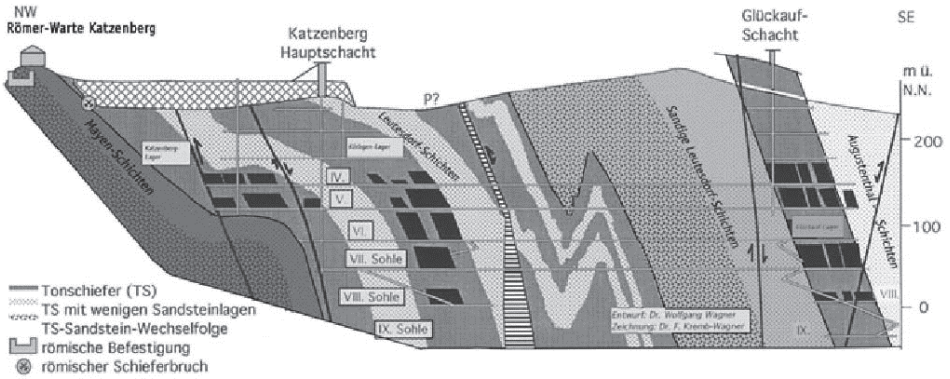


Abb. Ff-27a: Geologischer Schnitt durch das Schiefervorkommen mit Hauptschacht und Glückauf-Schacht sowie Sohlenaufschluss [75]

Ursprünglich handelte es sich um drei getrennte Tiefbaubetriebe (Katzenberg, Reiff und Glückauf), die ab der 4. Tiefbausohle zu einem Verbundbergwerk zusammengeschlossen wurden. Bis 1958 lag der alte Hauptförderschacht am Nordost-Ende des Abbaufeldes.

28) Quelle: http://www.moselschieferstrasse.de/index.php/bergwerk/91/0/

7541014/10787806875Biblio

Der heutige Hauptförderschacht wurde 1959 in Betrieb genommen und reicht mit seinem 2-trümigen Schachtquerschnitt bis zur 7. Sohle in 220 m Teufe. Ein weiterer Tagesschacht, der Glückaufschacht, führt bis zur 5. Sohle und dient der Bewetterung. Neben der gleisgebundenen 7. Sohle sind heute bereits eine 8. und eine 9. Sohle mit Rampen gleislos erschlossen.

Heute erreicht das Bergwerk Katzenberg eine Teufe von über 300 m. Die 9. Sohle liegt bereits unter dem Meeresspiegel. Die Gewinnung des Schiefers erfolgt im sogenannten Rheinischen Abbauverfahren, einem Firstenkammerbau mit querschlägigem Verhieb.

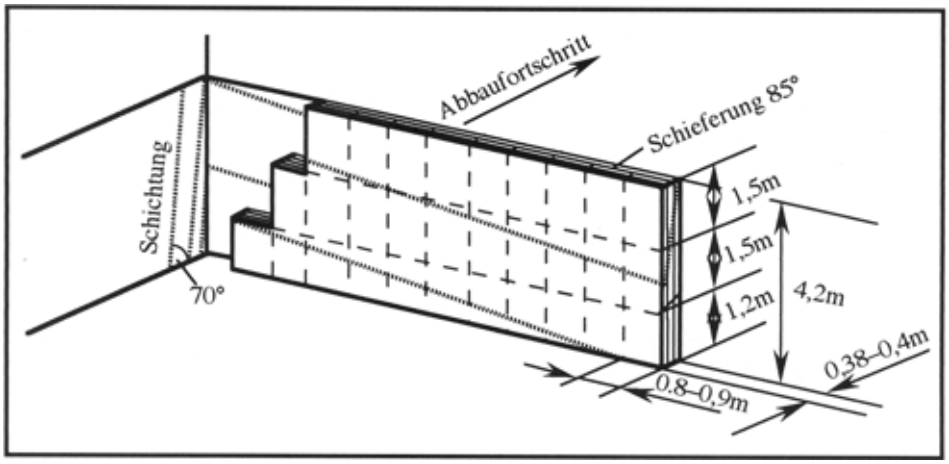


Abb. Ff-27b: Die Abbaufront (Ortsbrust) wird mit einem festen Raster gesägt. [V75]

Das Abbaufeld wird mit einer (meist) hangenden Richtstrecke erschlossen, die im Bereich der Abbaukammern zu einem Querschnitt von 2,2 m × 4,5 m erweitert wird. Querschlägig dazu wird das eigentliche Schieferlager mit Sägetechnologie gewonnen. Mit einem hydraulischen Sägewagen werden Schnitte in einem festen Muster angelegt, die dann mit einem Beraubewagen mit Spaltmeißel von der Wand abgespalten werden.

Die hydraulischen Sägewagen, die in den Moselschiefer-Bergwerken im Einsatz sind, sind spezielle Entwicklungen für den Schiefer-Bergbau. Nach Abbau einer ca. 4 m hohen Abbauscheibe wird die Richtstrecke weiter hochgefirstet und unter Verwendung von Eigenversatz die Kammer verfüllt und die nächste darüber liegende Scheibe gewonnen.
So erfolgt die Gewinnung von unten nach oben. Kontinuierlich erfolgt eine Erschließung durch Förderrampen. Die Gewinnung des Schiefers erfolgt im sogenannten Rheinischen (oder schwebenden) Abbauverfahren, einem Firstenkammerbau mit querschlägigem Verhieb.
Die Abforderung übernehmen zunächst mobile Transportgeräte gleislos. Die Rohblöcke werden dann in Loren verladen und gleisgebunden durch den Hauptförderschacht abgefördert.

Die Produktion des heimischen Moselschiefers wurde in den letzten 15 Jahren durchgreifend modernisiert. Heute gilt die zentrale Fertigung für beide Moselschiefer-Bergwerke Katzenberg und Margareta als mit die modernste Schiefer-Fertigungsanlage für ein hochwertiges Formatprogramm.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-27c: Schiefertongewinnung – Untertage-Bergwerk Katzenberg [V75]

Abb. Ff-27d: Transport des Rohmaterials zu Weiterverarbeitung [V75]

8.7.7 Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Margareta[29)]

Der Schieferbergbau im Bereich des Bergwerks Margareta geht bis ins 15. Jahrhundert zurück. Bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts erfolgte der Abbau über Stollen noch oberhalb der Talsohle. Ab etwa 1870 wurde am Fuß der heutigen Halde (Kellbach) ein Bremsberg angelegt, der die ersten Tiefbausohlen erschloss (sogenannter „Unterer und Oberer Stollen“).

1928 wurde der jetzige Hauptschacht abgeteuft, dessen Schachtgerüst noch in ursprünglichem Zustand ist. Dieser Schacht wurde schrittweise bis zur jetzigen Teufe von 220 m bis zur 7. Sohle (+ 23 m NN) geführt. Der Schiefer des Bergwerks Margareta entspricht in der Qualität dem des Moselschiefers und ist gleichwertig mit dem Schiefer des Bergwerks Katzenberg.

29) Quelle: http://www.moselschieferstrasse.de/index.php/bergwerk-Mar/113/0/

7541014/10787806875Biblio

Nachweislich kommt der Schiefer des Jakobs-Kapellchen der Heidger Mühle/Maifeld aus dem Bergwerk Margareta. Dieses Kapellchen von 1756 besaß bis vor wenigen Jahren die ursprüngliche Dachdeckung, die über 200 Jahre überdauerte. Lange galt dieses Dach als das älteste noch ursprüngliche (funktionstüchtige) Schieferdach in Europa.

Abb. Ff-28a: Das Jakobs-Kapellchen mit Schiefer-Dachdeckung [V75]

8.7.8 Schieferbergbau im Sauerland

Der Schieferbergbau im Sauerland konzentrierte sich im Wesentlichen auf das Revier südlich des Rothaargebirges, auf das Fredeburger und Nuttlarer Revier. In allen Gebieten wurden Tonschiefer aus unterschiedlichen Horizonten des Mitteldevons gewonnen. Neben Dachschiefer wurden auch größere Schieferplatten produziert. Ferner spielte zeitweilig die Herstellung von Schiefertafeln für Schulen eine wichtige Rolle. Nach einem starken Rückgang belebte sich der Schieferbergbau erst bei Beginn der Wiederaufbauphase nach dem Zweiten Weltkrieg kurzfristig noch einmal. Danach führte jedoch der Konkurrenzdruck von billigem ausländischem Schiefer (z. B. aus Spanien) zum weitgehenden Niedergang des einheimischen Schieferbergbaus. Der Grund hierfür war das hohe Lohnniveau in Deutschland, das sich beim arbeitsintensiven Schieferbergbau besonders stark auswirkt.

Zurzeit arbeiten im Sauerland noch zwei Betriebe, denen es bisher gelang, durch Rationalisierung und Mechanisierung von Abbau und Schieferbearbeitung einen Teil der Kosten aufzufangen.

Es bleibt zu hoffen, dass es durch die Rückbesinnung auf natürliche Baustoffe wieder zu einer Belebung des Schiefermarktes kommen wird und so dieser jahrhundertealte Bergbauzweig erhalten bleibt.

Abgesehen von verschiedenen kleineren Schiefergruben in anderen Gebieten lassen sich innerhalb des Sauerlandes verschiedene Regionen unterscheiden, in denen sich der Schieferbergbau in der Vergangenheit und Gegenwart konzentrierte:

– Das Raumländer Revier im Gebiet um Bad Berleburg, das bereits außerhalb des engeren Sauerlandes im Wittgensteiner Land liegt.

7541014/10787806875Biblio

– Das Fredeburger Revier im Rothaargebirge zwischen Schmallenberg und Willigen, in dem sich die wichtigsten Vorkommen konzentrieren und auch heute noch Bergbau umgeht.
– Das Nuttlarer Revier, das sich im nördlichen Sauerland zwischen Meschede und Brilon erstreckt.

Bis zu Beginn der siebziger Jahre erfolgte der Abbau der Schiefer in konventioneller Weise durch Bohr- und Sprengtechnik im Kammerbau. Seitdem wurde der Abbau im Zuge von Rationalisierungsmaßnahmen weitgehend mechanisiert. Hierzu wird in den Abbaukammern eine Schieferfläche von ca. 20 m Breite und 5 m Höhe freigelegt, aus der dann mit Sägegeräten Schieferblöcke von etwa ein bis zwei Quadratmetern Größe und 0,5 m Stärke herausgetrennt werden. Diese Platten werden mit Hydraulikhämmern aus der Wand gelöst und anschließend über eine Grubenbahn zu Tage gefördert. Das Sägeverfahren hat nicht nur die Arbeitsbedingungen der Belegschaft erheblich verbessert, sondern vermindert vor allem auch den hohen Abraumanfall (s. Abb. Ff-28b), der sich bei der sprengtechnischen Gewinnung ergibt.

Abb. Ff-28b: Durch Sprengung unter Tage gelöstes Schiefergestein [V75]

Der Abraum wird heute hauptsächlich unter Tage zum Versetzen der ausgebeuteten Abbaukammern benutzt. Trotz des Versatzes der meisten Abbauhohlräume stellen auf dem Verbundbergwerk Gomer immer wieder auftretende Einbrüche der Tagesoberfläche ein Problem dar. Ein Tagesbruch im Jahr 1976 wurde zum Anlass für eine großräumige Lagerstättenerkundung und die nachfolgende Modernisierung des Bergbaubetriebes genommen.

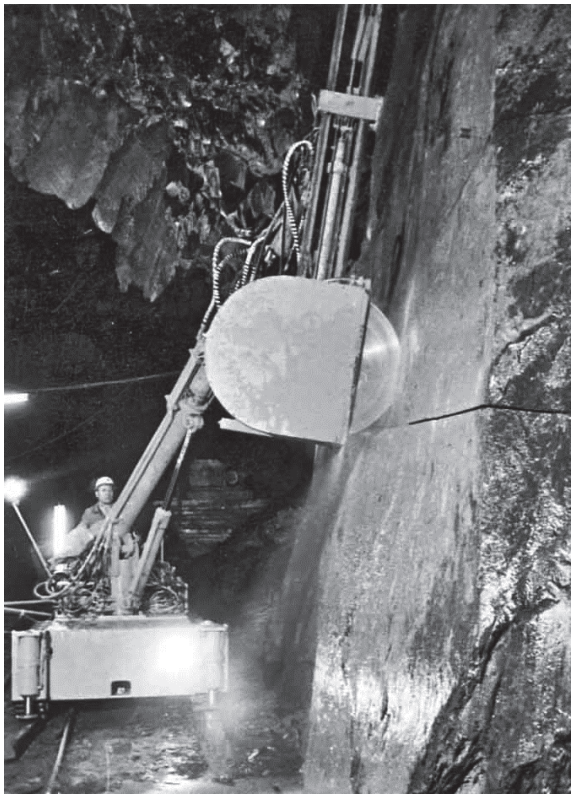
Noch im Jahr 1990 brachen aber alte, längst stillgelegte Abbauhohlräume im Bereich der alten Grube „Bierkeller“ zusammen, wodurch ein an der Erdoberfläche stehendes Gebäude zerstört wurde.

Zur Vermeidung von Sprengerschütterungen und auch zur Vermeidung von sehr viel Sprenghaufwerk verwendet man spezielle hydraulische Gesteinssägen (Abb. Ff-29). Hiermit erzielt man die Gewinnung von großen Blöcken, die wesentlich mehr Nutzmaterial ergeben

7541014/10787806875Biblio

8.8 Marmorgewinnung in Deutschland

Der Name **Marmor** stammt von dem Altgriechischen Mármaros (marmairein = schimmern). Marmor ist ein metamorphes Gestein, zumindest wenn er hälftig aus Calzit oder Dolomit besteht.



Marmor entsteht durch Umwandlung von Sedimenten und Kalksteinen unter Einfluss von hohem Druck und hoher Temperatur infolge tektonischer Bedingungen (Regionalmetamorphose) oder durch Kontaktmetamorphose im Zusammenhang mit aufsteigenden Magmakörpern aus dem Erdmantel. Sind dolomitische Grundmassen umgewandelt worden, spricht man von einem Dolomitmarmor.

Abb. Ff-29: Einsatz einer hydraulischen Gesteinssäge bei der Untertage-Gewinnung von Schiefer [1]

Bei der Kontaktmetamorphose intrudieren granitische Magmen in die Erdkruste. Diese Magmakammern erreichen die Erdoberfläche nicht, sondern verbleiben in der Erdkruste, wo sie über Jahrtausende zu Granit oder magmatischen Gesteinen ähnlicher Zusammensetzungen abkühlen. Während dieser Periode können sich sedimentäre Nachbargesteine um den Granitpluton herum zu Marmor umwandeln, sofern es sich um Kalkgesteine handelt. Bei der sogenannten Regionalmetamorphose werden die großen Gesteinsmengen unter Druck und Hitze ohne Magmenkontakt umgewandelt.

Diese Prozesse laufen sehr langsam ab. Dabei können z. B. spaltraue Marmore entstehen. Die Spaltrichtung ergibt sich meist orthogonal zur Druckrichtung.

- **Aussehen des Marmors**

Marmore sind in der Regel gleichkörnig, mittel- bis großkörnig. Marmor wird in verschiedenen Farben gefunden; von schwarzgestreift über gelb, grün, rosa bis zu weißem Marmor. Rote bis rötliche Marmore werden durch Hämatit, gelbe bis braune durch Limonit, blaue und graublaue durch Graphit, kohlige Substanzen oder Bitumen und grüne Marmore durch Chlorit oder Serpentinminerale eingefärbt.

7541014/10787806875Biblio

Die Mineralkörner des Marmors reichen vom Tausendstel Millimeter- bis in den Zentimeterbereich. Der extrem kleinkörnige Marmor, wie die Sorte Statuario aus Carrara, ist bei den Bildhauern sehr begehrt.

- **Marmor-Vorkommen**

Der weiße Marmor, wie er u. a. bei Carrara in den apuanischen Bergtälern in Italien und im Krastal in Österreich gefunden wird, wird stark nachgefragt.

In Deutschland gibt es derzeit lediglich ein echtes Marmorvorkommen, das wirtschaftlich genutzt wird, den „Wunsiedler Marmor“ im Fichtelgebirge. Ein typischer Dolomitmarmor kommt im Raurisertal in Österreich vor oder als Thassos-Marmor von der gleichnamigen griechischen Insel. Eine Besonderheit des Marmors ist der sog. Cipollino (ital. Zwiebel), ein Marmor, dessen Dekor wie eine Zwiebel geschichtet ist.

- **Marmor-Gewinnung**

Früher wurde Marmor unter Nutzung von Klüften mittels Hebestangen und einem Einsatz von Keilen aus Stahl und z. T. aus Holz gewonnen. In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde auch mit Sprengladungen gearbeitet, die in vorgebohrten Löchern versenkt wurden. Bei der Sprengmethode viel allerdings fiel Marmorschutt an. Zudem entstand in den herausgesprengten Blöcken eine Mikrorissbildung, welche bei der späteren Verarbeitung des Marmors oft reklamiert wurde.

Um 1800 wurde in Carrara erstmals Spiraldraht, der von diversen Motoren angetrieben wurde, zum Heraussägen der Marmorblöcke verwendet. Zur Kühlung des Drahtes wurde nicht nur Wasser eingesetzt.

Die Stahlseile waren einige hundert Meter lang und wurden über Umlenkrollen durch die Steinbrüche geführt – eine Art Luftkühlung. Heute wird Marmor entweder mit kürzeren Varianten dieser Seilsägen aus dem Berg gesägt oder mit einer Art überdimensionaler Kettensäge (Schräme).

- **Adneter Marmor**

Der Adneter Marmor ist eigentlich kein echter Marmor (wie oben schon erwähnt). Schon die Römer bauten ab dem 2. Jahrhundert Adneter Marmor ab. Dieser Kalkstein kommt in einer großen Farbpalette vor und aus ihm wurden vor allem im Mittelalter eine Reihe von Kunstwerken geschaffen. In der Neuzeit wurde er auch nach Übersee geliefert. Bedeutende Arbeiten aus Adneter Marmor finden sich vor allem in Österreich im Parlamentsgebäude in Wien, auf der Festung Hohensalzburg, in der Stiftskirche zu St. Peter in Salzburg, des Weiteren auch in Deutschland, Tschechien und Polen.

Früher hatten viele Adneter Bauern ihren eigenen Steinbruch, heutzutage wird nur noch wenig Marmor abgebaut. Insgesamt gibt es ca. 10 bis 20 Steinbrüche (einige davon relativ versteckt im Wald); heute wird nur noch in circa 5 Steinbrüchen Marmor abgebaut.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-30: Marmorgewinnung im Fichtelgebirge [1]

- **Untersberger Marmor**

Der Untersberger Marmor, obwohl sein Name etwas anderes besagt, ist ein Kalkstein. Da die Bezeichnung Marmor historisch überkommen ist, kann sie durchaus weiter verwendet werden. Der Stein wird und wurde am Nordhang des Untersberges in den Nördlichen Kalkalpen bei Fürstenbrunn (Salzburg) gebrochen.

Untersberger Marmor wurde bereits in der Römerzeit abgebaut. Im Veitlbruch, der seit 1919 nicht mehr betrieben wird, fand man in einer Abraumhalde steinerne Bruchstücke der Römer, die im Untersbergmuseum in Fürstenbrunn ausgestellt sind. Bis 1703 wurde der Steinbruch vom Erzbischöflichen Hofbauamt betrieben.

Zahlreiche Steinbildhauer und Architekten verwendeten diesen Naturstein vor allem im 17. Jahrhundert, wie Johann Bernhard Fischer von Erlach und dessen Sohn Joseph Emanuel.

Die Bischofe und Adeligen, wie die von Löwensteins, waren im Besitz der Steinbrüche, bevor die Marmorindustrie Kiefer AG sie kaufte.

Bis um 1900 wurden Steine in traditioneller Keiltechnik mit Steinspaltwerkzeugen gewonnen, danach kamen Drahtseilsägen mit Spiraldraht zum Einsatz.

Heute verwendet man zur Gewinnung der Kalksteine vorwiegend Diamant-Seilsägen und Schrämen (eine Art Kettensäge). Der Untersberger Marmor wird seit kurzem unterirdisch abgebaut.

Der unterirdische Abbau hat in Italien beim Abbau des Carrara-Marmors eine jahrzehntelange Tradition. In Österreich bietet der Einsatz dieser Technik vor allem den Vorteil, dass der teilweise über 10 Meter hohe Abraum nicht kostenintensiv weggeräumt werden muss, ferner entsteht keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und der entstehende Lärm dringt von unter Tage kaum nach draußen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-31a: Untersberger „Marmor-Steinbruch“ [1]

8.9 Basaltabbau

Seit 1888 wird im Basaltwerk Pechbrunn am 700 m hoch gelegenen Teichelberg der wichtige Rohstoff abgebaut. Dabei hat sich in den gut 115 Jahren seit der Inbetriebnahme viel verändert. Unter anderem hat das Basaltwerk in den letzten Jahren viel in die Steigerung der Produktivität und den Umweltschutz investiert.

So wurde 1993 beispielsweise eine Bandstraße für den Gleisschottertransport vom Steinbruch zur Bahnverladung nach Pechbrunn gebaut – zuvor musste ein Lkw rund 40-mal täglich diese Strecke fahren.

Auch in die Renaturierung bzw. Rekultivierung durch natürliche Sukzession wurde viel Energie investiert. Das erfreuliche Ergebnis sind seltene Tier- und Pflanzenarten auf den ehemaligen Abbaustätten.

Die neueste Anschaffung zur Verbesserung der Produktivität und zum Umweltschutz ist ein neuer Radlader vom Typ CAT 988H. Das Unternehmen hat sich für diese Maschine entschieden, da diese momentan über die modernste Technik in Bezug auf Leistung und Umweltfreundlichkeit verfügt. Mit seinen über 50 t Einsatzgewicht und seiner 6,9-m^3-Schaufel benötigt der 988H für die Beladung eines 60-Tonnen-Muldenkippers rund zwei Ladespiele weniger als das Vorgängermodell, der CAT 988F Serie II.

Das Herz dieses Großgerätes, der neu entwickelte CAT-Dieselmotor vom Typ C18 ACERT mit sechs Zylindern und 18,1 l Hubraum, bringt bereits bei einer Drehzahl von 1.200 U/min sein maximales Drehmoment von 2.717 Nm. Er erreicht seine maximale Leistung von 354 kW/481 PS schon bei einer Drehzahl von 1.800 U/min. Gleichzeitig verbraucht die neue Maschine wesentlich weniger Kraftstoff und weist deutlich geringere Schadstoff-Emissionen auf.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-31b: CAT-Radlader Typ CAT 988H (techn. Daten s. Text oben) [1]

Der Radlader wird an der Wand eingesetzt zum Verladen des gesprengten Basalts auf CAT-Muldenkipper.

- **Der Basalt-Steinbruch in Dornreichenbach**

Zentrum der Pflastersteinfertigung in Deutschland. Hier entstehen vor allem Spaltprodukte aus Porphyr-Basalt.

Dazu gehören Pflastersteine in allen Größen und Formaten, Mauersteine von der Trockenmauer bis zur Schwerlastausführung aus Felsen mit einem Einzelgewicht von mehr als 5 t und natürlich polygonal gebrochene Platten in verschiedenen Stärken zu belaufen oder auch zu befahren.

Die Produktion von gesägten Materialien erfolgt unter anderem im Steinsägewerk Burgkunstadt oder an den verschiedenen Produktionsstandorten.

Abb. Ff-32:
Basaltsteinbruch in der Sächsischen Schweiz [1]

7541014/10787806875Biblio

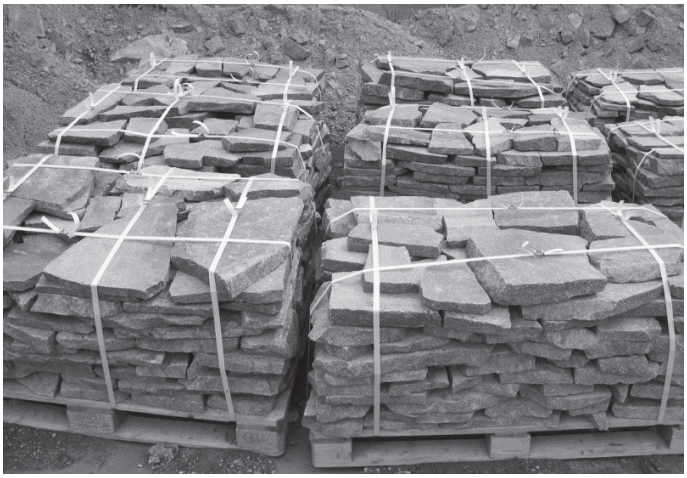


Abb. Ff-33: Porphyr-Basalt-Platten [1]

Die Lagerhaltung mit einem durchschnittlichen Bestand von mehr als 2.000 t verschiedener Materialien aus Granit, Porphyr, Basalt, Sand- und Kalkstein, neu gefertigt oder gebraucht, erlaubt eine schnelle Reaktion auf alle Kundenwünsche.

8.10 Rekultivierung und Renaturierung

Die Gewinnung von Hartgestein bereitet gegenüber Braunkohle, Steinkohle und Salz weit geringerer Probleme bezüglich der Rekultivierung, da keine schädliche Hinterlassenschaften nach Aufgabe der Gewinnungsstelle verbleiben.

Die ausgebeuteten Bereiche werden in der Regel mit Abraum verfüllt, mit Kulturboden abgedeckt und bepflanzt. Vielfach überlässt man sie auch der natürlichen Entwicklung und es entstehen Badeseen oder Biotope. Umweltprobleme treten überwiegend beim Abbau (Sprengarbeit, Bagger, Brechanlagen) und beim Abtransport durch den Verkehrslärm der schweren Transportfahrzeuge auf. Die Sprengarbeit wird außerhalb der Ruhezeiten gelegt und findet ohnehin in großen Zeitabständen statt.

Die Geräteindustrie ist ständig bemüht, die Maschinen lärmtechnisch laufend zu verbessern. Dort wo die Bebauung nahe an den Abbaubereich stößt, wurden teilweise Umgehungsstraßen hergestellt und Großbetrieben sogar Tunnel aufgefahren. Trotz aller Maßnahmen ist eine Steingewinnungs- und Abbaubetrieb mit Lärm und Staub verbunden, der sich nicht ganz vermeiden lässt.

Die folgenden Beispiele zeigen, dass die Natur durch den Abbau keinen Schaden genommen hat. Teilweise kann man sogar von einer positiven Veränderung sprechen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Ff-34: Renaturierter Steinbruch in der Sächsischen Schweiz [1]

Abb. Ff-35: Beispiel für einen sich selbst überlassenen Steinbruch. Ohne menschlichen Eingriff hat sich in wenigen Jahren eine schöne Kulturlandschaft gebildet. [1]

7541014/10787806875Biblio

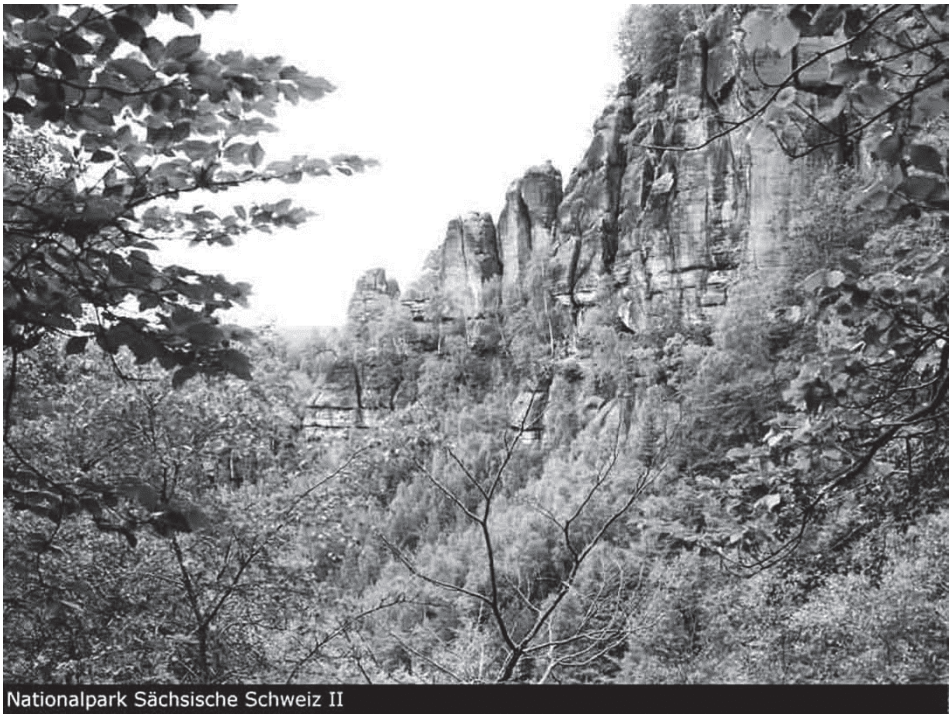


Abb. Ff-36: Sich selbst überlassener Steinbruch im Elbsandsteingebirge (Nationalpark Sächsische Schweiz) [1]

7541014/10787806875Biblio

Fk Bergbau auf Kies und Sand

Die Gewinnung von Kies- und Sandabbau steht heute immer mehr im Kreuzfeuer von Ökonomie und Ökologie. Die Verwendung von Kies und Sand als Rohstoff für vielfältige Produkte des täglichen Lebens wird vom Grundsatz her zwar nicht in Frage gestellt, konkrete Abgrabungsvorhaben aber stoßen vor Ort jedoch fast immer auf Widerstand. Neben erwarteten Belästigungen durch Lärm oder Staub steht in solchen Fällen meist ein Thema im Vordergrund: die Sorge um Veränderungen der Umwelt, die mit der Sand- und Kies-Gewinnung verbunden sind.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der heimischen mineralischen Rohstoffe lässt sich schon mit wenigen Zahlen verdeutlichen: statistisch gesehen verbraucht jeder Bundesbürger mehr als 600 t dieser Rohstoffe in seinem Leben, und zwar:

- 324 t Kies und Sand,
- 170 t Hartsteine,
- 99 t Kalkstein,
- 25 t Ton.

Setzt man diese Mengen in ein Volumen um, entspricht das allein bei Sand und Kies pro Bundesbürger einer Säule mit einem Quadratmeter Grundfläche und fast 200 m Höhe (oder Tiefe).

Für den Einzelnen ebenso wie für Unternehmen und öffentliche Institutionen ist es heute selbstverständlich, dass mineralische Rohstoffe und die daraus gewonnenen Produkte bei Bedarf jederzeit in der gewünschten Menge am gewünschten Ort zur Verfügung stehen. Darüber hinaus dient Sand als vielseitiger Rohstoff für zahllose Produkte des täglichen Bedarfs (vom Glas bis hin zum Computerchip). Ohne Sand wären die vielen Errungenschaften unserer Industriegesellschaft nicht denkbar.

1 Genehmigungsverfahren

Bei der Genehmigung von Abbauvorhaben sind die unterschiedlichsten Interessen und öffentlichen Belange zu berücksichtigen. Diese betreffen sowohl das volkswirtschaftliche Interesse an einer gesicherten Rohstoffversorgung als auch die unternehmerischen Interessen an einer gesicherten Existenz. Hinzu kommen Umweltgesichtspunkte, wie mögliche Einwirkungen eines Abbauvorhabens auf Natur und Landschaft, auf das Grundwasser, Forst- und Landwirtschaft u. a. Am häufigsten erfolgt der Abbau von Kies und Sand im Nassabbau. Hierbei wird das Grundwasser angeschnitten und ein Baggersee entsteht.

Das Genehmigungsverfahren nach **Wasserhaushaltsgesetz** ist in der Bundesrepublik einheitlich geregelt. Von den Genehmigungen nach Wasserhaushaltsgesetz unterscheiden sich Genehmigungen zur Abgrabung von Rohstoffen, die dem **Bundesberggesetz** unterliegen.

Dies ist beim Abbau von Kiesen und Sanden der Fall, wenn sich diese zur Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen oder Ferrosilizium eignen und die dafür notwendigen Kriterien erfüllen.

7541014/10787806875Biblio

Das speziell geregelte **Bergrecht** berücksichtigt die Besonderheit, dass ein Abbau einer Rohstofflagerstätte ein dynamischer Vorgang ist und ganz im Gegensatz zu anderen Baumaßnahmen die Fläche nur vorübergehend in Anspruch genommen und anschließend der Natur oder einer anderen Nutzungsart wieder zurückgegeben wird.

Das Bergrecht schreibt auch vor Beginn der Arbeiten vor, dass ein Rahmenbetriebsplan aufgestellt werden muss. Er ersetzt jedoch nicht den Hauptbetriebsplan.

Bei Nassauskiesungen führen die Abbauunternehmen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens in der Regel Umweltverträglichkeitsprüfungen durch. Sie sind somit Instrumente der Entscheidungsvorbereitung. Die Planfeststellungsbehörde muss den Antrag prüfen und genehmigen. Außerdem ist die Öffentlichkeit durch Aushang zu informieren. Einwände sind zu prüfen.

Das Vorgenannte ist nur eine sehr kurze Zusammenfassung und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2 Gewinnungsverfahren

2.1 Trockengewinnung

Zahlreiche Kies- und Sandlagerstätten ermöglichen den Abbau des Materials aus Schichten, welche sich oberhalb des Grundwasserspiegels befinden. Um als Baustoff verwendet werden zu können, muss eine ausreichende Qualität sichergestellt sein. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist zunächst die fachgerechte Beseitigung des Abraums, bevor der eigentliche Abbau in diesen Bereich vordringt. Eine weitere wichtige Komponente kann ein selektiver Abbau sein, bei dem das Material an verschiedenen Stellen so gewonnen wird, wie es die jeweilige Absatzsituation erfordert.

Für die Gewinnung des verwertbaren Materials und zur Beseitigung des Abraums wurden von der maschinenherstellenden Industrie sehr unterschiedliche Maschinen und Geräte entwickelt, die den betrieblichen Verhältnissen optimal angepasst werden können. Eingesetzt werden Rad- und Raupenlader, Hydraulikbagger und Seilbagger mit Schleppschaufeln, Schrapper sowie Schub- und Schürfkübelraupen. In Lagerstätten mit nur geringen Verunreinigungen erfolgt die Aufbereitung, welche nur aus dem Klassieren des gewonnenen Materials besteht, sehr oft mit mobilen Siebanlagen, welche problemlos dem Abbaufortschritt folgen können.

In großen Kies- und Sandgruben kommen heute folgende Geräte zum Einsatz:

- Radlader mit einem Schaufelinhalt von bis zu 36 m³,
- Hydraulikraupenbagger mit einem Löffelinhalt von 6 m³,
- Muldenkipper mit einem Muldeninhalt von bis zu 30 m³.

Durch den hohen Exportanteil verfügen die Kies- und Sandwerke auch vielfach über Anleger für Lastkähne oder über einen Bahnanschluss.

Neben den Großgeräten sind überwiegend Geräte der Mittelklasse im Einsatz wie der **Hydraulik-Raupenbagger Liebherr R 964 LC Litronic**.

Der Bagger ist für große Erd- und Kiesbewegungen konzipiert. Er verfügt über ein LC-Laufwerk (langes Laufwerk), kann aber auch mit HD-, SL- und SH-D-Laufwerken für besonders schwere Aufgaben ausgestattet werden.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fk-1: Hydraulik-Raupenbagger Liebherr R 964 C Litronic. Die Motorleistung beträgt 320 kW, das Dienstgewicht 79,6 t und der Schaufelinhalt max. 5,00 m³. [V21]

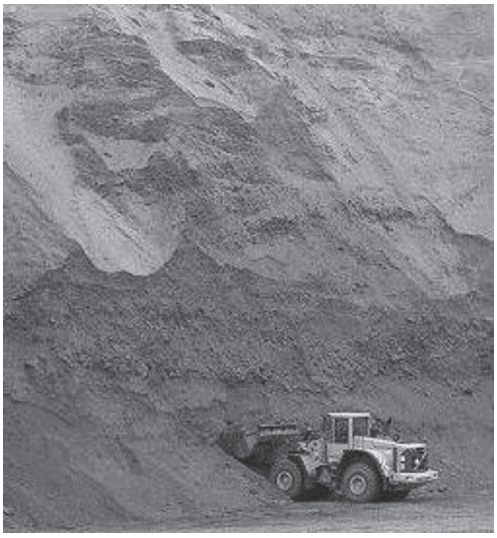


Abb. Fk-2: Großvorkommen an Kiessand [1]

Mit einem Schaufelinhalt von 7,50 m³ verkürzt der Komatsu-Radlader WA 600-3 (Abb. Fk-3) wesentlich die Verladearbeiten in Schotter-, Kies- und Sandgruben sowie Abraumbeseitigung.

Abb. Fk-3: Schaufelradbagger Komatsu WA 600-3 mit einer Motor-Leistung von 328 kW und einem Einsatzgewicht von 49,4 t [1]

7541014/10787806875Biblio

2.2 Weiterverarbeitung und Verladung

Die Sand- und Kiesförderanlagen verfügen i. d. R. über die entsprechenden Aufbereitungsanlagen, die das Material für die Bauindustrie und Betonwerke in die erforderlichen Korngrößen aufarbeiten. Vielfach sind bei den Sand- und Kieswerken auch Transportbeton-Unternehmen angegliedert. Damit können die Transportkosten gemindert werden.

Die folgende Abb. Fk-4 zeigt ein neu errichtetes Kieswerk mit modernster Technik der Fa. Martin Montalta in Schnaus bei Ilanz in der Schweiz. Die technische Einrichtung lieferte die Fa. Frei Fördertechnik AG. Es verfügt über moderne Förder- und Mischanlagen und 12 Silos mit je 115 m³ Inhalt. Außerdem ist eine Transportbetonfertigung angegliedert. Die außen liegenden Förderbänder sind gegen Staubflug abgedeckt.

Für das Werk wurden insgesamt ca. 2.300 m³ Beton verarbeitet.

Die Verladung von Kies und Sand auf Lkw erfolgt automatisch ab Silo per Batchkarte. Der Kunde erhält eine Chipkarte für den Bezug seiner Kiesladung mit genauen Angaben zu Rezept und Menge, die in der Disposition gespeichert sind. Die Lieferung holt er sich selbst an der Verladestation ab.

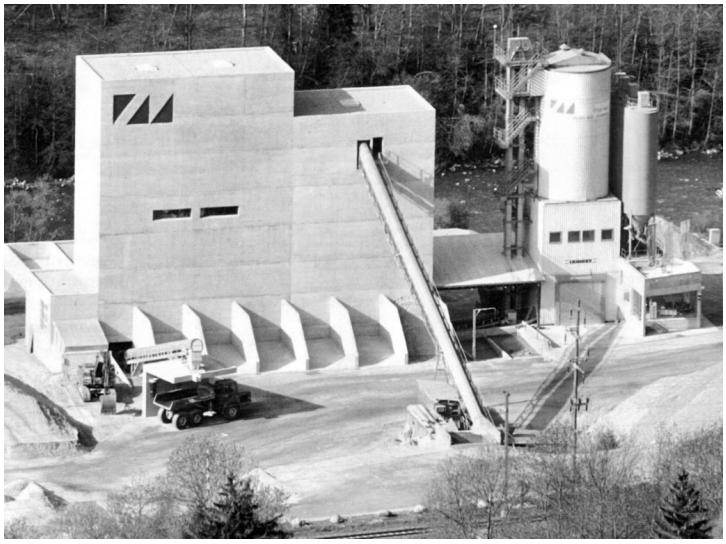


Abb. Fk-4: Neu errichtetes Kies- und Betonwerk der Fa. Montalta

2.3 Quarzsand-Trockengewinnung

Als Quarzsande werden Sande bezeichnet, die einen besonders hohen Gehalt des Minerals **Quarz** aufweisen (mehr als 85 Gew.-%). In einigen Lagerstätten erreicht der natürliche Quarz-Gehalt sogar über 98 %. Zeitlich stammen die abbauwürdigen Quarzsande in Deutschland vorwiegend aus der Kreide- und Tertiärzeit. Teils als küstennahe Meeressande, teils in Senken auf dem Festland unter besonderen geologischen Umständen abgelagert, reicherte sich das Mineral Quarz stark an, weil die übrigen, weniger stabilen Mineralien (wie Feldspäte und Glimmer) als Folge einer tiefgründigen Verwitterung des Sandes größtenteils aufgelöst oder in feine Partikel zerlegt und fortgeschwemmt wurden.

7541014/10787806875Biblio

Verwendung findet Quarzsand bei der Herstellung von Keramik, in Glasfasern, als Bremssand, in der chemischen Industrie, in Schleif- und Putzmitteln, als Gießereisand, Magerungsmittel, Füllstoff und Strahlsand. Gelegentlich wird bei der Mischung von Blumenerden vom Zusatz Quarzsand oder Rasenquarz gesprochen. Hiermit ist jedoch Sand, der in Flüssen entstanden ist, gemeint. Es gibt ihn z. B. in Baumärkten. Er zeichnet sich durch den geringeren Gehalt an Kalk aus.

Die weltweiten Quarzsandreserven werden als „praktisch unbegrenzt“ angegeben. Sehr große Vorkommen gibt es jedenfalls in weiten Teilen Europas. Die Weltförderung betrug 2003 110,4 Mio. t. Deutschland exportierte 2003 7,66 Mio. t Quarzsand ins Ausland bei einem Eigenverbrauch von 3,74 Mio. t. Es ist der größte Exporteur von Quarzsand in der Welt.

Große Quarzvorkommen gibt es u. a. in Sythen bei Haltern (Westf.) und in Frechen. Gewonnen wird der Quarzsand im Trocken- und Nassabbauverfahren.

2.3.1 Quarzsand-Trockenabbau im Raum Frechen

Heute erstreckt sich auf etwa 1.300 m Länge im Westen Deutschlands ein traumhaft weißer Sandstrand. Anstelle des Rauschens der Brandung hört man laut und deutlich das Brummen der Motoren von Schaufelradbaggern, die ihre Schaufeln tief in den Sand graben. Seit 1884 wird in Frechen Quarzsand abgebaut.

Abb. Fk-5: Quarzsand-Trockenabbau mit Schaufelradbagger in Großkönigsdorf (Westf.) [1]

Nach vorsichtigen Schätzungen soll der Vorrat des hier lagernden Quarzsandes für mehr als ½ Jahrtausend reichen. Der weiße Quarzsand ist, neben dem farblichen Kontrast der Braunkohle, eine der wichtigen Wirtschaftssäulen der Stadt Frechen. Der Sandstaub aus dem Quarzabbau und entsprechende Belastungen aus dem Tagebau und den Kraftwerken bringen aber auch Umweltbelastungen mit sich.

Abb. Fk-6: Quarzsandabbaufläche Frechen [V61 + V62]

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fk-7: Quarzsandabbau in Frechen mit einem Schaufelradbagger [V61 + V62]

2.3.2 Quarzvorkommen bei Senftenberg (Lausitz)

Ein weniger bekanntes Quarzvorkommen liegt am Südrand des Lausitzer Braunkohlenreviers, südlich von Senftenberg, nach Osten hin noch über das Stadtgebiet von Hoyerswerda hinausreichend. Dort sind im Liegenden des 2. Lausitzer Flözes verbreitet sehr reine Quarzsande ausgebildet, die als Glassande von Hohenbocka überregional bekannt geworden sind.

Die Sande werden seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in zahlreichen Gruben um die Orte **Guteborn**, **Hohenbocka** und **Hosena**, bei **Leippe** und **Lauta** sowie südlich von **Wiednitz** abgebaut. Sie bilden schon bald einen begehrten Rohstoff für die im Aufblühen begriffene Lausitzer Glasindustrie.

Der Abbau der Glassande begann zunächst dort, wo sie oberflächennah gut zugänglich sind. Besonders günstige Stellen dafür bieten die zahlreichen eiszeitlichen Aufstauchungszonen, in denen die Sande bis unmittelbar an die Tagesoberfläche herausgestaucht worden sind.

Der Abbau erfolgte in den Anfangsjahren ausschließlich manuell in Schubkarren oder in Säcke gefüllt beförderte man den Sand zum Bahnhof Hohenbocka. Teilweise lieferte man den Sand auch mit Pferdefuhrwerken direkt zu den näher gelegenen Hütten, so zu den **Glashütten in Ruhland**, **Bernsdorf** und im **Welzower Raum**. In den 30er Jahren wurde Lorentransport mit Dampf- und Dieselloks eingeführt.

Abb. Fk-8: Abbau mit Lorenbetrieb, Dampf- und Elektroloks um 1930 [1]

7541014/10787806875Biblio

Es erfolgte in diesen Anfangsjahren noch keine Aufbereitung der Sande; man baute nur die besten Sandqualitäten ab.

Nach der Legende hatte man bei der Handgewinnung Kupfer- oder Messingschaufeln und hölzerne Schiebekarren verwendet, um ja keine färbenden Eisenbestandteile in die Sande kommen zu lassen.

In den Jahren nach 1950 stieg der Bedarf an Glassand. In den Gruben wurden eine Reihe technologischer Weiterentwicklungen umgesetzt. Für die Gewinnung erfolgte der Einsatz von Eimerkettenbaggern und Kugelschauflern.
Die Förderung wurde teilweise auf Elektrolokbetrieb umgestellt. Mitte der 50er Jahre stieg die Jahresförderung auf etwa 300.000 t. Ab 1965 erfolgte der Einsatz von Schaufelradbaggern zur Gewinnung. Die Förderung wurde teilweise auf Bandbetrieb umgestellt. 1982 entstand westlich von **Lauta** eine neue Aufbereitung.

Die jährliche Produktionsmenge erreichte rund 450.000 t Quarzsand in den Lieferformen feucht und trocken. Im Raum **Hosena-Hohenbocka-Guteborn** sind im Zeitraum bis 2001 insgesamt 58 Mio. t Glassande abgebaut worden. Die noch verfügbaren Rohstoffvorkommen sichern noch über viele Jahrzehnte den Abbau der Hohenbockaer Quarzsande, den wertvollen Schatz der Lausitz.

2.3.3 Quarzvorkommen Hirschau-Schnaittenbach

Die Quarzsande im Bereich Hirschau-Schnaittenbach entstanden vor etwa 250 Mio. Jahren im Trias. Seit 1833 werden Industriemineralien in Schnaittenbach und seit 1901 in Hirschau abgebaut.

1993 wuchsen beide Werke zu den Amberger Kaolinwerken (AKW) zusammen, die dann wenige Jahre später ein Tochterunternehmen der Quarzwerke GmbH wurden. Obwohl vor allem das Kaolin aus dem Tagebau bekannt ist, gibt es auch hervorragende Quarzsande, die vor allem in der Glas- und Bauindustrie eingesetzt werden.

Wegen der seltenen, groben und gleichzeitig sehr runden Beschaffenheit werden die Sande aber auch als Filtersande eingesetzt und unter anderem sogar in Wüstenregionen in Afrika zur Trinkwasseraufbereitung verkauft.

2.3.4 Monte Kaolino bei Hirschau

Die Abraumhalde des Kaolinbergbaus bei Hirschau hat sich zu einem 110 m hohen, aus reinem weißem Quarzsand bestehenden künstlichen Berg angehäuft. Man geht von etwa 30 Mio. t Quarz aus. Der Berg mit ca. 45° Hangneigung ist inzwischen ein touristischer Anziehungspunkt für Sand-Snowboard, Sand-Ski usw. geworden.

7541014/10787806875Biblio

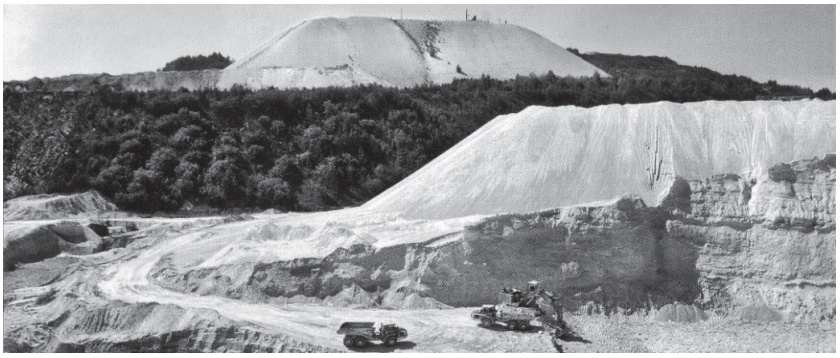


Abb. Fk-9: Quarzsandabbau im Tagebau Hirschau. Im Hintergrund der Monte Kaolino. Der Berg von 110 m Höhe besteht aus 35 Mio. t Quarzsand. [V61 + V62]

In zwei Gebieten in der nördlichen Oberpfalz wurde bzw. wird Kaolin gewonnen – südlich Tirschenreuth (Schmelitz) im tiefgründig kaolinisierten Granit und nahe der Ortschaft Hirschau, ca. 20 km westlich von Weiden im sedimentären Vorland.

Ein weiteres Vorkommen steht östlich Waldershof (Oberfranken) in Abbau. Als Kaolin wird ein Gestein bezeichnet, das einen hohen Anteil an dem Mineral Kaolinit beinhaltet. Im genannten Vorkommen liegt neben Kaolinit auch noch viel Quarz und weniger Feldspat (dieser ist vielfach eben kaolinisiert) vor. Durch Auswaschen wird Kaolinit vom Quarz getrennt und dann, weil in dieser großen Menge wie er hier anfällt nicht abzusetzen, der Quarz auf Halde gekippt.
Dieses Verfahren, seit 1935 mehr oder weniger konstant angewendet, hat den **Monte Kaolino** gebildet. „Bergbau“ kann man hier so wörtlich nehmen wie sonst kaum woanders auf der Welt.

Abb. Fk-10: Der 110 m hohe „Monte Kaolino“ – Wahrzeichen von Hirschau [V61 + V62]

Die geologische Entstehung des Hirschau-Schnaittenbacher Vorkommens ist weit komplexer als etwa bei der Tirschenreuther Lagerstätte. Zweifelsfrei gehört diese Lagerstätte dem Mittleren Buntsandstein (Trias, ca. 220 Mio. Jahre alt) an. Man vermutet, dass große Flüsse, von Osten her kommend, im Deltabereich hier feines Sediment (Arkosen) abgelagert haben. Das kristalline Grundgebirge mit seinen Gneisen und Graniten ist als stoffliche Quelle anzusehen. Der Großteil des Kaolins ist wohl erst nach der Sedimentation durch chemische Umwandlung aus den enthaltenen Feldspäten entstanden. Auf die feinkörnigen Ablagerungsgesteine „Arkosen“ wirkten vermutlich saure Grundwässer ein, so dass sich im Laufe der Zeit die alkalischen Feldspat-Bestandteile abspalten konnten (Kaolinisierung). Weitere geologische Vorgänge wie Überdeckung und spätere Abtragung folgten. Das Vorkommen besteht aus 30 m bis 40 m starken

7541014/10787806875Biblio

Sedimentpaketen, die von Süd nach Nord mit ca. 10° einfallen. Die bauwürdige (über 12 % Kaolinit) Haupt-Lagerstätte hat eine Ost-West-Ausdehnung von 2,6 km.

Kaolinit wird vor allem in der keramischen Industrie – die in der Oberpfalz einen wichtigen Wirtschaftszweig darstellt – hauptsächlich zur Porzellanherstellung (Porzellan besteht zu ca. 50 % aus diesem Mineral) verwendet. Weitere Anwendungen sind Papier-Zuschlag und Papier-Strich, Trägersubstanz für biologische Mittel, Arzneimittel in Zahnpasta und Zuschlagstoff in Kunststoffen.

2.4 Nassgewinnung von Kies und Sand

Im Zusammenhang mit dem Abbau von Lockergestein im Nassen unterscheidet man zwischen

- Nassgewinnung, die **bergmännische Baggerei** mit schwimmendem oder landgestütztem Gerät aus dem Nassen zur Gewinnung von Rohstoffen, und
- Nassbaggerei, die **wasserbauliche Baggerei** mit schwimmendem Gerät zur Herstellung von Verkehrswegen, Kanälen, Hafenbecken und deren Unterhaltung, Aufspülung von Deichen oder Dämmen sowie zur Landgewinnung.

Die Nassbaggerei wird im Weiteren nicht behandelt.

Die bergmännische Nassgewinnung wird immer dann angewendet, wenn der wesentliche Teil der Lagerstätte unterhalb des Wasserspiegels ansteht und eine Grundwasserabsenkung zu aufwändig ist oder sich aus ökologischen Gründen verbietet.

Die Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand findet heute vorwiegend rechnergestützt statt, auf die aber nicht näher eingegangen wird.

Von erheblicher Bedeutung für die Auswahl des Abbauverfahrens sind die Eigenschaften der Lagerstätte. Dabei haben Kornform und Korngröße, Festigkeit und Mächtigkeit sowie Material und Verunreinigungen den größten Einfluss. Die spezifischen Eigenschaften der Lagerstätte sind die entscheidenden Kriterien für die Auswahl der Geräte, deren erste Unterteilung nach landgestützten und nach schwimmenden Geräten vorgenommen wird.

Bei den von Land aus operierenden Maschinen erfolgt der anschließende Transport des gewonnenen Materials in den meisten Fällen mit Gummigurtförderern, aber auch mit Muldenkippern. Bei den schwimmenden Geräten erfolgte er teilweise hydraulisch oder mit Bandförderern oder mit Schuten.

2.4.1 Genehmigung einer marinen Kiessandgewinnung

Für die Genehmigung einer Kiessandgewinnung sind umfangreiche Rechtsgrundlagen, Schutzausweisungen, Entwicklungsziele zu beachten, u. a.

- das Landungsplanungsgesetz,
- der regionale Raumordnungsplan,
- der Flächennutzungsplan,
- die unterschiedlichen Schutzausweisungen für Naturschutz-Wasserschutzgebiete,
- die Vorschriften der Bau- und Bodendenkmalpflege,
- das Flussniederungsprogramm.

7541014/10787806875Biblio

Die wesentliche Rechtsgrundlage stellt das Bundesberggesetz (BbergG) dar. Daneben sind zahlreiche gesetzliche Regelungen auf Länder- und Gemeindeebene zu beachten (Näheres siehe dort).

Zur Baugrunderkundung s. Abschnitt D Explorationen.

2.4.2 Gewinnungstechnik

Die **Abbauführung** ergibt sich weitestgehend aus der Konfiguration der Lagerstätte sowie dem Standort der Aufbereitungsanlage und gibt die räumliche Abfolge der Gewinnungsarbeiten vor. Die Förderstrecken für das abgegrabene Bodenmaterial zur Aufbereitungsanlage sind zu minimieren. Die Aufbereitungsanlage sollte deswegen möglichst im Massenschwerpunkt der Lagerstätte aufgestellt sein.

Unterscheiden kann man folgende Arten der Abbauführung:

- sektorenweise Gewinnung,
- sternförmige Gewinnung,
- mehrstreifige Gewinnung,
- kreisförmige Gewinnung.

Die Art der Abbauführung ist abhängig von den Lagerungsverhältnissen.

Die Verhiebrichtung ergibt sich aus der vorherrschenden Bewegungsrichtung des Schwimmbaggers, die Verhiebart aus der vorherrschenden Bewegungsrichtung seines Lösewerkzeuges.

Bezüglich der **Verhiebarten** unterscheidet man in

- **horizontaler Verhieb**
  - grabenförmig (z. B. durch Grundsaugbagger),
  - blockartig (z. B. durch Schneidkopfsaugbagger, Eimerkettenbagger),
  - streifenförmig (z. B. mittels Laderaumsaugbagger),
- **vertikaler Verhieb**
  - trichterförmig (z. B. durch Greiferbagger, Tiefsaugbagger),
  - Bruchbau (bei Unterfahrung bindiger Zwischenmittel),
- **kombinierter Verhieb**
  - bestehend aus einer Kombination von horizontalem und vertikalem Verhieb.

2.4.3 Böschungsbaggerung

Die Neigung von Böschungen beeinflusst die Menge der gewinnbaren Vorräte erheblich. Die Neigung der Unterwasserböschungen und deren Standsicherheit hängen von den geotechnischen Parametern der Lagerstätte ab, im Wesentlichen vom

- Winkel der inneren Reibung und
- dem Anteil der Fraktion 0/63 µm.

Neben diesen gegebenen Vorbedingungen der Lagerstätte wird die Böschungsneigung aber auch wesentlich beeinflusst durch

- das eingesetzte Lösewerkzeug, das entweder zwangsgeführt oder nicht zwangsgeführt ist, sowie durch
- die Baggerart.

7541014/10787806875Biblio

Zwangsgeführte Lösewerkzeuge verlangen eine Festlegung des Schwimmbaggers über Pfähle und 2 Vorschiff-Seitenwinden mit Ankern.

Bei Einsatz nicht zwangsgeführter Lösewerkzeuge können derart ausgestattete Schwimmbagger nur in frei zufließenden Böden Gewinnung ausführen. Profilgerechtes Baggern, wie im Böschungsbereich erforderlich, ist mit solchen Geräten, wenn überhaupt, nur mit sehr großen Baggertoleranzen und entsprechend höheren Gewinnungsverlusten möglich.

2.4.4 Löseverfahren und Lösewerkzeuge

Die am häufigsten beim Nassabbau genutzten Lösewerkzeuge sind:

- Mechanische Lösewerkzeuge (Eimer, Greifer, Tieflöffel, Schrappergefäß),
- Hydraulische Lösewerkzeuge (Baggerpumpe, Jet- und Hochdruckwasserstrahl),
- Hydromechanische Lösewerkzeuge (Schneidkopf und Schneidrad in Verbindung mit Baggerpumpe).

- **Mechanisches Lösen**

Mechanisches Lösen erfolgt bei Einsatz von Gefäßbaggern, d. h. dem Stelzenponton-, schwimmenden Eimerketten- oder Greiferbagger sowie dem Schrapper.

Die Hauptmaschine des Baggers bzw. des Gewinnungsgerätes stellt die benötigten Kräfte sowohl für das Lösen des Bodens, das Befüllen des Grabgefäßes als auch das Heben des Baggergutes an die Wasseroberfläche zur Verfügung.

- **Hydromechanisches Lösen**

Beim Schneidkopf- und Schneidradsaugbagger wird das Lösewerkzeug, der Schneidkopf oder das Schneidrad, separat angetrieben. Dem Lösewerkzeug fallen das Lösen des Bodens und der kurze Transport des Baggergutes zum Saugrohrmund zu, von wo aus der weitere Transport durch die Baggerpumpe erfolgt.

- **Hydraulisches Lösen**

Das hydraulische Lösen erfolgt durch die Einwirkung der Saugkraft der Baggerpumpe sowie ggf. zusätzlichem Eintrag von Druckwasser in den abzugrabenden Boden. Der notwendige Unterdruck für das Heben des gelösten Materials sowie dessen weitere Förderung muss von der Baggerpumpe wie im Grundsaugbetrieb erzeugt werden. Die Baggerpumpe wird durch einen vom Lösewerkzeugsantrieb unabhängigen Motor angetrieben.

- **Lösewerkzeuge**

Die allgemein verwendeten Lösewerkzeuge sind:

- nicht zwangsgeführte Lösewerkzeuge
  - Schleppschaufel,
  - Greifer,
  - Schrappergefäß,
  - Grundsaugrohr mit Baggerpumpe,
  - Monitor,
  - Druckwasseraktivierter Saugrohrkopf,
  - mit Niederdruck,

7541014/10787806875Biblio

- mit Hochdruck zwangsgeführte Lösewerkzeuge:
  - Schneidkopf,
  - Schneidrad,
  - Eimer,
  - Tieflöffel,
  - Schöpflöffel.

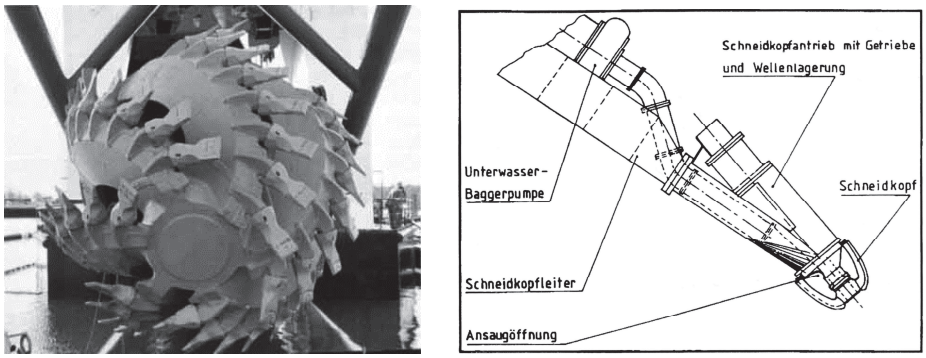


Abb. Fk-11a: Systeme der Kiesgewinnung mit Schneidkopf – links oben: Schneidkopf System Vosta LMG – rechts: Schneidkopfantrieb System O&K – unten: Aufbau eines Schneidkopfbaggers [13]

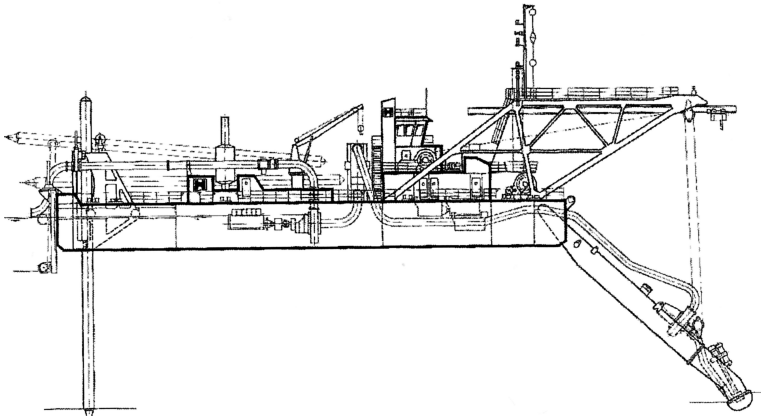


Abb. Fk-11b: Aufbau eines Schneidkopfbaggers [13]

2.4.5 Landgestützte Geräte

Diese Gruppe wird im Wesentlichen durch Seilbagger mit Schürfkübeln, Schrapper mit Auslegern oder Umlenkrollenstationen sowie durch Eimerkettenbagger geprägt. Gelegentlich finden sich hier auch hydraulische Mobilbagger, die – mit Greifern oder Tieflöffel ausgerüstet – Vorkommen von relativ geringer Mächtigkeit hereingewinnen.

7541014/10787806875Biblio

2.4.6 Schürfkübelbagger

Dieses diskontinuierlich arbeitende Gerät kann sowohl in der Nass- als auch bei der Trockengewinnung von Kies und Sand eingesetzt werden. Im Regelfall erfolgt der Abbau des Materials im Tiefschnitt, wobei Abbautiefen bis etwa 15 m möglich sind.

Abb. Fk-11c:
Raupenseilbagger Sennbogen 650 R-HD mit Schleppschaufel [V28]

Motorleistung: 205 kW, Einsatzgewicht: 50 t, Fahrwerk (gespreizt) 5,35 × 4,20 m, Rollenkopfhöhe (max.): 52 m, Windenkraft: 120–160 kN

Die Komponenten des Schürfkübelbaggers sind das Raupenfahrwerk mit Drehkranz, der Baggeroberwagen mit Fahrer- und Maschinenhaus, in welchem sich Motor und Seilwinden befinden, Ausleger sowie Schürfkübel mit Vorzugseil, Rückzugseil, Kippseil und Ketten.

In den Gewinnungsbetrieben werden diese Bagger mit Dienstgewichten von 50 t bis 100 t und installierten Motorleistungen von 130 kW bis 300 kW eingesetzt. Die Fördermengen erreichen bis zu 300 t/h. Das Nutzvolumen der Schürfkübel beträgt 2,5 m³ bis 4,2 m³.

2.4.7 Raupen-Hydraulikbagger

Der **Sennebogen-Hydraulikbagger Typ 870 R-HD** ist für die Gewinnung und den Umschlag von Schüttgütern konzipiert und kann mit unterschiedlichen Grabgefäßen (z. B. Normalgreifer, Polypgreifer) ausgerüstet werden. Er eignet sich auch für die Kiesgewinnung für Tiefen bis ca. 10 m. Bei einem Dienstgewicht von 87 t beträgt die Antriebsleistung 300 kW/408 PS und die zul. Traglast je nach Ausladung ca. 6 t bis 25 t. Der Bagger hat serienmäßig einen vollhydraulisch teleskopierbaren Raupenunterwagen modernster Konstruktion und damit eine hervorragende Standsicherheit. Für eine gute Übersicht des Baggerfahrers sorgt eine vor- und hochfahrbare Fahrerkabine

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fk-11d: Sennebogen-Spezial-Hydraulik-Greiferbagger Typ 870 R-HD [V28]

2.4.8 Schrapperanlagen

Schrapperanlagen sind diskontinuierlich arbeitende Geräte, die sowohl für die Trocken- als auch die Nassgewinnung von Kies und Sand verwendet werden.

Die Maschinen besitzen als wichtigste Komponenten das Schrappergerät mit Führerhaus, Motoren und Winden, den Schrappkübel, die Umlenkrolle, das Rückholseil und das Vorzugseil. Das Schrappergerät mit dem Fahrerhaus kann auf Kufen, hydraulischem Schreitwerk oder auf einem Raupenfahrwerk montiert sein.

Schrapper werden nicht nur bei der Kiesgewinnung aus dem Wasser eingesetzt, sondern auch im Trockenabbau. Dabei handelt es sich meistens um herkömmliche Geräte mit einer Umlenkrolle, die am Ende der Schrappbahn verankert werden muss oder beweglich angeordnet ist.

Eine wesentliche Verbesserung gegenüber diesen Geräten ist der Schrapper mit Raupenfahrwerk und Ausleger, an dessen Spitze sich die Umlenkrolle befindet.
Damit kann in einem Arbeitsgang, je nach Größe des Schrappers, eine Kieswand bis zu 30 m Höhe abgebaut werden. Mit Hilfe eines höhenverstellbaren Auslegers, der in seiner höchsten Stellung eine Neigung von 45° hat und bis auf die Horizontale herabgelassen werden kann, ist es auch möglich, bis zu 15 m tief zu schrappen. Besonders rationell ist dieses Abbauverfahren im Hochschnitt.

Techn. Daten:
Raupenfahrwerk, Antrieb: 280 kW,
Kübelinhalt: 10 m³,
Gew.: 160 t,
max. Baggertiefe: 20 m,
max. Leistung: 300 t/h

Abb. Fk-11e: Schrapperanlage System SMT-Stichweh Typ KS 1000S [V58]

7541014/10787806875Biblio

Man unterscheidet:

- Auslegerschrapper sowie
- Gelenkrollenschrapper (mit an Land verankerter Umlenkrolle oder bei großen Seen auch deren schwimmender Verankerung).

Bei Einsatz eines Schrappers wird i. d. R. ein rechteckiges Gefäß von bis zu ca. 15 m³ Inhalt über den Grund gezogen. Der abgegrabene und geförderte Boden wird über eine Austragsrinne auf ein Transportband gegeben.

Kleinschrapper mit weniger als 2 m³ Gefäßinhalt werden auch zum Löschen von Laderaumbaggern benutzt.

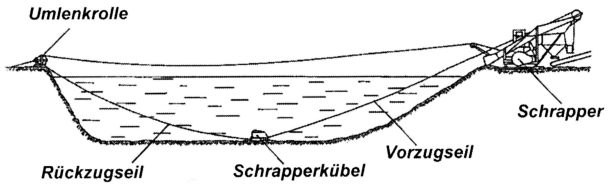


Abb. Fk-11f: Aufbau einer Gelenkrollen-Schrapperanlage [16]

Der Einsatz des Schrappers ist in Abhängigkeit von der Biegelinie der Seilführung auf geringmächtige Lagerstätten beschränkt. Die durch das Zugseil eingebrachten Kräfte bedingen die Grabkraft. Diese ist abhängig von:

- Nutzlast,
- Eigengewicht des Schrappgefäßes,
- Reibungsbeiwert der Schrappbahn,
- Neigungswinkel der Schrappbahn,
- sonstigen Widerständen.

Im Zuge des Schrappens entsteht auf der Eingriffsseite des Schrappgefäßes eine steile Böschung, auf der Austragsseite infolge des Schlepphanges eine vergleichsweise flache Böschung. Nach mehreren Schrappzügen muss die Anlage seitwärts verrückt werden. Bei diesem Gewinnungsverfahren entstehen wegen der flach geneigten Schleppböschung sowie der verbleibenden Rippen zwischen den Schleppbahnen hohe Gewinnungsverluste. Diese werden weiter erhöht, wenn nicht in sehr kleinen Abständen gerückt wird. Kleine Abstände gehen jedoch zu Lasten des Füllungsgrades und damit der Produktion. Die Gewinnungsverluste können verringert werden, indem rechtwinkelig zur vorausgegangenen Aufstellung im Zuge einer Restgewinnung gebaggert wird. Dies geht jedoch ebenfalls stark zu Lasten der erreichbaren Förderleistung.

2.4.9 Schwimmbagger (allgemein)

Seit vielen Jahren baut das Unternehmen Rohr weltweit erfolgreich Schwimmbagger. Es hat sich auf die Entwicklung von Eimerkettenbaggern, Schwimmgreifern, Motorgreifern und Schwimmbändern spezialisiert. Eimerkettenbagger werden für Abbautiefen bis 25 m, Schwimmgreiferbagger von 10 m bis 150 m Mächtigkeit eingesetzt.

7541014/10787806875Biblio

Technische Daten:
Gewicht: 330 t
Greifer: 20 t mit 12 m³ Inhalt
Leistung: 550 t/h
Tiefe bis 60 m
Bandlänge: 170 m
Breite: 1.000 mm
Windenantrieb: 2 × 300 kW

Abb. Fk-12: Schwimmbagger mit Greiferanlage der Fa. Rohr mit Förderband [V46]

Schwimmbagger werden auf stehenden Gewässern bei der Nassgewinnung von Sand und Kies zwischen 10 m bis über 100 m Mächtigkeit eingesetzt. Sie haben keinen eigenen Antrieb, sondern werden mit Hilfe von Verholwinden bzw. Ankerwinden auf dem See positioniert.

Schwimmgreifer haben den Vorteil, dass harte oder zähe Schichten durchstoßen werden können. Sie können mit einem Seil- oder Hydraulikgreifer ausgerüstet werden.
Für den Transport über Schwimmbänder wird der Batchbetrieb über den Greifer mit Hilfe eines Trichters in einen kontinuierlichen Prozess umgesetzt.

Um die notwendige Restfeuchte, die für den Schwimmband-Transport benötigt wird, zu erreichen, kommt in der Regel eine Entwässerungs-Siebmaschine zum Einsatz. Der Siebdurchschlag fällt entweder zurück in den See oder wird mittels Sandrückgewinnung wie Pumpe und Zyklon oder durch eine Sandaufbereitung wie Bebrausung, Pumpe und Zyklon und Sandentwässerungssieb zurückgewonnen bzw. aufbereitet. Sämtliche Schwimmgreifer sind mit modernster Antriebstechnik inklusive SPS, GPS-Ortungs-Systemen, Tiefensonar und entsprechenden Betriebsdaten-Systemen ausgestattet.

2.4.10 Eimerkettenbagger

Eimerkettenbagger werden als landgestützte Geräte mit Raupenfahrwerk und als Schwimmbagger gebaut. Für die Nassgewinnung von Lagerstätten geringer Mächtigkeit werden bis zu 12 m Abbautiefen Landeimerkettenbagger auf Raupenfahrwerken eingesetzt.

Die Produktpalette der Rohr & PS GmbH umfasst Eimerinhalte von 75 l bis 185 l mit durchschnittlichen Gewinnungsleistungen von 100 bis 250 m³/h.

7541014/10787806875Biblio

Für die Baggerung in Seen oder für den Einsatz auf Flüssen werden schwimmende Eimerkettenbagger mit Eimerinhalten von 110 l bis 450 l für Abbautiefen bis 25 m mit Gewinnungsleistungen von 120 bis 500 m³/h angeboten.

Einen großen Qualitätssprung in Richtung Betriebssicherheit und Minimierung der Verschleißkosten hat der Einsatz der ölgeschmierten Traktorkette als Zugorgan gebracht. Ein weiterer Vorteil ist die Reduzierung des Geräuschpegels auf Werte, die den Einsatz von Eimerkettenbaggern auch in der Nähe von Wohngebieten zulassen. Je nach Anforderungen und Kundenwunsch werden die Eimerkettenbagger mit Entwässerungssiebmaschine für Schwimmbandtransport oder direkte Verladung in Schuten ausgeführt.

Techn. Daten:
Becherinhalt: 160 l
Förderleistung: 220 m³
Leistung: 55 kW

Abb. Fk-13: Landgestützter Eimerkettenbagger Typ K 160 R [V46]

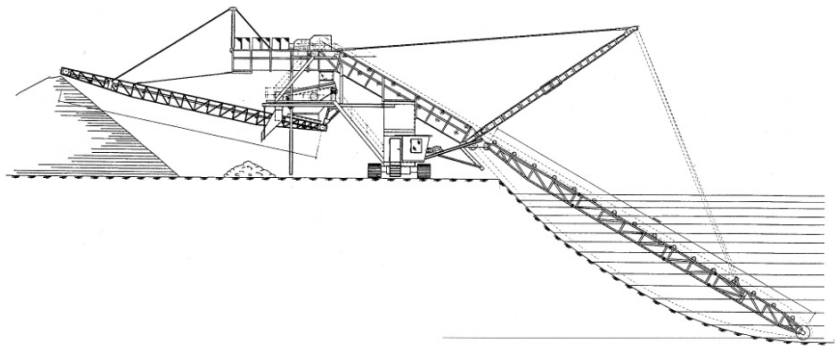


Abb. Fk-14: Eimerkettenbagger Typ K 160 R – schematische Schnittdarstellung [V46]

2.4.11 Schwimmender Eimerkettenbagger

Bei diesem Gerätetyp wird ebenfalls ein Becherwerk betrieben, das aber im Vergleich zum landgestützten Eimerkettenbagger umgekehrt läuft und den zu gewinnenden Boden vor der Ortsbrust schwimmend abgräbt. I. d. R. arbeitet das Gerät an der Böschungsunterkante unter Wasser und provoziert so bei locker gelagertem Kiessand ein Nachrutschen der darüberliegenden Schichten.

Abbauplanerisch erreicht man im Vergleich zum landgestützten Eimerkettenbagger mit Einsatz eines schwimmenden Eimerkettenbaggers einen höheren Freiheitsgrad. Die Eimerkette besteht in der Nassbaggerei aus einer Anzahl von ca. 30 bis 80 Eimern mit

7541014/10787806875Biblio

Eimerinhalten von 300 l bis 1.500 l, die durch über Rollen laufende Kettenglieder, sog. Schaken, verbunden sind. Die Bagger erreichen Tiefen bis 45 m.

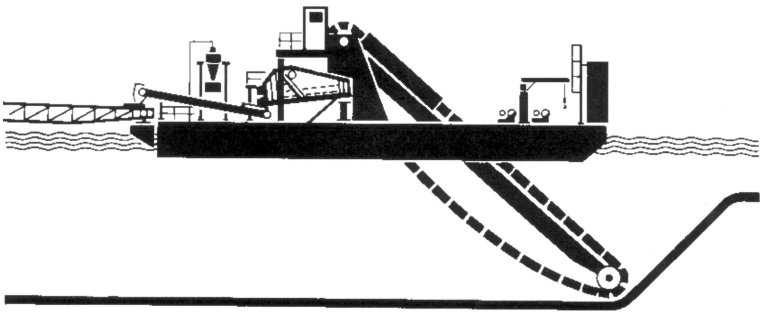


Abb. Fk-15: Schwimmender Eimerkettenbagger – schematisch dargestellt [16]

Ein Nachteil des schwimmenden Eimerkettenbaggers ist der erhebliche Lärmpegel, der sehr ungleichförmig anfällt. Der Schallleistungspegel eines Eimerkettenbaggers erreicht Werte von > 125 dB(A), der des Grundsaugbaggers dagegen nur bis zu 110 dB(A).

In enger besiedelten Industrie- und Wohngegenden ist der Einsatz des Eimerkettenbaggers deshalb oftmals auf wenige Stunden pro Tag beschränkt. Neben der Lärmentwicklung ist die vergleichsweise große Entwicklung von Trübungswolken nachteilig. Bei Baggerung bindiger Böden mit zu hoher Kettengeschwindigkeit besteht darüber hinaus die Gefahr, dass die Eimer nicht in den Schüttrumpf entleeren, sondern erst beim Wiedereintauchen ins Wasser.

Abb. Fk-16: Schwimmender Eimerkettenbagger [16]

2.4.12 Schwimmgreiferbagger

Der Greiferbagger eignet sich insbesondere bei Abbautiefen größer 20 m und bei ungleichförmigem Boden mit Steinen.
Je nach Lastfall und Abbautiefe kann der Bagger u. U. bis zu 2 Jahre und mehr auf einer Position verharren. Bei geringerer Baggertiefe nehmen die unvermeidbaren Gewinnungsverluste überproportional zu.

7541014/10787806875Biblio

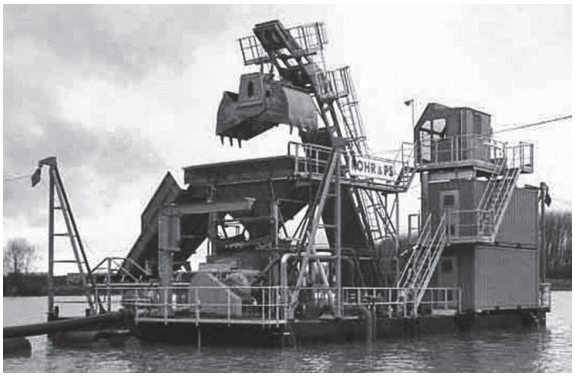
Für größere Baggertiefen und für Lagerstätten mit Einschlüssen von Verfestigungen, Holz und Findlingen werden Schwimmgreiferbagger eingesetzt, vor allem bei der Nassgewinnung von Kies und Sand zwischen 10 m bis 100 m Mächtigkeit. Sie haben den Vorteil, dass harte oder zähe Schichten durchstoßen werden können.

Die Anlagen können als Seil- oder Hydraulikgreifer ausgerüstet werden. Je nach Materialvorkommen und Verwendungszweck kommen Ausleger-, Bockgerüst- oder Katamaranbagger zum Einsatz. Sie sind neben dem Grundsaugbagger beim Abbau von Kies und Sand am häufigsten im Einsatz.

Entsprechend dem nachgeschalteten Fördersystem werden Schwimmgreiferbagger konzipiert für:

Bandtransport, Schutentransport, Rohrleitungstransport, Direktbeladung, hydraulischen Transport des Sand-Kiesmaterials mittels Feststoffpumpe und andere.

Die Beliebtheit der Bagger resultiert aus dem vergleichsweise zum hydraulischen Verfahren geringen Verschleiß bei Kiessandförderung. Weiter sind mit einem Schwimmgreifer große Tiefen erreichbar, die bei der hydraulischen Gewinnung erheblichen Geräteaufwand bedeuten würden. Erst seit der Jahrtausendwende werden für die Kies- und Sandgewinnung Grundsaugbagger entwickelt, die Abgrabungen bis ca. 100 m Wassertiefe erlauben.



Techn. Daten:
Greiferinhalt: 6 m³
Traglast: 20 Mp
Leistung: 260–320 kW
Baggertiefe: 45 m [V16]

Abb. Fk-17a: Schwimmgreifer-Bagger System – Typ Af3 6/200

Der Schwimmgreifer wird für Abgrabungen im terrestrischen Bereich je nach Verwendungszweck und Anforderung des Förderbetriebes gebaut als:

- Auslegergreifer mit Gewinnung vor Kopf, angewandt bei Abgrabung flacherer Lagerstätten,
- Portalgreifer bei Abtransport des Fördergutes mittels Schuten.

2.4.13 Nassgewinnung mit Saugbaggern

Die Maschinenfabrik Heinrich Döpke GmbH, Norden, verfügt über eine breite Palette an Saugbaggern für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Aufgrund der über 40-jährigen Erfahrung mit über 400 weltweit gelieferten Saugbaggern zeichnen sich diese Gewinnungsgeräte durch ihre Leistungsstärke und wirtschaftliche Betriebsweise aus; sie sind in robuster Stahlkonstruktion ausgeführt. Es sind Abbautiefen bis über 30 m und mehr möglich. Die Hochleistungspumpen haben eine Leistung von 100 bis 5.000 m³/h.

7541014/10787806875Biblio

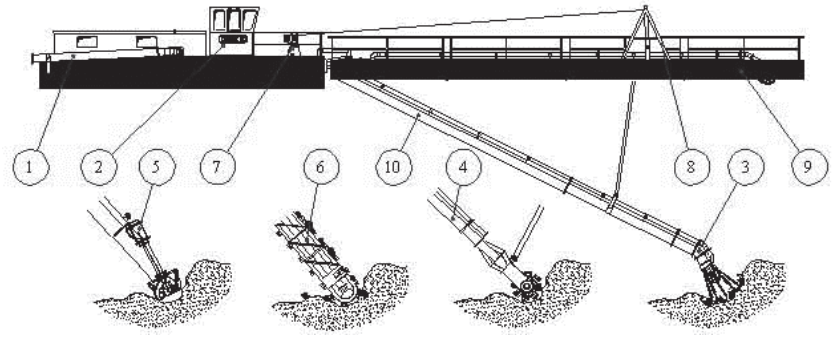
Bei schwierigen Bodenverhältnissen werden verschiedene Lösehilfen angeboten. Hierbei ist zwischen hydraulisch und mechanisch arbeitenden Lösehilfen (Schneidrad, Schneidkopf, Kratz- und Förderkette) zu unterscheiden. Saugbagger mit Lösehilfe werden vor allem in festen oder lehmigen Schichten, zur Restentkiesung bzw. bei erhöhtem Grobkornanteil eingesetzt. Der theoretische Ausbeutungsgrad mittels Schneidrad liegt bei ca. 97 %.

Unterstützt wird die Effektivität durch die Möglichkeit der Automation des Saugbaggerbetriebes durch Fernsteuerung und Fernüberwachung. Moderne Automatisierungssysteme bewirken eine bedienungsfreundliche, bildschirmorientierte Baggerführung und damit eine kontinuierliche Entkiesung.

Abb. Fk-17b:
Saugbagger von Döpke im Einsatz [V57]

Neu im Programm ist eine lagerstättenorientierte Saugrohrautomatik in Verbindung mit einer DGPS- und Sonaranlage, um einen optimalen Abbau der Lagerstätte zu garantieren.

Für die umweltfreundliche Entschlammung von Seen, Flüssen, Häfen sowie kleinen Gewässern bietet Döpke spezielle Schneidkopf-Saugbagger („Cutterbagger“) und Schlamm-Entwässerungseinrichtungen an.



1. Druckrohr, 2. Bedienungsraum, 3. Saugkopf mit Jet-System,
4. Schneidrad, 5. Schneidkopf, 6. Förderkette, 7 Saugrohrwinde,
8. Ausleger für Saugrohr, 9. Saugrohr-Führungsschwimmer, 10. Saugrohr

Abb. Fk-18: Schematische Darstellung eines Saugbaggersystems [V 57]

7541014/10787806875Biblio

Die wirtschaftliche Arbeitsweise dieser Bagger wird durch den Einsatz eines neuartigen Schreitpfahlsystems mit schwenkbarer Schneidkopfleiter anstelle von herkömmlichen Vorholwinden optimiert.

2.5 Quarzsand-Nassabbau

2.5.1 Haltener Sande

Als **Haltener Quarzsande** bezeichnet man eine Ablagerungsfolge der Kreidezeit, die durch ein kieseliges Bindemittel häufig schwach verfestigt sind. Sie haben eine Ausdehnung von annähernd 900 km² und erstrecken sich halbmondförmig etwa von Lüdinghausen bis Borken.
Die mittlere Mächtigkeit der Ablagerungen beträgt 100 m. Die überwiegend unter dem Grundwasserspiegel anstehenden Quarzsande werden heute in den Gewinnungsteichen (Silberseen) mit Saugbaggern bis zu einer Tiefe von 30 m abgebaut.

Die im Bereich Dülmen, Hausdülmen, Haltern-Flaesheim und Sythen abgelagerten Halterner Sande weisen einen besonders hohen Reinheitsgrad (bis zu 99,9 %) auf, der auf Bleichvorgänge durch huminsäure Wässer zurückzuführen ist.
Die hiesigen Sande werden deshalb in der Glasindustrie zur Herstellung von Flansch- und Hohlglas sowie von Wasserglas für die chemische Industrie und in der Gießereiindustrie zur Herstellung von Gussformen und -kernen eingesetzt.
Auch in vermahlener Form als Quarzmehl finden sie ein weites Anwendungsfeld, so als Füllstoff in Gießharzen und anderen Kunststoffen, als Schleif- und Poliermittel sowie als Rohstoff in der keramischen Industrie.

Um die Versorgung ihrer Kunden langfristig sichern zu können, hat die Quarzwerke GmbH in diesem Gebiet große Vorkommensreserven erworben. Die Lagerstätte ist heute in drei Gewinnungsteichen erschlossen, von denen zwei aktiv sind (Silberseen 1 und 2).

Rund 5,2 Mio. m³ **Quarzsand** können in **Sythen** zusätzlich gefördert werden. Das sieht der nun genehmigte Rahmenbetriebsplan der Bezirksregierung Arnsberg vor. Antragstellerin ist die Sythengrund Wasagchemie Grundstücksverwertungsgesellschaft Haltern. Die Abbaugenehmigung erstreckt sich auf eine Fläche von über 30 ha und hat eine Laufzeit von 16 Jahren. Die Fläche liegt nördlich von Sythen-Lehmbraken und umfasst Teile einer ehemaligen Sprengstofffabrik.

Aufgrund der Vorgeschichte ist bereits im Vorfeld ein umfassendes Konzept zum Bodenmanagement erarbeitet worden. Hinweise auf eine Belastung mit sprengstofftypischen Schadstoffen liegen bisher nicht vor.

Falls es zu einer Belastung des Bodens kommen sollte, ist durch das Bodenmanagement eine Sanierung der Fläche sichergestellt, so dass schädliche Einwirkungen auf die Umwelt nicht zu erwarten sind. Der Boden, das Grundwasser und die benachbarten Gewässer werden zudem regelmäßig untersucht.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fk-19: Quarzsand-Nassabbau mit dem Schneidkopf-Saugbaggerschiff „Sythen“ [V62]

Als Folge der Quarzsandgewinnung wird in unmittelbarer Nachbarschaft zu dem bekannten Badegewässer „Silbersee II“ und dem Gewinnungssee Haltern-Sythen ein weiterer Landschaftssee mit einer Länge von ca. 950 m und einer Breite von bis zu 300 m entstehen. Der See wird zudem etwa 40 m tief sein. Weitere Projekte sind bereits in Planung. Dazu gehört eine Aufbereitungsanlage für den gewonnenen Quarzsand.

2.5.2 Renaturierung

Als im Jahr 2005 die Quarzsandgewinnung des Werkes Haltern vom See Haltern-West (Silbersee II) in den See Haltern-Sythen (Silbersee I) umzog, nutzten Kommunen, Quarzwerke und andere private Unternehmen die Gelegenheit. Unter der Federführung des Regionalverbandes Ruhr (RVR) entwickelten sie ein „Silberseekonzept“, mit dem langfristig Freizeitnutzung, Erholung und Naturschutz an den Aussandungs-Seen der Quarzwerke in Einklang gebracht werden.

Für den Bereich der Freizeitnutzung am Silbersee II wurde eine Betreibergesellschaft, bestehend u. a. aus dem Regionalverband Ruhr, der Stadt Haltern am See, und Quarzwerke gegründet. Diese Betreibergesellschaft richtete am Silbersee II einen rund 9 ha großen Badebereich ein.

Den Strand aus feinem weißem Halterner Sand legten die Quarzwerke an. Toiletten und Umkleidemöglichkeiten wurden gebaut und für eine geordnete An- und Abreise sorgen etwa 1.800 Parkplätze.

Die Sicherheit der Badegäste gewährleisten während der Saison ehrenamtliche Rettungsschwimmer der DLRG, die für ihre Arbeit eine feste Behausung erhalten haben. In dem durch Bojen abgetrennten Badebereich können auch Sporttaucher ihr Hobby ausüben.

Für den Surfsport sind die notwendigen organisatorischen und rechtlichen Voraussetzungen geschaffen worden. Bei der Organisation der Surfnutzung war zu bedenken, dass noch für etwa fünf Jahre das Baggerschiff „Sythen“ der Quarzwerke die restlichen Mineralreserven aus dem Silbersee II fördern wird. Damit sich Surfer und Gewinnungsbetrieb nicht in die Quere kommen, wurden das Baggerschiff und seine Nebeneinrichtungen (wie z. B. Stahltrossen) durch gut sichtbare Markierungen kenntlich gemacht. Außerdem regelt eine Surfordnung, wo gefahrlos gesurft werden kann und welche Sicherheitsabstände einzuhalten sind.

7541014/10787806875Biblio

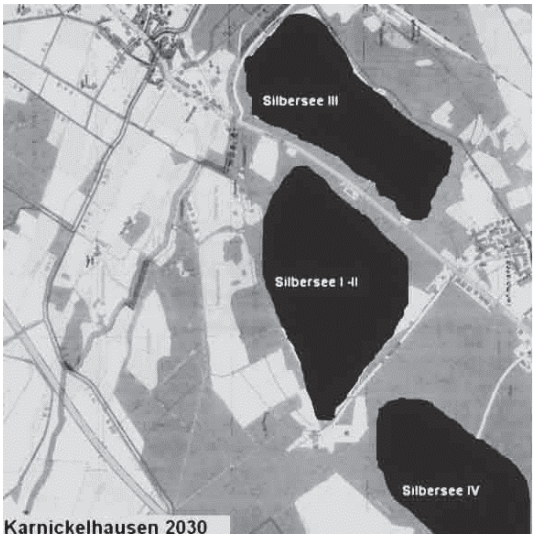


Abb. Fk-20: Rekultivierung eines Quarzsandgewinnungsgeländes in Sythen-Haltern zu einem Freizeitpark [V62]

Abb. Fk-21: FKK-Freizeitgestaltung am ehemaligen Quarzsand-Baggersee in Sythen bei Haltern [V62]

Der „Silbersee“ ist ein eindrucksvolles Beispiel für eine sinnvolle Renaturierung.

Literatur: „Der Nassabbau“ – Autor: Patzold, V. – erschienen beim Springer-Verlag 2008.

7541014/10787806875Biblio

Fg Bergbau auf Erdöl und Erdgas

In Deutschland werden jährlich rund 20 Mrd. m³ (2007: 17 Mrd. m³) Erdgas aus inländischen Quellen gefördert. Dies entspricht etwa einem Fünftel des deutschen Erdgasbedarfs und würde ausreichen, mehr als 10 Mio. Haushalte mit Erdgas zu beheizen. An Erdöl werden in Deutschland jährlich rund 4 Mio. t (2007: 3,4 Mio. t) gewonnen – eine Menge, mit der die inländische Mineralölnachfrage zu rund 3 % gedeckt werden kann. Aus der heimischen Erdölproduktion könnten 700.000 Haushalte mit Heizöl versorgt und zusätzlich Kraftstoffe für die Jahresfahrleistung von 400.000 PKW zur Verfügung gestellt werden.

Die deutsche Erdöl- und Erdgasgewinnungsindustrie gehört insbesondere für die norddeutschen Bundesländer Niedersachsen und Schleswig-Holstein zu den wichtigen Schlüsselindustrien. Die Förderung von Erdgas und Erdöl im Inland entlastet auch die Leistungsbilanz der Bundesrepublik Deutschland und verringert die politische Abhängigkeit. Jeder Kubikmeter Erdgas und jede Tonne Erdöl, die im Inland gefördert werden, brauchen nicht importiert zu werden. Die Unternehmen der Förderindustrie sind vor Ort als Arbeitgeber, Steuerzahler und Auftraggeber ein wichtiger Wirtschaftsfaktor, insbesondere in strukturschwachen ländlichen Gebieten.

1 Überwindung ungünstiger geologischer Verhältnisse

Die Aufsuchung und Förderung von Erdgas und Erdöl im Inland erweist sich seit Jahren als zunehmend schwieriger. Ungünstige geologische Verhältnisse wirken sich erschwerend aus. Dies betrifft vor allem die große Tiefe der Lagerstätten. Zusätzlich sind neue Lagerstätten in Deutschland vergleichsweise klein und erfordern regelmäßig den Einsatz aufwändiger technischer Verfahren, um die Lagerstätten überhaupt in Betrieb nehmen zu können. Die Speichergesteine, in denen Erdöl vorwiegend auftritt, gehören der Jura- und Kreidezeit des Erdmittelalters an. Sie sind 100 Mio. bis 200 Mio. Jahre alt und liegen meist in Tiefen (in der Fachsprache: „Teufen“) von 1.000 m bis 2.500 m.

Die Erdgaslagerstätten liegen hauptsächlich in den Formationen des Zechsteins und des Rotliegenden, die etwa 250 Mio. bis 300 Mio. Jahre alt sind und überwiegend Tiefen von 3.000 m bis 5.000 m erreichen. In jüngster Zeit werden auch Erdgaslagerstätten in noch tieferen Gesteinsschichten (Karbon) gesucht.

Wegen der großen Anzahl an Lagerstättentypen und der Verschiedenartigkeit der Speichergesteine treten erhebliche Unterschiede in der Zusammensetzung und Qualität des Erdgases und Erdöls auf.

Beim Erdgas schwankt vor allem der Gehalt an unerwünschten Begleitstoffen wie Stickstoff, Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid; beim Erdöl spielt u. a. die unterschiedliche Fließfähigkeit, die Viskosität, eine Rolle.

Nähere Hinweise zur Vorerkundung siehe Abschnitt D „Exploration“.

2 Öl- und Gasreserven

Die bekannten inländischen Erdgas- und Erdölreserven weisen schon seit vielen Jahren eine statistische „Reichweite“ von etwa 10 bis 15 Jahren auf. Das heißt, bei Aufrechterhaltung der Produktion in der gegenwärtigen Höhe und unter der Annahme, dass keine

7541014/10787806875Biblio

neuen Vorkommen mehr gefunden würden, wären sie rechnerisch am Ende dieses Zeitraums erschöpft. Höhe und Reichweite der Reserven sind für die Zukunftsperspektive der Erdöl- und Erdgasproduktion nur bedingt aussagekräftig. In der Vergangenheit ist es oft gelungen, die Entnahme aus den Lagerstätten aufgrund der laufenden Förderung durch Neufunde und Neubewertungen der Lagerstätten auszugleichen. Technischer Fortschritt führt dazu, dass heute Lagerstätten besser als in zurückliegenden Jahren genutzt werden können. Auch dadurch steigen die wirtschaftlich nutzbaren Reserven.

Damit inländisches Erdgas und Erdöl noch über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stehen, muss nach weiteren Vorkommen gesucht werden oder anders ausgedrückt: Es müssen Ressourcen zu Reserven entwickelt werden.

Die geologischen Chancen für die Entwicklung neuer Reserven in Deutschland sind vor allem beim Erdgas günstig. Nach Einschätzung der Experten kann damit gerechnet werden, noch einmal annähernd das gleiche Reservenvolumen wie das heute bekannte erschließen zu können. Auch beim Erdöl bieten sich Chancen.

Es bestehen also gute Voraussetzungen, dass Erdgas und Erdöl aus einheimischen Feldern noch auf lange Sicht einen nennenswerten Beitrag zur Sicherung der deutschen Energieversorgung leisten können.

3 Gewinnungstechnik

3.1 Bohrplatz

Tiefbohranlagen sind zeitlich begrenzte Einrichtungen, bei denen neben einem zum Teil enormen Eigengewicht bis zu 800 t auch noch sehr hohe Lasten aus dem Bohrbetrieb auftreten. Heute sind Onshore-Bohranlagen im Betrieb, die zulässige Hakenlasten (Hook Load) bis zu 1.000 t und mehr erlauben.

Bei den Fundamenten bzw. Gründungen sind somit Belastungen bis zu 2.000 t zu berücksichtigen, die auf den Untergrund abgeleitet werden müssen. Dementsprechend sind erforderliche Fundamente, Pfahlgründungen oder Bodenaustausch vorzusehen und zu bemessen.

Für leichtere und mobile Bohranlagen können auch Fertigteil-Stahlbetonplatten verwendet werden. An den Stoßstellen müssen entsprechende Dichtungen vorgesehen werden, damit keine Schadstoffe versickern können.

Die Fundamente sind jedoch nur im unmittelbaren Aufstellbereich der Bohranlage zu berücksichtigen. Daneben sind weitere befestigte Flächenzu berücksichtigen, z. B. für

- Tankanlagen,
- Magazine,
- Werkstatt,
- Gestängelager,
- Kauen und Sanitäranlagen,
- Abwasser- und Kläranlagen,
- Wohnlager,
- Zufahrten für die Ver- und Entsorgungsfahrzeuge,
- Parkplätze.

7541014/10787806875Biblio

Für die Gründungen auf Rasen- und Feldflächen sowie Waldböden gelten bestimmte Vorschriften, wonach der Mutterboden so zu behandeln ist, dass er nutzbar bleibt, so dass er nach Abzug der Bohranlage und Rekultivierung des Platzes wiederverwendet werden kann.

Typ und Größe der Tiefbohranlage bestimmen die benötigte Flächengröße. Leichte und mobile Bohranlagen beanspruchen naturgemäß weniger Platz als schwere und große, stationäre Anlagen. Die Platzgrößen schwanken daher zwischen etwa 3.000 m² und 6.000 m² und mehr.

Die Flächengröße ist abhängig vom Gerätetyp. Kleinere und mobile Bohrgeräte kommen i. d. R. mit einer Fläche von 75 × 40 m entsprechend 3.000 m² aus.

Schwere, stationäre Geräte wie z. B. das RIG 27-IDECO E-3000 der ITAG (Abb. Fg-1) mit einer zul. Hakenlast von 475 t benötigen dagegen schon eine Fläche von 100 × 60 m entsprechend 6.000 m².

Der Bohrplatz wird auch bei fündiger Bohrung wesentlich zurückgebaut, da für spätere Förderung (z. B. Pferdkopf-Pumpe) nur eine wesentlich geringere Fläche benötigt wird.

Bei nicht fündiger Bohrung muss die gesamte Fläche rekultiviert, d. h. in den ursprünglichen Zustand versetzt werden.

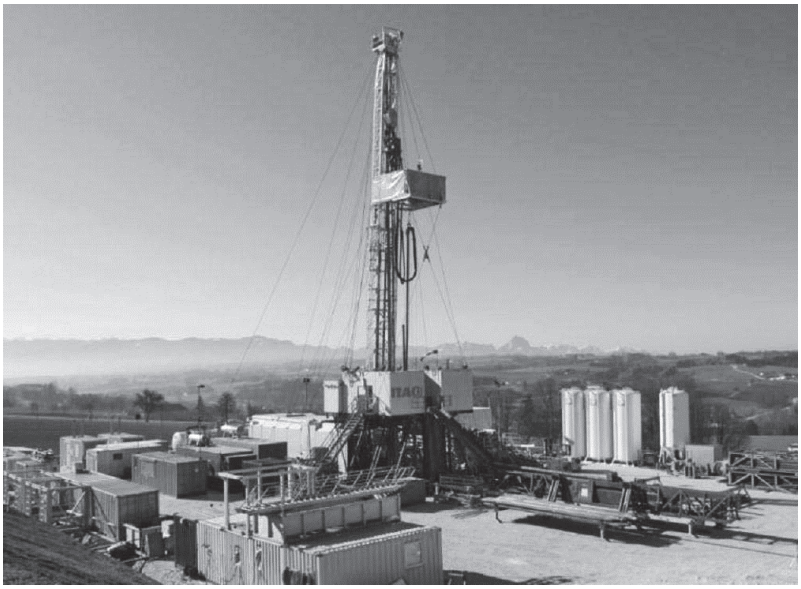


Abb. Fg-1: Beispiel für einen Onshore-Bohrplatz (Betreiber RWE-DEA) mit einem ITAG RIG 2 [V19]

Bohrplatz für ITAG RIG 27
Technische Daten:
Max. Hakenlast: 475 t
Top Drive: 50 kNm
Spülpumpen: 3 × 1.600 PS
Spültanks: 200 + 150 m³

7541014/10787806875Biblio

3.2 Einbringen des Standrohres

Das **Standrohr** hat nach W.E.G-Richtlinien folgende Aufgaben:

- Abdichtung der obersten Gebirgsschichten zur Sicherung der Turmfundamente,
- Zurückhaltung flacher Grundwässer,
- Ermöglichung eines Spülungsumlaufes,
- gegebenenfalls Aufnahme von Absperreinrichtungen (Diverter) bis zum Einbau der Ankerrohrtour,
- in Kombination mit Schutzrohrtour und/oder Ankerrohrtour ggf. Teillastaufnahme aus nachfolgenden Rohrtouren (z. B. bei Verwendung einer Stützplatte).

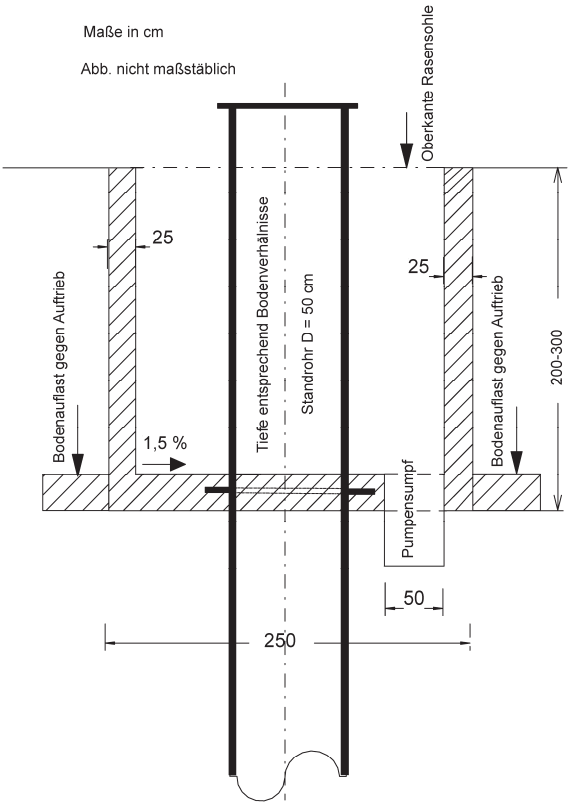


Abb. Fg-2: Beispiel für einen Bohrkeller mit Standrohr [1]

Mit dem Einbau des Standrohres und auch dem oberen Teil der anschließend einzubauenden **Leitrohrtour** sollen auch durchbohrte Grundwasserhorizonte vor Verschmutzung und Verseuchung geschützt werden. Das Standrohr wird in der Regel 2 m bis 3 m tief eingebaut. Das hierfür erforderliche Bohrloch wird häufig bereits im Rahmen der Bohrplatzvorbereitung hergestellt. Im einfachsten Falle wird das Rohr eingerammt und mit einem Schneckenbohrer ausgebohrt.

Bei sehr tiefem Grundwasserstand wird das Standrohr bis zu einer Tiefe von 20 und mehr Metern und vorher noch ein sogenanntes **Hilfsstandrohr** von mehreren Metern Tiefe eingebaut.

7541014/10787806875Biblio

Am oberen Ende des Standrohres befindet sich seitlich ein Ab- bzw. Zuflussstutzen für die austretende oder (bei Umkehrspülbohrverfahren) in den Ringraum einfließende Bohrspülung.
Die Abdichtung des Ringraumes erfolgt je nach Notwendigkeit durch bindiges Bodenmaterial oder durch Einbringen einer Zement- oder Betonfüllung.

Die Standrohre haben i. d. R. einen Durchmesser von 50 cm. Es ist inzwischen üblich, das Standrohr einzurammen. Die Rammtiefen betragen je nach Bodenverhältnissen 5 m bis 30 m (max. 60 m).
Die erforderliche Rammtiefe ist erreicht, wenn die sog. Hitze (Eindringung des Rammrohres bei 10 Rammschlägen) max. 10 cm beträgt. Dabei muss die Rammenergie dem Rammgut (Gewicht, Länge, Durchmesser) entsprechen.

Der Boden wird nach dem Rammen entfernt. Grundsätzlich ist dies mit einem Bagger und Spezialgreifer (Schalengreifer wie bei der Brunnen- und Bohrpfahlherstellung üblich) möglich, besser ist aber ein Drehbohrgerät (mit Bohrschnecke oder Kastenbohrer).

Ist ein Rammen aufgrund schwieriger Bodenverhältnissen nicht möglich, muss das Rohr in ein vorgebohrtes Loch gestellt und einzementiert werden. Sehr wichtig ist, dass das Standrohr absolut senkrecht eingebracht wird, da das Standrohr im späteren Bohrbetrieb hohen Belastungen ausgesetzt ist.

3.3 Leit- und Ankerrohr

Dem Standrohr folgt bei Erdöl- und Erdgasbohrungen die **Leitrohr- bzw. Ankerrohrtour.** Die Bezeichnung Leitrohrtour ergibt sich aus ihrer Funktion für den weiteren, möglichst vertikalen Richtungsverlauf des Bohrloches. Wenn der Bohrlochabschnitt, in dem die Leitrohrtour eingebracht wird, ohne große Bohrlochabweichung verläuft, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich beim Weiterbohren eine größere Bohrlochneigung aufbaut, weitaus geringer, als wenn bereits im oberen Teil eines Bohrloches größere Bohrlochabweichungen aufgetreten sind. Als Sicherheits- oder Ankerrohrtour wird die Leitrohrtour dann bezeichnet, wenn auf dieser Rohrtour die erforderlichen Sicherheitsarmaturen, wie sie für das Bohren auf unter Druck stehende Medien (Erdöl, Erdgas, Dampf, Kohlensäure usw.) erforderlich sind – allgemein als Preventer bezeichnet –, verankert, d. h. verschraubt werden.

Die Leitrohrtour wird unter den geologischen Bedingungen Mitteleuropas in der Regel bis zur Basis der nicht oder wenig verfestigten Sedimente des Quartärs und des Tertiärs eingebaut. Sie dient dazu, den wenig standfesten Teil des Bohrloches schnellstmöglich abzusichern. Sie kann eine Teufe von bis zu mehreren hundert Metern erreichen.

Übergänge zwischen Kellersohle und Kellerwand müssen mit einem endlosen Fugenband versehen werden, damit ein Eindringen von Grundwasser und damit eine Unterspülung des Bohrkellers vermieden wird.

3.4 Technische Rohrtouren

Der Leitrohrtour folgen die **Technischen Rohrtouren.** Diese und weitere sogenannte Technische Rohrtouren sind notwendig, um Schichten mit vergleichbaren geologischen, geochemischen Eigenschaften und mit vergleichbaren Drücken fluider Medien in den Poren- und Klufträumen permeabler Schichten von solchen Bereichen zu trennen, die andersartige Eigenschaften und Druckverhältnisse aufweisen.

7541014/10787806875Biblio

So werden z. B. unter den geologischen Bedingungen Mitteleuropas einschließlich der Niederlande und Polens die Schichten des Mesozoikums in der Regel als nächster Schichtenkomplex nach dem Tertiär verrohrt und zementiert, bevor die darauf folgenden Schichten des Zechsteins angebohrt werden. Der Zechsteinbereich mit seinen häufig stark plastischen Salzschichten und mit teilweise auch unter Überdruck stehenden Laugenhorizonten erfordert die Anwendung anderer Spülungsrepturen und Spülungsdichten als die Schichten des darüber liegenden Mesozoikums und auch als die des nachfolgenden Rotliegenden.

3.5 Produktionsrohrtour

Die **Produktionsrohrtour** ist die Rohrtour, die bei Bohrungen auf flüssigen oder gasförmigen Rohstoff wie Erdöl, Erdgas, Salzsole, Mineral- oder Thermalwasser vorgesehen ist. Es handelt sich um die diejenige Rohrtour, die im Bereich einer durchbohrten Lagerstätte eingebaut wird. Damit ist aber nicht grundsätzlich gesagt, dass in der Produktionsrohrtour in jedem Falle auch das zu fördernde Fluid an die Oberfläche transportiert wird.

Da die Produktionsrohrtour auch zementiert werden muss, würde das produzierende Bohrloch dann schnell unbrauchbar werden, wenn das zu fördernde Medium korrosive Komponenten enthält, wie z. B. H_2S, Salzwasser, CO_2 und anderes mehr, die das Rohrmaterial durch Korrosion zerstören würden.

3.6 Förderrohrtour

In solchen Fällen wird in das Bohrloch eine **Förderrohrtour**, auch als **Tubingstrang** bezeichnet, eingebaut, die nicht zementiert, sondern mit Hilfe von Packern an der Innenwand der Produktionsrohrtour verankert wird. Die Fördertour besteht aus starkwandigen, mit Bohrungen oder Schlitzen versehenen Stahlrohren.

Der Ringraum zwischen Produktionsrohrtour und Tubingstrang wird mit einer nichtkorrodierenden Schutzflüssigkeit verfüllt. Unter diesen Bedingungen ist das Auswechseln der Fördertour relativ unkompliziert.

Um den richtigen Zeitpunkt für das Auswechseln eines Förderstranges erkennen zu können, kann man sich mit folgender Maßnahme helfen:

In den Strang bzw. in die übertägige Rohrleitung für das zu transportierende fluide Medium wird ein Metallstück eingehängt, das etwas korrosionsempfindlicher ist als das Material, aus dem der Tubingstrang hergestellt wurde. Dieses Metallstück wird in festgelegten Zeitabständen geprüft, und wenn eine Korrosion entsprechend weit fortgeschritten ist, kann der etwas korrosionsträgere Tubingstrang ausgebaut werden, ohne dass die Gefahr eines vorherigen Zusammenbruches dieses Rohrstranges im Bohrloch besteht. Die Beseitigung einer derartigen Havarie ist mit erheblichen materiellen Schäden und Produktionsausfällen verbunden. Andererseits ist es wiederum unwirtschaftlich, einen Tubingstrang zu früh auszuwechseln, bevor er seine optimale Betriebsdauer erreicht hat.

3.7 Verlorene Rohrtour – Liner

Innerhalb einer Bohrlochkonstruktion kann es aus unterschiedlichen Gründen notwendig und sinnvoll sein, die Produktionsrohrtour nicht bis nach über Tage zu führen, sondern sie innerhalb des Bohrloches enden zu lassen. Eine solche Rohrtour wird, einem alten Sprachgebrauch in der Bohrtechnik folgend, als Verlorene Rohrtour bezeichnet.

7541014/10787806875Biblio

Beim Bohren auf Erdöl und Erdgas wurde inzwischen der im Angelsächsischen gewählte Ausdruck Liner übernommen.

Der Einbau der **Verlorenen Rohrtouren** erfolgt vorwiegend in Tiefbohrungen, z. B. um gegebenenfalls Rohrmaterial einzusparen, wenn bei einer Erkundungsbohrung die Aussicht auf Fündigwerden gering ist.

Verhältnismäßig selten werden Verlorene Rohrtouren mit begrenzten Längen in solchen Bohrlochbereichen eingebaut, die z. B. tektonisch stark gestört sind oder die intensive Laugenzuflüsse aufweisen. Der Einbau und die Zementation von Linern sind verhältnismäßig kompliziert und bergen in vielen Fällen die Gefahr, dass die durchgeführten Arbeiten nicht alle Anforderungen erfüllen. Sie werden in der Regel von Spezialisten durchgeführt.

3.8 Sonstige Nebenanlagen

Der Bohrplatz ist jedoch nur ein Teil eines Bohrbetriebes. Hinzu kommen die zu den Nebenanlagen zählende Zufahrt sowie ausreichende Parkplätze für Beschäftigte und Besucher. Außerdem befinden sich bei landgestützten Bohranlagen die Wohn- und Schlafeinrichtungen (Container) mit den sanitären Anlagen auch außerhalb des Bohrplatzes.

Lediglich eine Tageunterkunft für Pausen und Einnahme der Mahlzeiten ist Bestandteil des unmittelbaren Bohrplatzbereiches. Die Zuwegung zum Platz wird in der Regel in einer Breite von 5,50 m angelegt, wovon 3 m bis 3,5 m mit einer Asphaltdecke befestigt werden. Im unmittelbaren Bohrplatzbereich wird die Straße auf etwa 8 m verbreitert, um das Abstellen von Versorgungsfahrzeugen zu ermöglichen.
Außerdem werden an der Längsseite des Bohrplatzes in der Regel zwei Zufahrten eingerichtet, um ein reibungsloses An- und Abfahren zu ermöglichen.

Die Zufahrtsstraße selbst muss von den zuständigen Behörden und den betroffenen Gemeinden in ihrer Straßenführung bewilligt werden. Zunächst einmal muss eine geeignete Abfahrtsmöglichkeit von einer öffentlichen Straße gesucht werden, wobei diese jedoch nicht immer in optimaler Nähe zum Bohrplatz liegt. Die Straßenführung im Feld wird meistens von den Gemeinden vorgegeben, wobei angestrebt wird, die landwirtschaftliche Nutzung des Gebietes so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Das führt häufig dazu, dass die Zuwegung nicht geradlinig verläuft, sondern Felder umfährt und damit beträchtliche Länge haben kann.

Parkplätze für Beschäftigte und Besucher werden in ausreichender Zahl am Rande des Platzes in der Nähe der Zufahrt angelegt, wobei sich deren Ausbau nach geltenden Richtlinien und den örtlichen Gegebenheiten richtet.

Bei der Planung eines Bohrplatzes sind außerdem zu berücksichtigen:

- die Schallemissionen der Bohranlage im Nahbereich von Bebauungen,
- der Umsturzbereich entsprechend der Masthöhe,
- Einhaltung von Sicherheitsabständen der Fackel zu umgebenden Gebäuden, Straßen und Waldgebieten,
- Zufahrten für Kräne, Schwerlastfahrzeuge, Feuerwehr,
- Fluchtwege.

Die vorgenannten Maßnahmen liegen je nach Auftragsvereinbarung im Aufgabenbereich des Auftraggebers.

7541014/10787806875Biblio

3.9 Gerätetechnik

3.9.1 Gerätegruppen

Die Gerätetechnik umfasst folgende Gruppen:

- Bohranlage – Rig (Turm, Mast),
- Bedienungsstand (Driller-Console),
- Preventer,
- Dieselmotore,
- Generatoren,
- Spülpumpen,
- Spülungsbehälter,
- Spülungsmischanlage,
- Aufbereitungsanlagen,
- Werkstatt-Container,
- Tankanlagen,
- Wohn- und Schlaf-Container (einschl. der außen liegenden Anlagen),
- Sanitäre Anlagen,
- Lager für Spülungszusätze (Bentonit, Zement),
- Kläranlagen.

3.9.2 Bohranlagen

Grundsätzlich unterscheidet man für den Onshorebereich

- mobile (fahrbare) Anlagen,
- stationäre Anlagen.

Für Bohrungen ab einer Teufe von ca. 1.500 m bis 3.000 m werden i. d. R. wegen der höheren Hakenlasten stationäre Anlagen verwendet.

Die mobilen Anlagen haben den Vorteil der geringeren Transport- und Einrichtungskosten. Sie sind in kürzerer Zeit aufgebaut und benötigen dazu keine Kranhilfe.

3.9.2.1 Begriffsbestimmung

Die Bohreinrichtungen wurden in früherer Zeit sehr individuell gestaltet. Eine Normung und Berechnung wird erst in der Neuzeit vorgenommen. Es gab keine festgelegten Typen, da jeder Hersteller seine eigenen Ideen verwirklichen wollte. Das trifft sowohl für die Konstruktion wie auch für das Bohrsystem zu.

Der **Bohrturm** ist i. d. R. allseits geschlossen und im Vergleich zu seiner Grundfläche sehr hoch.

Ein **Bohrgerüst** als freistehender Baukörper ist von den Abmessungen her dem Turm vergleichbar, jedoch nicht geschlossen, sondern besteht aus einer Gitterkonstruktion.

Der **Mast** ist ein schlankes, hohes Bauwerk mit im Vergleich zur Höhe sehr kleiner Grundfläche.

7541014/10787806875Biblio

Bohranlage (Drill Rig) ist die heutige übliche Bezeichnung. Die Konstruktionen haben sich im Wesentlichen angeglichen.

3.9.2.2 Entwicklung

- **Historische Bohrgerüste**

Die ersten Bohrtürme sollen bereits etwa 2000 v. Chr. in China eingesetzt worden sein. Für die Gerüste wurden vermutlich Bambusstangen verwendet, da diese sehr elastisch sind und nicht so leicht brechen wie Holz. Drei oder vier Stangen wurden entsprechend einer Pyramide an der Spitze zusammengebunden. Die Herstellung der Bohrungen erfolgte vornehmlich zur Wasser- oder Solegewinnung und sollen schon Teufen bis zu 1.000 m erreicht haben. Es handelt sich um Annahmen, die bisher noch nicht eindeutig belegt wurden.

- **Hölzerne Bohrtürme**

Die hölzernen Bohrtürme wurden überwiegend im Eigenbau aus Holzbalken, Bohlen und Brettern zusammengezimmert. Für jede neue Bohrung wurde in der Regel ein neuer Bohrturm gebaut.

Da keine Normungen und Vorschriften bestanden, wurden die Bohrtürme nach den jeweiligen Vorstellungen und Ermessen des Bohrunternehmers nach den zu erwartenden Bohrteufen konstruiert. Mit der Zeit hatte sich aber eine nahezu einheitliche Form durchgesetzt. Die Bohrtürme blieben entweder offen oder wurden mit Brettern verschalt (siehe Abb. Fg-3).

Obwohl Holzbohrgerüste in den USA bereits ab 1910 systematisch vom dort entwickelten Stahlbohrgerüst verdrängt wurden, sind sie noch 1926 vom API genormt worden. In Deutschland wurden hölzerne Bohrgerüste noch bis um 1935 eingesetzt.

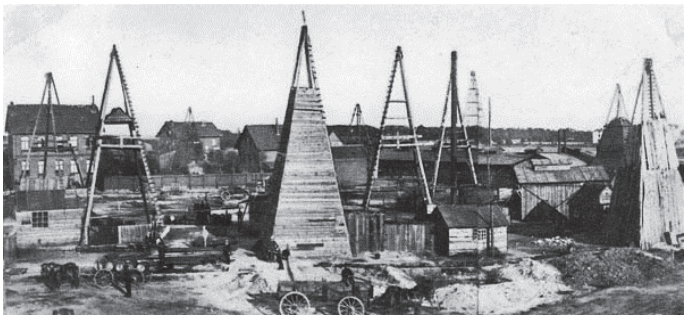


Abb. Fg-3: Hölzerne Bohrtürme auf dem Erdölfeld Öelheim bei Braunschweig um 1890 [5]

- **Stahlbohrgerüste**

Nachdem die ersten Stahlbohrgerüste Anfang des 20. Jahrhunderts in den USA eingesetzt wurden, wurden sie sehr schnell zum üblichen Standard für Tiefbohrgerüste und in verschiedenen Typen hergestellt. Eine API-Normung erfolgte im Jahre 1926.

Mit den Stahlbohrgerüste war es nun möglich, mit Dreierzügen von 27 m (drei Stangen mit je 9 m) zu arbeiten.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-4: Stahlbohrgerüst

- **Moderne Mastkonstruktionen**

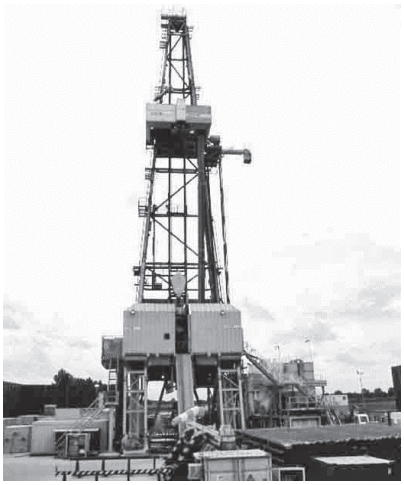
Aus wirtschaftlichen Gründen gab eine Reihe von Bohrgeräteherstellern Anfang 1960 die Herstellung auf. Andere sahen in der zunehmenden Exploration ein Chance und entwickelten moderne Geräte für größere Teufen (4.000 m bis 6.000 m) mit wesentlich höheren Lagerstättendrücken. Die Unterbauhöhen vergrößerten sich von bisher 4 m bis 6 m auf 10 m bis 14 m. Die höheren Lasten durch Rohrtouren bis zu 6.000 m erforderten eine entsprechende Verstärkung der Mastkonstruktionen. Ferne wurde an einer Verkürzung der Rüstzeiten gearbeitet.

Was die Stückzahlen der hergestellten Bohrgeräte angeht, so ist die USA nach wie vor führend. Es handelt sich aber dabei vorwiegend um Standard-Systeme.

Bei der Herstellung von Sonderkonstruktionen haben sich auch deutsche Bohrgeräteheresteller einen Namen gemacht. Hierzu gehören z. B. Wirth, Itag, Deutag und Bentec.

Die Besonderheit bei der Itag-Bohranlage Rig 30 wie auch z. B. bei den Deutag-Anlagen T-46, T-43 und T-2000 ist, dass sie über einen zerlegbaren Mast aus mehreren Segmenten verfügen, die unter Kraneinsatz horizontal übereinander gesetzt werden. Aggregate, Spülpumpen und sonstige Geräte und Maschinen sind in Containern untergebracht. Beim Aufbau muss allerdings eine exakte Anlieferungsplanung gemacht werden, da man beim Umbau auf der neuen Lokation nur wenig Platz hat, um Anlagenteile zwischenzulagern, so dass alle Teile immer dann anzuliefern sind, wenn sie auch verarbeitet werden.

7541014/10787806875Biblio



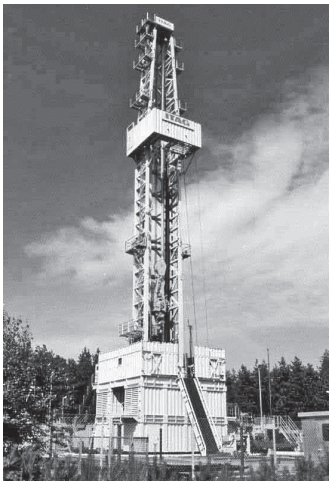


Abb. Fg-5: Beispiele für Bohrgeräte mit moderner Mastkonstruktion – links: Rig KCA-Deutag Typ T 45 [V47] – rechts: ITAG-Rig 30 [V19]

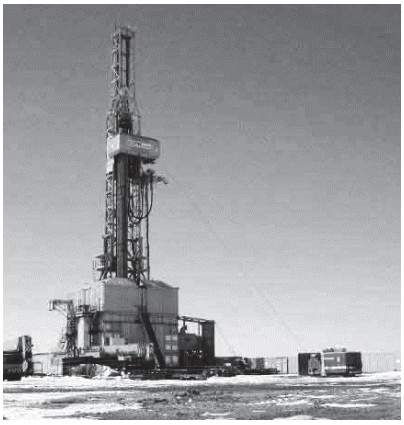


Abb. Fg-6: Deutag-Rig T 200 aus dem Jahre 1995 (heute noch im Einsatz) [V47]

Der Leitstand (Driller-Console) ist ebenfalls kompl. in einem Container untergebracht und i. d. R. schallisoliert und klimatisiert. Ein Beispiel für eine Driller-Console zeigt Abb. Fg-7.

Abb. Fg-7: Beispiel für eine Driller-Console [V26]

7541014/10787806875Biblio

3.9.3 Organisation des Auf- und Abbaus

Die Arbeitsvorbereitung für den Auf- und Abbau kann nicht nach einem generellen Schema vorgehen, da jede Anlage eines besonderen, ganz spezifischen Auf- und Abbaukonzeptes bedarf.

Hierin ist festzulegen, in welcher Reihenfolge beim Auf- oder Abbau jeweils vorzugehen ist, welcher Kran mit welcher Hakenlast und welchem Ausleger wo verfügbar sein muss oder ggf. zwei Krane benötigt werden usw.

Nach dem Aufbau des Mastes erfolgt der Einbau Top Drive mit den entsprechenden Führungen und den Winden. Die Spülpumpen und Aggregate sind größtenteils in Containern installiert, die je nach Anforderungen auch schallisoliert sind. In den Serviceplattformen sind Kabel- und Rohrkanäle vorgesehen, die das Installieren erleichtern. Auch für sonstige Einrichtungen sind alle Vorbereitungen in und an den Containern vorgesehen.

Die Büros für den Company-Man (Vertreter der Ölfirma) und den Tool Pusher (Bohrmeister) werden voll eingerichtet in Containern angeliefert. Das Gleiche gilt für Werkstätten, Sanitäranlagen und Tagesunterkünfte für die Bohrmannschaft und die Driller's Cabin.

Wie auch beim Aufbau anderer Mastsysteme, sind die zulässigen Windgeschwindigkeiten zu beachten.
Bei Windgeschwindigkeiten bis zu 13 m/s ist eine Montage möglich. Allerdings sind kritische Arbeiten in größeren Höhen, wie z. B. die Montage des Rollenlagers, schon ab Windgeschwindigkeiten von 9 bis 12 m/s nicht mehr möglich. Gemessen wird die Windstärke am Kranausleger. Wegen fehlender Vorschriften hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten entscheidet der Aufbaumeister.

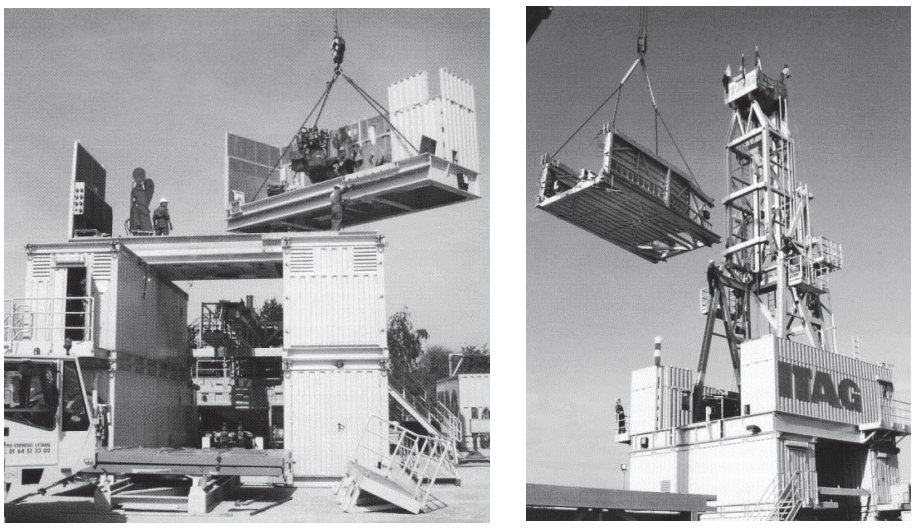


Abb. Fg-8: Aufbau ITG-Rig 30 in Container-Bauweise [V19]

Mit diesen Anlagen, aber auch mit den sonstigen Bohranlagen haben auch deutsche Bohrgerätehersteller (Bentec, Itag, Deutag), die keine Massenproduktion fertigen, bewiesen, dass sie auch moderne Bohranlagen herstellen können.

7541014/10787806875Biblio

Die deutsche Fa. Satvia in Gommern, stellt z. B. leistungsfähige mobile Tiefbohranlagen her.

Tiefbohrgeräte der neuen Generation werden von den Fa. Herrenknecht AG, Bauer AG und Streicher GmbH & C. KG hergestellt.

Deutsche Gerätehersteller liefern u. a. auch für bekannte amerikanische Bohrgerätehersteller Strom- und Hydraulik-Aggregate, Spülpumpen und Winden. So sind z. B. Winden und Spülpumpen der Fa. Wirth in vielen Offshore- und Onshore-Tiefbohranlagen wegen ihrer hohen Zuverlässigkeit eingebaut.

3.9.4 Deutsche Tiefbohrgeräteindustrie

Wie bereits erwähnt, wurde die Weiterentwicklung der Tiefbohrgeräte vor und während des Zweiten Weltkriegs in Deutschland vollkommen unterbrochen, da die Geräteindustrie während des Krieges fast ausschließlich der Rüstungsindustrie diente und nach dem Weltkrieg der Wiederaufbau im Vordergrund stand.

Als eine Art Entwicklungshilfe erhielt Deutschland während der Wiederaufbauphase ausgediente API-Bohrgerüste aus den USA, die bis zum heutigen Tag eine Vormachtstellung der USA auf diesem Gebiet besitzen.

Nachdem viele Einschränkungen der Siegermächte nach und nach zurückgenommen wurden, begann eine Wiederaufnahme der Produktion in der Bohrgeräteindustrie. Die Geräteentwicklungen im Bereich des Spezialtiefbaus und der Flachbohrtechnik hatten sehr bald mit Unternehmen wie z. B. Bauer, Delmag, Leffer, Herrenknecht, Liebherr u. v. a. eine weltweite Bedeutung erlangt.

So arbeiteten für Tiefgründungen in Honkong zeitweise bis zu über 300 hydraulische Verrohrungsmaschinen der Fa. Leffer bei Bohrpfahlgründungen bis zu einer Teufe von 120 m und mit Durchmessern von bis zu 3.800 mm im Trockenbohrverfahren. Bauer-Spezialtiefbaugeräte, Delmag-Rammen und Liebherr-Großbagger kann man auf Baustellen in der ganzen Welt antreffen. Die deutsche Bohrgeräteindustrie konnte bis heute den enormen technischen Vorsprung der USA-Bohrgeräteindustrie nicht einholen. Trotzdem haben sich einige deutsche Unternehmen, wenn auch mit weit geringeren Stückzahlen, inzwischen am Markt behaupten können. Dies wurde insbesondere durch die Entwicklungen der deutschen Erdgasgewinnung und Erdwärmegewinnung (Geothermiebohrungen) begünstigt.

Eine der führenden deutschen Tiefbohrgerätehersteller ist das Unternehmen Bentec GmbH.

- **Bentec-Tiefbohrgeräte**

Sitz der **Bentec GmbH – Drilling & Oilfield Systems** (gegründet bereits 1880) ist seit 1994 Bad Bentheim. Sie betreibt Niederlassungen in Oman, Thumen (Russland), Moskau (Russland) und Turkmenistan.

Bentec produziert für ihre Anlagen in eigener Regie:

– Bohrgerüste (Rig),
– Hebewerke (Drawworks),
– Spülpumpen (Mud Pumps),
– Drehantriebe (Top Drive),

7541014/10787806875Biblio

– Gestängehandhabung (Pipe handling),
– Elektrische Steuerungs- und Schaltanlagen (Electrical Products).

- **Die Bentec-Rigs**

Folgende Onshore-Bohrgeräte (Rigs) werden zz. produziert:

Rig-Typ	Euro-Rig 250 mt	Euro-Rig 350 mt	Cluster Slider 5000 mt	Nomad Rig
Höhe ges.	40,44 m	52,80 m	46,30 m	43,70 m
Flurhöhe	6,50 m	8,70 m	9,10	8,62
Hebewerk (Drawwork)	Bentec E-1250 920 kW 333 kN	Bentec E-1500 1.150 kW 395 kN	E-1500 1.100 kW 395 kN	E-1500 1.500 kW 440 kN
Top Drive	Bentec TD 500 500 mt 758 kW 63 kNm	Bentec TD 500 500 mt 580 kW 63 kNm	Bentec TD 500 500 mt 758 kW 63 kNm	Bentec TD 500 500 mt 758 kW 63 kNm
Spülpumpen	Bentec T1600 (2 bis 3) 1.200 kW 350 bar	Bentec T1600 3 St. 1.200 kW 350 bar	Bentec T1600 2, 3 optional 1.200 kW 350 bar	Bentec T1600 2, 3 optional 1.600 kW 350 bar
Spültank	Bentec 245 m³ 3 × 86 m³ optional	Bentec 245 m³ 3 × 86 m³ optional	Bentec 245 m³ 3 × 86 m³ optional	Bentec 245 m³ 3 × 86 m³ optional
Generatorantrieb	ges. ca. 6.700 kW	ges. ca. 8.900 kW	ges. ca. 7.600 kW	ges. ca. 8.900 kW

Einsatzorte der Bohranlagen sind: Deutschland, Österreich, Spanien, Nordsibirien, Turkmenistan, Algerien u. a.

- **Die Bentec Hebewerke**

Abb. Fg-9: Bentec-Hebewerke befinden sich in allen Bentec-Rigs. [V2]

7541014/10787806875Biblio

Kenndaten:

Model	E-1250-AC E-1250-DC	E-1500-AC E-1500-DC	E-2000-AC E-2000-DC	E-2300-AC	E-3000 AC
Power rating in kW (hp)	920 (1250)	1100 (1500)	1470 (2000)	1700 (2300)	2200 (3000)
Max. hookload 8 lines in mt (lbs)	245 (540.000)	272 (600.000)	308 (680.000)	340 (750.000)	
Max. hookload 10 lines in mt (lbs)	303 (668.000)	336 (740.000)	381 (840.000)	421 (930.000)	
Max. hookload 12 lines in mt (lbs)		400 (882.000)	453 (1.000.000)	500 (1.100.000)	696 (1.535.000)
Max. hookload 14 lines in mt (lbs)					805 (1.774.000)
Max. hookload 16 lines in mt (lbs)					910 (2.007.000)
Wireline size in mm (inches)	32 (1 1/4)	35 (1 3/8)	35 (1 3/8)	38 (1 1/2)	45 (1 3/4)
Hoisting drum size in mm (inches)	750 x 1716 (29 1/2 x 67 1/2)	846 x 1824 (33 3/8 x 71 3/4)	846 x 1824 (33 3/8 x 71 3/4)	846 x 1824 (33 3/8 x 71 3/4)	990 x 1824 (39 x 71 3/4)
Disc brake	2-plate, 48"	3-plate, 48"	3-plate 48"	3-plate, 48"	4-plate, 60"
Electromagnetic brake	EB-5032 Air cooled	EB-6032 Air cooled	EB-6032 Air cooled	EB-6032 Air cooled	EB-7040 Air cooled
Hoisting speeds	2	2	2	2	2
Length in mm (ft-in)	7200 (23'-7 1/2")	7650 (25'-1 1/8")	7650 (25'-1 1/8")	7650 (25' - 1 1/8")	8700 (28' - 6 1/2")
Width in mm (ft-in)	2985 (9' - 9 1/2")	2985 (9'-9 1/2")	2985 (9'-9 1/2")	2985 (9'-9 1/2")	3200 (10'-6")
Height in mm (ft-in)	2800 (11'-1/4")	2750 (9'-1/4")	2750 (9'-1/4")	2750 (9'-1/4")	3150 (10'-4")
Weight in mt (lbs) less optional equipment	38 (83.775)	44 (97.000)	45 (99.200)	46 (101.400)	60 (132.280)

Bentec stellt auch die erforderlichen Flaschen-Zugblöcke (Traveling Blocks) her. Sie sind für max. Hakenlasten mit hohen Sicherheitszuschägen ausgelegt. Die Abb. Fg-10 zeigt den Traveling-Block TB 650-7.

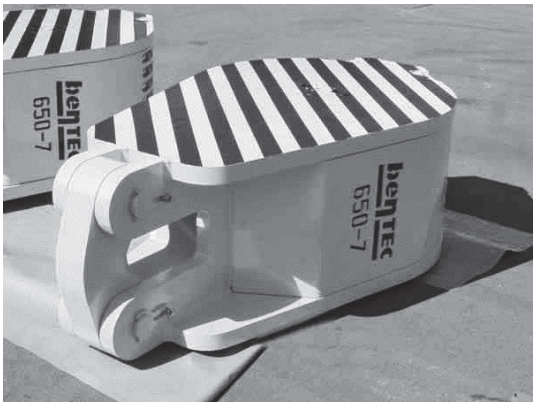
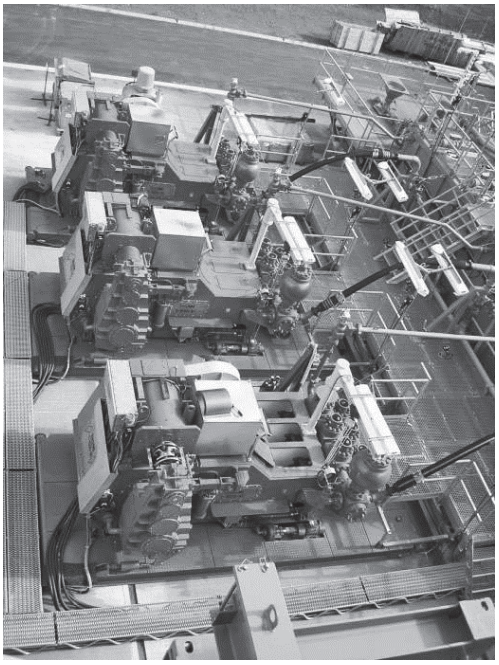


Abb. Fg-10: Traveling-Block [V2]

7541014/10787806875Biblio

- **Bentec-Spülpumpe (Mud Pump)**



Maße und Gewichte:

Einsatzgewicht: 37.000 kg
Länge: 6.680 mm
Breite: 2.948 mm
Höhe: 3.385 mm

Abb. Fg-11: 3 Spülpumpen auf einer Bentec-Rig [V2]

- **Leistungstabelle der Bentec-Mudpumpe Typ T-1600-AC**

Fluid End Sizes			5000 PSI					7500 PSI	
Liner size		Inch mm	7 1/2 190,5	7 177,8	6 1/2 165,1	6 152,4	5 3/4 146,1	5 1/4 133,4	4 3/4 120,7
Max. discharge pressure		psi bar	2988 206	3430 236	3978 274	4669 322	5083 350	6098 420	7449 514
Volume per stroke		gal (US) litre	6,88 26,1	6,00 22,7	5,17 19,6	4,41 16,7	4,05 15,3	3,37 12,8	2,76 10,5
Speed SPM	Max Input HP	Max Input kW	gal / min l / min	gal / min l / min	gal / min l / min	gal / min l / min	gal / min l / min	gal / min l / min	gal / min l / min
120	1600	1193	826 3127	720 2724	621 2349	529 2002	486 1838	405 1532	331 1254
100	1333	994	688 2606	600 2270	517 1958	441 1668	405 1532	337 1277	276 1045
80	1067	795	551 2085	480 1816	414 1566	353 1334	324 1226	270 1022	221 836
60	800	597	413 1564	360 1362	310 1175	264 1001	243 919	202 766	166 627
40	533	398	275 1042	240 908	207 783	176 667	162 613	135 511	110 418

- **Das Bentec Pipe-Handling-System**

Mit dem Bentec-Pipe-Handling-System (Catwalk-System) werden der Bohrgestängetransport und die Handhabung teilautomatisiert. Es ermöglicht den Gestängewechsel ohne eine Zwischenlagerung im sog. „Mauseloch“. Damit kann der Personaleinsatz auf der Arbeitsplattform wesentlich reduziert und das Unfallrisiko erheblich vermindert werden.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-12: Bentec Catwalk Mechanized System (Pipe-Handling) [V2]

- **Der Bentec Top Drive**

Ein Top Drive verfügt über einen oder mehrere Motore (elektrisch oder hydraulisch) und entscheidet sich wesentlich von den konventionellen Drehtischen. Mit dem Top Drive wurde es möglich, mit sog. Dreierzügen (drei Bohrgestänge mit je 9 m bis 10 m bleiben zu einem „Zug“ von 27 m bis 30 m verbunden) zu arbeiten. Die Bedienung erfolgt vom Schichtführer (Driller) in der Kabine (Driller’s Cabin). Damit entfällt bzw. verringert sich ein wesentlicher Unfallbereich.

Die Entwicklung des **Top Drive TD 500 HT** der Bentec beruht auf über 15-jähriger Erfahrung und entspricht dem Qualitätsanspruch für Oilfield-Geräte und dem API-Standard.

Kenndaten

Antriebsleistung	758	kW
Drehmoment	63	kNm
Drehzahl	0–230	U/min
zul. Hakenlast	500	t
Max. Spülungsdruck	500	bar
Höhe	6.900	mm

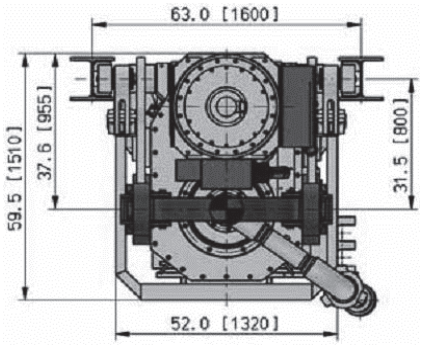


Abb. Fg-13a: Bentec Top Drive HD 500 AT – Ansicht und Schnitt

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-13b: Bentec Top Drive im praktischen Einsatz

- **Bentec – Driller's Cabin**

Abb. Fg-14: Bentec – Driller's Cabin [V2]

In der Driller's Cabin steuert und überwacht der Driller (Gerätführer) alle wesentlichen Arbeitsvorgänge. Er fährt den Top Drive und kann z. B. Gestänge brechen, aufsetzen und abnehmen ohne manuelle Hilfe seiner Mitarbeiter.

7541014/10787806875Biblio

- **Einige Bentec-Rigs im Einsatz**

Abb. Fg-15: links: Cluster-Slider in Nordsibirien – rechts: Euro Rig 250 t – Österreich [V2]

3.10 Neue Entwicklungen bei Tiefbohrgeräten

Auf Grundlage der Bohrgerätekonstruktionen und Verfahrenstechnik in der Trockenbohrtechnik wurden von den Firmen Bauer AG, Schrobenhausen, Herrenknecht Vertical GmbH, Schwanau, und Streicher GmbH, Deggendorf, völlig neue Tiefbohranlagen-Konzepte entwickelt. Die Geräte sind ausgelegt für Teufen bis 5.000 m. Die Hersteller gehen davon aus, dass in den nächsten 15 Jahren mindestens 20 neue Bohranlagen benötigt werden. Die Fa. Bauer hat 2 Gerätetypen für Bohrtiefen von 3.000 m und 5.000 m im Programm. Außerdem hat die zur Streicher-Gruppe gehörende Fa. Satvia GmbH, Gommern, eine neue Generation mobiler Tiefbohrgeräte für Bohrtiefen bis zu ca. 3.500 m entwickelt.

Die vorgestellten Systeme verzichten auf Hebewerke wie bei konventionellen Geräten. Der Gestängevorschub u. -rückzug erfolgt über eine hydraulische Vorschubeinrichtung (Zylinder oder Zahnstange). Die Aufbauzeiten für diese Geräte sind wesentlich geringer als bei den bisher üblichen Tiefbohrgeräten.

3.10.1 Geräte der Fa. Bauer AG

Abb. Fg-16: Bauer-Tiefbohrgeräte [Bauer-Prospekt] – links: Tiefbohrgerät Bauer TBA 200 – rechts: Tiefbohrgerät Bauer TBA 300 [V1]

7541014/10787806875Biblio

Typ	TAA 200	TBA 300	
Masthöhe	33	41	m
Bohrtiefe	3.000	5.000	m
zul. Hakenlast	200	300	t
Installierte Leistung	2,8	4,0	MW
Top Drive – Drehmoment/Leistung	65/530	60/530	kNm/kW
Gesamtgewicht	195	540	t

Die Tiefbohranlagen TBA 200 und TBA 300 eignen sich zur Öl- und Gas-Bohrungen, für Explorations-, Produktions- und Geothermiebohrungen sowie für vertikale und abgelenkte Bohrtechniken. Das System verzichtet auf Windwerke (außer leichteren Hilfswinden), sondern arbeitet mit Vorschubzylindern. Maße und Gewichte der Gerätekomponenten ermöglichen den Transport ohne Sonderzulassungen.

Hinweis: Die o. g. technischen Daten sind Stand 2010.

3.10.2 Tiefbohranlage Typ B001-Terra Invader 350 Ti

Für die Herstellung dieser Anlage wurde eine Tochtergesellschaft der **Herrenknecht AG**, die **Herrenknecht Vertical GmbH**, gegründet.

Abb. Fg-17: Tiefbohranlage Terra Invader 350 Ti [V14]

Kenndaten:

Max. Bohrtiefe	6.000	m
zul. Hakenlast	450	t
installierte Leistung	4.500	kW
Top Drive – Drehmoment/Hakenlast	4.540/43,5	kN/kNm
Masthöhe	52	m
Spülpumpen	2.186	l/min
Gesamtgewicht	370	t
Flächenbedarf	5.400	m^2

7541014/10787806875Biblio

Beschreibung siehe Abschnitt „Geothermie“

Für die Tiefbohranlage Terra-Invador Typ Ti 350 gibt der Hersteller an, dass für die Bedienung des Gerätes pro Schicht lediglich drei Personen erforderlich sind (bei konventionellen Anlagen 5 bis 6).

Sowohl die Bauer-Bohranlage als auch die Herrenknecht- und Streicher-Bohranlagen verfügen über halbautomatische und fernbedienbare Gestängehandhabung (Pipehandler).

3.10.3 Bohrgeräte der Max Streicher GmbH & Co. KG

- **Tiefbohranlage Typ VDD 370**

Die o. g. Anlage ist für den Einsatz im Onshore-Bereich konzipiert und wird dort in der Exploration für die Erdöl- und Erdgasförderung, Geothermiebohrungen sowie sonstige Tiefbohrungen für Teufen bis 5.000 m mit Erfolg eingesetzt.

Eine der wesentlichen Erneuerungen gegenüber der bisherigen Tiefbohranlagen ist der in einen Vorschubschlitten integrierte hydraulische Top Drive. Die Vorschubkräfte und Drehmomente werden über die Zahnstangen und den Mast abgeleitet.

Der Vorschubschlitten wird zusätzlich über Pendelrollensysteme auf dem Mast geführt. Auf dem Vorschubschlitten befinden sich sowohl die hydraulisch angetriebenen Vorschubeinheiten wie auch der Rotationsantrieb.

Sie sind mit einem speziell entwickelten Bremssicherungssystem ausgestattet, das unkontrollierte Bewegungen auch bei etwaigen Leitungs- oder Schlauchschäden sowie Ausfall der hydraulischen Versorgungseinheit verhindert.

Kenndaten:

Masthöhe	31 m	Unterbau	7,70 m	Spülungs-pumpen	3× 880 kW
Top Drive:	85 kNm	Drehzahl	190 U/min	Pumpenantrieb	3× 1.250 kVA
max. Bohrtiefe	5.000 m	Brech-moment	105 kNm	Verschraub-moment	85 kNm
Drehtisch	45 kNm	Durch-messer	957 mm	Kompressor	3,5 m³/13 bar

Die Anlage ist modular nach der Modulbauweise entwickelt. Alle Einheiten sind sowohl im Hinblick auf die Gewichte als auch die Abmessungen auf den Straßenverkehr abgestimmt. Der Bohrturm besteht neben dem eigentlichen Bohrgerät aus 6 Unterbaumodulen in der Größe von 40"-Containern.

Der Zeitaufwand für Transport und Montage ist wesentlich geringer als bei den Standard-Tiefbohrgeräten und wird mit bei 5 bis 6 Tagen angegeben. Für die Bedienung je Schicht sollen lediglich 4 bis 5 Mann benötigt werden. Dazu kommt Personal für die Wartung, Reparatur und Ersatz bei Personalausfall.

7541014/10787806875Biblio

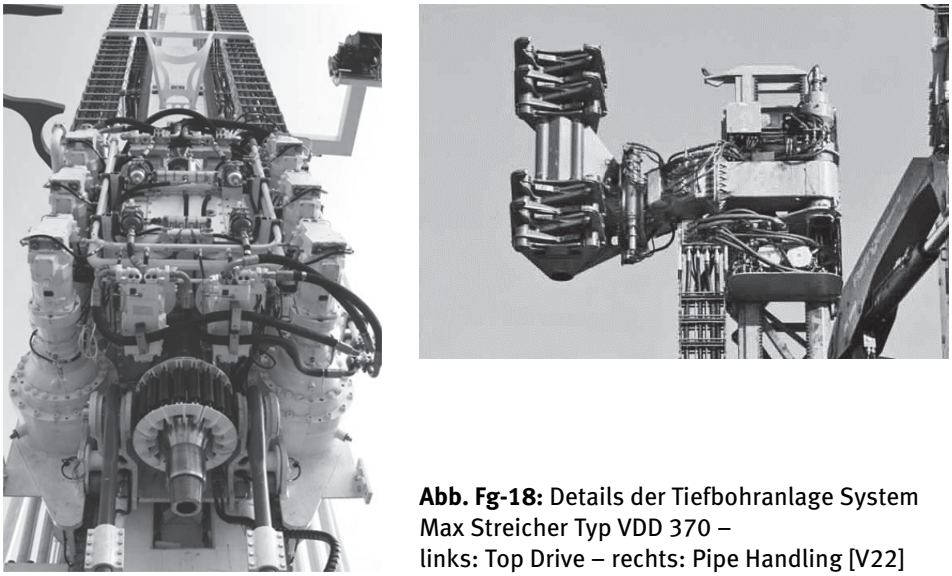


Abb. Fg-18: Details der Tiefbohranlage System Max Streicher Typ VDD 370 –
links: Top Drive – rechts: Pipe Handling [V22]

Der Top Drive kann drehend und spülend eingesetzt werden. Dadurch reduziert sich die Gefahr des Festwerdens bei schwierigen Bohrlochbedingungen.
Er steht jederzeit zur Verfügung, ohne erst eine Kelly-Montage durchführen zu müssen. Das Gestänge muss zum Nachsetzen nicht zurückgezogen werden.

Da das Sicherheitsventil (Kelly-Hahn) hydraulisch steuerbar ist, lässt er sich in jeder beliebigen Position des Stranges schnell schließen.

Der Verschleiß der Preventerpackungen durch die hexagonale Mitnehmerstange entfällt, da sich beim Bohren mit dem Top Drive nur glatte, runde Bohrstangen im Preventerbereich befinden. Der Aufwand beim Nachsetzen der Gestänge ist stark reduziert – Verminderung des Unfallrisikos!

3.10.4 Mobile Tiefbohranlagen Fa. Satvia, Gommern

Die zur Streicher-Unternehmensgruppe gehörende Satvia GmbH gehört zu den wenigen Unternehmen in Deutschland, die mobile Tiefbohranlagen mit hoher Qualität und Zuverlässigkeit herstellen und auch im eigenen Unternehmensbereich (Drilltec) einsetzen.

Die mobilen (fahrbaren) Satvia-Tiefbohranlagen TB 1300 V, TB 1600 V und TB 1800 V werden seit Jahren im In- und Ausland für konventionelle Tiefbohrarbeiten sowie Workover-Leistungen (Aufwältigung – Ein- und Ausbau von Rohren und Gestängen, Reparaturarbeiten an Förderbohrungen usw.) auch unter extremen klimatischen Bedingungen von +50 °C bis –45 °Celsius eingesetzt. Es können Bohrtiefen bis zu 3.450 m erreicht werden.

Bei der Ausstattung mit Gerätekomponenten (Spülpumpen, Kompressoren, Winden usw.), der Wahl der Trägerfahrzeuge sowie der Schalldämmung werden Kundenwünsche, soweit technisch möglich, berücksichtigt. Die Fahrzeugmaße entsprechen der StVO.

7541014/10787806875Biblio

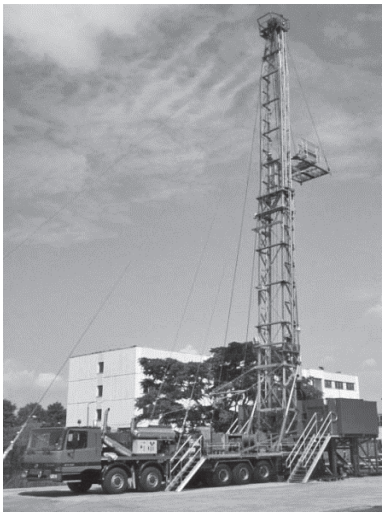


Abb. Fg-19: Satvia TB 1800 V –
links: in Transportstellung –
rechts: in Arbeitsstellung [27]

3.11 Auswahl der Bohranlagen

Bei der Auswahl einer Bohranlage müssen bestimmte Kriterien beachtet werden. Bei den hohen Mietkosten für eine Bohranlage ist jeder Tag von besonderer Bedeutung.

Wichtig ist vor allem die Zuverlässigkeit einer Anlage, denn Ausfälle durch Reparaturen können erhebliche Kosten verursachen. Die Bohrzeit und damit die Bohrkosten hängen davon in ganz erheblichem Maße ab.

Daher ist eine exakte Planung der einsetzten Bohranlage maßgebend zur Optimierung des Bohrprozesses und damit zur Minimierung der Kosten.

Wesentliche Kenndaten sind bei der Auswahl einer Bohranlage zu beachten:

- installierte Leistung,
- erforderliche Leistung,
- mögliche Bohrtiefe,
- Gestängeabstelllasten,
- Pumpenleistungen und -drücke,
- Tankinhalt für Treibstoff,
- Masthöhe,
- Inhalt der Spültanks.

Zur eigentlichen Bohraufgabe sind ferner folgende Daten erforderlich:

- Bohrungsverlauf und Bohrungsteufe,
- Horizontal- bzw. Neigungsbohrungen,
- Bohrlochdurchmesser und Casingprogramm,
- Bohrstrang,
- Felsformationen,
- erwartete Drehmomente und Zuglasten,
- maximale Pumpendrücke und Strömungsraten gemäß Hydraulikprogramm,

7541014/10787806875Biblio

- Spülungsdichten und Meißelhydraulik,
- Einsatz von DHM, Turbinen, MWD etc.,
- Hakenlast.

Bei der Ermittlung der zu erwartenden Hakenlast richtet man sich nach dem schwersten Bohrstrang bzw. der schwersten Rohrtour und der max. Rohrtourlänge. Ferner sind die zu erwartenden Überlasten z. B. bei Havarien und evtl. Schleiflasten zu berücksichtigen. Entsprechend diesen Lasten ist der erforderliche Seildurchmesser zu ermitteln. Um das Gewicht von Haken, Flaschenzug, Spülkopf etc. zu ermitteln, ist auch zu berücksichtigen, ob ein Top Drive eingesetzt wird, der das Gewicht entsprechend erhöht.

Für die Festlegung der erforderlichen Pumpenförderleistung können mit den Herstellertabellen die jeweiligen Pumpentypen ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Spültankvolumen gilt folgende Faustregel:

Tankvolumen = 1,5 × max. Bohrlochvolumen.

3.12 Wesentliche Gerätekomponenten

3.12.1 Hebeeinrichtungen

Die Hebeeinrichtungen gehören zu den wesentlichsten Komponenten einer Tiefbohranlage, da das Heben und Senken von schweren Lasten den Alltag im Bohrbetrieb entscheidend bestimmt. Aus diesem Grunde müssen Hebeeinrichtungen mit installierten Leistungen von 4.500 kW und mehr auf einer schweren Tiefbohranlage vorhanden sein.

Früher bestimmte die Leistung des Hebewerkes in entscheidender Form die gesamt installierte Leistung eine Bohranlage. Später wurde die Bedeutung der Bohrlochhydraulik erkannt, was dazu führte, dass die hydraulische Leistung (Pumpenleistung) ausschlaggebend für die Gesamtleistung einer Bohranlage wurde, zumal diese Leistung nahezu vollständig für die Hebeeinrichtungen zur Verfügung steht, wenn sie dort benötigt wird, weil dann die Pumpen ohnehin nicht aktiviert sind.

Leistungsverteilung mittlerer Tiefbohranlagen

Hakenlast kN	Hebewerksleistung kW	Pumpenleistung kW	Gesamt installierte Leistung kW
4000 – 6000	1500	2000 – 2600	3000 – 3750
3000 – 4000	1100	1800 – 2000	2250 – 3000
2000 – 3000	750	1100 – 1800	185 – 2250
1000 – 1600	300 – 525	750 – 1100	1100 – 1850

Mit zunehmenden Bohrteufen mussten immer schwerere Lasten bewegt werden, was mit der einfachen Umlenkrolle und der Seiltrommel nicht mehr möglich war.

Man machte deshalb Anleihen im Bergbau oder bei Schiffen oder anderen Industriezweigen, wo bereits der Flaschenzug zur Arbeitserleichterung eingesetzt wurde. Bis schließlich das Hebewerk heutiger Art für den Bohrbetrieb entwickelt wurde, war es noch ein weiter Weg, obwohl die Grundlagen von damals auch in der modernen Hebewerkstechnik zu finden sind.

7541014/10787806875Biblio

Als Hebewerk (Drawworks, Hoist = Aufzug) bezeichnet man das Windwerk einer Bohranlage, das aus der Seiltrommel mit Vorgelegewellen, davon auch heute noch vielfach einer Welle, die als Spillwelle ausgestattet ist, und einer, die als Schlämmseiltrommelwelle dient, dem Zahnrad- oder Kettengetriebe sowie den Bremsen besteht.

Die wesentliche Funktion eines Hebewerkes ist das Übertragen der Energie von den Antriebsmaschinen auf die Seiltrommel, um mittels des Fahrseils den Bohr- oder Verrohrungsstrang auf- oder abwärts zu bewegen und beim Bohren den Strang so in Spannung zu halten, dass nur ein Teil des Stranggewichtes als Meißelbelastung auf dem Bohrwerkzeug ruht und dieses in das Gebirge drückt.

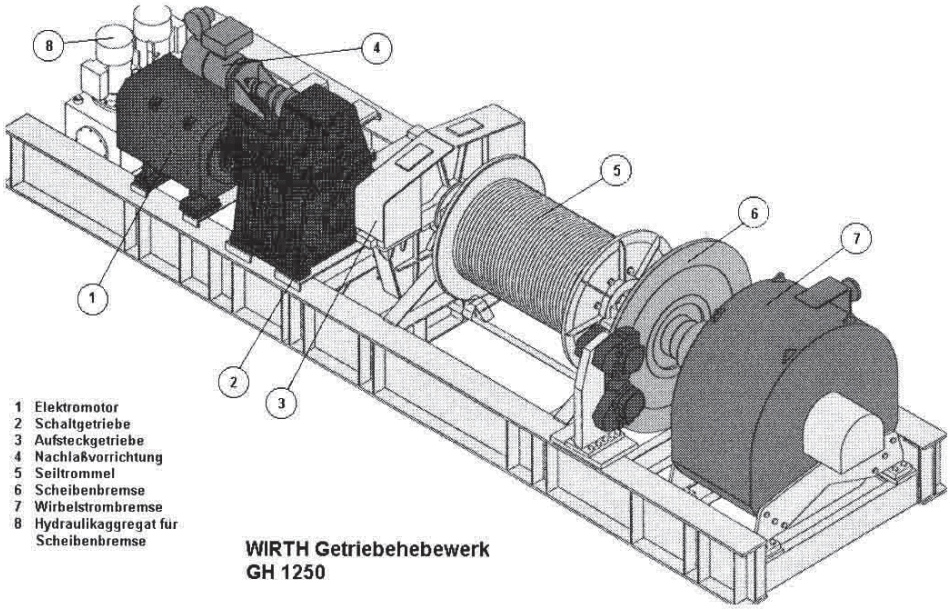


Abb. Fg-20: Wirth Hebewerk GH 1250 –
Wirth stellt Leistungsklassen her, und zwar mit Leistungen von 1.250 bis 6.000 PS – Zugkräfte: 2.776 bis 11.900 kN – Gew.: 35–100 t – Maße: Länge max. 9.400 mm – Breite max. 4.800 mm [V34]

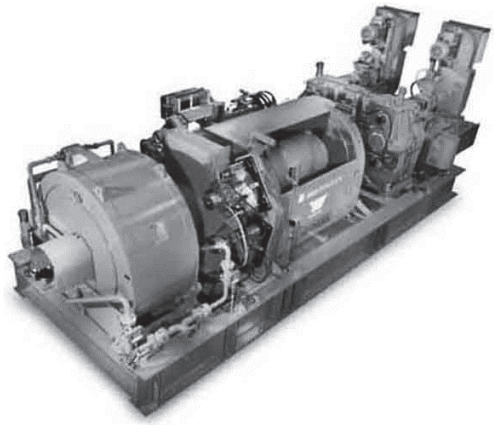


Abb. Fg-21: Das stärkste Hebewerk der Fa. Wirth, das GH 6000 mit einer Zugkraft von 11.900 kN und einer Leistung von 6.000 PS [V34]

7541014/10787806875Biblio

3.12.2 Elevatoren

Der Elevator ist eine Abfangvorrichtung und hält den unter Tage befindlichen Teil der Bohrgestängegarnitur während des An- oder Abschraubens der letzten Bohrgestängestange fest. Die Abfangvorrichtung hat Keile, die auf Kugeln oder Rollen laufen und das Bohrgestänge beim Herausziehen hindurchgleiten lassen, es aber bei der geringsten Abwärtsbewegung festhalten. Es gibt solche Abfangvorrichtungen mit zwei, drei oder vier Klemmbacken.

Bei Bohrgestängesträngen mit Muffenverbindungen wird eine einfache Gabel mit zwei Zinken benutzt, zwischen denen das Bohrgestänge gerade hindurchgleiten kann. Die Gabel, die am Bohrlochkopf angesetzt wird, hält den Gestängestrang an der letzten Muffe fest.

Schwere Bohrgestängegarnituren, die über einen Drehtisch angetrieben werden, werden von Sicherheitskeilen, die in der Mittelöffnung des Tisches angebracht werden, festgehalten (Abb. Fg-27). Der Drehtisch, der für die gesamte Gestängelast bemessen ist, kann auch zu An- und Abschrauben der einzelnen Rohrschüsse benutzt werden.

Die heute vorwiegend eingesetzten Elevatoren werden hydraulisch betätigt (Abb. Fg-22).

Klappen-Elevatoren:

- Side-Door-Elevatoren (Seitentür-Elevator),
- Centre-Latch-Elevatoren (zentrale Verriegelung),
- Slip-Type-Elevatoren (gleitende Verriegelung).

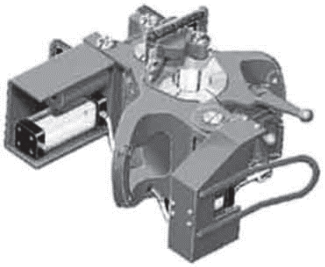


Abb. Fg-22: Elevator-System Aker mit gleitender Verriegelung [V49]

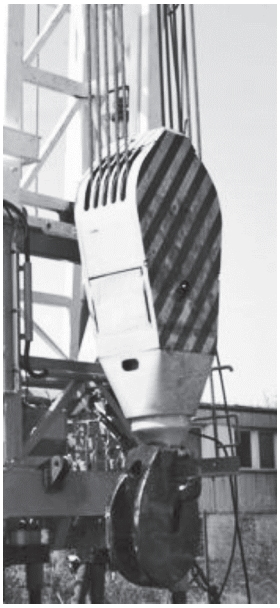
3.12.3 Bohrhaken (Traveling Block)

Mit dem Bohrhaken wird der gesamte Bohrstrang während des Bohrens und auch beim Roundtrip (Gestängeein- und -ausbau) das Element, an dem der gesamte Strang sowohl beim Bohren wie auch beim oder dem Rohreinbau (Aus- und Einbau) des Bohrstranges verläuft. Der Haken ist entweder lose mit dem Seilrollenblock verbunden (Abb. Fg-23 rechts oder integraler Bestandteil des Blocks, Abb. Fg-23 links).

Der Haken ist drehbar gelagert. Damit er sich nicht mit der Mitnehmerstange dreht, kann er bei Bedarf auch festgestellt werden. Damit der Bohrstrang beim Fahren während des Roundtrips rotieren kann, wird die Sperre gelöst. Im verrohrten Bohrlochabschnitt erfolgt jedoch auch beim Roundtrip eine Verriegelung.

Die heute im Einsatz befindlichen Haken sind so konstruiert, dass sich der Haken mit dem Elevator automatisch in die richtige Position bewegen kann.

7541014/10787806875Biblio



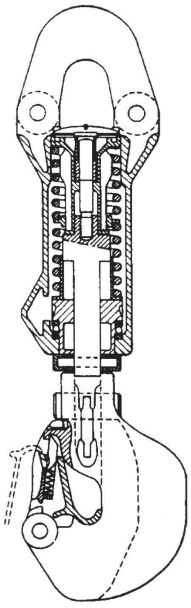


Abb. Fg-23: links: Haken-Block-Kombination [V22] –
rechts: separater Haken [V34]

3.12.4 Pipe-Handling-Systeme

Pipe-Handling-Systeme dienen dazu, die Arbeitsvorgänge beim Roundtrip des Bohrstranges zu automatisieren und dadurch die Unfallgefahr zu reduzieren. Denn beim sog. Pipe-Handling-System müssen sich beim Roundtrip weder auf der Arbeits- noch auf der Gestängebühne Arbeitskräfte aufhalten.
Alle Arbeitsvorgänge lassen sich vom Fahrstand in der Driller Cabine steuern.

Pipe-Handling-Systeme sind unabdingbar beim Offshorebohren, insbesondere beim Bohren von schwimmenden Bohrgeräteträgern aus, weil hier zum einen der Strang aus Platzgründen unter Deck gelagert werden muss, zum anderen, weil durch die teilweise sehr rauen Wetterbedingungen das Handling des Stranges in den meisten Fällen viel eher nicht mehr möglich ist als das Bohren. Das bedeutet, dass wegen der Unmöglichkeit des manuellen Nachsetzens von Bohrgestänge die Bohrarbeiten vorzeitig unterbrochen werden müssten, was zu einer erheblichen Kostensteigerung führt.

Pipe-Handling-Systeme sind jedoch auch dann noch in der Lage, Strangelemente zu handhaben, wenn das manuell nicht mehr möglich ist. Deshalb kommt die eigentliche Entwicklung solcher Systeme aus dem Offshorebereich. Durch die nicht unerheblichen Vorteile wurden sie dann in den 80er Jahren auch beim Onshorebohren eingeführt und sind heute schon in vielen Fällen Bestandteil einer modernen Tiefbohranlage.

Mit dem Pipe-Handling-System werden der Bohrgestängetransport und die Handhabung teilautomatisiert. Es ermöglicht den Gestängewechsel ohne eine Zwischenlagerung im sog. „Mauseloch“. Damit kann der Personaleinsatz auf der Arbeitsplattform wesentlich reduziert und das Unfallrisiko erheblich vermindert werden.

7541014/10787806875Biblio

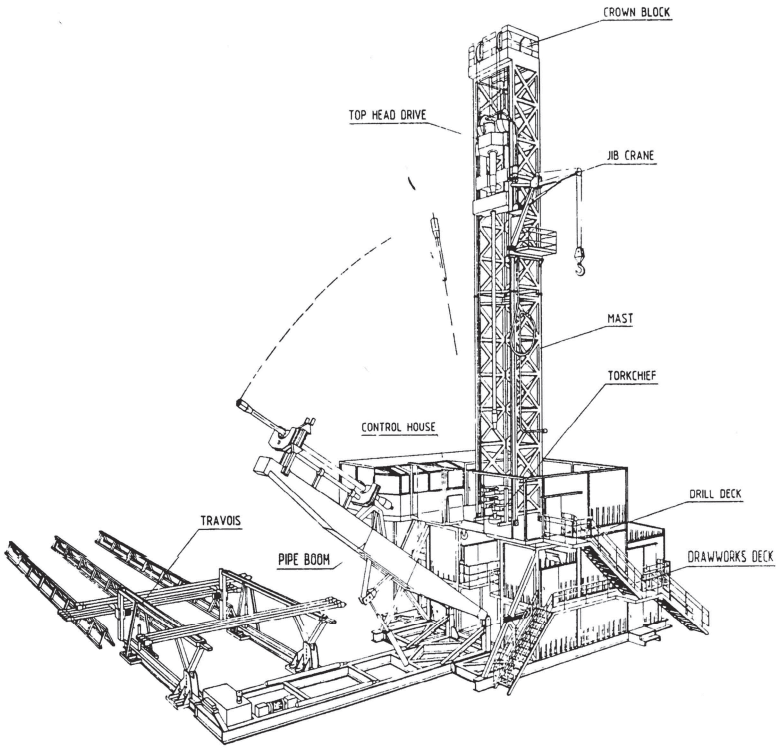
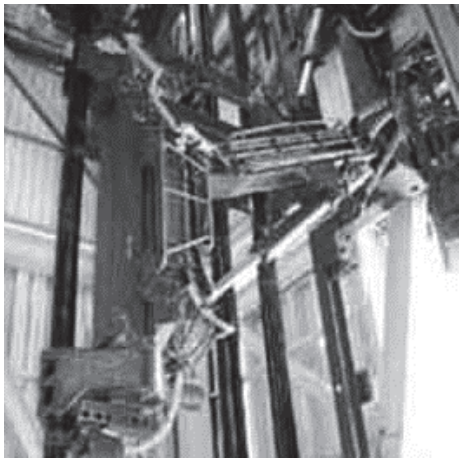


Abb. Fg-24: Pipe-Handling-System Deutag [V47]



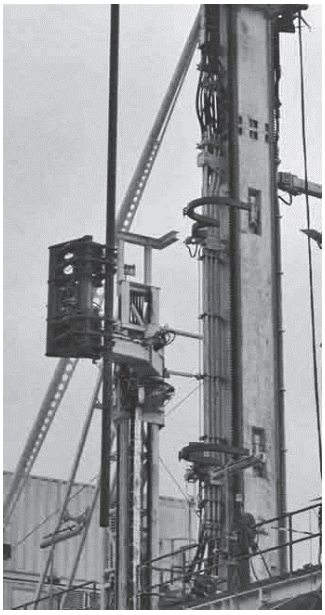


Abb. Fg-25: Pipe-Handling-Systeme im praktischen Einsatz –
links: System „AkerSolutions“ –
rechts: System „Streicher“ [V22]

7541014/10787806875Biblio

3.12.5 Verschraubeinrichtung

Verschraubeinrichtungen dienen zum Ver- und Endschrauben von Bohrgestängen bzw. einer Verrohrung.

Bohrungen auf Kohlenwasserstoff-Lagerstätten werden in der Regel diskontinuierlich abgeteuft, da nach dem Bohren einer Gestängelänge der Bohrvorgang unterbrochen werden muss, um ein weiteres Gestänge nachzusetzen, mit dem anschließend der Bohrvorgang fortgeführt werden kann.

Diskontinuierlich ist auch der Ausbau des Bohrgestänges oder der Einbau und Ausbau von Verrohrungen des Bohrloches (Casinge), da jedes Mal der Bohrvorgang unterbrochen werden muss, um die entsprechenden Rohre oder Bohrstangen mit dem Bohrstrang oder dem Casing-Strang zu verbinden bzw. zu lösen. Werden Gestängezüge, bestehend aus zwei oder drei Stangen bzw. Rohren, zusammengesetzt oder wieder in einzelne Stangen bzw. Rohre getrennt, so erfolgt auch dies über dem Bohrloch. Daher kann währenddessen nicht gebohrt oder weiteres Bohrgestänge bzw. Verrohrungen nicht gezogen werden. Übliche Bohrstangen erreichen ungefähr eine Länge von 9 m, ein Dreifach-Gestängezug etwa 27 m.

Bei der klassischen Methode werden zwei Rohrzangen verwendet. Dabei wird eine Zange auf dem Muffenteil und die zweite auf dem Zapfenteil befestigt. Mit der unteren Zange wird das Gestänge gekontert und mit der oberen Zange das Gestänge verschraubt oder gelöst (s. Abb. Fg-26).

Da dieses Verfahren sehr umständlich und zeitraubend ist, verwendet man heute hydraulische Doppelzangen.

Abb. Fg-26: Handling mit der Rotaryzange beim Aufsetzen bzw. Abnehmen des Bohrgestänges [V26]

Die schwere und gefährliche Arbeit mit der Rotaryzange wird auch aufgrund des hohen Personalaufwandes bald der Vergangenheit angehören.

Auf neuzeitlichen Anlagen wird diese Arbeit von einem besonderen Bedienungsstand oder der Driller-Kabine aus von einem Mann mittels Fernsteuerung wahrgenommen, während auf älteren Anlagen hierzu noch drei bis vier Leute erforderlich sind.

7541014/10787806875Biblio

Dabei kommt der Top Drive, der heute schon überwiegend zur Standardausrüstung einer Tiefbohranlage gehört, in Verbindung mit dem Drehtisch zum Einsatz. Der Drehtisch kontert das Gestänge und der Top Drive übernimmt die Dreharbeit. Bei Anlagen mit Pipe-Handling-Systemen übernimmt dieses das getrennte Gestänge und legt es auf dem Rohrlager ab (beim Aufsetzen umgekehrter Weg).

3.12.6 Hydraulikzangen

Die bereits oben erwähnten Hydraulikzangen besitzen einen Kranz von schmalen Segmenten (sog. Messer), die jeweils über einen Hydraulikzylinder verfügen. Sie umschließen das Gestänge bzw. Rohr um ca. 270°. Die Gestänge oder Rohre werden dabei, im Gegenteil zu den mechanischen Zangen, kaum beschädigt.

Überwiegend werden Doppel-Hydraulik-Zangen (Doppel-Drillpipe) eingesetzt, die halbautomatisch arbeiten. Dabei löst sich die obere Umschließung automatisch, wenn die untere Umschließung geschlossen ist.

Auch dieser Vorgang kann von der Driller's Cabin gesteuert werden. Der Personaleinsatz auf der Arbeitsbühne kann dadurch wesentlich verringert werden.

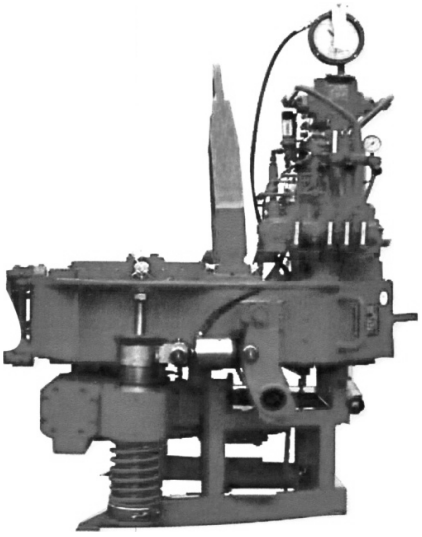


Abb. Fg-27: Beispiel einer Hydraulikzange der Fa. Weatherford Oil Tool, die es auch als Doppel-Casing-Zange gibt. [V49]

3.12.7 Rotationseinrichtungen

Um das Bohrwerkzeug in eine Drehbewegung zu versetzen, sind Rotationsanlagen erforderlich. Diese müssen auch in der Lage sein, das erforderliche Drehmoment zu erzeugen, das der Bohrmeißel bei der Gesteinszerstörung benötigt.
Noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts war das der sog. Drehtisch. In der Flachbohrtechnik für Gründungen und Baugrunderkundungsbohrungen begann zu dieser Zeit die Umstellung auf Kraftdrehköpfe, die am Bohrmast geführt werden.

Eine weitere Einrichtung waren die Rohrdreheinrichtungen und die Rohrabfang- und Rohrverschraubeinrichtungen. Sie ermöglichen die Aufnahme und gleichzeitige Drehbewegungen der Bohrrohre (außen) und Bohrgestänge (innen). Dabei übernimmt der Kraftdrehkopf den Bohrvortrieb und die Rohrdreheinrichtung das gleichzeitige Verrohren.

7541014/10787806875Biblio

Der Bohrvorschub erfolgt durch Hydraulikzylinder, Rollenketten, Seile oder Zahnstangen. Mit Teleskopbohrstangen können inzwischen Bohrtiefen von 80 m erreicht werden. Mit dieser Technik werden sehr hohe Leistungen erzielt.

Der Einsatz dieser neuen Techniken wurde nur zögerlich für die Tiefbohrtechnik übernommen. Der Top Drive ist im Grunde ein Kraftdrehkopf, der heute Standard in der Tiefbohrtechnik geworden ist. Die Tiefbohrgeräten der neuen Generation verwenden ebenfalls Vorschubeinrichtungen über Hydraulikzylinder oder Zahnstangen.

- **Drehtische**

Seit Einführung der Top Drives spielen die Drehtische bei modernen Bohranlagen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Drehbewegungen übernimmt in der Regel der Top Drive, wobei der eigentliche Meißelantrieb – insbesondere bei größeren Teufen – durch den Bohrmotor erfolgt. Der Drehtisch übernimmt in erster Linie die Aufnahme der Axiallasten von Bohrstrang und Verrohrung und Kontern des Gestänges beim Verschrauben und Trennen der Bohrgestänge.

Der Antrieb der Drehtische erfolgt heute überwiegend hydraulisch.

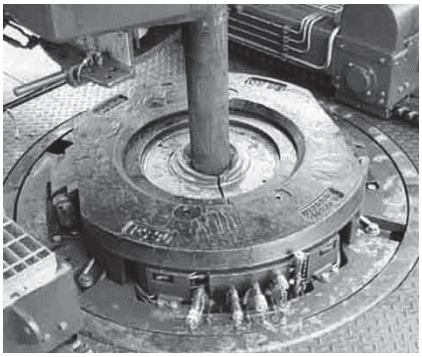


Abb. Fg-28: Moderner vollhydraulischer Drehtisch System Aker-Wirth [V49]

- **Abfangkeile**

Rohre und Bohrgestänge haben unterschiedliche Außenmaße und sind i. d. R. dreiteilig. Um die Rohre bzw. das Gestänge dem Drehtischdurchgang anzupassen, werden Abfangkeile eingesetzt. Die Kontaktfläche mit dem Gestänge bzw. Rohr ist so gezahnt, dass sich die Keile beim Hochfahren des Gestänges lösen und schon bei kleiner Abwärtsbewegung mit dem Gestänge verkeilen und so ein evtl. ein Durchrutschen verhindern.

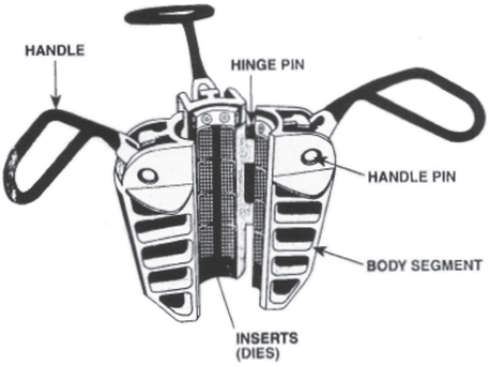


Abb. Fg-29: Gestängeabfangkeil System Aker-Wirth [V49]

7541014/10787806875Biblio

3.12.8 Top Drive

Der Top Drive entspricht dem Kraftdrehkopf (KDK) in der Flachbohrtechnik. Er kann elektrisch oder hydraulisch angetrieben werden. Das Drehmoment von max. 137 kNm ist im Verhältnis zu den KDK mit bis 500 kNm gering, reicht aber für die Tiefbohrtechnik aus, da der Bohrkopfantrieb im Wesentlichen über die Bohrkopf-Direktantriebe erfolgt. Der Top Drive hat lediglich die Aufgaben, das Gestänge in Drehbewegung zu halten, und spielt eine große Rolle beim Roundtrip.

Die Hauptbauelemente sind:

- Gehäuse,
- Zuglasche,
- Zugseilrolle,
- Elektro- bzw. Hydraulikmotor,
- Elevator mit Elevatorbügel,
- Bohrrohrzentrierung,
- Anschluss für den Spülschlauch.

Mit dem Top Drive kann in Verbindung mit dem Pipe-Handling-System ein teilautomatischer Bohrbetrieb erreicht werden. Dreier- bis Viererzüge mit 27 m bis 36 m sind möglich. Der Personalbedarf ist wesentlich geringer als bei der bisher herkömmlichen Gerätetechnik. Kaum Personal auf der Arbeitsbühne bedeutet auch weniger Arbeitsunfälle.

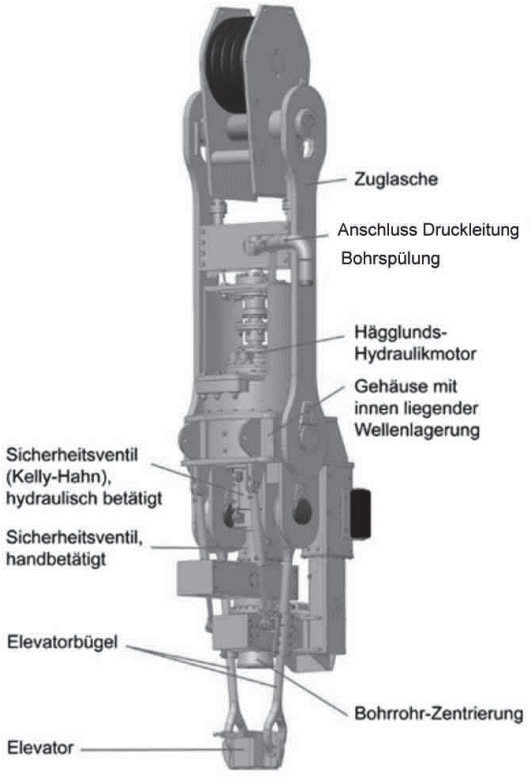


Abb. Fg-30:
Top-Drive-System [V27]

7541014/10787806875Biblio

Die zurzeit eingesetzten Top Drives haben folgende max. **Kenndaten**:

Drehmoment max.	137,2 kNm
Drehzahl max.	282 U/min
Leistung max.	1.500 kW
Gewicht max.	52 t
Länge max.	10,4 m
Hakenlast max.	1.250 t

Bei der Fa. AkerSolutions stehen 3 Typen zur Verfügung, und zwar:

PTD – DDM – MDDM

Der Letztere wird vornehmlich im Offshore-Bereich eingesetzt.

Technische Daten

max. Hakenlast:	500/1.000/1.250 t
max. Drehmoment:	59,5/117,9/137,2 kNm – Elektroantrieb
max. Drehzahl:	208/272/282 min^1
Länge ca.:	5,9/7,5/10,4 m
Gewicht ca.:	12,1/29/52 t

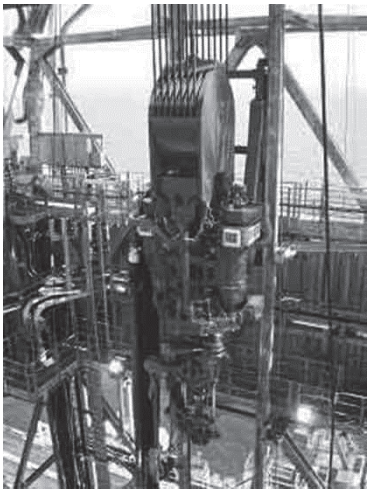


Abb. Fg-31: Top-Drive-System AkerSolutions [V49]

3.12.9 Geräte der Spülungstechnik

3.12.9.1 Spülungskreislauf und Geräte

Die Spülungstechnik ist die wichtigste Funktion bei Tiefbohrungen. Ohne funktionierende Bohrspülung ist eine Tiefbohrung mit direkter Spülung nicht durchführbar, denn die Spülung hat sehr wichtige Aufgaben zu erfüllen.

7541014/10787806875Biblio

- **Aufgaben der Bohrspülung**

In der Rotarybohrtechnik wird mit einem geschlossenen Spülungskreislauf gearbeitet. Das bedeutet, dass die Spülung über Tage in Tanks gelagert wird, von wo aus sie mittels der Spülpumpen durch die Steigleitung (Stand Pipe) und den Spülschlauch (Drilling Mud Hose) über den Spülkopf (Swivel) in das hohle Bohrgestänge gepumpt wird.

Bohrspülungen haben bei der Zirkulation u. a. folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Entfernen aller von den Bohrwerkzeugen erbohrten Bohrkleinteilchen von der Bohrlochsohle.
- Austragen der Bohrkleinteilchen durch den Ringraum nach über Tage.
- Inschwebehalten der Bohrkleinteilchen sowie der Beschwerungsstoffe bei Unterbrechung der Spülungszirkulation.
- Gewährleistung der Abscheidung von mitgeführten Feststoffen im übertägigen Aufbereitungssystem.
- Erzeugen eines hydraulischen Gegendruckes gegen das Eindringen von Medien (Öl, Gas, Wasser) aus den durchteuften Formationen in das Bohrloch.
- Abstützen der nicht standfesten Gesteine an der Bohrlochwand und Isolierung der zu durchbohrenden Horizonte durch Bildung einer Schutzschicht (Filterkuchen).
- Kühlung und Schmierung von Bohrwerkzeugen und Bohrstrang.
- Sicherung der Produktion (Trägerschonung).
- Resistenz gegen die Kontaminierung mit H_2S und CO_2 Korrosion am Bohrstrang vorbeugen.
- Übertragung der hydraulischen Energie zur Bohrlochsohle, zur Bohrlochsohlenreinigung und zum Betrieb von Vor-Ort-Antrieben (Downhole-Motoren).
- Auftrieb für Casing und Bohrstrang liefern.
- Sicherung von Bohrlochinformationen.

Alle diese Anforderungen, die an die Spülung gestellt werden, sind recht unterschiedlich und teilweise sogar gegenläufig in ihrer Wirkung.

Die Spülung soll zum Entfernen der Cuttings von der Bohrlochsohle möglichst dünnflüssig sein. Im Ringraum muss eine entsprechend hohe Viskosität vorhanden sein, um eine gute Austragsfähigkeit gegenüber den Cuttings auch bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten zu haben. Bei Unterbrechung der Spülungszirkulation wird jedoch extrem hohe Viskosität benötigt, um die Teilchen in Schwebe zu halten, so dass ein Absinken der Teilchen und Sedimentieren auf der Bohrlochsohle vermieden wird.

Diese Hauptanforderungen erfüllt reines Wasser nicht, während Tonsuspensionen wie auch moderne feststofffreie Spülungen (Polymerspülungen) dank ihrer speziellen elektrochemischen Eigenschaften durchaus in der Lage sind, solche scheinbaren Widersprüche zu verkraften.

Das Entfernen der Cuttings von der Bohrlochsohle ist eine der wichtigsten Aufgaben einer Bohrspülung.
Die vom Bohrwerkzeug gelösten Gesteinsteilchen sollen so schnell und so vollständig wie möglich entfernt werden, damit keine Nachzerkleinerung der Gesteinspartikel stattfindet, weil das Energie benötigt, die ohnehin nur begrenzt an der Bohrlochsohle zur Verfügung steht, und weil dadurch der Bohrfortschritt negativ beeinflusst wird.

7541014/10787806875Biblio

Der Abtransport der Gesteinsteilchen von der Bohrlochsohle geschieht dadurch, dass der auf der Bohrlochsohle horizontal gerichtete Spülstrom unter das bereits aus dem Gesteinsverbund gelöste, aber noch fest in der Bohrlochsohle eingebettete Teilchen dringt und es anhebt. Dadurch wird das Teilchen allseits von der Spülung umgeben und unterliegt somit nicht mehr dem einseitig wirkenden, hydrostatischen Druck der Spülungssäule, der es auf die Bohrlochsohle presst.

Damit die Spülung jedoch in den vom Bohrwerkzeug geschaffenen Haarriss zwischen Gesteinsteilchen und anstehendem Gebirge eindringen kann, muss die Viskosität der Spülung möglichst niedrig und ihre Fließgeschwindigkeit möglichst hoch sein. Letzteres erreicht man dadurch, dass man den Spülstrom durch Düsen auf die Bohrlochsohle austreten lässt.

Das bedeutet, dass eine gute Bohrlochsohlenreinigung einen hohen Bohrfortschritt, eine schlechte Bohrlochsohlenreinigung einen niedrigen Bohrfortschritt bewirkt.

Nachdem die Bohrkleinteilchen von der Bohrlochsohle fortgespült worden sind, müssen sie mit dem Spülstrom durch den Ringraum nach über Tage ausgetragen werden. Für die Austragsfähigkeit der Spülung sind im Wesentlichen folgende drei Parameter verantwortlich:

– Aufstiegsgeschwindigkeit der Spülung im Ringraum,
– Strömungsart der Spülung,
– Viskosität und Dichte der Spülung.

Der Aufstiegsgeschwindigkeit der Spülung im Ringraum sind Grenzen gesetzt durch begrenzte Pumpenleistungen, große Bohrlochdurchmesser oder Auskesselungen, Dichte und Viskosität der Spülung und dadurch bedingte Ringraumdruckverluste, Erosionserscheinungen an der Bohrlochwand bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten etc. Deshalb wird hier eine höhere Viskosität der Spülung und damit eine größere Tragfähigkeit gefordert, damit die entgegengerichteten Geschwindigkeitsparameter weniger bedeutungsvoll werden.
Mit steigender Viskosität spielt die Aufstiegsgeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle, da dann die Tragfähigkeit der Spülung den größeren Einflussfaktor darstellt.

Auf weitere Details der Spülung kann im Rahmen diese Buches nicht eingegangen werden, dazu wird auf vorhandene Spezialliteratur verwiesen (z. B. Lotzwick, G.-U.: „Die Bohrspülung – Ein Leitfaden für Studierende und Praktiker“. Verlag wissenschaftlicher Skripten, Zwickau, 1997). Zu empfehlen sind auch die Informationsschriften der Südchemie unter: www.sud-chemie.com.

- **Gerätetechnik**

Folgende Geräte werden in einer modernen Feststoffkontrolle hintereinander angeordnet:

– Schüttelsieb,
– Sandfalle,
– Desander,
– Desilter,
– Zentrifugen.

7541014/10787806875Biblio

- **Schüttelsieb**

Das erste und wichtigste Spülungsaufbereitungsgerät ist das Schüttelsieb – ein vibrierendes Sieb, an dem die gröberen Feststoffe abgeschieden werden. Die modernen Siebe sind Linearschwinger mit einer schräg nach oben gerichteten Schwingbewegung, wodurch die Cuttings mit einer Beschleunigung von 6 *g* bis 9 *g* versehen und bis zu etwa 6 mm weit geworfen werden, was einen sehr guten Trocknungseffekt der Cuttings bewirkt. Die Siebe sind heutzutage mit Feinsiebbelägen versehen, die Öffnungen von bis zu 44 mm haben (325 × 325 Mesh = Anzahl der Maschen pro Zoll in x- und y-Richtung). Da Feinsiebbeläge sehr empfindlich sind, wurden spezielle Siebkonstruktionen mit Stützgewebe oder solche, wo die Siebbeläge auf perforierte Platten aufgeklebt werden, entwickelt. Die Siebe befinden sich fabrikmäßig vorgefertigt auf Rahmen, die nur noch in die Siebmaschine eingehängt zu werden brauchen. Mittels der Schüttelsiebe werden je nach Siebbelag bis zu etwa 30 % der in der Spülung vorhandenen Feststoffe abgeschieden.

- **Sandfallen**

Die Sandfalle ist eine Absetzkammer für Feststoffe und arbeitet nach dem Schwerkraftprinzip. Sie befindet sich in der Regel direkt unter dem Schüttelsieb, so dass der Schüttelsiebtank als Sandfalle ausgebildet wird.

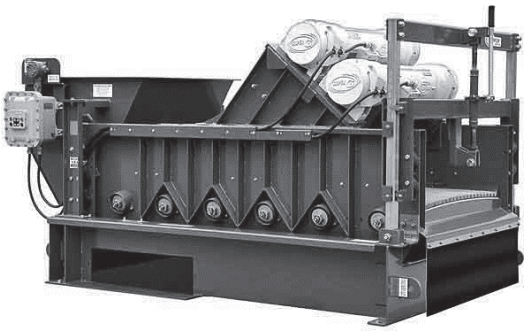


Abb. Fg-32: Schüttelsiebanlage, hier am Beispiel der Anlage System FLC 503 [V59]

- **Desander und Desilter**

Nachdem die Spülung die Schüttelsiebe passiert hat, gelangt sie in eine **Hydrozyklon-Batterie.** Zunächst wird sie durch die sog. Desander geleitet, die im zylindrischen Teil einen Durchmesser von 10" haben und Feststoffe größer 74 mm abscheiden (Feststoffe > 74 mm werden nach API als Sand bezeichnet, kleinere als Silt). An die Desander schließt sich eine Desilter-Batterie an, mit Durchmessern von 4", wo die feineren Feststoffe abgeschieden werden.

Da diese Geräte nur geringe Durchsatzkapazitäten haben, müssen immer mehrere Geräte zusammengeschlossen werden, um den gesamten Spülstrom aufbereiten zu können. **Hydrozyklone** arbeiten nicht wie Schüttelsiebe nach dem Klassierprinzip, sondern nach dem Gravitationsprinzip. Das bedeutet, dass nicht nach der Korngröße separiert wird, sondern nach der Maß der Feststoffe. Somit kann es passieren, dass z. B. ein größeres aber leichteres Cuttingteilchen dieselben Sinkeigenschaften hat wie ein kleineres aber schwereres Schwerspatteilchen, weshalb Hydrozyklone bei beschwerten Spülungen nur bedingt eingesetzt werden können.

7541014/10787806875Biblio

Hydrozyklone arbeiten dann richtig, wenn der Hydrozyklon-Unterlauf im sog. Sprayflow (wie ein halb aufgespannter Regenschirm) austritt. Hierauf ist zu achten, damit die Aufbereitung effektiv ist.

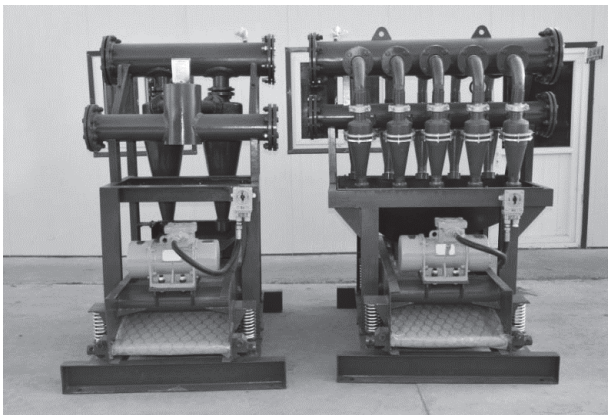


Abb. Fg-33:
Desander (links) und Desilterbatterie (rechts) [V55]

- **Zentrifugen**

Während Schüttelsiebe und Hydrozyklone den gesamten Spülstrom aufbereiten müssen, wenn die Aufbereitung effektiv sein soll, wird durch die sich anschließenden **Zentrifugen** nur ein Teilstrom geleitet, um den Feinstfeststoffanteil in der Spülung konstant zu halten und alle neu hinzu kommenden Feinstfeststoffe abzuscheiden.

Als Zentrifugen werden in der Regel Gegenstrom-Durchflusszentrifugen eingesetzt, die eine Durchsatzkapazität von bis zu 20 m^3/Std. haben.

Zentrifugen können sowohl zur Abscheidung von Feinstfeststoffen von bis zu 2 mm im Prozess selbst eingesetzt werden, sie können aber auch zur Trocknung von Desander- und Desilter-Unterlauf eingesetzt werden.

Letzteres hat den Vorteil, dass trockeneres Deponiegut entsteht, was zum einen Deponiekosten reduziert, zum andern wertvolle, oft mit sehr teueren Chemikalien versehene flüssige Phase dem Spülungskreislauf wieder zuführt. Diese Flüssigkeit müsste, würde sie mit den Cuttings abtransportiert, ersetzt werden.

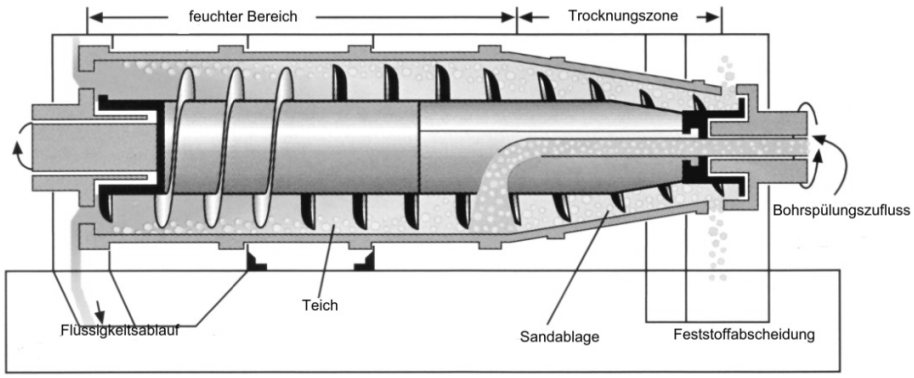


Abb. Fg-34: Schnitt durch eine Zentrifuge [V55]

7541014/10787806875Biblio

Zentrifugen können bei beschwerten Spülungen auch zur Schwerspat-Rückgewinnung eingesetzt werden. In diesem Fall sind jedoch zwei Zentrifugen erforderlich. Außerdem gehören Zentrifugen nicht zum Standard-Equipment einer Bohranlage, sondern werden bei Bedarf angemietet. Das ist meistens dann der Fall, wenn in größeren Teufen gebohrt wird, weil hier der Feinstfeststoffanteil an Cuttings wegen des geringen Bohrfortschritts besonders groß ist.

- **Degasser**

Obwohl der Degasser (Entgaser) kein ausgesprochenes Feststoffkontrollgerät ist, hat er doch eine sehr wichtige Aufgabe zu erfüllen. Er soll evtl. Gase, die sich in der Spülung befinden, ausscheiden.

Durch die Gase kann sich evtl. die Dichte der Spülung verändern und zu Problemen bis zu einer Kicksituation führen. Ferner besteht die Gefahr von Feuer und Explosionen.

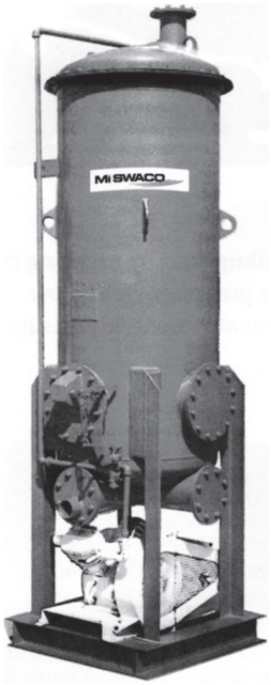


Abb.Fg-35: Vertikal D-Gasser System MiSwaco [V55]

3.12.9.2 Spülungsbestandteile

Spülungsbestandteile sind je nach Spülungsart entweder Luft oder andere Gase (Stickstoff) bei gasförmigen Spülungen oder Wasser (Süßwasser oder Salzwasser bzw. Sole) oder Öle bzw. Emulsionen sowie diverse Feststoffe wie Tone, Beschwerungsmittel (Schwerspat, Kreide) und sonstige Zuschlagstoffe wie Chemikalien oder Polymere.

Die klassischen Bohrspülungen sind Tonsuspensionen, bestehend aus Süßwasser und speziellen Spülungstonen. Da diese Spülungen jedoch nicht resistent gegen Elektrolyte (Salze, Laugen) sind, werden sie durch Zugabe von Chemikalien wie Polymeren geschützt. Beim Bohren in Salzformationen werden salzwasserbasische Spülungen angesetzt, um einem Laugungseffekt im Bohrloch vorzubeugen, oder es wird auf ölbasische Spülungen umgestellt. Heute werden vielfach sog. feststofffreie Spülungen eingesetzt, die nur aus Wasser und Polymeren bestehen.

Spülungstone sind im wesentlichen Bentonite. Das sind plättchenförmige Minerale, deren Elementarteilchen aus 3 Schichten bestehen, zwischen die Wassermoleküle eindringen können und den Ton so zum Quellen bringen.

7541014/10787806875Biblio

Ein solches Elementarteilchen hat eine Dicke von etwa 0,0009 mm und liegt in einer Spülung nicht als Einzelteilchen vor, sondern als Paket von etwa 1.000 Teilchen, so dass das einzelne Tonteilchen in der Spülung eine Dicke von etwa 1 mm bis 2 mm hat. Auch zwischen den Elementarteilchen lagern sich Wassermoleküle an, die einen Quelleffekt verursachen.

Da die Quellung jedoch eine gewisse Zeit benötigt, ist es wichtig, der Spülung nach dem Anmischen ausreichend Zeit zu geben, ehe mit dem Bohren begonnen wird. Ausnahme sind speziell präparierte Tone, wie sie in der oberflächennahen Horizontalbohrtechnik (HDD) eingesetzt werden, die durch Oberflächenvergrößerung und spezielle chemische Vorbehandlung ein schnelleres Quellvermögen aufweisen.

- **Sonstige Zuschlagstoffe**

Es gibt eine Reihe von Zuschlagstoffen (Additive), die neben Ton und Polymeren einer Spülung zugesetzt werden können, um ihr bestimmte Eigenschaften zu verleihen bzw. um bestimmte Wirkungen zu erzielen. Hierzu zählen u. a.:

– Beschwerungsmittel,
– viskositätregulierende Stoffe,
– oberflächenaktive Stoffe,
– Verstopfungsmittel,
– pH-Wert regulierende Stoffe.

Beschwerungsmittel sind Schwerspat, Kreide, Hämatit u. a., die die Dichte der Spülung erhöhen, um einen höheren hydrostatischen Druck im Bohrloch zu erzeugen. Bei der Auswahl eines geeigneten Beschwerungsstoffes sind dessen Dichte, die Korngrößenverteilung und seine Verunreinigungen zu berücksichtigen. Die optimale Korngröße liegt nach API im Bereich zwischen 5 mm und 70 mm, wobei nur 5 % größer 44 mm sein sollen und das Komgrößenmaximum zwischen 10 mm und 30 mm liegen sollte.

Die in der Bohrtechnik verwendeten Beschwerungsstoffe haben folgende Dichten:

Schwerspat	$BaSO_4$	4,2–4,4 kg/dm³
Kreide	$CaCO_3$	2,6–2,7 kg/dm³
Eisenkarbonat	$FeCO_3$	3,8 kg/dm³
Hämatit	$Fe20_3$	5,2 kg/dm³

Viskositätregulierende Stoffe sind die bereits besprochenen Polymere, um der Spülung eine höhere Viskosität zu geben, aber auch Verflüssiger wie Phosphate, Tannate, Huminate, Lignosulfonate. Dabei handelt es sich um Elektrolyte, die zudosiert werden, um z. B. Feinstfeststoffe zum Koagulieren und damit zum Ausflocken zu bringen, so dass der Feinstfeststoffgehalt reduziert wird und die Spülung nicht eindickt.

Oberflächenaktive Stoffe sind im wesentlichen Tenside, also organische Verbindungen, deren Haupteigenschaft darin besteht, die Oberflächen- bzw. Grenzflächenspannungen von Flüssigkeiten herabzusetzen. Dadurch kommt es zu einer besseren Benetzung, Emulgier- und Dispergierbarkeit.

Hierzu zählen auch Entschäumer sowie Schäumer für belüftete oder Schaumspülungen, Emulgatoren für Ölspülungen, Desemulgatoren und Netzmittel, die den Filterkuchen ölbenetzbar machen sollen.

7541014/10787806875Biblio

3.12.9.3 Spülungsuntersuchungen

Bohrspülungen werden den Anforderungen eines Bohrlochabschnittes entsprechend konzipiert, wobei man allerdings teilweise einen Kompromiss eingehen muss, da keine Spülung allen Anforderungen uneingeschränkt gerecht wird. Hat man sich jedoch auf bestimmte Spülungsparameter wie Dichte, Viskositäten, Wasserverluste und Zuschlagstoffe für sonstige Eigenschaften der Spülung verständigt, sollte die Spülung diese Eigenschaften auch für den gesamten Bohrungsabschnitt beibehalten, für den sie konzipiert wurde. Das wäre theoretisch auch der Fall, wenn die Spülung unter Laborbedingungen durch ein Rohrleitungssystem zirkuliert werden würde.

Bei der Zirkulation durch eine Bohrung ist die Spülung jedoch vielfältigen Einflüssen wie Temperaturänderungen, Zuflüssen von Flüssigkeiten und Gasen aus den durchteuften Formationen und der Aufnahme der erbohrten Feststoffe ausgesetzt, die die Spülungsparameter nachhaltig beeinflussen und damit das geplante Spülungskonzept nachhaltig stören können.

Elektrolytzuflüsse (Laugen, erbohrtes Salz) lassen den Ton ausflocken. Gase reduzieren die Dichte der Spülung. Cuttings, insbesondere Feinstfeststoffe, die sich bei der Feststoffkontrolle nicht entfernen lassen, erhöhen die Dichte und führen durch vermehrte Wasserbindung zum Eindicken der Spülung usw. Das alles führt dazu, dass eine Spülung in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und ggf. zu konditionieren ist. Letzteres bedeutet, dass der Spülung Flüssigkeiten, Feststoffe oder Zuschlagstoffe zugegeben werden müssen, die die vorgegebenen Spülungsparameter erhalten bzw. wieder herstellen.

Die gegenüber den Labortests etwas vereinfachten Feldtests oder die Kurzanalyse umfasst nach W.E.G. und API folgende Untersuchungen:

- Dichte,
- Viskosität (Auslaufzeiten),
- Wasserabgabe, Wasserverlust, Filterkuchen,
- pH-Wert,
- Temperatur.

Die Dichte wird mittels der **Spülungswaage** oder dem Hydrometer gemessen.

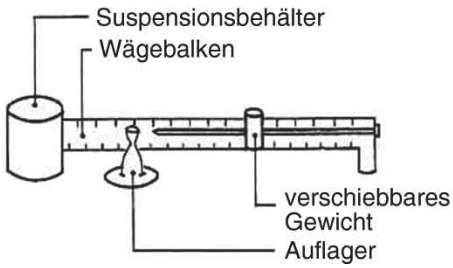


Abb. Fg-36: Spülungswaage [V1]

Die **Viskosität** einer Spülung kann nur mittels eines **Rotationsviskosimeters** (FANN V-G oder BARM mit variablen Geschwindigkeiten) exakt ermittelt werden. Das Gerät besitzt einen Elektromotor, der einen Rotor in Bewegung setzt, und ein Getriebe, das die Einstellung verschiedener Geschwindigkeiten gestattet. Fest eingestellt sind in der Regel die Geschwindigkeiten (in min^{-1}) von: 600, 300, 200, 100, 6, 3.

7541014/10787806875Biblio

Konzentrisch im Rotor befindet sich ein Vollzylinder, der sog. Bob, der über eine Torsionsstange mit dem oberen Gehäuseteil verbunden ist. Die Stange ist wiederum an einer Spiralfeder befestigt. Zwischen Rotor und Bob befindet sich ein genormter Ringspalt. Werden Rotor und Bob in ein Gefäß mit Spülung getaucht und der Rotor in Bewegung gesetzt, überträgt er eine Kraft auf die sich im Ringspalt befindliche Spülung. Diese wird geschert, überträgt aber letztendlich eine Teilkraft auf den Bob, der in die Feder gedreht wird. Eine Skala an Gerät zeigt den Betrag an, um den der Bob aus der Ruhestellung ausgelenkt wird.

Dieser Skalenwert wird abgelesen und der jeweiligen Drehzahl zugeordnet. Die Drehzahl in multipliziert mit 1,7023 ergibt das Schergefälle ins1. Die Schubspannung ergibt sich, indem der Skalenausschlag mit der Federkonstanten (in der Regel 5,11) multipliziert wird.

Der Spülungsbehälter fasst 350 cm³ der zu untersuchenden Spülung.

Abb. Fg-37: Rotationsviskosimeter V1]

Der **MARSH-Trichter** wird heute nur noch zu Vergleichsmessungen herangezogen, da die Ergebnisse in der modernen Spülungstechnik nicht aussagekräftig genug sind.

Abb. Fg-38: MARSH-Trichter [V1]

Der Trichter hat ein Fassungsvermögen von 1.000 cm³. Es werden die Auslaufzeit von 500 cm³ gemessen und die Restauslaufzeit des verbleibenden Trichterinhalts.

Generell sollte die Auslaufzeit für eine Spülung bei 40 s bis 70 s liegen.

Die Restauslaufzeit ist wegen der einsetzenden Gelbildung immer höher als die Auslaufzeit.

7541014/10787806875Biblio

Die **Wasserabgabezeit**, die ein Maß für die Wasserbindefähigkeit der Spülung ist, wird mit dem Ringapparat gemessen, die Filtrationseigenschaften sowie die Konsistenz des Filterkuchens werden mit der Filterpresse ermittelt.

Die **Filterpresse** besteht aus einem Zylinder mit Deckel und Bodenplatte, in der sich ein Auslaufröhrchen befindet. Oberhalb der Bodenplatte ist ein Drahtgittersieb, auf das ein Filterpapier aufgelegt wird. Dann wird die Spülung eingefüllt und der Deckel aufgesetzt. Das gesamte Instrument wird in eine Spannvorrichtung eingespannt. Anschließend wird über den Deckel Luftdruck auf die Presse gegeben. Dieser beträgt 100 psi ± 5 psi (etwa 7 bar ± 0,35 bar). Die Füllmenge der Kammer beträgt 500 cm^3. Die Testtemperatur sollte ca. 20 °C betragen. Unter das Auslaufröhrchen wird ein Messzylinder gestellt, in dem das abgepresste Wasser (flüssige Phase der Spülung) aufgefangen wird. Die Kammer bleibt 30 Minuten unter Druck stehen. Anschließend wird sie druckentlastet und geöffnet.

Der pH-Wert und die Temperatur werden mit pH-Metern oder pH-Papier, die Temperatur mittels eines Thermometers ermittelt.

Manchmal ist es auch wichtig, den Sandgehalt mittels eines speziellen Messzylinders zu ermitteln, um den Verschleiß von Pumpen, Gestänge etc. zu reduzieren.

Abb. Fg-39: Filterpresse [V1]

3.12.10 Spülpumpen

In der Tiefbohrtechnik werden im Wesentlichen eingesetzt:

- Duplexkolbenpumpen,
- Triplexkolbenpumpen.

Diese Pumpen kommen in einfach- und doppeltwirkender Ausführung zum Einsatz.

Auf die Einzelheiten kann nicht näher eingegangen werden, da das Thema sehr komplex ist. Die gilt ebenfalls für den gesamten Bereich der Gerätetechnik im Tiefbohrbereich.

7541014/10787806875Biblio

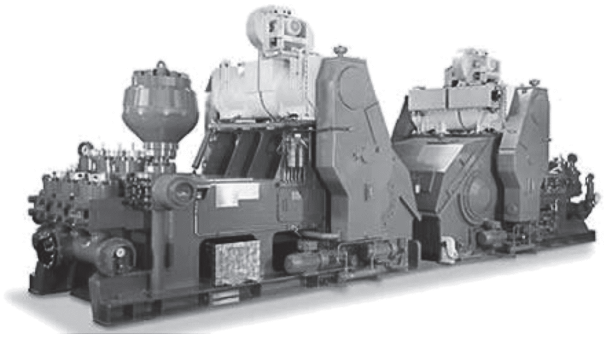


Abb. Fg-40: Triplex-Spülpumpe System Wirth – Typ TPK 2200 – zz. eine der größten Spülpumpen mit einer Antriebsleistung von 2.200 PS und einer Förderleistung von 33.444 l/min bei einem Druck von 517 bar [V34]

3.12.11 Instrumentierung von Bohranlagen

Gegenüber anderen Betrieben findet die Tiefbohrtechnik größtenteils unsichtbar statt. Außerdem gibt es viele Bereiche deren ständige Überwachung von größter Wichtigkeit ist. Der Driller muss die Möglichkeit haben, diese Lokationspunkte ständig im Blickfeld zu haben, um rechtzeitig auf Unregelmäßigkeiten hinzuweisen. Der Steuerstand der Bohranlage, die Driller-Cabine, ist daher mit den wichtigsten Betriebspunkten so vernetzt, dass der Driller (Bohrmeister) alle Daten an Anzeigeräten unmittelbar ablesen bzw. abrufen kann.

Außerdem werden die Daten des Bohrablaufs elektronisch aufgezeichnet und können auch jederzeit ausgedruckt werden. Entsprechende Geräte sind schon seit längerer Zeit in der Geotechnik, z. B. bei Erkundungsbohrungen, Pfahl-, Schlitzwand- und Injektionsarbeiten, eingesetzt.

Die wichtigsten **Lokationspunkte** einer Tiefbohranlage zeigt die folgende Tabelle.

Die wichtigsten Lokationspunkte für die Datenerfassung:

Totseilanker	Pumpendruck u. Hubzähler	Ausflussrate d. Spülung
Drehtisch-Drehmoment	Steigleitungsdruck	Spülungstemperatur
Drehtisch-Drehzahlmesser	Instrumente am Fahrstand	Bohrdatenschreiber
Pumpenhubzähler	Tankstandanzeigen	Spülbehälterstandanzeige
Bohrtiefe, Bohrabweichung	Wartungsstand der Geräte	Sicherheitseinrichtungen
MDW-unter Tage-Messdaten (Measuring While Drilling)		Spülungsverlust

Die an den Instrumenten angezeigten Daten werden an den verschiedensten Stellen aufgenommen. In erster Linie sind das Messstellen, die über Tage an den verschiedenen Maschinen, Geräten oder Installationen angebracht sind.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-41: Driller's Cabin (Geräteführer-Stand) [24]

Es gibt außerdem die Möglichkeit einer elektrischen Bohrlochvermessung mit Messdateneinrichtungen über Kabelverbindung, die ebenfalls überwacht und aufgezeichnet werden.

3.13 Gestänge und Werkzeuge

Gestänge und Bohrwerkzeuge sind in der Tiefbohrtechnik enormen Belastungen ausgesetzt. Daher können nur die besten Bauteile und Werkzeuge zum Einsatz kommen.

Beim **Roundtrip** (Aus- und Einbau des Rohr- bzw. Gestängestranges) erfolgt eine strenge Kontrolle. Beschädigte Rohre oder Gestänge werden ausgesondert und Bohrmeißel grundsätzlich. Die Standzeit von Bohrmeißeln ist in erster Linie von der Gesteinshärte abhängig und kann durchaus eine Spannbreite von 50 bis 200 Betriebsstunden haben.

3.13.1 Bohrstrang beim Rotary-Bohrverfahren

3.13.1.1 Zusammensetzung des Bohrstranges

Der Bohrstrang ist das Verbindungsglied zwischen dem auf der Bohrlochsohle arbeitenden Bohrwerkzeug und der Bohranlage an der Tagesoberfläche und besteht aus folgenden Elementen (von oben nach unten):

- Mitnehmerstange (Kelly),
- Bohrgestänge (Drill Pipes),
- Heavy Weight (Drill Pipes) – dickwandig,
- Schwerstangen (Drill Collars),
- Stabilisatoren (Stabilizer),
- Bohrmotor (Downhole Motor),
- Stoßdämpfer (Shock Sub),
- Schlagschere (Drilling Jar),
- Gewindeübergänge (Crossover Sub).

7541014/10787806875Biblio

Der Bohrstrang stellt die Drehachse dar und überträgt die Energie beim Bohren. Seine Aufgaben im Einzelnen sind:

- Übertragung des Drehmomentes von dem Drehtisch oder Top Drive auf das Bohrwerkzeug,
- Belasten des Bohrwerkzeuges,
- Zuleitung von Spülflüssigkeit oder Gas (Luft) zur Bohrlochsohle zum Zwecke der Säuberung der Bohrlochsohle vom erbohrten Gestein.
- Aus- und Einbauen des Bohrwerkzeuges zur Bohrlochsohle.

Der Bohrstrang stellt eine empfindliche, im Verhältnis zu seinem Durchmesser überlange und sehr schlecht gelagerte Hohlwelle dar. Beim modernen Rotary-Bohren mit den entsprechend großen Teufen ist der Rotary-Bohrstrang in seinen Abmessungen außerordentlich unproportioniert mit Durchmesser-zu-Längen-Verhältnissen von 1 zu 10.000 bis etwa 1 zu 60.000.

Er muss in der Lage sein, mehrere 100 kW mechanische und mehrere 1.000 kW hydraulische Leistungen zu übertragen. Aus diesem Grund kann man den Bohrstrang auch als ein aus vielen Hochdruckelementen zusammengeschraubtes Gefäß, d. h. als einen unten angezapften Hochdruckbehälter, auffassen, der nicht nur auf Innendruck durch die Spülung, sondern außerdem noch auf Torsion, Biegung, Zug und Druck beansprucht wird. Diese Belastungen wirken jedoch beim Bohren nicht einzeln auf den Strang, sondern in Kombination, so dass sich Biege-Zug-Druck-Wechselbeanspruchungen ergeben. Trotzdem muss der Stahl der Dauerfestigkeit entsprechen, wenngleich Korrosion und mechanische Beschädigungen durch Kerbwirkung in den Keil- und Zangenanschlagzonen oder durch Abrieb im Bohrloch dazu führen, dass die Dauerfestigkeit stark eingeschränkt wird. Deshalb muss das Bohrgestänge gem. API- und W.E.G.-Richtlinien in bestimmten Abständen zerstörungsfrei geprüft und klassifiziert werden.

Gebräuchliche Einstufungen sind die Klassen 1, Premium und 2, wobei jeweils die Belastungen, insbesondere der Bohrstangen, die den empfindlichsten Teil des Stranges darstellen, reduziert werden (Innendruck, Zugbelastung, Torsionsbelastung). Die zulässigen Werte sind entsprechenden Tabellen zu entnehmen.

- **Mitnehmerstange**

Die Mitnehmerstange ist das oberste Strangelement. Sie gleitet zwischen den Rollen des Mitnehmereinsatzes im Drehtisch auf- und abwärts, wird vom Drehtisch mitgenommen und überträgt so die Drehung des Drehtisches auf den Strang. Der Mitnehmerteil hat in der Regel einen hexagonalen (sechseckigen) Querschnitt, um das Drehmoment aufnehmen zu können.

Das obere Ende der Mitnehmerstange ist über Linksgewinde mit dem Spülkopf verbunden, das untere Ende über ein Schonstück mit dem Bohrstrang. Da die Mitnehmerstange mit jeder nachzusetzenden Bohrstange verschraubt werden muss, unterliegt das untere Gewinde der Mitnehmerstange besonders großem Verschleiß.

Um das zu vermeiden, wird ein Übergang zwischen Mitnehmerstange und Strang geschraubt, der leichter und kostengünstiger ausgetauscht werden kann. Um im Falle eines unbeabsichtigten Zuflusses von Formationsinhalten (Wasser, Öl, Gas) in die Bohrung diese sicher einschließen zu können, befindet sich ober- und unterhalb der Mitnehmerstange je ein Kugelhahn, der geschlossen werden kann. Beim Bohren mit

7541014/10787806875Biblio

Top Drive entfällt die Mitnehmerstange, da das Drehmoment vom Top Drive erzeugt wird, der unmittelbar auf das Bohrgestänge aufgeschraubt wird. Der Drehtisch wird in der Regel zum Abfangen des Stranges beim Nachsetzen und Roundtrip beibehalten.

- **Bohrgestänge**

Bohrrohr und Gestängeverbinderpaar werden jeweils durch Verschweißen oder Verschrauben zu einer Bohrgestängelänge komplettiert. In Abhängigkeit von der Konstruktion des Verbinders unterscheidet man

– Schraubbohrgestänge,
– Flanschbohrgestänge,
– Bohrgestänge mit Spezialverbindern.

Schraubbohrgestänge wird auf dem gesamten Gebiet der Bohrtechnik, in der Tiefbohrtechnik auf Erdöl und Erdgas ausnahmslos, eingesetzt. In der Schürfbohrtechnik ist das, abgesehen vom versuchsweisen Einsatz von Spezialverbindern, ebenfalls der Fall. In der Brunnenbohrtechnik sowie in der Großloch- und Schachtbohrtechnik überwiegt der Einsatz von Flanschbohrgestänge ab etwa 150 mm Bohrrohraußendurchmesser. Bei Flanschverbindungen entfällt die Notwendigkeit, mit entsprechend hohem technischem Aufwand hohe Verschraub- und Brechmomente zu erzeugen, die bei einem 340-mm-Bohrgestänge in der Größenordnung von 100 kNm liegen, und es besteht außerdem die Möglichkeit einer relativ einfachen Einzelfertigung.

Der Einsatz von Spezialverbindern beschränkt sich in der Praxis im Wesentlichen auf die Trockenbohrtechnik und dort wiederum auf flache ingenieurgeologische Untersuchungsbohrungen und technische Bohrungen. Ziel des Einsatzes von Bohrgestänge mit Spezialverbindern ist die Beschleunigung der Ein- und Ausbauarbeiten sowie die mögliche Umkehrung der Drehrichtung des Bohrwerkzeuges.

- **Schraubbohrgestänge**

Das in der Tiefbohrtechnik eingesetzte Schraubbohrgestänge ist ein Vorschweißgestänge ohne Schlüsselflächen. In der Schürfbohrtechnik zum Einsatz kommende Schraubbohrgestänge sind z. T. mit Schlüsselflächen versehen. Ausschlaggebend für den Einsatz der einzelnen Bohrgestängekonstruktionen ist ihre Eignung für die vorgesehene Bohrtechnologie (geometrische Bedingungen und Bohrregime).

Die Belastbarkeit (Drehmoment, Zugbeanspruchung, Biegung) der Bohrgestängekonstruktionen begrenzt ihre Einsatzteufe.

Zur Gewährleistung guter Arbeitsbedingungen sollte das Verhältnis von Bohrgestängedurchmesser : Bohrlochdurchmesser immer so groß wie möglich (Ø 0,88) gewählt werden.

Durch dieses Durchmesserverhältnis werden die mit einem Bohrgestänge erreichbare Drehzahl, seine Laufeigenschaften und seine Havarienanfälligkeit entscheidend beeinflusst.

Das in der Öl- und Gasbohrtechnik eingesetzte Bohrgestänge (Drill Pipe, DP) besteht aus etwa 9 m langen nahtlosen Stahlrohren, die mit Gewindeverbindern, sog. Tool Joints, miteinander verschraubt werden. Nach API sind für die Werkstoffe bestimmte Gütestufen vorgesehen, und zwar: E-75, X-95, G-105 und S-135.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-42: Bohrgestänge auf dem Bohrplatz [V2]

- **Schwerstangen**

Schwerstangen (Drill Collars, DC) bilden den untersten Teil des Bohrstranges. Sie sind dickwandig ausgebildet und haben daher ein sehr hohes Eigengewicht. Sie werden an das unterste Gestängerohr bzw. das unterste Heavy Weight Drillpipe-Rohr (HVVDP) angeschraubt und dienen zum Belasten des Werkzeugs. Die Schwerstangenmasse muss groß genug sein, um dem Bohrwerkzeug die erforderliche Belastung zu geben und gleichzeitig das Bohrgestänge unter Zugbelastung zu halten.

Damit wird der Bohrstrang gestreckt gehalten, so dass ein möglichst gerades Bohrloch erstellt wird. Das geschieht nach Schwerkraftgesetz und Pendeleffekt.

Diese Aufgabe können normale Schwerstangen nur im weichen Gebirge mit geringstem Bohrandruck erfüllen. Bei steigenden Belastungen müssen Stabilisatoren eingesetzt werden.

Um den Azimut von Richtbohrungen bestimmen zu können, muss ein Magnetkompass eingesetzt werden, der jedoch nur in unmagnetischen Schwerstangen eingesetzt werden kann.

Deshalb werden in der Richtbohrtechnik dort, wo sich der Kompass befindet, Schwerstangen aus Monelmetall (67 % Nickel, 28 % Kupfer, 5 % Mangan und Eisen; Dichte = 8,9) oder nichtmagnetischen, austenitischen Stählen eingebaut.

Muffen und Zapfen von Schwerstangen sind mit vom API genormten Gewinden versehen. Die bruchgefährdetste Zone einer Schwerstange ist der Verbinder.

Viele Schwerstangenbrüche resultieren in zu hohen Biegespannungen, nur wenige in zu hohen Torsionsspannungen. Um diese Biegespannungen abzubauen und den Zapfen elastischer zu machen, werden an den Zapfenenden Spannungsentlastungsrillen (Stress Relief Grooves) angebracht. Allerdings muss für eine solche Entlastungsrille ausreichend Material im Verbinder zur Verfügung stehen. Deshalb finden sich Entlastungsrillen nicht bei kleineren Schwerstangendurchmessem mit Verbindern der Typen NC 23, NC 26 (2 3/8" IF) und NC 31 (2 7/8" IF).

7541014/10787806875Biblio

Die meisten Schwerstangen besitzen an ihrem Außendurchmesser Eindrehungen, die sich in Längsrichtung spiralförmig um die Stange winden. Das hat den Grund, dass die Bohrspülung immer so zubereitet und aufgeschwert wird, dass der Druck im Bohrloch stets etwas größer ist als der Druck in den Poren des umgebenden Gesteins.

Solange sich das Bohrgestänge nicht dreht und eine Bohrstange mit glatter Oberfläche bewegungslos an den weichen Filterkuchen der Bohrlochwand lehnt, kann es passieren, dass sich die Schwerstange hinterher auch mit großem Krafteinsatz nicht mehr bewegen lässt, weil sie an der Bohrlochwand festgedrückt wird.
Der hohe Druck vom Bohrloch presst sie seitlich an die Wand, der geringere Druck in den Poren des Gesteins kann nicht dagegen ankommen und der weiche Filterkuchen agiert als Dichtung zwischen den beiden Druckzonen. Der Bohrstrang sitzt in diesem Fall also fest.

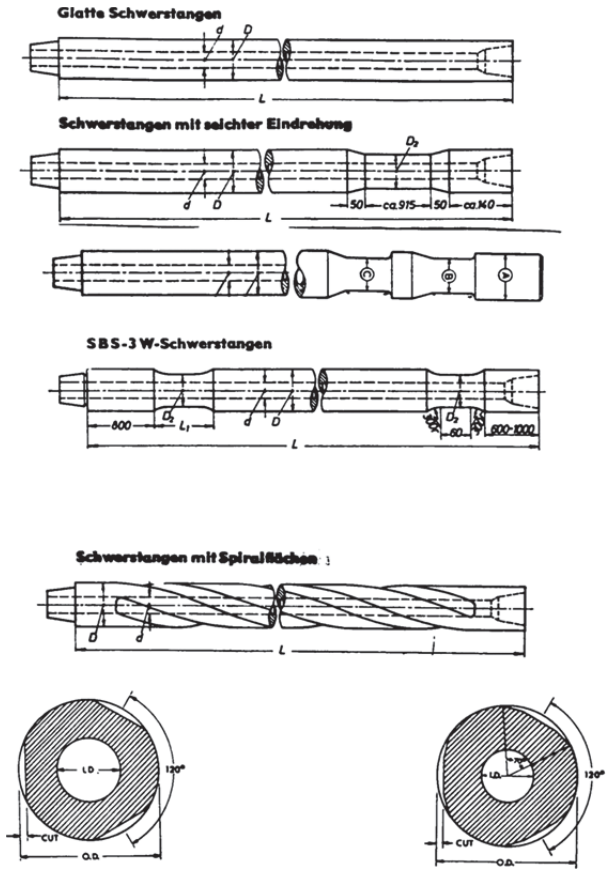


Abb. Fg-43: Schwerstangen [V34]

- **Heavy-Weight-Drill-Pipe**

HWDP (Heavy Weight oder Heavy Wall Drill Pipe, HWDP) sind starkwandige Integralgestänge. Man könnte sie ebenso als leichte Schwerstangen bezeichnen. 1 oder 2 Verdickungen mit einem Durchmesser, der knapp 1" unter Tool-Joint-Durchmesser liegt, stabilisieren und verstärken die Stange. Durch die Reduzierung auf DP-Durchmesser zwischen den Verdickungen bleibt aber genügend Flexibilität erhalten.

7541014/10787806875Biblio

Eingesetzt wird das HWDP als Übergang zwischen Schwerstangenstrang und Gestängestrang. Dadurch können Ermüdungsbrüche, die sich in der ersten Bohrgestängestange einstellen, vermieden werden.

Üblich ist heutzutage, mindestens 3 Gestängezüge je 27 m Länge HWDP einzubauen. Häufig werden auch 3+6 Züge HW-Drill-Pipe eingesetzt.

Vielfach werden auch 5 Züge eingebaut, um so die Spannungen im Bohrstrang besser abzubauen. Die Verdickungen können auch mit Hartmetall gepanzert sein.

Vorteile des HWDP-Gestänges:

- größerer Bohrfortschritt,
- reduzierter Gestängeverschleiß,
- bessere Richtbohrstabilität,
- schnellere Roundtrips,
- leichteres Handhaben,
- sichere Bohrlochkontrolle.

- **Übergänge und Passstücke**

Im Bohrstrang gibt eine Reihe von Übergängen, die immer dann benötigt werden, wenn von einer Gewindeform auf eine andere umgestellt werden muss, was z. B. beim Übergang von den Schwerstangen zum Bohrgestänge der Fall ist.

Übergänge werden auch dann benötigt, wenn sich Durchmesseränderungen ergeben (Übergang von 3.1/2"-Gestänge auf 5"-Gestänge), oder oberhalb des Meißels, der einen Zapfenanschluss hat, so dass mittels einer Doppelmuffe eine Umstellung auf die übliche Verschraubungsart mit Muffe nach oben umgestellt werden muss.

3.13.1.2 Hinweise zu API

API steht für **„American Petroleum Institute“** und ist der größte Interessenverband der Öl- und Gasindustrie einschließlich der petrochemischen Industrie in den USA. Dem API gehören ca. 400 Unternehmen an (Stand August 2005).

Das Institut äußert sich zu Themen wie der Ausbeutung von Lagerstätten, Ölverbrauch, Steuern, Handel, Umwelt- und Arbeitsschutz. Ein wichtiges Arbeitsgebiet ist die Erarbeitung von technischen Richtlinien und Standards. Der Einfluss des API geht weit über die USA hinaus. Die vom API herausgegebenen technischen Richtlinien sind vergleichsweise umfassend und anspruchsvoll.

Die Richtlinien werden nicht von unabhängigen Einrichtungen, sondern von Fachleuten aus dem im Verband zusammengeschlossenen Industriefirmen erarbeitet.

Vom API liegen auch Spezifikationen für Motoröle und Schmieröle vor. Andere Richtlinien beschäftigen sich beispielsweise mit der Ausführung von Maschinen, Öltransport auf Schiffen, Wartung von Apparaten und der Ausführung von Sicherheitseinrichtungen sowie Qualitäts- und Maßrichtlinien für Bohrgestänge und -zubehör.

7541014/10787806875Biblio

3.13.1.3 Stabilisatoren

Stabilisatoren werden im unteren Teil des Bohrstranges, d. h. im Bereich der Schwerstangen, der Kernrohre und der Bohrwerkzeuge, angeordnet und sind in der Lage, den sich drehenden Bohrstrang am Einsatzpunkt im Bohrloch zentrisch zu führen bzw. zu stabilisieren. Sie sind demnach geeignet, im Bohrstrang auftretende Querschwingungen abzufangen bzw. zu verhindern und einen ruhigen Lauf des unteren Bohrstrangbereiches zu gewährleisten.

Hieraus ergeben sich wesentliche Vorteile im Hinblick auf den Verschleiß aller Teile des betreffenden Bohrstrangbereiches und auf das Bohrergebnis, z. B. auf den Kerngewinn. Sehr wichtige Aufgaben haben Stabilisatoren im Rahmen der Bohrtechnologie zu erfüllen. Sie werden sowohl als Mittel zur Beibehaltung der Richtung (Neigung und Azimut) einer Bohrung eingesetzt (stabilisierter Bohrstrang) als auch als Mittel zur Ablenkung aus der vorhandenen Richtung (z. B. durch Nutzung des Pendeleffektes bei geneigten und horizontalen Bohrungen).

Bei den verschiedenen Bohrverfahren bzw. Bohrdurchmessern kommen Stabilisatoren unterschiedlichster Konstruktionen zum Einsatz. Teilweise übernehmen auch andere im Bohrstrang vorhandene Elemente, z. B. stabilisierende Kernrohrkopfstücke, quadratische Schwerstangen und Nachräumer, die Funktionen von Stabilisatoren. Grundsätzlich werden drei Stabilisatorgrundtypen unterschieden:

- Stabilisatoren mit integrierten Stabilisierungselementen (Integralblattstabilisatoren), die Stabilisierungselemente im Bohrstrang gleiten an der Bohrlochwand;
- Stabilisatoren, bei denen der Stabilisatorkörper auf der Stabilisatorachse drehbar angeordnet ist und im Vorprozess still steht (Muffen- oder Rotationsstabilisatoren);
- Stabilisatoren, bei denen um die Stabilisatorachse herum als Führungselemente Rollen angeordnet sind (Rollenstabilisatoren).

Von diesen Stabilisatorgrundtypen gibt es eine Vielzahl von Konstruktionsvarianten, die den geometrischen und technologischen Bedingungen im Bohrloch angepasst sind. Stabilisatoren mit integrierten Stabilisierungselementen kommen in großem Umfang in Tiefbohrungen und in der Schürfbohrtechnik zur Erkundung fester Minerale zum Einsatz.

7541014/10787806875Biblio

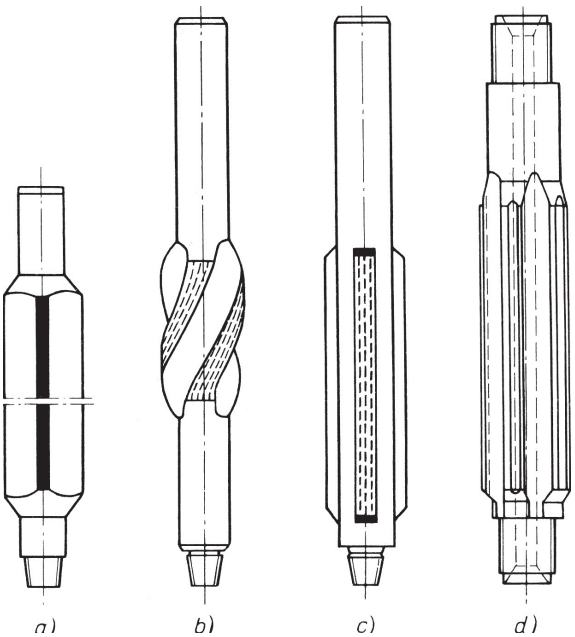
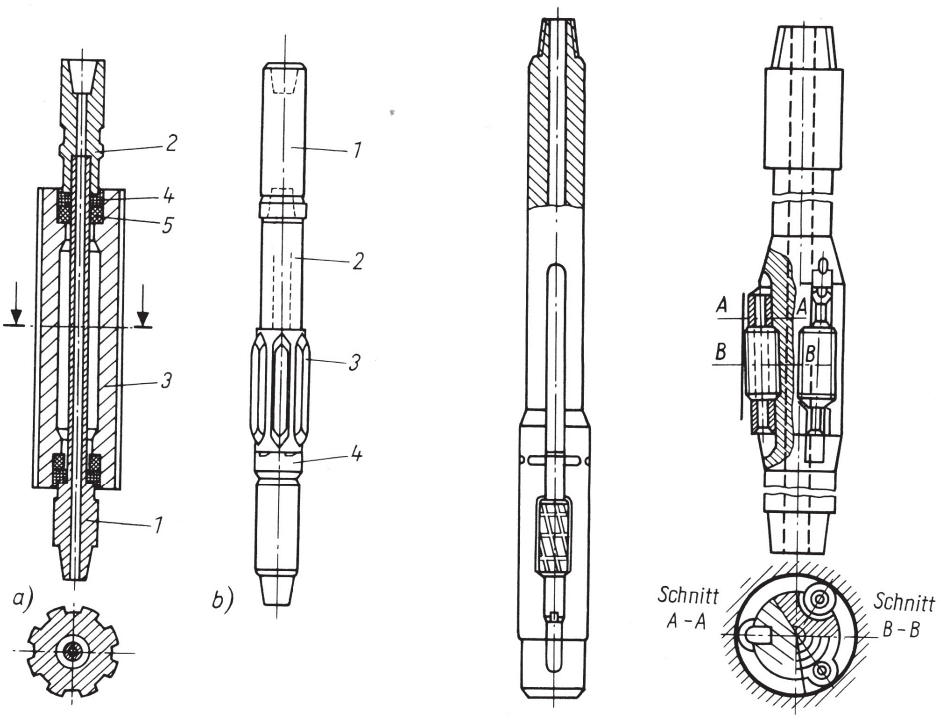


Abb. Fg-44: Stabilisatortypen mit integrierten Stabilisierungselementen (imprägniert) quadratischer Stabilisator in großer Baulänge als quadratische Schwerstange
a) Integralblattstabilisator
b) Integralblattstabilisator
c) Integralblattstabilisator
d) Stabilisatorelemente mit eingelegten Hartmetallleisten
[V34]

Vorteile dieser Stabilisatoren sind ihr einfacher Aufbau ohne bewegliche Teile und ihre Eignung auch für sehr kleine Durchmesser in der Schürfbohrtechnik. Die in diesen Stabilisatoren auftretende Verschleißfrage am Außendurchmesser wird durch eingelegte Hartmetallplättchen gelöst. Einige Stabilisatorkonstruktionen zeigen die Abb. Fg-44 und Fg-45.

Muffen- oder Rotationsstabilisatoren werden vor allem in Tiefbohrungen eingesetzt, weniger in Schürfbohrungen, da für eine solide Konstruktion ein Mindestdurchmesser von etwa 100 mm benötigt wird. Stabilisatoren mit stillstehendem Stabilisatorkörper finden auch bei Brunnen- und Großlochbohrungen Verwendung. Die Kontaktflächen zur Bohrlochwand sind hier in vielen Fällen kufenförmig ausgebildet und an einer drehbar auf der Mittelachse angeordneten Konstruktion befestigt. Muffenstabilisatoren haben den Vorteil, dass es zwischen Bohrlochwand und Stabilisator nur zu geringfügigen Relativbewegungen kommt und auf diese Weise Bohrlochwand und Stabilisator geschont werden. Ein Ausführungsbeispiel für einen Muffenstabilisatoren zeigt Abb. Fg-45.

7541014/10787806875Biblio



Rotationsstabilisator:
a) 1 Lagerwelle, 2 Verbindungshülse, 3 Stator, 4 Dichtring, 5 Gleitbuchse.
Muffenstabilisator:
b) 1 oberer Übergang, 2 Spindel, 3 Führungskörper, 4 unterer Kupplungsring
rechts: Rollenstabilisatoren/Rollenräumer

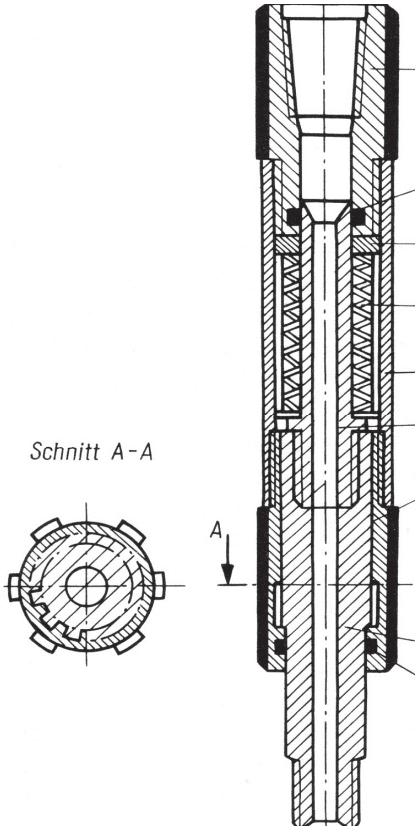
Abb. Fg-45: Rotations- und Muffenstabilisatoren [V34]

Stabilisierungseffekte treten auch bei Verwendung von Rollenräumern auf (Abb. Fg-45), die in erster Linie vorgesehen sind, um das Bohrlochkaliber konstant zu halten. Sie können in Bohrlöchern mit einem Durchmesser > 100 mm eingesetzt werden. Rollenstabilisatoren können bei entsprechender Gestaltung der Rollen auch als Rollenräumer eingesetzt werden.

3.13.1.4 Stoßdämpfer

Stoßdämpfer werden zur Dämpfung der vom Bohrwerkzeug erzeugten Längsschwingungen unmittelbar über dem Bohrwerkzeug in den Bohrstrang eingebaut. Die Intensität der Längsschwingungen ist unter anderem von der Gesteinshärte und dem Werkzeugtyp abhängig. Längsschwingungen treten besonders dann auf, wenn mit Rollenbohrwerkzeugen in harten Gesteinen gebohrt wird. Der Einsatz von Stoßdämpfern bringt sowohl für den Bohrstrang als auch für den Bohrprozess bedeutende Vorteile. Da durch den Stoßdämpfer ein Springen des Bohrwerkzeuges mit dem Bohrstrang verhindert wird, kann eine starke Schwankung des Kontaktdruckes zwischen Rollenmeißelzähnen und Gestein mit hohen Spitzenwerten verhindert werden.

7541014/10787806875Biblio



1 Kopfstück, 2 Dichtungsring, 3 Scheibe, 4 Tellerfeder, 5 Gehäuse, 6 Rohr, 7 Muffe, 8 Welle, 9 Dichtungsring [V34]

Abb. Fg-46: Stoßdämpfer

Durch den relativ gleichmäßigen Kontaktdruck lassen sich größere Bohrgeschwindigkeiten erreichen, und vor allem wird die Lebensdauer des Bohrwerkzeuges durch die Schonung der Lagerung und Meißelzähne erhöht.

Auch auf das Arbeitsverhalten sowie auf die Belastung und damit auf die Lebensdauer des Bohrstranges oberhalb des Stoßdämpfers wirkt sich dessen Funktion positiv aus. Stoßdämpfer werden sowohl in der Tiefbohrtechnik auf Erdöl und Erdgas als auch in der Schürfbohrtechnik in verschiedenen Konstruktionsvarianten hinsichtlich Aufbau und Federelement eingesetzt.

Die Anpassung der Stoßdämpfer an unterschiedliche Arbeitsverhältnisse erfolgt durch die Realisierung unterschiedlicher Federkennlinien. Als Federelemente werden unter anderem Stahlfedern (z. B. Tellerfedern) und Elastomerkörper verwendet.

Eine in der Schürfbohrtechnik eingesetzte Stoßdämpferkonstruktion zeigt Abb. Fg-46. Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass bei einer stufenlosen Drehzahlregelung des Bohrstranges auf den Einsatz eines Stoßdämpfers verzichtet werden kann, da in diesem Falle die Möglichkeit besteht, Drehzahlen, bei denen Resonanz auftritt, zu vermeiden.

7541014/10787806875Biblio

3.13.1.5 Schlagschere

Wenn sich Geröll aus der Bohrlochwand löst und so zwischen dem Bohrstrang und dem Gestein verkeilt und der Bohrstrang im Loch festklemmt, kann es vorkommen, dass sich das Bohrgestänge nicht mehr bewegen lässt.

In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass die Bohrung aufgegeben werden muss, was einen hohen Verlust bedeutet.

Um das Risiko des Festwerdens zu minimieren, baut man meist eine sog. Schlagschere in die Bohrgarnitur ein. Schlagscheren sind Bohrgeräte, die bei Bedarf unter Tage, also dicht an der Problemzone, heftige Schläge auslösen können, die den Bohrstrang wieder frei reißen sollen. In vielen Fällen führt diese Methode zum Erfolg und ein hoher Verlust kann vermieden werden.

3.14 Bohrgestängeantrieb

3.14.1 Drehtisch

Der Antrieb des Drehtisches (mechanisch oder hydraulisch) erfolgt über das Bohrgeräteaggregat auf den Drehkranz des Bohrtisches. Dieser ist fest mit der Drehtischplatte verbunden. Über unterschiedliche Mitnehmereinsätze wird das Drehmoment auf die Mitnehmer- oder Kelly-Stange übertragen.

Die Mitnehmerstange ist die oberste Bohrstange des Bohrstranges und hat einen quadratischen oder sechseckigen Querschnitt. Infolge der formschlüssigen Verbindung kann sich die Mitnehmerstange in den Mitnehmereinsätzen in axialer Richtung bewegen (wurde bereits beschrieben)

3.14.2 Top Drive – Kraftdrehkopf

In der Tiefbohrtechnik und insbesondere bei den Bohranlagen für Erdöl- und Gasbohrungen wird heute ausschließlich das **Top Drive-Verfahren** angewandt.

Der Top Drive biete eine ganze Reihe von Vorteilen, die seinen Einsatz wirtschaftlich und nützlich machen. So kann statt der Einzelstange ein zuvor zusammengestellter Dreier-Gestängezug nachgesetzt werden, was die Nachsetzzeiten erheblich reduziert. Auch kann, wenn die Gefahr des Festwerdens des Stranges im Bohrloch besteht, dieser spülend und rotierend ausgebaut werden. Außerdem kann bei Horizontalbohrungen und Einsatz von DHM mittels des Top Drives eine Strangrotation überlagert werden, was ein steuerbares Motorsystem ergibt.

Wird nur mit dem DHM mit Knickwinkel gearbeitet, so kann Neigung bzw. Azimut auf- oder abgebaut werden; wird eine Strangrotation (30–100 min^{-1}) überlagert, bleiben Neigung und Richtung stabil; es kann also geradeaus gebohrt werden, ohne dass der Motor ausgebaut und neu justiert werden müsste, was Zeit und damit Kosten spart.

Hinzu kommt, dass die Arbeit auf der Arbeitsbühne bei Einsatz des Top Drives, insbesondere in Verbindung mit Pipe-Handling-Systemen, wesentlich sicherer wird. Top Drives erzeugen Drehmomente von bis zu ca. 120.000 Nm.

7541014/10787806875Biblio

3.14.3 Bohrmotor – Downhole Motor

Das Grundprinzip des Rotary-Bohrens besteht darin, dass sich das Bohrwerkzeug auf der Bohrlochsohle dreht, um dabei, je nach Gestaltung des Werkzeugs, Gesteinspartikel aus der Bohrlochsohle herauszubrechen und so einen Bohrfortschritt zu erzeugen. Nur so ist ein kontinuierlicher Bohrprozess möglich, wobei die zirkulierende Spülung das erbohrte Gestein ebenso kontinuierlich zu Tage austrägt.

Die klassische Rotation des Werkzeugs wird dadurch bewerkstelligt, dass der gesamte Strang über Tage durch den Drehtisch in Rotation versetzt wird, wobei der Drehtisch über entsprechende Einsätze das Drehmoment auf die Sechskant-Mitnehmerstange (Kelly) überträgt.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist allerdings, dass der gesamte Strang von bis zu einigen tausend Metern Länge in Rotation versetzt werden muss, wobei nicht unerhebliche Reibungsverluste entstehen, so dass nur ein geringer Prozentsatz der vom Drehtisch auf den Strang übertragenen Energie am Bohrwerkzeug ankommt und zur Gesteinszerstörung zur Verfügung steht. Deshalb hat man schon in den 1930er Jahren versucht, die Drehbewegung dort zu erzeugen, wo sie benötigt wird, nämlich unmittelbar über dem Bohrwerkzeug. Ein solcher Vor-Ort-Motor kann theoretisch elektrisch oder hydraulisch angetrieben werden, wobei es bis heute nicht gelungen ist, die Stromzuführung zu einem Elektromotor so zu gestalten, dass das System störungsfrei läuft.

Ansonsten wäre der Elektromotor der ideale Antrieb, da er in schlanker Form bei entsprechender Leistung zu bauen wäre und eine sehr gute Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik hat, was bedeutet, dass er auch bei geringen Drehzahlen ein hohes Drehmoment erzeugt, insbesondere, wenn es sich um einen Drehstrommotor handelt.

Die Alternative war, die ohnehin im Bohrloch zirkulierende Spülung für den Antrieb eines Hydromotors zu nutzen, wobei zu unterscheiden ist zwischen dem hydrodynamischen und dem hydrostatischen Antrieb.

Zu den hydrodynamischen Antrieben zählen die Turbinen, die auch zunächst, insbesondere in der Sowjetunion, sehr häufig eingesetzt wurden.

Nachteil dieser Antriebe ist, dass sie ihr Drehmoment erst bei hohen Drehzahlen entwickeln, also sehr hohe Drehzahlen benötigen, was wiederum, besonders für Rollenmeißel, nicht geeignet ist, da diese Drehzahlen von 600 min^{-1} und mehr nicht verkraften. Man hat deshalb versucht, die Drehzahlen zu reduzieren, was man mittels Getrieben wie auch – erfolgreicher – durch spezielle Ausbildung der Schaufeln erreichte.

Gleichzeitig wurden Rollenmeißel entwickelt, die auch bei höheren Drehzahlen gute Standzeiten erbrachten.

Hinzu kam die Entwicklung der Diamantbohrwerkzeuge, die keine beweglichen Teile haben und somit für höhere Drehzahlen besser geeignet waren. Trotzdem war der Turbine keine größere Zukunft beschert. Sie wurde und wird deshalb im Wesentlichen in der Richtbohrtechnik eingesetzt.

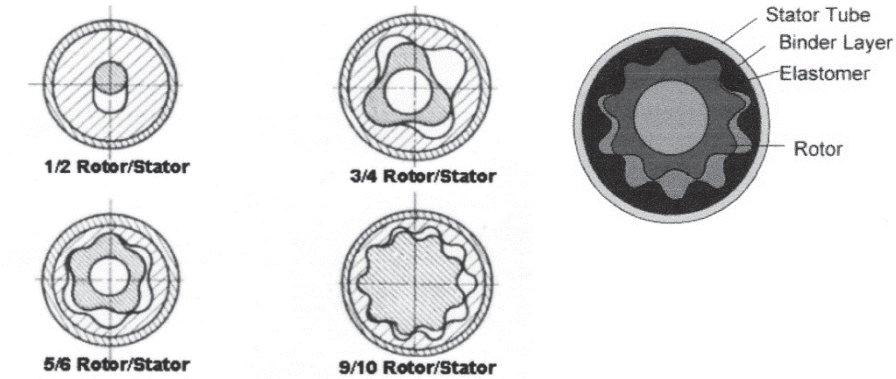
Ende der 1960er Jahre begann die Entwicklung der hydrostatischen Antriebe auf dem Prinzip der Exzenterschnecken- oder Moineau-Pumpe. Bei diesen Antrieben ist das erzeugte Drehmoment proportional dem Druckabfall im Motor, was bedeutet, dass ein solcher Motor langsamer laufen kann, allerdings höhere Pumpendrücke benötigt.

7541014/10787806875Biblio

Trotzdem hat es noch bis Ende der 1980er Jahre gedauert, bis dieser Motor so weit entwickelt wurde, dass er für das Leistungsbohren konkurrenzfähig einzusetzen war, wobei insbesondere die Standzeiten des Motors der Engpass waren. Der Moineau-Motor besteht aus einem Statorrohr, ausgekleidet mit einem gewendelten Gummistator, und einem Rotor, bestehend aus einem gewendelten Stahlkörper.

Dadurch, dass der Stator eine Wendel mehr hat als der Rotor, entsteht eine Kammer, die durch den Spülungsdruck durch den Motorkörper nach unten bewegt wird und so den Rotor in eine Drehbewegung versetzt (Umkehrprinzip der Moineau-Pumpe). Diese Motoren gibt es 1/2-gängig bis 9/10-gängig, wobei mit steigender Anzahl der Wendeln (Lopes) zwar das Drehmoment steigt, der Wirkungsgrad und die Drehzahl geringer werden. Der Druckabfall pro Stufe (= 1 Wendel mit 360°) liegt beim Dauerbetrieb bei etwa 10 bar.

Downhole-Motore werden sowohl in der Tiefbohrtechnik wie auch in der Richtbohrtechnik mit Erfolg eingesetzt. Hauptanwendungsgebiet der DHM ist die Horizontalbohrtechnik. Hierfür wurden spezielle Motoren entwickelt, deren Gehäuse mit einem Knick versehen ist.



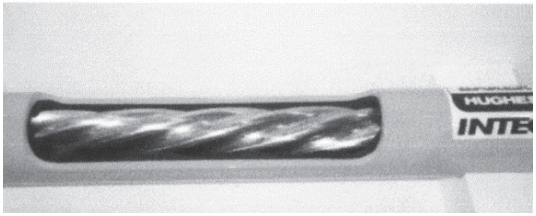


Abb. Fg-47: Details des Bohrmotorssystems [V73]

Heute werden üblicherweise solche Motoren eingesetzt, deren Knickwinkel auf der Lokation eingestellt werden können, wobei der Knickwinkel zwischen 0° und 4° liegt.

Die Abhängigkeit zwischen Neigungs-Aufbaurate (Build Up Rate = BUR) und Knickwinkel kann Tabellen entnommen werden.

7541014/10787806875Biblio

3.14.4 Neue Downhole-Systeme aus Celle

3.14.4.1 Entwicklung[30)]

Ein Bohrturm steht neben dem anderen – dieses Bild zeigt die Region Celle um 1900. Damals siedelten sich zahlreiche Ölfirmen und Zulieferer in Celle an, wo vor 150 Jahren eine der ersten Erdölbohrungen weltweit stattfand. Dort war der **Geologe Konrad Hunäus** beim Bohren nach Braunkohle auf das schwarze Gold gestoßen. Mit diesem Fund begann die industrielle Förderung von Erdöl und Erdgas in Deutschland.

Nach regenreichen Sommern trat Teer aus der Erdoberfläche aus. Bereits 1652 wurde erwähnt, dass Teerkuhlen angelegt wurden. Der Teer, damals „Satansspeck“ genannt, wurde als Wagenschmiere, Dichtungsmaterial oder schwarze Salbe genutzt. Im Laufe der Zeit wurden Verfahren entwickelt, wie man aus dem Teer auch Öl machen konnte.

Ende 1858 fanden unter der Leitung von Georg Hunäus die wohl weltweit ersten Erdölbohrungen statt. Selbst in Texas war man noch nicht so weit. In der Erde gesucht wurde eigentlich Braunkohle, aber bei der Bohrung stieß man in der Tiefe von 35 m auf Erdöl.

Erst 1899 brach dann das Ölfieber in Wietze aus, als man bei einer Bohrung in 270 m Tiefe freifließendes Öl fand. Der Ölboom veränderte Wietze innerhalb weniger Jahre. Die Infrastruktur wurde verbessert, eine Raffinerie wurde gebaut.

Die Anzahl der Bohrbetriebe nahm rasant zu. So rasant, dass die ganzen Arbeiter in Wietze nicht mehr unterkommen konnten. Der Anteil der Pendler betrug bald 90 %. Wietze deckte ca. 80 % der Inlandsnachfrage nach Öl.
Bis zur endgültigen Stilllegung aller Betriebe 1963 aus wirtschaftlichen Gründen gab es in Wietze 2028 Bohrungen.
Heute kann man die Technik der Vergangenheit, die Bohrtürme und die Geschichte im Deutschen Erdölmuseum bestaunen.

Abb. Fg-48: Erdölfeld Wietze um 1900 [V74]

30) Grundlage dieses Abschnitts sind: „Der Lüneburger Anzeiger“ über die Entwicklung des Ölfeldes Wietze – „Veröffentlichungen des Erdölmuseums Wietze“ und „Eigene Eindrücke und Informationen bei einem Besuch des Erdölmuseums Wietze“ – Veröffentlichungen der Fa. Baker Hughes in Celle.

7541014/10787806875Biblio

3.14.4.2 Celle als Sitz von Erdöl-Service-Unternehmen

Inzwischen ist in der Region kein Bohrturm mehr in Betrieb, jedoch wird dort weiterhin Spitzentechnologie für die Erdöl- und Erdgasgewinnung entwickelt.
Auch eines der drei weltweit führenden **Erdöl-Service-Unternehmen, Baker Hughes**, forscht und produziert seit 1957 in der niedersächsischen Fachwerkstadt.

Celle spielt in dem Konzern, dessen Hauptsitz in Houston/Texas liegt, eine maßgebliche Rolle als Entwicklungszentrum und Fertigungsstätte. Die dortigen Ingenieure haben sich auf intelligente Bohr- und Messsysteme spezialisiert, die sich computergestützt den Weg bis ins Öl- oder Gasreservoir unter Tage suchen.

Die Nachfrage ist aufgrund des weltweit steigenden Energiebedarfs groß. Zu den Kunden von Baker Hughes zählen namhafte Ölfirmen wie ExxonMobil, Shell, StatoilHydro, BP und Petrobras.

An sie vermietet der Förderspezialist seine komplexen Geräte und schickt meistens eigene Experten mit zum Einsatz.

3.14.4.3 AutoTrak-System

Der Celler Firmensitz ist führend in der Tiefbohrtechnik. Dabei kommt auch das sogenannte **AutoTrak-System** zum Einsatz, ein selbststeuernder Bohrroboter, der bis zu zwölf Kilometer nahezu automatisch sein Ziel findet. Er wurde in Celle entwickelt und wird auch heute noch nur dort produziert.

Vor allem Lieferanten aus der Region und ganz Niedersachsen stellen dafür nötige Teile zur Verfügung, neben Rohmaterial auch von Baker Hughes entwickelte Sensoren oder Hydraulikkomponenten.

Das bei der Tiefbohrtechnik gängige Abteufen mit einem rotierenden Bohrstrang war früher für senkrechte Bohrungen konzipiert. Bessere Resultate erzielt man jedoch mit einer Richtbohrung, denn dabei wird vorzugsweise auf dem kürzesten Weg vertikal nach unten zur Lagerstätte und dann kilometerweit horizontal durch sie hindurch gebohrt.

Eine Lagerstätte ist in der waagerechten Ebene im Vergleich zur senkrechten viel ausgedehnter und entsprechend mehr Öl oder Gas kann gefördert werden. Das Richtbohren macht es auch möglich, zum Beispiel von einer Bohrinsel aus viele Löcher in unterschiedliche Himmelsrichtungen abzuteufen und auf diese Weise ein komplettes Feld zu erschließen, ohne mit der teuren Bohrinsel umziehen zu müssen.

Mit dem AutoTrak-System kann man außerdem beliebige Richtungsänderungen durchführen, ohne dabei die Rotation des gesamten kilometerlangen Bohrstrangs, der aus Hunderten zehn Meter langen und zum Teil mit Kabeln verbundenen Stahlrohren zusammengesetzt ist, unterbrechen zu müssen.
Dies ist besonders hilfreich bei schwierigen Bodenverhältnissen, wie sie in der norwegischen oder britischen Nordsee vorkommen.

Von außen sieht das AutoTrak-System nach einem gewöhnlichen Stahlrohr von 20 cm Durchmesser aus (Abb. Fg-49).

Doch die in Celle entwickelte und eingebaute Technik steckt im Innern – ein rotierender Meißel zertrümmert das Gestein und vertieft das Bohrloch somit stetig.

7541014/10787806875Biblio

Abb. Fg-49: AutoTrak-System
Genaue Prüfung vor dem Einfahren ins Bohrloch
[V26]

Drei einzeln ausfahrbare Steuerrippen am AutoTrak drücken mit Hydraulikzylindern selektiv gegen die Bohrlochwand, um die Bohrung zu lenken und zum Ziel zu bringen. Die im Bohrsystem integrierten Sensoren messen die umgebenden Gesteinseigenschaften und liefern mit Hilfe von Druckimpulsen in der Bohrspülung alle Daten in Echtzeit an die Ingenieure über Tage.

So kann ermittelt werden, ob große Mengen von Kohlenwasserstoffen vorhanden sind, die auf Erdöl und Erdgas hinweisen, und wie gut das Öl aus dem Reservoir fließen kann. Die Techniker können nicht nur vom Bohrturm aus, sondern auch via Satellit von dem sogenannten Collaboration Center am Celler Standort aus die Bohrung verfolgen und steuern. Früher mussten noch Gesteinsproben aus dem Bohrloch entnommen und über Tage untersucht werden. Die heutige Technik spart den Kunden Zeit und Kosten, denn der Betrieb einer Bohranlage im Offshore-Bereich kostet beispielsweise pro Tag bis zu einer halben Million Dollar.

3.14.4.4 Forschung in der Tiefe

Die in den Bohrköpfen installierte Technik muss beim Richtbohren backofenähnliche Temperaturen von bis zu 250 °C und Druck von über 2.000 bar aushalten, in besonderen Fällen auch darüber hinaus.

Daher eignet sich AutoTrak auch für das Erschließen von geothermischer Tiefenenergie, denn dort sind tiefe und somit heiße Bohrungen nötig. Eine weitere Erhöhung der Temperaturfestigkeit ist allerdings erforderlich, wenn die Bohrungen in größere Tiefen mit deutlich höheren Temperaturen vorstoßen sollen.

Baker Hughes ist aus diesem Grund in den Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik (gebo) der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) eingebunden und darf die Ergebnisse für die eigene Produktion anwenden. Weitere finanzielle Unterstützung bekommt der gebo-Verbund vom Land Niedersachsen.

Sein oberstes Ziel ist es, die Kosten von Tiefbohrungen zu senken. Die Wissenschaftler der NTH untersuchen daher Konzepte für neue Bohrtechniken, die kleinere Bohranlagen ermöglichen und die Bohrgeschwindigkeit erhöhen.

Baker Hughes gab 2007 weltweit 450 Mio. Dollar für die Forschung aus, mit 3,6 % des Umsatzes liegt das Unternehmen im Vergleich zur Konkurrenz damit an der Spitze.

7541014/10787806875Biblio

Weitere Technologien werden seit September 2009 in dem neuen Technologiezentrum in Celle untersucht. In ihm befinden sich unter anderem Laborflächen, eine Hybrid-Hochtemperatur-Entwicklungsabteilung sowie Büros unter einem Dach.

Das Zentrum bündelt vor allem die einzelnen Forschungslabore, die bisher über das gesamte Gelände verstreut waren. Eine verbesserte Kommunikation und Vernetzung der 1.200 Angestellten, von denen mehr als 300 im Entwicklungsbereich tätig sind, soll somit gewährleistet sein. Der Anteil der weiblichen Mitarbeiter bei Baker Hughes beträgt 15 %. In den letzten Jahren interessieren sich weibliche Bewerber verstärkt für Ingenieurs- und sonstige technische Positionen.

Baker Hughes sucht derzeit Ingenieure aus den Fachbereichen Elektrotechnik und Maschinenbau, auch Naturwissenschaftler wie Geologen und Physiker haben gute Einstiegschancen. Das Unternehmen bietet auch ein duales Studium, also Theorie und Praxis im Verbund, unter anderem im Studiengang Konstruktionstechnik in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Hannover an.

Zudem ist eine Ausbildung zum Industriemechaniker, Mechatroniker, Elektroniker und Industriekaufmann möglich.

3.14.4.5 AutoTrak-Funktionssystem

Die Strangrotation verhindert das Auftreten von Haftreibung zwischen dem Bohrstrang und dem Bohrloch, wodurch sich die horizontale Reichweite der Bohrung ganz erheblich steigern lässt. Der Antrieb des Meißels über Strangrotation erlaubt darüber hinaus den Einsatz aggressiver Bohrmeißel, was zu erhöhten Bohrgeschwindigkeiten führt.

Ein weiterer Vorteil von Rippensteuersystemen im Vergleich zu konventionellen Richtbohrmotoren besteht darin, dass keine Knickstücke in der Garnitur vorhanden sind und ein maßhaltiges Bohrloch ohne Absätze gebohrt werden kann, unabhängig davon, ob es sich um eine Kurve oder eine Tangente handelt. Das einzige nicht rotierende Teil des gesamten Bohrstrangs ist die Steuerhülse in Meißelnähe mit ihren drei integrierten Steuerrippen (in Abb. Fg-50 blau dargestellt). Die darunter befindlichen Zylinder werden – von einem Computer gesteuert – individuell mit Öldruck beaufschlagt. Dadurch ergibt sich eine resultierende Seitenkraft, die die Bohrung in die gewünschte Richtung ablenkt.

Die Vorgabe über Richtung und Betrag der einzustellenden Seitenkraft bekommt das System während des Bohrprozesses über sogenannte „Downlinks“ von über Tage übermittelt. Dazu wird ein Bypassventil in die Druckleitung der Spülpumpe in einer bestimmten Sequenz betätigt. Die resultierenden Durchflussschwankungen im Bohrstrang bewirken Drehzahlschwankungen der untertägigen Turbine zur Stromerzeugung der Garnitur. Diese wiederum werden durch die Elektronik als Befehle erkannt, dekodiert und umgesetzt.

Hat das 3-D-Rotary-Steering-System einen Befehl erhalten, stellt es den geforderten Seitenkraftvektor selbständig ein und behält ihn bis zur Übermittlung eines neuen Steuerbefehls bei.

3-D-Rotary-Steering-Systeme sind für den Einsatz in einer komplexen Bohrgarnitur mit Thruster und schaltbarem Erweiterungswerkzeug sehr geeignet, da das darüber befindliche Erweiterungswerkzeug im Bohrbetrieb stets mit Rotationsenergie versorgt wird.

7541014/10787806875Biblio

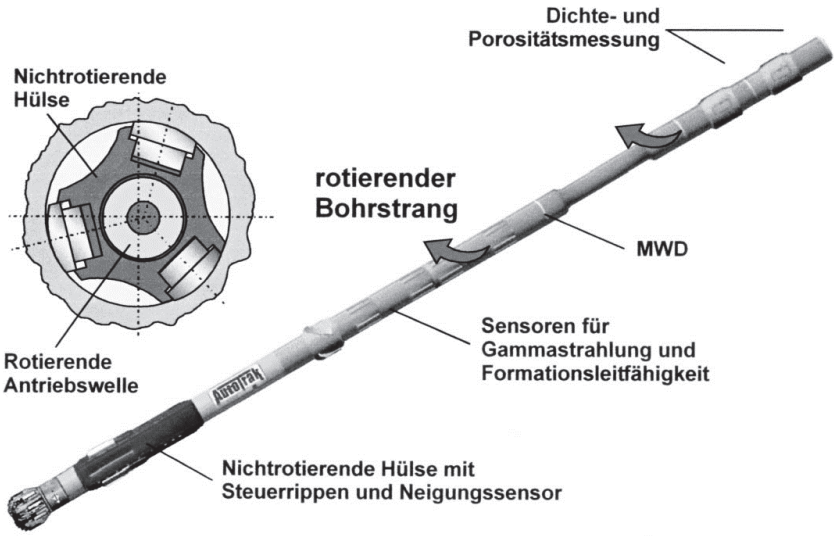
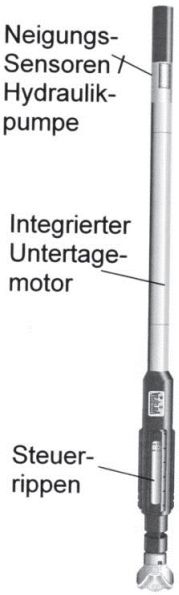


Abb. Fg-50: AutoTrak-Systemdarstellung [V73]



Der Rippensteuerkopf bildet mit dem darüber angeordneten Sensorpaket (MWD, LWD, Strangdynamik) eine hydraulische Einheit. Es bietet sich an, ein solches System für die Berechnung wie das zuvor beschriebene „MWD-Modul“ zu behandeln und seinen Gesamt-Druckverlust als Funktion des Volumenstroms über einen Durchströmungsversuch zu bestimmen.

Die neue Generation 3-D-Rotary-Steering-Systeme verfügt optional über einen Bohrmotor, der oberhalb des Steuerkopfes in das System integriert ist („modular motor“). Eine solche Anordnung bietet den Vorteil, dass die Drehzahl des gesamten Bohrstrangs deutlich reduziert werden kann, ohne die Drehzahl des Meißels zu beeinträchtigen. In Folge tritt reduzierter Verschleiß am Bohrstrang, an der Verrohrung und an der Wand des offenen Bohrlochs auf. In hydraulischer Hinsicht kann ein solches 3-D-Rotary-Steering-System als Reihenschaltung eines MWD-Moduls und eines Bohrmotors betrachtet und in der Druckverlustberechnung berücksichtigt werden.

Abb. Fg-51: VertiTrak-System [V73]

3.14.4.6 Vertikalbohrsystem

Das **Vertikalbohrsystem VertiTrak** der Firma Baker Hughes INTEQ (Abb. Fg-51) wurde speziell für den vertikalen Top-Hole-Bereich konzipiert. Im vertikalen Loch gibt es keine Haftreibungsprobleme und es kann sich auch kein Bohrklein auf der Unterseite der Bohrung absetzen. Aus diesen Gründen wird das Vertikalbohrsystem ohne Strangrotation betrieben. Das Bohrloch wird durch den nicht rotierenden Bohrstrang weitgehend vor mechanischer Beschädigung und die Rohrtour vor Verschleiß geschützt.

7541014/10787806875Biblio

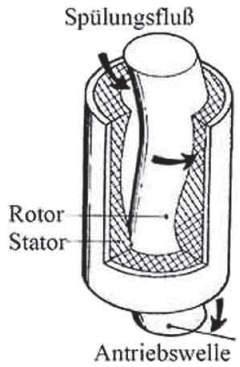


Abb. Fg-52: Schematische Darstellung des Spülungsmotors [V73]

Ähnlich dem AutoTrak-System verfügt das **VertiTrak**-System über drei Steuerrippen, jedoch befinden sich diese nicht auf einer relativ zum Bohrstrang drehbar gelagerten Hülse, sondern sind integraler Bestandteil des Gehäuses des Lagerstuhles.
Neigungssensoren im Control Sub am oberen Ende des Werkzeugs messen kontinuierlich dessen Neigung zur Vertikalen, eine Elektronik wertet die Messwerte aus und stellt die Drücke der Zylinder unter den Steuerrippen über hydraulische Pumpen und Ventile stets so ein, dass eventuelle Abweichungen von der Vertikalen wieder korrigiert werden.

3.14.4.7 Magtrak-System

„Schlamm, Temperaturen wie im Pizzaofen, Drücke von 1.700 bar, permanente Erschütterungen – in einem Bohrloch kann es ganz schön ungemütlich werden. Unter diesen Bedingungen Hightech zu installieren, ist aufwändiger als in der Raumfahrt", sagt Marion Fischer, Dipl.-Physikerin bei Baker Hughes (texanischer Milliardenkonzern), Niederlassung Celle, die anspruchsvolle Techniken für die Erschließung von Erdölfeldern entwickelt und liefert.

Die deutsche Tochterfirma **Inteq** in Celle bei Hannover entwickelt eine neue Fördertechnik: Fischer hat zusammen mit ihren Kollegen die Kernspinresonanz tauglich gemacht für den Einsatz in der Bohrhölle – ein Verfahren, das man im Krankenhaus vermuten würde und nicht Tausende Meter unter Tage.

Das System namens **MagTrak** soll Daten aus der Tiefe liefern, noch während sich der diamantbesetzte Meißel ins Gestein hineinfrisst.

Fischer koordiniert mittlerweile die Erprobung des Systems. Ölfirmen wie Eiton und Shell verlangen möglichst schnell ein genaues Bild von Lage und Ergiebigkeit ihrer Lagerstätten. Die Sprengungen, deren Echos beim Aufspüren von Öl im Gestein helfen werden, geben nur einen groben Überblick. Bevor das Fördern beginnen kann, müssen daher Probebohrungen gemacht werden. Schnell und präzise sollen sie genaue Daten liefern, der Betrieb einer Bohranlage kostet bis zu 500.000 $ am Tag.
Früher wurden Gesteinsproben aus dem Bohrloch entnommen und über Tage vermessen, oder man ließ Messinstrumente nachträglich in die Tiefe hinab.
Heute ist die Bohrgarnitur selbst ein rotierendes Minilabor, das das umgebende Gestein und die darin vorhandenen Flüssigkeiten binnen Sekunden analysiert.
Weil sich die Richtung der Bohrung relativ genau steuern lässt, können die Ingenieure vor Ort sogar auf die Analysen reagieren und mit einer kleinen Neigung des Bohrkopfs gezielt in reichhaltigere Gesteinsregionen vorstoßen.

7541014/10787806875Biblio

In der Länge kann sich die Bohrung in der Horizontalen bis zu elf Kilometer vom Bohrturm entfernen.

Eine Reihe von Messverfahren ist bereits im Einsatz, als Sensor hinter dem Bohrkopf in den nur 20 Zentimeter dicken Bohrstrang integriert. Bislang wurden etwa Gammastrahlen-Detektoren mit in die Tiefe geschickt, um Schiefer- und Tongestein anhand ihrer natürlichen Strahlung zu identifizieren. Messungen des elektrischen Widerstands geben Auskunft über die Durchlässigkeit der Poren und ihre Füllung.

- **Atomecho im Gestein**

Jetzt ist das Magnetresonanz-Verfahren hinzugekommen. Mit Hilfe mehrerer Magnete versetzt ein Computer die Atomkerne im Gestein in charakteristische Schwingungen. Aus denen schließen die Forscher auf die Zahl der beteiligten Atome und die Substanz, mit der sie es zu tun haben, gewinnen präzise Daten über die Größe der Gesteinsporen und ihre Durchlässigkeit. Damit lässt sich errechnen, wie gut ein Ölvorrat ausgeschöpft werden kann.

Kemspinresonanz wird überirdisch bereits seit den 90er-Jahren eingesetzt, um Materialien zerstörungsfrei unter die Lupe zu nehmen. „Doch der Betrieb von Magneten und Elektronik unter den extremen Bedingungen in einem Bohrloch erfordert besondere Maßnahmen“, sagt Fischer.
Das gilt nicht nur für die hochempfindlichen Messgeräte selbst. Weil eine Verkabelung des auf mehrere Tausend Meter rotierenden Bohrgestänges nicht möglich ist, muss der benötigte Strom ganz tief unten im Bohrloch erzeugt werden.

Das geschieht mit einer kleinen Turbine, die von der einströmenden Bohrspülung angetrieben wird.

- **Datenübertragung mittels Schlamm**

Um die gemessenen Daten ohne Funk oder Kabel an die Oberfläche zu befördern, nutzt der Hightech-Bohrkopf ein Kommunikationsmittel, dessen Entwicklung in die Anfangszeiten des Bergbaus zurückreicht: Klopfzeichen.

Über ein Ventil werden Druckpulse mittels der Bohrspülung nach oben geschickt, oben verwandelt ein Empfänger die an- und abschwellende Schlammflut aus der Tiefe wieder in Bits. So lassen sich Übertragungsraten erreichen, die in etwa zwei Buchstaben pro Sekunde entsprechen.

Zusammen mit ausgeklügelten Komprimierungsverfahren, die man sich bei der digitalen Fotografie abgeschaut hat, können sogar Bilder übertragen werden.

Mittlerweile hat MagTrak bereits zwei Dutzend kommerzielle Einsätze hinter sich, einen davon auf der Mittelplate, dem größten deutschen Erdölvorkommen am Südrand des schleswig-holsteinischen Wattenmeers.

„Diese Techniken sind zwar sehr teuer, aber haben sich bewährt“, lt. Matthias Döhler, leitender Geologe von RWE Dea, das die Mittelplate erschließt.

„Wir bekommen schneller die Ergebnisse, die wir brauchen, um die Vorkommen genauer zu erforschen. Weniger Risiko bedeutet das neue Verfahren außerdem. Mit Mag-Trak kann man auch auf den Einsatz radioaktiver Materialien zur Gesteinsanalyse verzichten und das käme der Umwelt zugute“.

7541014/10787806875Biblio

Allerdings bedeuten diese Methoden einen enormen technischen Aufwand. Durch die besseren Daten aus dem Gestein sei eine 60–90-prozentige Ausbeutung einzelner Ölvorkommen in Reichweite, statt der bislang üblichen 50–60 Prozent. Das kommt nicht nur den neuen Ölfeldern zugute.

Zusammengefasst kann das System u. a.:

- **Messen**

Wechselnde Magnetfelder versetzen die Atomkerne im Gestein rund um die Bohrung in Schwingungen. Die Ingenieure können aus dem Echo die Zusammensetzung des Gesteins, Öl- und Wasservorkommen sowie die Größe und Durchlässigkeit der Poren im Gestein bestimmen.

- **Rechnen**

Um brauchbare Bilder schnell an die Oberfläche zu bekommen, werden die Daten bereits im Bohrstrang verarbeitet und komprimiert.

Den nötigen Strom für die Elektronik liefert eine kleine Turbine, die durch den Druck der Bohrspülung angetrieben wird.

- **Senden**

Kabel nach oben gibt es nicht, auch Funk funktioniert Tausende Meter unter der Erde nicht mehr. Die gemessenen Daten müssen deswegen in Form von Wasserpulsen nach oben gesendet werden. Die Übertragungsgeschwindigkeit entspricht etwa zwei Buchstaben pro Sekunde.

- **Steuern**

Die komplexe Technik ermöglicht interaktives Bohren: Je nachdem, wie die Gesteinsschichten beschaffen sind, wird der Bohrer ein wenig nach rechts oder links gelenkt. Moderne Systeme können sich in der Horizontalen bis zu 11 km vom Bohrturm entfernen.

3.14.4.8 Wired Drill Pipe

Ein weiteres in der Entwicklung und Erprobung befindliches Verfahren ist das System das MWD-System. **MWD** steht für **Measurement While Drilling** in der Öl-Industrie. Es wurde ein System entwickelt, um beim Bohren Messungen durchzuführen, Informationen zu sammeln und über elektrische Leitungen, die sich im Bohrgestänge befinden, an die Oberfläche zu vermitteln.

Mehrere Oilfield Service-Unternehmen entwickeln derzeit verkabelte Bohrgestänge-Systeme. Diese Systeme verwenden elektrische Leitungen im Bohrstrang, die elektrische Signale direkt an die Oberfläche senden können. Diese Systeme versprechen Übertragungsraten in Größenordnungen höher als alles, was bisher mit Schlamm oder der elektromagnetischen Puls-Telemetrie möglich war.

Die Datenraten betragen bis 1 Megabit pro Sekunde. Bisher wurden von den Firmen BP Amerika, StatoilHydro, Baker Hughes INTEQ und Schlumberger erfolgreiche Versuche durchgeführt. Ein Problem ist offenbar noch nicht zufrieden stellend gelöst, und zwar die sichere und automatische Leitungsverbindung an den Gestängekupplungen beim Roundtrip (Aus- und Wiedereinbau des Bohrgestänges).

7541014/10787806875Biblio

3.15 Drehbohrwerkzeuge

Die Bohrwerkzeuge für die Drehbohrverfahren haben im Laufe der Jahre eine sehr wechselvolle Entwicklung erfahren, beginnend mit den von den Schlagbohrmeißeln abgeleiteten Blattmeißeln (Fischschwanzmeißel) für spanabhebendes Bohren über die verschiedenen Rollenmeißelkonstruktionen (Zahnmeißel – Warzenmeißel; Rollenlager – Gleitlager), bis hin zu den Diamantbohrwerkzeugen mit natürlichen und künstlichen Diamanten (PDC).

1909 wurden die ersten Rollenmeißel für harte Formationen von Hughes entwickelt und zum Patent angemeldet. Doch erst nach 1920 konnten sich die Rollenmeißel, mit denen heute jede Formation gebohrt werden kann, durchsetzen.

Eine ähnliche Entwicklung fand auch bei den Diamantbohrwerkzeugen statt. Diese wurden in den 1930er und 1940er Jahren zunächst nur in sehr harten und abrasiven Formationen eingesetzt, wo der Verschleiß von Rollenbohrwerkzeugen inakzeptabel hoch war.

Heute werden Diamantbohrwerkzeuge für harte und weiche Formationen eingesetzt. Werkzeuge, besetzt mit Naturdiamanten, werden allerdings kaum noch eingesetzt, da sie von solchen, bestückt mit Schneiden aus künstlichen Diamanten (PDC), verdrängt wurden. Da es heute eine Vielzahl von Bohrwerkzeugen gibt, deren Einsatzbereiche sich überschneiden, steht der Anwender immer wieder vor der Frage, welches Bohrwerkzeug für welche Formation und welche Bohrbedingungen eingesetzt werden soll.

Die Antwort auf solche Fragen ist in der Regel nicht einfach, weil man immer erst nach Beendigung eines Meißelmarsches definitiv sagen kann, ob der Meißel wirtschaftlich gearbeitet hat oder nicht. Eine Vorauswahl kann deshalb immer nur mittels indirekter Kriterien und Erfahrungswerte erfolgen.

3.15.1 Rollenbohrwerkzeuge beim Rotary-Bohrverfahren

Alle Bauelemente eines Rollenmeißels müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass sie nicht mehr Platz beanspruchen als durch den Lochdurchmesser vorgegeben ist. Wird nur eine Größe geändert, so beeinflusst das alle anderen Komponenten entsprechend.

Wird der Lagerzapfen verstärkt, muss die Wandstärke der Rolle reduziert werden.

Werden die Zähne vergrößert oder müssen die Hartmetallstifte (Warzen) tiefer in den Rollenkörper eingebettet werden, muss der Lagerzapfen einen kleineren Durchmesser bekommen. Alle diese Komponenten sind so aufeinander abzustimmen, dass ein optimales Bohrwerkzeug entsteht.

Einer der wichtigsten Parameter bei Rollenmeißeln ist das Offset.
Unter dem Offset versteht man die horizontale Distanz zwischen der Mittelachse des Meißels (theoretisch gleich der Bohrlochachse) und einer vertikalen Ebene durch die Achse des Lagerzapfens. Bei einem Dreirollenmeißel führt das dazu, dass sich die drei Achsen durch die Lagerzapfen (= Rollenachsen) nicht im Meißelzentrum (= Mittelachse des Meißels) schneiden, sondern im Zentrum ein Dreieck bilden.

Wird der Meißel nun rotiert, bewegt sich der Meißelkörper um seine Mittelachse. Jede der drei Rollen will jedoch um den jeweiligen Endpunkt seiner Achse, also den entsprechenden Eckpunkt des Dreiecks rotieren, was bedeutet, dass jede Rolle, einzeln betrachtet, einen Kreis beschreiben möchte, der größer ist als der Meißel- oder Bohrlochdurchmesser.

7541014/10787806875Biblio

Da jedoch jede der um 120° versetzt angeordneten Rollen dieses Bestreben hat, reißen sich die Rollen immer wieder ruckartig in den Kreis, vorgegeben durch den Meißeldurchmesser, zurück, was zu einem Versatz der Achsen und damit der in axialer Richtung angeordneten Zähne führt.

Durch das ruckartige Rückholen der Achsen kommt es zu einem ebenso ruckartigen Verkanten bzw. Verreißen des gerade im Einsatz befindlichen Meißelzahnes, so dass das vor dem Zahn befindliche Gestein seitlich weggebrochen wird.

Das Offset ist bei Weichformationsmeißeln am größten, da hier der Schaufeleffekt auch am größten sein muss, um einen Bohrfortschritt zu bekommen.

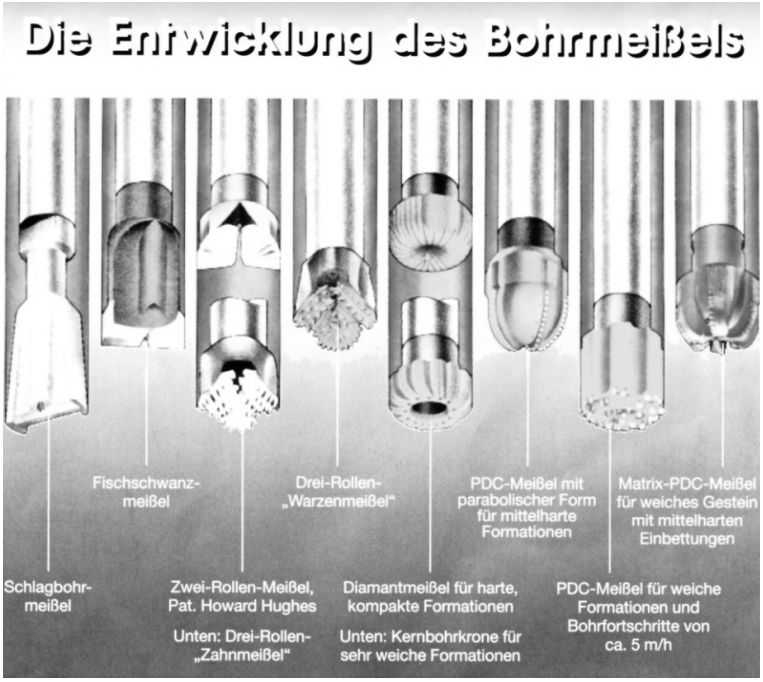


Abb. Fg-53: Entwicklung der Bohrmeißel [ExonMobil]

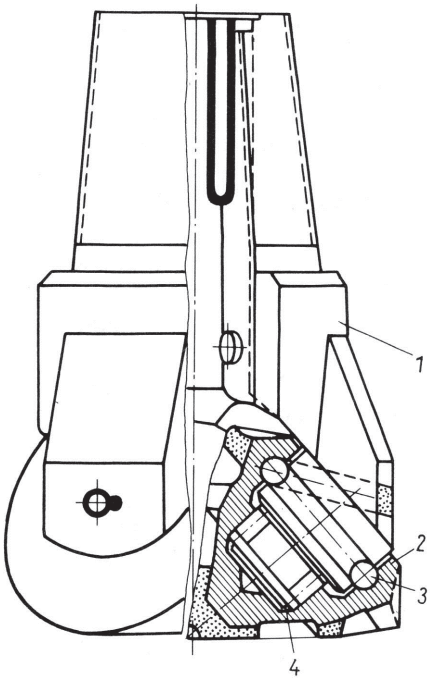
Wäre das Offset nicht vorhanden, würde der Meißelzahn lediglich in das Gestein einschneiden, dann jedoch auf demselben Weg wieder aus diesem entfernt werden. Ein Ablösen des Gesteins wäre nicht möglich. Der Meißel würde wie auf einem Spurlager auf der Bohrlochsohle abrollen.

Je härter die Formation wird, desto geringer wird auch das Offset, das bei Hartformationen sogar gegen null gehen kann.

Das Offset wurde erstmalig 1939 eingeführt und beträgt nach Smith:

- bei Meißeln für Weichformationen: 3/8"–1/4"
- bei Meißeln für mittelharte Formationen: 1/8"
- bei Meißeln für harte Formationen: < 1/8"–0

7541014/10787806875Biblio



1 Meißelschultern bzw. -pratzen
2 Meißelrollen
3 Kugellager
4 Rollenlager

Abb. Fg-54: Rollenmeißel-Komponenten [V29]

3.15.1.1 Rollenmeißel-Lager

Die Rollenlager sind sehr hohen Wechselbeanspruchungen ausgesetzt. Um diesen Belastungen zwischen hundert und zweihundert Betriebsstunden und mehr standhalten zu können, müssen sie entsprechend robust ausgelegt sein.

Das bedeutet, dass Hartformationsmeißel mit stärkeren Lagern ausgestattet sein müssen als Weichformationsmeißel, da sie mit höheren Meißelbelastungen (Weight on Bit, WOB) gefahren werden müssen.
Allerdings geht ein größerer Lagerdurchmesser zu Lasten der Rollenwandstärke, was auch hier wiederum zu einem Kompromiss führen muss.
Außerdem muss das Lager bezüglich seiner Belastung ausbalanciert sein, weil es ansonsten einseitig verschleißt. Das wiederum bedeutet, dass im Betrieb alle Abschnitte des Lagers mit der gleichen Kraft belastet werden müssen, auch dann, wenn die Rolle verschleißt und damit ihre Geometrie verändert.
1931 wurden die Wälzlager bei Bohrsträngen an der Bohrlochwand der Rollenmeißel eingeführt, um die Lagerreibung zu reduzieren. Das ist wichtig, weil durch die Reibung der überwiegende Teil der über Tage auf den Strang übertragenen mechanischen Energie (etwa 80 %) verloren geht. Der Restbetrag muss deshalb an der Bohrlochsohle, also der Wirkstelle, optimal zur Gesteinszerstörung genutzt werden.

Das Rollenlager besteht aus einem äußeren Rollenlager, einem mittleren Kugellager und einem inneren Rollen- oder Gleitlager, je nach Meißeldurchmesser. Bei Meißeldurchmessern kleiner 12¼" ist das innere Lager aus Platzgründen als Gleitlager ausgebildet. Die Wälzlager bestehen aus Walzen mit einem Durchmesser-zu-Längen-Verhältnis von 2:1. Das äußere Wälzlager muss die größten Kräfte aufnehmen und ist

7541014/10787806875Biblio

demzufolge auch am kräftigsten ausgebildet. Das mittlere Kugellager dient sowohl als Haltelager für die Meißelrolle wie auch zur Aufnahme schräger Kräfte, da Rollenlager nur solche Kräfte aufnehmen können, die senkrecht zur Rollenachse wirken. Die Kugeln des mittleren Kugellagers werden über einen Kanal im Lagerzapfen eingeführt. Anschließend wird dieser Kanal mit einem Stift verschlossen.

Dieser hat am inneren Ende eine Aussparung, die das Loch in der Kugel-Gleitbahn ausfüllt. Am anderen Ende wird der Stift mit dem Meißelkörper verschweißt. Die eingeführten Kugeln laufen zur einen Hälfte auf dem Lagerzapfen, zur anderen in der Meißelrolle, was bedeutet, dass zum axialen Abziehen der Meißelrolle sämtlich Kugeln mittig geschert werden müssten.
Auf diese Weise ist die Meißelrolle dauerhaft und ohne Schrauben o. Ä. mit dem Rollenhalter verbunden. Neben Kugeln werden heute die Rollen auch mittels eines Sprengringes oder Gewinderinges [REED] an der Rollenhalterung befestigt.

Mit zunehmenden Teufen wurden die zu bohrenden Formationen härter, so dass größere Meißelbelastungen aufgebracht werden mussten, damit die Schneidelemente überhaupt in die Formationen eindringen und eine Gesteinszerstörung einleiten konnten. Durch die hohen Belastungen kam es zu sehr starkem Lagerverschleiß.

Um diesem zu begegnen, stellte man vom Wälzlager auf Gleitlager um, weil hier eine weitaus größere Fläche belastet wird, so dass die Flächenpressung reduziert wird. Die Lager sind mit speziellen Lagerschalen ausgelegt, die nicht nur eine sehr hohe Verschleißfestigkeit aufweisen, sondern auch die entstehende Reibungswärme optimal abführen müssen.
Gleichzeitig müssen sie so gestaltet sein, dass das Fett gut verteilt wird. Da jedoch Gleitlager im Gegensatz zu Wälzlagern besonders empfindlich gegen eindringende Feststoffe sind, weil die Toleranzen sehr eng gehalten werden müssen, ergab sich die Notwendigkeit, solche Lager abzudichten, um die abrasiven Feinstfeststoffe aus der Spülung fernzuhalten.

1959 wurde ein System entwickelt, bei dem sich im Rollenhalter ein Fettreservoir befindet, das mit dem Rollenlager in Verbindung steht. Dieses Fettreservoir hat im Meißelschenkel eine Öffnung, die mit einer Membran verschlossen und somit gegen das Eindringen von Spülung und Feststoffen gesichert ist.
Gleichzeitig wirkt jedoch auf diese Membran der Spülungsdruck, wie er an dieser Stelle des Bohrloches herrscht, so dass der Druck im Inneren des Lagers derselbe ist wie der hydrostatische Druck der Spülungssäule im Bohrloch an dieser Stelle. Das bewirkt, dass die Dichtung zwischen Rolle und Rollenhalterung nur als Medientrennung fungiert, also keinem Differenzdruck standhalten muss, was bei Bohrlochsohlendrücken von mehreren hundert Bar auch gar nicht möglich wäre.

Die verschiedenen Meißelhersteller haben im Laufe der Jahre zwar unterschiedliche, aber recht wirksame Abdichtsysteme für solche Meißel entwickelt.

Bei den Schneidelementen von Rollenbohrwerkzeugen wird unterschieden zwischen Zähnen und Hartmetallstiften (Warzen).

7541014/10787806875Biblio

3.15.1.2 Zähne und Stifte

- **Zähne**

Die Zahnform (Länge des Zahnes und Breite der Zahnbasis) wird von der Härte des zu bohrenden Gesteins bestimmt. Grundlage ist, dass der Zahn, wenn er Gesteinszerstörung bewirken soll, so weit belastet werden muss, dass er den Gesteinswiderstand überwindet und in das Gestein eindringt. Das bedeutet, dass für weiche Gesteine die Zähne länger und spitzer ausgeführt werden müssen als für harte Gesteine, in die nur eine stumpfe Schneide eindringen kann, weil die Kraft, die aufgebracht werden muss, entsprechend größer sein muss.

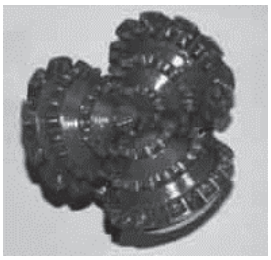


Abb. Fg-55: Meißeltypen – links: Weichformations-Zahnmeißel (IADC Code 1-1-6) rechts: Hartformations-Zahnmeißel (IADC Code 3-1-7) [V9]

Entsprechend sind die Zähne für Hartformationsmeißel kürzer und stumpfer ausgebildet. Im mittelharten Formationsbereich finden sich die Übergangsformen zwischen Lang- und Kurzzähnen.

Die Zahnreihen auf den einzelnen Rollen müssen so nebeneinander angeordnet sein, dass die gesamte Bohrlochsohle gleichmäßig bearbeitet wird, wobei jede Zahnreihe einen ringförmigen Streifen der Bohrlochsohle bearbeitet. Schließlich müssen die Zahnreihen benachbarter Rollen so aufeinander abgestimmt sein, dass der Zahn der einen Reihe in den Zwischenraum der anderen Reihe eingreifen kann, so dass der vorhandene Platz optimal genutzt wird.

Je tiefer der Eingriff in die benachbarte Zahnreihe ist, desto besser ist auch der mechanische Selbstreinigungseffekt der Zähne, da diese wie Kämme ineinandergreifen und so insbesondere weiche, klebrige Formationen (z. B. Tone) gegenseitig abstreifen. Die Zahnflankenwinkel liegen bei:

– 42° bei Weichformationsmeißeln,
– 46° bei Meißeln für mittelharte Formationen,
– 50° bei Hartformationsmeißeln.

Die Zahnlängen liegen zwischen 0,75" (19,05 mm) bei Weichformationsmeißeln bis zu 0,421" (10,69 mm) bei Hartformationsmeißeln.

- **Hartmetallstifte (Warzen)**

Anfangs wurden Warzen als Knopfwarzen für Hartformationen entwickelt. Diese Warzen sind Hartmetallstifte, die in vorgebohrte Löcher eingepresst werden, wobei nur der gerundete Kopf des Stiftes aus der Rolle herausragt.

7541014/10787806875Biblio

Da man mit diesem Meißeltyp sehr gute Ergebnisse erzielte, wurden bald schon verlängerte Warzen eingesetzt, bei denen ein Teil des Hartmetallstiftes aus dem Rollenkörper herausragt, so dass auch in weicheren Formationen grabend gebohrt werden konnte.

Längere Warzen für weichere Formationen müssen ähnlich wie Zähne eine grabende Wirkung ausüben. Deshalb mussten die Warzen zugespitzt oder profiliert werden. Heutzutage gibt es eine Vielzahl profilierter Hartmetallstifte, die den unterschiedlichsten Einsatzbedingungen gerecht werden. Normale Warzen haben einen Flankenwinkel, der zwischen 70° und 75° liegt (Zähne: 42°–50°). Die Warzenlänge (Überstand über den Rollenkörper) liegt zwischen 0 und 0,312" (= 7,92 mm) (Zähne: 10,69–19,05 mm).

Daraus wird ersichtlich, dass Hartmetallstifte eine geringere Grabwirkung haben als Zähne, was, um gleichen Bohrfortschritt zu erzielen, u. a. durch höhere Meißeldrehzahlen kompensiert werden muss.

Den enormen Verschleiß, dem ein Rollenmeißel ausgesetzt ist, u. a. zeigt die folgende Abbildung Fg-57.

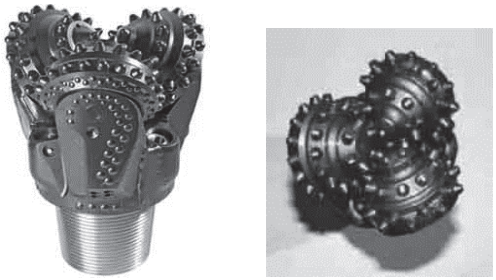


Abb. Fg-56:
rechts: Weichformations-Warzenmeißel (IADC Code 4-4-7) –
links: Hartformations-Warzenmeißel [V9]

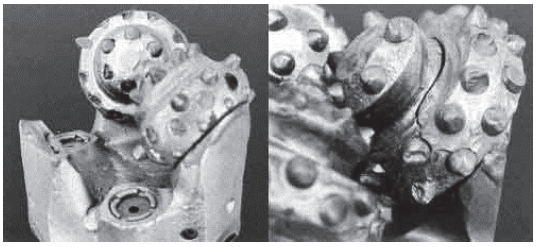


Abb. Fg-57: Verschlissene Rollenmeißel [V9]

3.15.2 Gesteinszerstörung durch Rollenmeißel

Rollenmeißel werden bezüglich der Schneidelemente und des Rollendesigns der zu bohrenden Formation angepasst, um eine optimale Gesteinszerstörung zu bewirken. Die wiederum ist die Voraussetzung für einen bestmöglichen Bohrfortschritt. Entsprechend der unterschiedlichen Ausbildung der Schneidelemente ergeben sich auch unterschiedliche Arten der Gesteinszerstörung an der Wirkstelle, so dass man es bei Rollenmeißeln nicht nur mit einer Art der Gesteinszerstörung wie beim Arbeiten mit Blattmeißeln zu tun hat. Auch handelt es sich beim Bohren mit Rollenmeißeln nicht um einen Drehbohrprozess im eigentlichen Sinn mit spanabhebender Zerstörung.

Vielmehr ergeben sich beim Bohren mit Rollenmeißeln sehr unterschiedliche Arten der Gesteinszerstörung, die von der grabenden bis hin zur schlagend zertrümmernden Gesteinszerstörung reichen. Die Bezeichnung Dreh- oder Rotarybohren bezieht sich lediglich auf den rotierenden Strang, an dem das Bohrwerkzeug befestigt ist.

7541014/10787806875Biblio

Im Folgenden wird auf die Art der Gesteinszerstörung durch Rollenbohrwerkzeuge bei verschiedenen Formationstypen eingegangen:

- **Weiche Formationen**

Bei weichen Formationen dringt der Meißelzahn wie eine Messerklinge in das Gestein ein. Um Gesteinspartikel aus dem Verbund zu entfernen, muss nun eine Dreh- oder Kippbewegung erfolgen (ähnlich wie beim Graben mit einem Spaten), damit diese vom Spülstrom abtransportiert werden können.

Diese Bewegung wird durch das Offset des Meißels bewirkt. Das bedeutet, dass das abgetragene Gesteinsvolumen umso größer ist, je länger der Zahn (Schaufel) und je größer das Offset sind. Hier wird somit eine grabende Wirkung erzielt.

- **Weiche bis mittelharte Formationen**

Bei etwas härteren Gesteinen wird ebenfalls grabend gearbeitet, jedoch muss die Schneide des Zahnes etwas stumpfer und das Offset etwas kleiner sein als bei Weichformationsmeißeln, weil ansonsten der Zahn nicht in die Formation eindringen könnte bzw. weil die Gefahr bestünde, dass der Zahn bei zu großer Drehbewegung abbrechen würde.

- **Mittelharte Formationen**

Bei mittelharten Formationen müssen die Zähne weitaus höhere Gesteinswiderstände überwinden, so dass die Schneidenwinkel noch stumpfer sein müssen, damit der Zahn nicht zerstört wird. Auch ist das Offset relativ klein ausgebildet, wenn auch vorhanden.

- **Harte Formationen**

Bei harten Formationen wird es kaum möglich sein, dass der Zahn in die Formation eindringt, da der Gesteinswiderstand zu groß ist. Da aber harte Formationen meistens sehr spröde sind, können sie schlagend oder stoßend bearbeitet werden.

Das geschieht z. B. dadurch, dass ein stumpfes Werkzeug mit hoher Energie auf den Gesteinsverbund geschlagen wird, so dass sich sehr hohe Spannungen im Gestein bilden, die dann, wenn die Schlagenergie nicht mehr wirkt, zum Abspalten des Gesteinspartikels führen.
Aus diesem Grunde werden harte Formationen mit sehr kurzen, stumpfen Zähnen oder Knopfwarzen gebohrt, wobei eine hohe Meißelbelastung und eine hohe Drehzahl erforderlich sind.

3.15.3 Klassifizierung von Rollenbohrwerkzeugen

Wegen der großen Anzahl von unterschiedlichen Rollenmeißeltypen und -herstellern wurde es erforderlich, eine allgemein gültige Klassifizierung zu schaffen. Nach dieser von API (API RP 7 G) entwickelten Codierung werden Rollenbohrwerkzeuge mit einem dreistelligen Code versehen, wobei die einzelnen Zahlen folgende Bedeutung haben:

7541014/10787806875Biblio

1. Zahl: Ziffern 1–8
   Grobeinteilung nach der Formationshärte mit steigender Tendenz
   1–3: Zahnmeißel von weich bis hart
   4–8: Warzenmeißel von weich bis hart
2. Zahl: Ziffern 1–4
   Unterklassifizierung nach der Formationshärte von weich bis hart
3. Zahl: Ziffern 1–9
   Kennzeichnung der Konstruktionsmerkmale:
   1 Standard Wälzlager,
   2 Wälzlager für Luftbohren,
   3 Wälzlager mit Kaliberschutz,
   4 abgedichtete Wälzlager,
   5 abgedichtete Wälzlager mit Kaliberschutz,
   6 abgedichtete Gleitlager,
   7 abgedichtete Gleitlager mit Kaliberschutz,
   8 Richtbohrmeißel,
   9 Sonstige.

   Beispiel:
   1-2-6 Zahnmeißel mit großem Offset für weiche Formationen mit der Unter-Härtegruppe 2 (weich-mittelhart), mit abgedichtetem Gleitlager.
   6-2-7 Warzenmeißel mit mittellangen Warzen für mittelharte Formationen mit der Unter-Härtegruppe 2 (weich-mittelhart), mit abgedichtetem Gleitlager mit Kaliberschutz.

3.15.4 Verschleißbeurteilung von Rollenbohrwerkzeugen

Verschleißbeurteilungen sind, zusammen mit den Bohrparametem, ein wichtiger Faktor, wirtschaftliche Bohrleistungen erreichen zu können. Die Verschleißbeurteilung soll entscheiden, ob der eingesetzte Meißel optimal gearbeitet hat, ob ein anderer Meißeltyp zum Einsatz kommen sollte oder ob die Bohrparameter wie Meißelbelastung oder -drehzahl oder die Bohrlochhydraulik geändert werden müssen.

Verschleißbeurteilungen sollen möglichst exakt und objektiv erfolgen, um vergleichbare Ergebnisse zu bekommen.
Deshalb wurde vom IADC ein Schema zur Verschleißbeurteilung entwickelt. Dieses bezieht sich in erster Linie auf den Verschleiß von Schneidelementen und Lagern.
Daneben wird aber auch eine Beschreibung des Zustandes des ausgebauten Meißels vorgeschlagen, in der der Kaliberverschleiß sowie herausgebrochene Zähne oder Warzen und deren Lokation auf den jeweiligen Rollen, Auswaschungen etc. aufgelistet werden können.

Beim Zahnverschleiß wird davon ausgegangen, dass ein neuer Meißel eine mittlere Zahnlänge hat, die gleich 8/8 gesetzt wird. Der aus dem Bohrloch kommende Meißel wird stichprobenartig bezüglich der verbliebenen Zahnlänge vermessen, wobei die Reduzierung der Zahnlänge durch Verschleiß wiederum in Achteln angegeben wird (z. B. Z5 = Zahnverschleiß von 5/8). Bei Warzen wird die Anzahl der abgenutzten oder abgebrochenen oder verloren gegangenen Warzen angegeben.

Bei der Lagerverschleißbeurteilung wird zwar entsprechend vorgegangen, jedoch ist diese weitaus subjektiver als die Zahnbeurteilung.

7541014/10787806875Biblio

3.16 Bohrarbeiten

Bevor mit den Bohrarbeiten begonnen werden kann, muss im Auftrag der Ölgesellschaft die vorgesehene Fläche auf der Bohrstelle vorbereitet sein. Zu den Vorarbeiten gehören neben der Befestigung der Arbeitsfläche und der Zufahrten (auch für Schwerstlastzüge) die Verlegung von Versorgungs- und Entsorgeleitungen, die Anschlüsse für Strom und Telefon, Anlegung der Parkplätze und das Setzen des Standrohres.

Die jetzt auszuführenden Arbeiten liegen im Aufgabenumfang und Verantwortungsbereich des Bohrunternehmers (engl. Contractor) und sind im Auftrag vereinbart. Abweichungen sind je nach Vertragsgestaltung möglich.

Zu diesen Leistungen gehören:

- das Bohrgerät (rig),
- der Kraftdrehkopf (Top Drive),
- das Bohrgestänge (drill pipes),
- die Schwerstangen (drill collars),
- die Stabilisatoren (Stabilizer),
- die Stoßdämpfer (shock sub),
- die Schlagschere (drilling jar),
- der Bohrmotor (downhole motor),
- der Preventer,
- Bedienungskabine (drillers room),
- die Diesel- und Stromaggregate (diesel engine, generator set),
- die Generatoren (Generator),
- die Spülpumpen (mud pump),
- Schüttelsiebe (shale shaker),
- Spülungstanks (mud tank),
- die Wassertanks (water tank),
- die Silos (bulk tank),
- das Labor (lab),
- der Dieseltank (gas oil tank),
- die Tagesunterkunft (Pausenraum) für die Bohrmannschaft (rig Crew-break room),
- die Büros (offices) für den Bohrmeister (Tool Pusher), den Geräteführer (Driller) und den Vertreter der Ölfirma (Company Man, Operator),
- der Sanitätsraum (emergency room),
- der Waschraum/WC (washroom/wc),
- das Wohnlager (housing-aria),
- die Werkstatt (workshop),
- das hier nicht näher bezeichnete Zubehör (appurtenance).

Der Großteil der genannten Geräte, Maschinen und des Zubehörs ist üblicherweise in Containern untergebracht. Kleingerät und Material werden in Boxen oder Big-Bags angeliefert.

7541014/10787806875Biblio

Die Werkstätten sind z. B. voll eingerichtet, die Büros, Sanitäranlagen und Tagesunterkünfte sind in Spezial-Containern untergebracht. Das Gleiche gilt für die Einrichtung des Wohnlagers. Zum Teil entfällt das Wohnlager, da das Personal privat oder in Hotels untergebracht ist. Vielfach bringen die Beschäftigten auch ihre Wohnwagen mit.

Ein Teil der Arbeiten und Lieferungen kann auch zu den Leistungen des Auftraggebers gehören, denn je nach Vertragsgestaltung zwischen dem Ölunternehmen und der Tiefbohrunternehmung sind die Aufgaben der Vertragspartner sehr unterschiedlich. Die Verträge haben einen Umfang von 8 bis 100 Seiten. So sind u. a. folgende Vertragsvereinbarungen möglich:

[BU = Bohrunternehmung]

[AG = Auftraggeber]

a) der BU stellt nur die Tiefbohranlage über Mietvertrag (AG stellt Mannschaft, Operator und Service). Der BU stellt die Tiefbohranlage mit Bohrmannschaft als Kombination von Mietvertrag und Dienstleistungsvertrag (AG stellt Operator und Service).

b) der BU stellt die Tiefbohranlage mit Bohrmannschaft und mit verschiedenen Serviceleistungen wie Errichtung Bohrplatz und Bohranlage, Spülungs-Stoffkontrolle mit Entsorgung, Richtbohrung/Stabilizer, Rohreinbau und Centralizer; der BU stellt die Tiefbohranlage mit Bohrmannschaft, verschiedenen Serviceleistungen Zementation, Messung und Testung als Generalunternehmervertrag mit vorwiegend werkvertraglichen Zügen und Projektmanagement/Operator in der Tendenz als Werkvertrag.

c) der BU erbringt bestimmte Tiefbohrleistungen als Werkvertrag auf Nachweis.

d) der BU wird nach einem Meterpreis vergütet, wobei er alle dazu erforderlichen Geräte, Werkzeuge und Verbrauchsstoffe stellt.

Ohne auf die einzelnen Vertragsarten einzugehen, kann man sagen, dass ein Vertrag nach b) am häufigsten zur Anwendung kommt. Neben Operator und Serviceleistungen gehen alle Kosten für Werkzeuge und Verbrauchsstoffe zu Lasten des AG, der dann auch die Lieferverträge mit den Lieferanten von Verbrauchsmaterial (Betriebsstoffe, Spülungszusätze usw.) abschließt. Diese müssen unbedingt zuverlässig sein, denn ein Stillstand des Bohrvortriebs wegen fehlender Materiallieferung darf auf keinen Fall vorkommen. Die erheblichen Kosten, die hierdurch entstehen können, gehen voll zu Lasten des Auftraggebers. Die Terminierung bzw. Koordinierung liegt eindeutig beim AG.

Die Verträge können sicherlich sehr unterschiedlich sein und die jeweiligen Verantwortungen werden darin genau geregelt sein.
Allgemein ist es im Onshore-Bereich üblich, dass die Beauftragung und Kosten von Service-Leuten Sache des Auftraggebers, also des Ölunternehmens ist.

Ganz gleich welche Vertragsart zur Anwendung kommt, erfolgen die Arbeiten in enger Abstimmung zwischen AG und BU.

3.16.1 Aufbau und Einrichtung

3.16.1.1 Arbeitsvorbereitungen

Für eine fahrbare Bohranlage (mobile drilling rigs) mit einem Gesamtgewicht von 150 t bis 200 t (ohne Bohrgestänge) werden ca. 35 Transportladungen (z. T. Schwer- und Schwersttransporte) benötigt.

7541014/10787806875Biblio

Für stationäre Anlagen (stationary drilling rigs) mit einem Gesamtgewicht von 200 t bis 500 t sind bis zu 65 Transporte (ohne Bohrgestänge) erforderlich.
Darunter sind Ladungen mit Übergewicht, Überlängen und Überbreiten. Hierzu sind Sondergenehmigungen einzuholen. Von den Zulassungsbehörden werden dafür z. T. bestimmte Fahrstrecken und Fahrzeiten vorgegeben.

Da vor Ort selten ausreichend Platz für das Parken bzw. Abstellen der Transporteinheiten vorhanden ist, muss mit allen Beteiligten (Bohr-, Transport- und Kranunternehmen sowie Auftraggeber) ein genauer Ablaufplan festgelegt werden. Ferner sind die zuständigen Behörden, die Polizei und auch die Anlieger zu verständigen.

Entsprechend den Einzelgewichten und Reichweiten ist der erforderliche Krantyp festzulegen. Teilweise sind auch mehrere Kräne nötig. Hierfür müssen auch die entsprechend befestigten Stellplätze vorhanden sein. Der Bohrplatz sollte über eine Umfahrung verfügen, da ein Wenden der großen Fahrzeuge selten möglich ist.

Es muss ein Lade- und Transportplan erstellt werden, der die Reihenfolge der Transporteinheiten festlegt. Aus Platzgründen dürfen sich die Transporte nicht überschneiden.
In der Regel wird zunächst das evtl. Wohnlager eingerichtet. Zu den Vorbereitungen gehört auch das Gestänge- und Bohrmateriallager.

Während des Antransportes beginnt bereits der Aufbau der Bohranlage. Neuere Anlagen bestehen aus Containermodulen, die den Aufbau wesentlich erleichtern.

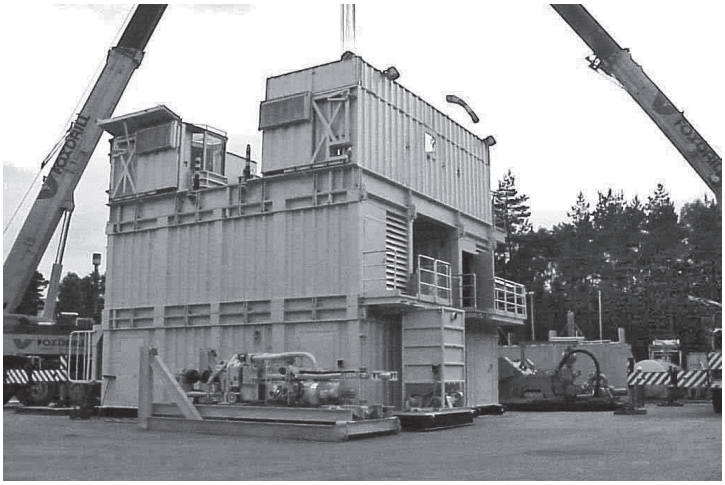


Abb. Fg-58a: Container-System der Rig 30 von Itag im Aufbau [V19]

3.16.1.2 Einrichtung, Aufbau und Probelauf

Während der Antransporte beginnt i. d. R. der Aufbau der Bohranlage. Durch das Container-System der neueren Anlagen wird der Aufbau erleichtert und beschleunigt.
Die Container sind bereits mit den nötigen Einrichtungen und Verkabelungen ausgerüstet.

Sobald das Bohrgerüst errichtet ist, erfolgt nach einem Einrichtungsplan die Aufstellung der Generatoren, Aggregate, Spülpumpen, Silos, Tankanlagen und der Material- und Werkstattcontainer. Es folgen die Container für Wasch- und Sanitäranlagen,

7541014/10787806875Biblio

Tagescontainer für die Rig Crew und Bürocontainer für Operator, Toolpusher und Driller. Einen großen Platz nehmen die Spülungsbehälter und Aufbereitungsanlagen ein.

Alle Geräte müssen verkabelt werden. Die Leitungen der Messeinrichtungen werden mit den Anzeigegeräten in der Driller-Kabine verbunden. Arbeitsbereiche, die vom Driller aus der Kabine nicht einsehbar sind, sollten mit Überwachungskameras ausgestattet werden. Tanks und Silos sowie die Spülungsbehälter müssen aufgefüllt werden.

Das Bohrgestängelager mit dem Gestängezubehör (Schwerstangen, Gestängeverbindungen, Stabilisatoren, Stoßdämpfer usw.) ist einzurichten.

Wenn die gesamte Anlage betriebsfertig aufgebaut ist, Spülungsbehälter und Materialsilos befüllt sind, kann ein Probelauf erfolgen.

Hierbei wird die Funktion aller Geräte einschließlich der Messgeräte und Preventer getestet und festgestellte Mängel werden beseitigt. Der eigentliche Testlauf findet beim Setzen der Ankerrohrtour statt.

Die Bohrgarnitur mit Schwerstangen, Stabilisatoren und Stoßdämpfern muss nun zusammengestellt werden und in Zusammenarbeit mit dem Geologen oder einem Servicefachmann das Bohrwerkzeug bestimmt werden.

3.16.1.3 Setzen der Ankerrohrtour

Mit dem Setzen der Ankerrohrtour beginnen die ersten Bohrarbeiten. Hierzu wird zunächst ein großer Bohrmeißel an die erste Schwerstangen geschraubt. Die Spülpumpen werden angefahren, der Bohrstrang in Drehung versetzt und der Bohrmeißel auf die Sohle des Standrohres gefahren. Sobald das Standrohr mit Spülung gefüllt ist, kann ein kontrollierter Spülungskreislauf erfolgen.

Das vom Meißel gelöste Bohrklein wird vom Spülungsstrom auf das Schüttelsieb transportiert. Ein Geologe nimmt Bodenproben und analysiert dies dann in seinem Labor. So weiß er immer, wie das Gestein unten am Bohrmeißel gerade beschaffen ist. Das wird natürlich erst interessant, wenn die oberen lockeren Bodenschichten durchbohrt sind, die i. d. R. aus Überlagerungsschichten unterschiedlicher Böden bestehen.

Eine intensive Kontrolle des Bohrgutes beginnt, wenn die Ankerrohrtour gesetzt ist und der Meißel die festen Gesteinsschichten erreicht hat.

Die Ankerrohrtour selbst ist ein starkwandiges Stahlrohr, das in die Bohrung eingesetzt wird. Dabei ist Außendurchmesser des Rohres geringfügig kleiner als der Durchmesser des Bohrlochs. Zwischen der Außenwand der Ankerrohrtour und der Bohrlochwand verbleibt ein etwa 3 cm bis 4 cm breiter Spalt, der mit einer Zementsuspension kraftschlüssig verfüllt wird. Nach Erhärtung der Verfüllung ist die Ankerrohrtour fest mit dem Gebirge verankert.

Das Setzen der Ankerrohrtour muss äußerst sorgfältig erfolgen. Das ist wichtig für den gesamten weiteren Verlauf der folgenden Bohrung, da bei Bohrungen auf Erdöl jederzeit damit gerechnet werden muss, dass eine Gaslagerstätte angebohrt wird. Dabei kann es passieren, dass unter hohem Druck stehendes Gas in die Bohrung gepresst wird. In diesem Fall spricht man von einem „Gaskick“. Die Bohrspülung wird zur Erdoberfläche gedrückt. Der Druck im Bohrloch wird dabei immer geringer und die Gasblase kann sich immer stärker ausdehnen. Man erkennt die Gefahrensituation u. a. daran, dass immer mehr Spülung aus dem Bohrloch herauskommt als hineingepumpt wird.

7541014/10787806875Biblio

Damit die Situation nicht eskaliert, muss sehr schnell gehandelt werden.

Im Extremfall kann es aber schon zu spät sein und plötzlich schießt das Gas mitsamt der gesamten Spülung in Form einer gigantischen Fontäne unter hohem Druck und einem gewaltigen Getöse aus der Bohrung heraus.

Man spricht hierbei von einem **Blowout**, dem wahrscheinlich schlimmsten Unfall, auf einer Bohrstelle. Ein kleiner Funke entzündet das ausströmende Gas und eine riesige Stichflamme bringt Menschen in Gefahr bringt und kann das Gerät zerstören.

Zur wesentlichen Aufgabe einer Ankerrohrtour gehört, diese Situationen zu verhindern. Auf die Ankerrohrtour, die aus dem Bohrkeller herausragt, wird der Bohrlochabschluss, ein Sicherheitsventil (engl. Blowout Preventer), aufgeschraubt. Sobald die Anzeichen eines Kicks im Bohrlochung zu erkennen sind, kann innerhalb weniger Sekunden die Bohrung verschlossen werden.

Der Verschluss der Bohrung ist nur wirksam, wenn die Ankerrohrtour wirklich fest im Boden verankert ist!

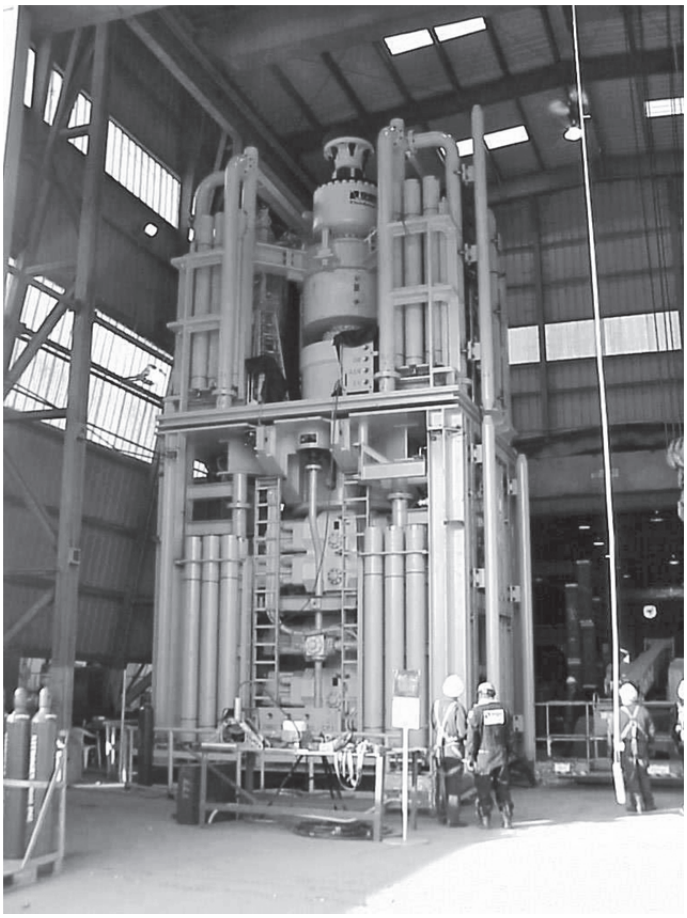


Abb. Fg-58b: Die Abb. zeigt die Größenverhältnisse eines Tiefwasser-Preventers [V49]

7541014/10787806875Biblio

3.16.1.4 Festlegung des Anfangsdurchmessers

Der Bohringenieur, der die Bohrlochkonstruktion bestimmt bzw. berechnet, wird sich von diesen Problemzonen nicht überraschen lassen.

Wenn keine Probebohrungsergebnisse vorliegen, kann aufgrund der geophysikalischen Voruntersuchungen erkannt werden, ob und wo Bohrprobleme auftreten werden. Er kennt ferner die geplante Endtiefe und weiß, mit welchem Mindestdurchmesser er in der Lagerstätte ankommen muss. Er ermittelt anhand der Voruntersuchungen die Anzahl der technischen Rohrtouren und kann somit festlegen, mit welchem Durchmesser er die Bohrung beginnen muss. Bei unsicheren Grundlagen wird er einen entsprechenden Zuschlag machen.

Aufgrund der hohen Rohkosten wird man bestrebt sein, mit den einzelnen Rohrtouren nicht immer von oben anzufangen, sondern etwas oberhalb des Endes der letzten Rohrtour. Rohrtouren, die nicht bis zur Oberfläche geführt werden, nennt man „verlorene Rohrtouren“ oder engl. Liner. Bei der Vollverrohrung spricht man von einem Casing.

Da die Verrohrung im Boden verbleibt, wenn die Bohrung fündig wird, muss sie aus besonders hochwertigem Material bestehen. Schlechtes Rohrmaterial könnte durch den hohen Gebirgsdruck zusammengedrückt werden oder bei extremem Gasdruck platzen. Hohe Qualitätsansprüche gelten auch für den verwendeten Zement.

An den Einbau der technischen Rohrtour werden hohe Ansprüche gestellt. Es dürfen auf keinen Fall Nachlässigkeiten oder Unachtsamkeiten auftreten. Die Aufgabe einer Bohrung wegen unsachgemäß eingebauter technischer Rohrtouren ist mit sehr hohen Kosten verbunden.

3.16.2 Weiterer Verlauf der Bohrung

Nachdem die Ankerrohrtour einbaut und zementiert ist, die je nach anstehendem Boden bis mehrere hundert Meter lang sein kann, erfolgt der erste **Roundtrip** (Bohrgestängeein- und -ausbau). Dabei wird das Gestänge neu zusammengestellt, d. h. aus den Einzelstangen von 10 m Länge werden jeweils drei Stangen zu einem Dreierzug verbunden. Auch Viererzüge und Fünferzüge sind möglich, haben sich aber nicht durchgesetzt, da entsprechend höhere Bohrtürme erforderlich sind.

Die Dreierzüge haben eine Länge von ca. 30 m, so dass sich die Zeit für einen Roundtrip um ein Drittel verkürzt. Dadurch werden auch die Gewinde der Verbindungen geschont.

- **Einbau der Produktionstour und Produktionsstrang**

Da aus der senkrechten Bohrung selten gefördert wird, erfolgt vor Erreichen der Lagerstätte die Ablenkung in eine geneigte oder horizontale Bohrung, die, wie bereits beschrieben, in der Lagerstätte verläuft. Es kann auch von Anbeginn eine geneigte Bohrung angesetzt werden oder in jeder anderen Bohrtiefe.

Die Bohrstrecke in der Lagerstätte muss mit einer Produktionsrohrtour verrohrt werden. Das sind starkwandige Stahlrohre, die geschlitzt oder mit kleinen Löcher versehen sind. Diese Rohrtour wirkt wie ein Dränagerohr. Durch die Löcher oder Schlitze kann das Öl zufließen oder das Gas einströmen.

Bei günstigen Verhältnissen kann auf die technischen Rohrtouren und Produktionsrohrtouren ganz verzichtet werden, was aber sehr selten vorkommt.

7541014/10787806875Biblio

- **Abschluss der Bohrung**

Ist eine Onshore-Bohrung nicht fündig geworden oder ausgefördert, so muss das Bohrloch aus bergrechtlichen Gründen verschlossen werden. Hierfür gibt es entsprechende Verfahrensvorschriften.

Bei Offshore-Bohrungen (marinen Bohrungen) kann das Bohrloch mit einem Pfropfen (engl. Cork) verschlossen werden, der auch wieder entfernt werden kann, wenn man später einmal wieder an derselben Stelle weiterbohren und das Loch evtl. vertiefen will.

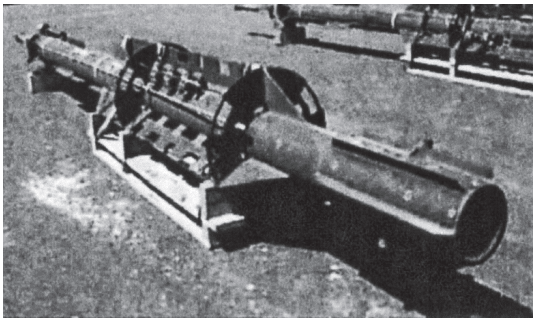


Abb. Fg-59: Beispiel für einen „Cork“ [V34]

3.17 Horizontalbohrtechnik und Multi-Frac-Technik

Aus tiefliegenden Erdgaslagerstätten, z. B. in den Formationen des Rotliegenden oder Karbon, können bei gering durchlässigem Gestein oftmals keine für eine wirtschaftliche Produktion erforderlichen Förderraten erzielt werden.

Eine Verbesserung der Förderrate lässt sich durch die moderne Horizontalbohrtechnik und unter bestimmten Voraussetzungen durch Anwendung des so genannten **Frac-Verfahrens** erreichen. Es zielt darauf ab, die Durchlässigkeit der Lagerstätte durch die Schaffung von künstlichen Fließwegen zu steigern.

Dabei wird das Gestein durch Einpressen einer mit Spezialsand beladenen Flüssigkeit unter hohem Druck aufgebrochen (daher nach dem englischen Wort die Bezeichnung Frac-Verfahren). Ein hydraulischer Druck von rund 1.000 bar erzeugt im Gestein Risse von mehreren 100 m Länge. Diese werden mit einem Stützmittel gefüllt, das aus Spezialsand besteht. Es soll die künstlichen Risse im Gestein offenhalten und damit dauerhaft bessere Fließbedingungen für das Erdgas schaffen. Frac-Verfahren sind in Deutschland schon vielfach erfolgreich angewendet worden.

Seit Mitte der neunziger Jahre ist in besonders dichten Lagerstätten (sog. Tight Gas) eine kombinierte Technologie entwickelt worden, bei der sowohl die Horizontalbohrtechnik als auch das Frac-Verfahren angewendet werden.

In mehreren Bohrungen in Söhlingen, aber auch in Leer in Ostfriesland, ist es gelungen, 5.000 m unter der Erde in einer Horizontalbohrstrecke von etwa 1 km mehrere Fracs durchzuführen (siehe Abbildung Fg-60 für die Bohrung Söhlingen Z-14). Die Gesamtbohrstrecke beträgt dabei regelmäßig mehr als 6.000 m. Das Besondere an dieser hoch entwickelten Technologie ist, dass eine Vielzahl unterschiedlicher technischer Verfahren durch ein multidisziplinäres Team effizient und Kosten sparend kombiniert wird.

7541014/10787806875Biblio

Mit Hilfe dieser Hochtechnologie ist es möglich, Erdgas aus einem sehr dichten Gestein zu fördern und dadurch neue Reserven zu gewinnen. Diese kombinierte Technologie wird stetig weiterentwickelt.

Mit jedem Projekt gewinnen die Erdgasproduzenten neue Erkenntnisse, die dazu beitragen, weitere Tight Gas-Vorkommen wirtschaftlich fördern zu können

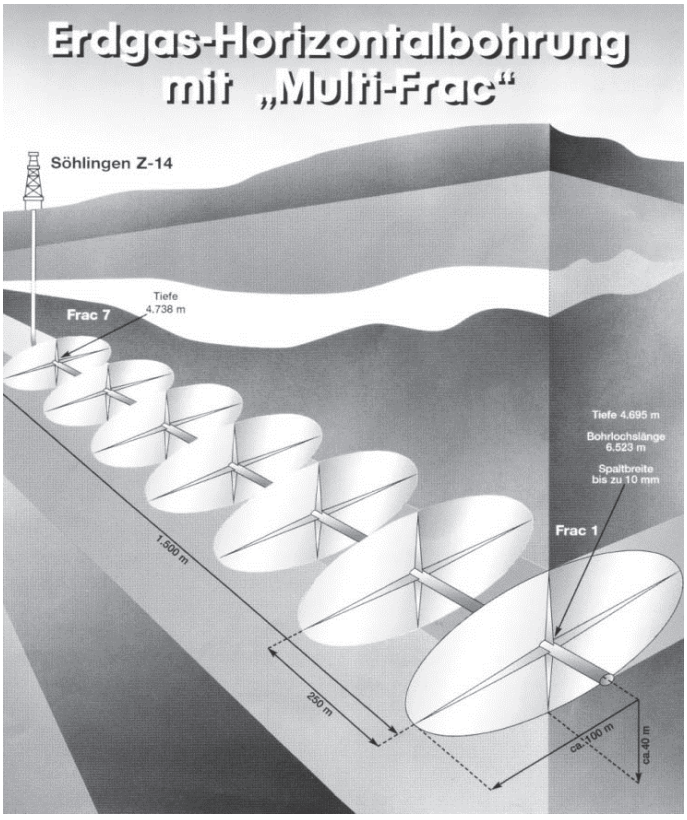


Abb. Fg-60: Systemdarstellung des Multi-Frac-Verfahrens [V11]

3.18 Fördertechnik

Zur Förderung von Erdgas wird in das verrohrte und zementierte Bohrloch ein Steigrohr eingebaut, das bis zum tiefsten Punkt der Lagerstätte reicht. Damit das Gas aus der Gesteinsschicht, in der sich das Erdgas befindet, in dieses Rohr eintreten kann, wird sein unterstes Teilstück mit Hilfe kleiner Sprengsätze zur Lagerstätte hin geöffnet.

Über Tage (obererdig) ist das Bohrloch mit einem Eruptionskreuz verschlossen, in dem sich mehrere Absperrvorrichtungen befinden. Zusätzlich verhindert ein unter Tage (untererdig) eingebautes Ventil, dass Erdgas unkontrolliert austritt.

Aufgrund des natürlichen Lagerstättendrucks können etwa 75 % des Gasinhaltes aus dem Trägergestein gewonnen werden. Dieser günstige Ausbeutegrad beruht darauf, dass Erdgas aufgrund seines Aggregatzustandes gute Strömungseigenschaften besitzt und in den Lagerstätten unter vergleichsweise hohem Druck steht.

7541014/10787806875Biblio

Mit fortschreitender Förderung und abnehmendem Lagerstättendruck vermindern sich die Produktionsraten, so dass zusätzliche Bohrungen erforderlich werden können.

3.18.1 Erdöl- und Erdgasförderung in Deutschland

3.18.1.1 Förderung von Erdgas

Zur Förderung von Erdgas wird in das verrohrte und zementierte Bohrloch ein Steigrohr eingebaut, das bis zum tiefsten Punkt der Lagerstätte reicht. Damit das Gas aus der Gesteinsschicht in dieses Rohr eintreten kann, wird sein unterstes Teilstück mit Hilfe kleiner Sprengsätze zur Lagerstätte hin geöffnet. Über Tage (obererdig) ist das Bohrloch mit einem Eruptionskreuz verschlossen, in dem sich mehrere Absperrvorrichtungen befinden. Zusätzlich verhindert ein unter Tage (untererdig) eingebautes Ventil, dass Erdgas unkontrolliert austritt.

Aufgrund des natürlichen Lagerstättendrucks können im Allgemeinen etwa 75 % des Gasinhaltes aus dem Trägergestein gewonnen werden.
Dieser günstige Ausbeutegrad beruht darauf, dass Erdgas aufgrund seines Aggregatzustandes gute Strömungseigenschaften besitzt und in den Lagerstätten unter vergleichsweise hohem Druck steht.

Mit fortschreitender Förderung und abnehmendem Lagerstättendruck vermindern sich die Produktionsraten, so dass zusätzliche Bohrungen erforderlich werden können.

Reicht der natürliche Druck für eine Einspeisung in das Hochdrucktransportsystem nicht mehr aus, werden zwischen Sonde und Transportnetz Verdichter zur Druckerhöhung installiert.

3.18.1.2 Förderung von Erdöl

Wenn eine Bohrung auf Erdöl trifft, werden mit elektronischen Bohrlochsonden Mächtigkeit (Dicke) und Porositäten des Speichergesteins sowie der mit Öl gefüllte Speicheranteil gemessen. Mit Testapparaturen stellt man den stündlichen Zufluss von Öl in das Bohrloch fest und den Druck, unter dem es in der Lagerstätte steht. Durch geophysikalische und geologische Daten wird die Ausdehnung der erdölgefüllten Struktur ermittelt. Erst wenn man zu der Überzeugung gelangt ist, wirtschaftlich gewinnbare Ölmengen angetroffen zu haben, wird eine Bohrung mit den aufwändigen unter- und oberirdischen Produktionsanlagen versehen.

Zuerst perforiert man die die Bohrung auskleidenden Futterrohre im Bereich des Förderhorizontes, damit das Erdöl in die Bohrung fließen kann. Hierzu werden an Drahtseilen in die Bohrung hinabgelassene Schießeinrichtungen benutzt.
Dann baut man in die Futterrohre Rohre kleineren Durchmessers. Sie dienen als Steigleitung für den Aufstieg des Öls oder Öl-Gasgemisches. Die Steigleitung mündet über Tage in das Eruptionskreuz, das mit Düsen zur Zuflussregelung und mit Manometern versehen ist. Von ihm aus wird das Öl in ein Sammelsystem geleitet.

Die Fördermethode hängt davon ab, unter welchem Druck und welcher Temperatur das Öl in der Lagerstätte steht und wie hoch sein Gasanteil ist. Der Druck der Poreninhalte (Wasser, Öl, Gas) oder Gesteine nimmt mit 10 m Teufenzuwachs um je 1 bar zu, so dass z. B. in 1.000 m Tiefe ein Druck von etwa 100 bar herrscht. Die Temperatur nimmt je 100 m um durchschnittlich 3 °C zu.

7541014/10787806875Biblio

Zusammen mit dem Erdöl vorhandenes Gas verhält sich ähnlich wie Kohlensäure in einer Seltersflasche. Je höher der Druck ist, umso mehr Gas kann im Öl gelöst sein. Außerdem nimmt gashaltiges Öl unter sonst gleichen Bedingungen ein größeres Volumen ein als gasfreies Öl. Wenn gashaltiges Öl in das Bohrloch fließt, sinkt der Lagerstättendruck, das Öl kann etwas an Volumen zunehmen und steigt bis zu Tage auf. Wie bei der Seltersflasche lässt sich mit sinkendem Druck immer mehr Gas aus dem Erdöl lösen.
Deshalb wird mit Hilfe der Düsen am Eruptionskreuz der Lagerstättendruck so wenig und so langsam wie möglich abgesenkt, damit das Treibmittel Gas möglichst lange im Öl gelöst und in der Lagerstätte bleibt.

Wird im Laufe der Förderung der allmählich sinkende Lagerstättendruck kleiner als der Fließwiderstand in den Leitungen und das Gewicht der Ölsäule in der Bohrung, hört das Öl auf, selbständig auszufließen.

Man kann die fließende Förderphase mit dem Gasliftverfahren verlängern. Hierbei wird in den Ringraum zwischen Futter- und Steigrohren Fremdgas in das Bohrloch gepresst. Es tritt unten in das Steigrohr in den Ölstrom ein.

Das in Blasen hochsteigende Gas vermindert das Gewicht der Ölsäule und damit deren Druck auf die Lagerstätte, wodurch das Öl weiter aufsteigen kann. Dieses Verfahren lässt sich aber nur dort wirtschaftlich anwenden, wo Erdgas in ausreichenden Mengen mit genügend Druck zur Verfügung steht.

Wo eine selbstfließende Förderphase wegen zu geringen Lagerstättendrucks nicht oder nicht mehr möglich ist, muss das Erdöl gepumpt werden. Hierzu wird gewöhnlich eine Kolbenpumpe in das untere Ende des Steigrohres gebaut. Ein Gestänge verbindet den Kolben mit dem auf- und abschwingenden „Pferdekopf“ (Abb. Fg-61) des übertägigen Pumpenantriebes. Je nach Hublänge (max. 3 m bis 4 m), Hubzahl (5–20 Hub/min) und Kolbengröße können bis zu 150 m^3 Erdöl bzw. Erdöl-Wassergemisch pro Tag gefördert werden. Falls eine optimale Förderung die Entnahme größerer Flüssigkeitsmengen ermöglicht, kann man mit vielstufigen Kreiselpumpen, die mit Antriebsmotor in das Bohrloch versenkt werden, mehrere hundert Kubikmeter Flüssigkeit entnehmen.

Abb. Fg-61: Tiefpumpenantrieb – sog. Pferdekopf [24]

7541014/10787806875Biblio

- **Sekundär- und Tertiärverfahren**

Zur Steigerung der gesamten Ölausbeute einer Lagerstätte werden häufig **Sekundärverfahren** angewandt. Hierbei presst man in der Regel zusammen mit dem Erdöl gefördertes Formationswasser nach Abtrennung des Reinöls so in die Lagerstätte, dass es das Erdöl vom Rand den Fördersonden zutreibt.

Zu einer weiteren Steigerung der Ausbeute dienen **Tertiärverfahren**. Hierbei wird die Viskosität des Erdöls durch Einpressen von Wasserdampf, Kohlensäure oder chemischen Mitteln verringert und damit seine Fließfähigkeit in der Lagerstätte verbessert. Mit Tensiden setzt man die Oberflächenspannung des Öls herab, wodurch es mit dem Formationswasser leichter mischbar und fließfähiger wird. In die Lagerstätte eingepresste Polymere erhöhen die Viskosität des Formationswassers, wodurch es das Öl wirkungsvoller verdrängen kann. Dadurch wird eine bessere Entölung der Lagerstätte erzielt. Trotz all dieser Nachhilfen lassen sich nur bis zu 50 % des in den Poren eines Speichers vorhandenen Erdöls gewinnen.

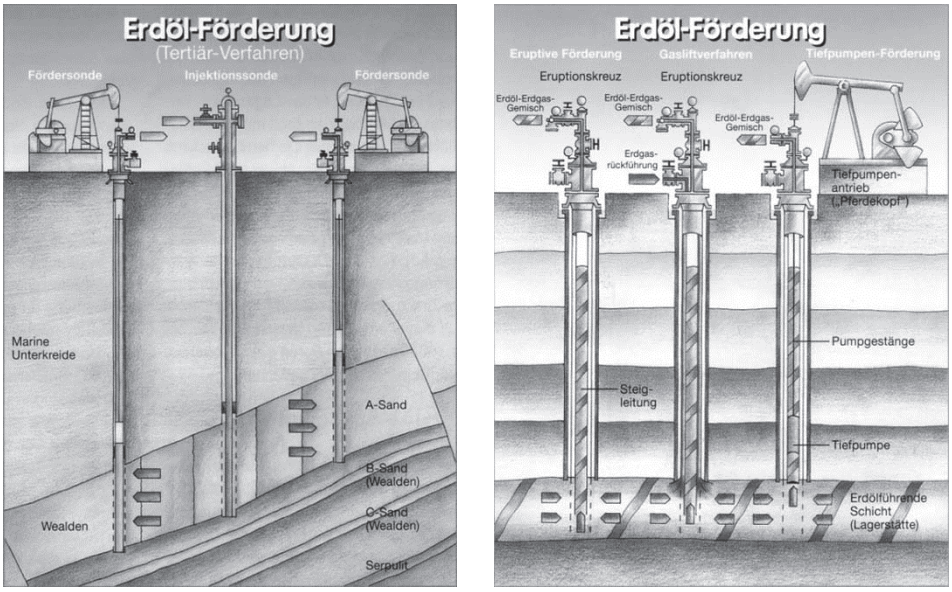


Abb. Fg-62: Erdölförderung – links: im Tertiärverfahren – rechts: im Sekundärverfahren [V11]

3.19 Offshore-Förderung in der Nordsee

Seit Herbst des Jahres 2000 wird aus dem ersten Offshore-Projekt im deutschen Wirtschaftsgebiet der Nordsee Erdgas gefördert.

In einer Entfernung von rund 300 km vor der deutschen Küste wurde im sogenannten „Entenschnabel" die Bohr- und Förderplattform A6-5 (Abb. Fg-64 u. 65) errichtet. Von 2000 bis 2007 wurden hier insgesamt 9 Mrd. m³ Erdgas gefördert. Die Plattform steht in einer Wassertiefe von 48 m. Die Deckaufbauten mit den Prozessanlagen und den Unterkünften wiegen insgesamt 2.700 t. Während der Förderung sind acht Personen ständig auf der Plattform stationiert.

7541014/10787806875Biblio

- **Erdölförderung im Wattenmeer**

Das größte und bedeutendste Erdölfeld Deutschlands liegt im Wattenmeer ca. 8 km vor der schleswig-holsteinischen Westküste. Seit 1987 fördert das **Mittelplate-Konsortium** dort mittels einer künstlich im Wattenmeer errichteten Bohr- und Förderinsel sowie seit 2000 zusätzlich von Land aus. Ursprünglich wurde das auf Mittelplate geförderte Erdöl mittels speziell entwickelter Öltransport-Leichter abtransportiert. Der erfolgreiche Einsatz weiterentwickelter Bohrtechnik – der sogenannten Extended-Reach-Bohrtechnologie – ermöglicht dem Konsortium seit Mitte 2000 eine zusätzliche Ölgewinnung von Land aus.
Mit weit abgelenkten Hightech-Bohrungen über Längen von mehr als 8.000 m lässt sich der östliche Teil der Lagerstätte von Friedrichskoog aus erschließen.

Seit 2005 ist die Bohr- und Förderinsel Mittelplate über eine Pipeline mit der Landstation Dieksand (in Friedrichskoog) verbunden, wodurch die regelmäßigen Schifftransporte entfallen. Das in der **Landstation Dieksand** aufbereitete Reinöl, Erdölgas und Kondensat werden über Rohrleitungen an die Raffinerien Heide und Brunsbüttel zur dortigen Weiterverarbeitung geliefert.

Die Bohr- und Förderinsel Mittelplate ist ein international viel beachtetes Beispiel dafür, dass Umweltschutz und Erdölförderung sehr gut miteinander vereinbar sind. Auf der Insel wird Erdöl unter höchsten Umweltstandards produziert. Hier gilt das Prinzip der „Null-Einleitung“. Das heißt: Die Plattform ist mit Spundwänden rund um das undurchlässige Stahl-Beton-Fundament hermetisch abgeriegelt. Nichts, keine Flüssigkeit, kein Feststoff darf ins Wattenmeer bzw. ins Seewasser gelangen. Alles, was beim Arbeiten und Leben auf der Insel anfällt oder benötigt wird, muss mit Frachtschiffen antransportiert bzw. entsorgt werden.

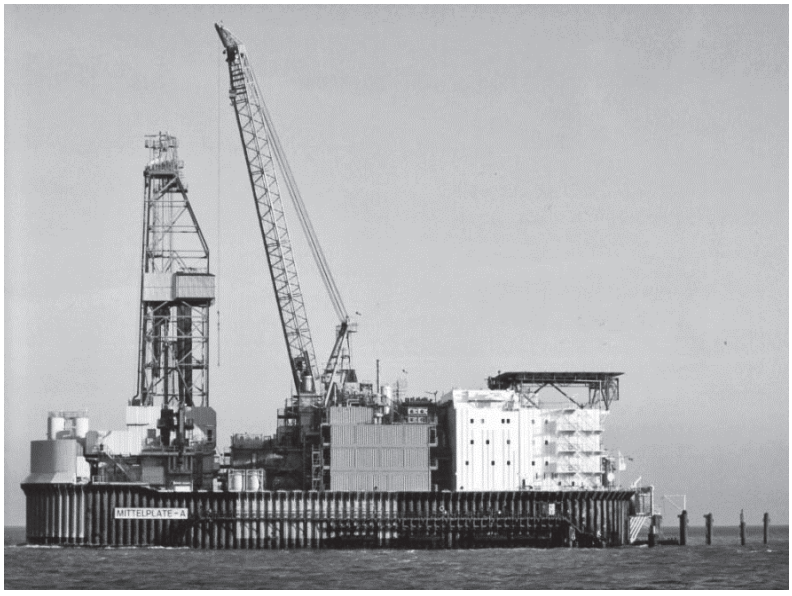


Abb. Fg-63: Bohr- und Förderplattform Mittelplate [V26]

7541014/10787806875Biblio

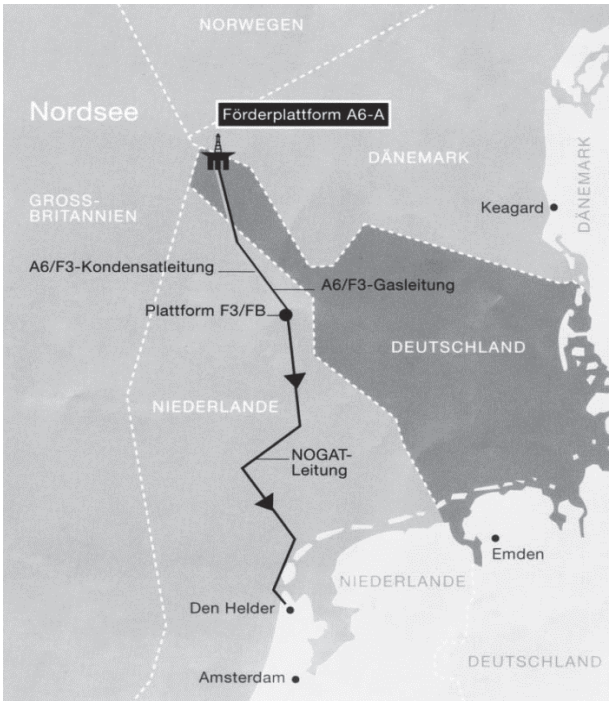


Abb. Fg-64:
Deutsche Wirtschaftszone „Entenschnabel“ [24]

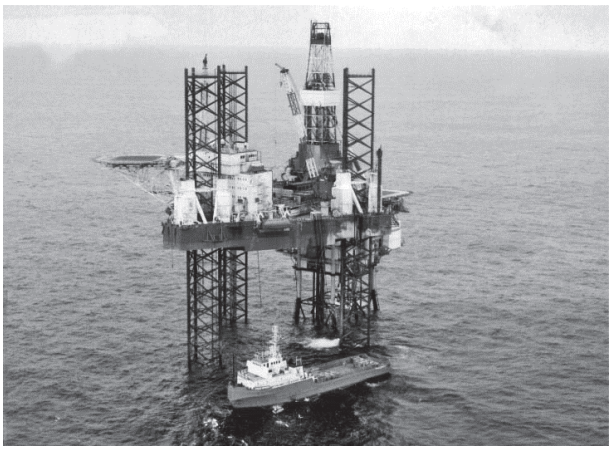


Abb. Fg-65:
Förderplattform A6-A [24]

3.20 Neues Onshore-Tiefbohrgerät

Die Anlage Streicher-Compact wird in Deutschland hergestellt und erreicht eine Bohrtiefe bis zu 6.000 m. Sie ist für Tiefbohrungen auf Erdöl und Erdgas sowie für Geothermie-Bohrungen ausgerüstet.

Die einzelnen Elemente der Container-Bauweise haben Maße und Gewichte, die einen Transport mit normalen Straßenfahrzeugen ermöglichen.
Für Bohrarbeiten in der Nähe von Wohnbereichen verfügt die Anlage über entsprechende Lärmschutzeinrichtungen.

7541014/10787806875Biblio

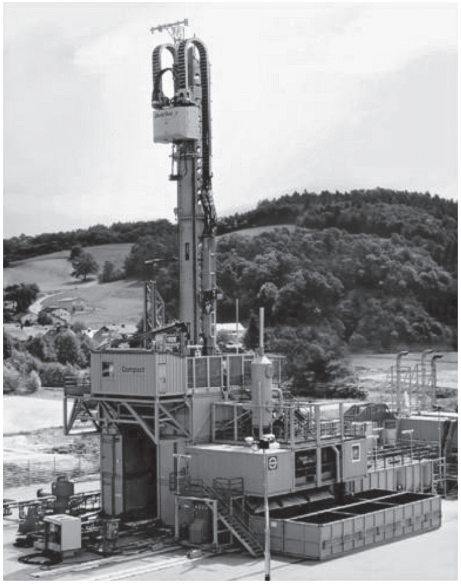


Abb. Fg-66: Moderne Tiefbohranlage System Streicher-Compact [V22]

7541014/10787806875Biblio

G Untertagespeicherung von Erdöl und Erdgas

Die Untertage-Speicherung von **Erdgas** und **Erdöl** in Deutschland zeigt seit Jahren durch die Einrichtung neuer und Erweiterung bestehender Speicher einen Aufwärtstrend. Diese Entwicklung erfährt derzeit einen besonderen Energieschub.

Bei der Untertagespeicherung unterscheidet man:

- Porenspeicher,
- Kavernenspeicher.

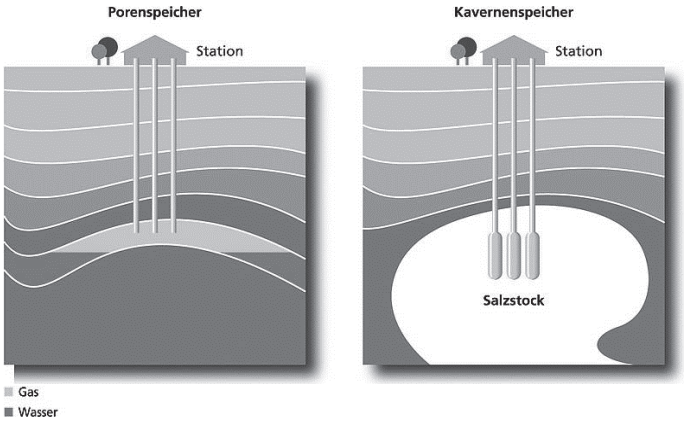


Abb. G-1: Arten von Erdgas-Speichertypen [V26]

Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie – Bergbehörde für die Länder Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein und Geologischer Dienst für Niedersachsen – berichtet jährlich über den Stand der Untertage-Gasspeicherung sowie über die Speicherung von Rohöl und Mineralölprodukten in Deutschland.

Die Anfragen beim LBEG zu Informationen über Speicher, Kenndaten und Betreiber und zukünftige Projekte haben zugenommen. Die Kunden stammen nicht nur aus dem technischen Bereich und der Presse, sondern auch aus der Bank- und Investmentbranche.

Vor dem Hintergrund zunehmender Erdgasimporte in Deutschland sowie der Perspektive, dass diese in den nächsten Jahrzehnten speziell aus dem russischen Raum zunehmen werden, übernehmen Speicher eine tragende Rolle in der Gaswirtschaft und Energiepolitik. Untertage-Erdgasspeicher sind Garanten für eine sichere Erdgasversorgung. Ihre Bedeutung und Wertschätzung steht inzwischen auch in der Wahrnehmung durch die Bevölkerung in exponierter Position, weil die strategische Bedeutung von Speichern mit einer Zunahme der Importabhängigkeit wächst. Presse, Funk und Fernsehen berichten regelmäßig zum Thema Erdgasversorgung, Speicherung sowie den Bau der geplanten Ostseepipeline. Das Thema Krisenbevorratung von Erdgas war im Rahmen der Georgienkrise auf der Tagesordnung.

Die Untertage-Gasspeicherung nutzt seit Jahrzehnten moderne Technologien, die auch bei der umweltpolitisch motivierten Lagerung von CO_2 im tieferen Untergrund eingesetzt werden sollen. Die Erfahrungen der Erdöl-, Erdgas- und Speicherbranche werden im Falle einer Realisierung von CCS-Projekten in industriellem Maßstab zu nutzen und

7541014/10787806875Biblio

durch Forschung und Entwicklung, die auf spezielle Aspekte der CO_2-Deponierung fokussiert sind, zu erweitern sein.

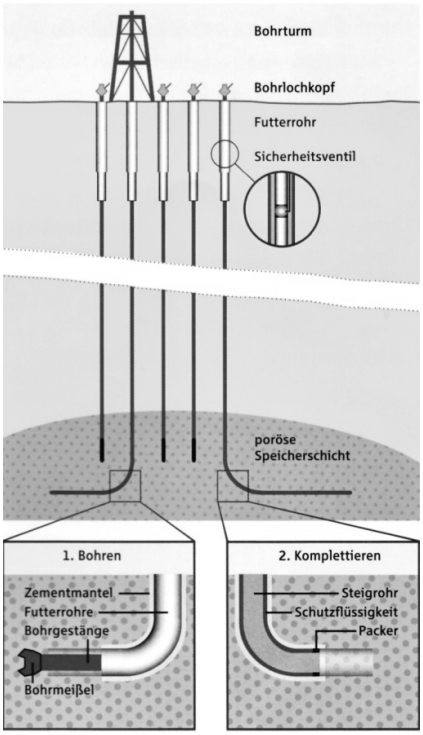


Abb. G-2: Herstellung von Erdgas-Untertagespeichern [V26]

Die Veröffentlichung eines Aufsatzes von Robert Sedlacek in der Zeitschrift „Erdöl-Erdgas-Kohle“, Jahrgang 2008, Heft 11, ist u. a. Grundlage der folgenden Ausführungen.

1 Grundzüge der Untertage-Gasspeicherung[31)]

Die sichere Erdgasversorgung der Bundesrepublik Deutschland – über 80 % des Gasverbrauches werden importiert – wird u. a. durch Untertage-Erdgasspeicher gewährleistet. In beiden Fällen wird der Bedarf zuverlässig gepuffert und sowohl Grundlast als auch die tageszeitlichen Verbrauchsspitzen werden ausgeglichen. Im Versorgungsgebiet von Hannover kann z. B. der Winterverbrauch an Erdgas 15-mal so hoch sein wie im Sommer. Bei ständig steigendem Importanteil nehmen auch die Abhängigkeit von Lieferländern und die Bedeutung der Gasspeicherung zu. Erdgas aus Russland, das künftig auch über die Ostseepipeline und Deutschland nach West-Europa gelangen soll, wird dabei künftig eine immer dominantere Rolle spielen.

Deutschland verfügt im Norden des Landes über günstige Bedingungen für die Einrichtung großer Speicher. Als Speichertypen sind entweder **Poren- oder Kavernenspeicher** im Einsatz.

31) Diesem Abschnitt liegen Informationen der LGEG und des RWE zugrunde.

7541014/10787806875Biblio

Porenspeicher dienen grundsätzlich zur saisonalen Grundlastabdeckung und reagieren durch die natürlichen Fließwege im Porenraum der Speichergesteine in der Regel langsamer auf Veränderungen der Förderraten als Kavernenspeicher. Letztere sind eher mit unterirdischen Druckbehältern vergleichbar.

Kavernenspeicher sind daher besonders für tageszeitliche Spitzenlastabdeckungen geeignet. Unter günstigen Bedingungen können Porenspeicher in natürlich geklüfteten Speichergesteinen Förderraten erreichen, die ähnlich hoch sind wie Raten aus Kavernenspeichern.

Das Gesamtvolumen der Speicher ist die Summe aus Arbeitsgas- und Kissengasvolumen. Das **Arbeitsgasvolumen** ist das tatsächlich nutzbare Speichervolumen. Als **Kissengas** bezeichnet man die verbleibende Restgasmenge in einem Gasspeicher, die den Mindestdruck aufrechterhalten soll.
Ein hoher Kissengasanteil ermöglicht eine konstant hohe Entnahmerate über einen langen Zeitraum. Je höher der prozentuale Anteil des Arbeitsgasvolumens am nationalen Erdgasverbrauch ist und je schneller das Kissengas ein- und ausgespeichert werden kann, umso leistungsfähiger ist die Erdgasspeicherung und die nationale Energieversorgung.

Große Erdgasmengen können besonders gut und sicher in ehemaligen Gaslagerstätten eingespeichert werden. Dabei handelt es sich um natürliche Porenspeicher, in denen sich vor Millionen von Jahren Gas angesammelt hat und bis zu seiner Förderung dort sicher gespeichert war. Die Poren wirken wie ein stabiler Schwamm, der das Gas aufnehmen und bei Bedarf jederzeit wieder abgeben kann. Dichte Deckschichten verhindern das Austreten nach oben, und nach unten bilden wasserführende Schichten eine natürliche Barriere. Ihre Dichtigkeit haben diese Porengasspeicher über Jahrmillionen bewiesen.

Solche ehemaligen Erdgaslagerstätten dienen RWE Dea als Erdgasspeicher in Wolfersberg, Inzenham-West und Breitbrunn/Eggstätt.

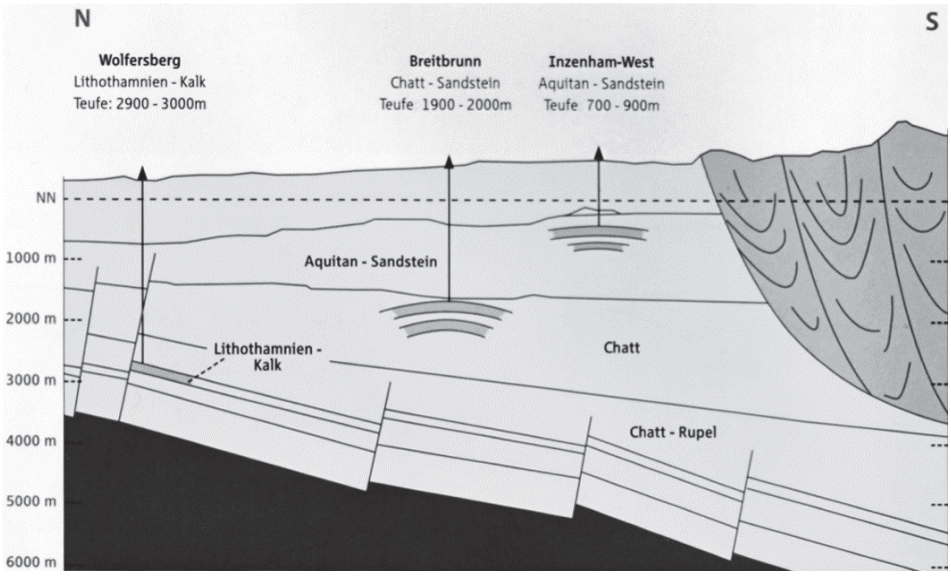


Abb. G-3: Bei einem Porenspeicher wird das Erdgas in die Poren eines Speichergesteins gepresst. [V26]

7541014/10787806875Biblio

2 Bohrarbeiten

Die Ein- und Ausspeicherung des Gases erfolgt über dieselben Tiefbohrungen. Um den obertägigen Flächenbedarf gering zu halten, wurden die Bohrungen von sogenannten Sammellokationen aus niedergebracht. Die Bohrungen wurden mit modernster Technik abgelenkt und zum Teil auch horizontal in die Speicherhorizonte geführt. Die oben eng beieinander liegenden Bohrungen verlaufen folglich mit zunehmender Tiefe immer weiter auseinander und erschließen die Lagerstätte großflächig.

Dadurch entsteht eine gute Injektions- und Entnahmekapazität. Im Vergleich zum vertikalen Bohren steigert der horizontale Verlauf des Bohrloches im Speichergestein die Förderkapazität auf das Dreifache. Die Bohrungen sind teleskopartig aufgebaut. Zur Stabilisierung und Abdichtung des Bohrlochs erfolgt abschnittsweise der Einbau von Futterrohren. Anschließend wird der Ringraum bis zum umgebenden Gebirge mit Zement ausgefüllt.

3 Komplettieren

Für das Einpressen bzw. das Fördern des eingespeicherten Erdgases ist der Einbau von Steigrohren bis hin zur Lagerstätte erforderlich. Der untere Teil der Steigrohre wird am Ende der fertigen Bohrung mit einem Packer gegen die letzte (zementierte) Futterrohrtour abgedichtet. Der Ringraum zwischen Steig- und Futterrohren wird mit einer Schutzflüssigkeit ausgefüllt. In 50 m bis 100 m Tiefe wird ein Sicherheitsabsperrventil in die Steigrohre eingebaut, das die Bohrung bei Bedarf automatisch schließt. Obertägig dichtet eine Sicherheitsarmatur am Bohrlochkopf die Bohrung ab.

4 Einspeicherung

Jeder Erdgasspeicher ist über eine unterirdisch verlegte Rohrleitung mit dem Fernleitungsnetz der Erdgasversorgungsgesellschaft verbunden. Durch sie wird das Gas an den Speicher herangeführt und wieder abgeleitet.

Das ankommende Gas durchströmt zunächst Filter, die Feststoffpartikel und Flüssigkeiten abscheiden. Anschließend durchströmt das Gas eine geeichte Volumenmessung.

Zum Einpressen in den Speicher muss der Gasdruck erhöht werden. Dafür dienen sowohl Gasmotoren oder Gasturbinen als auch Elektroantriebe.

Gaskühler führen die bei der Verdichtung entstehende Wärme ab.

Danach wird das Gas über Hochdruckleitungen den Bohrungen zugeführt und in die Speicherhorizonte eingepresst.

7541014/10787806875Biblio

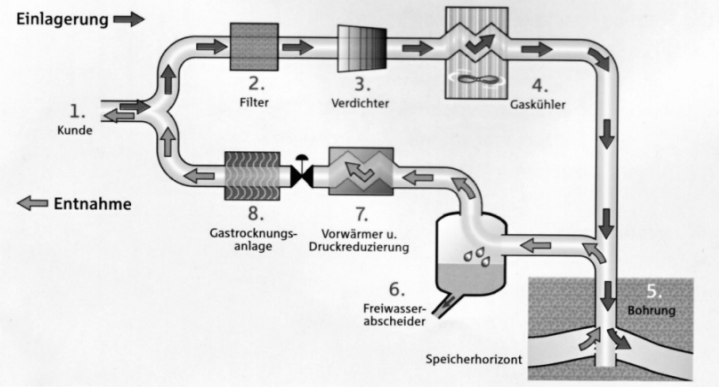


Abb. G-4: Erdgaseinlagerung – Schema [V26]

5 Entnahme

Die Entnahme des Gases aus der Lagerstätte erfolgt über dieselben Bohrungen, durch die es in die Lagerstätten eingepresst wird. Das Gas nimmt in der Lagerstätte Wasser auf. Damit es nicht zu Korrosion und Verstopfung durch Gashydratbildung in der Fernleitung kommt, ist es erforderlich, dem Gas die aufgenommene Feuchtigkeit zu entziehen.

In einem ersten Schritt trennt ein Abscheider freie Wassertröpfchen vom Gasstrom ab. Das abgeschiedene Wasser wird in eine Wasserversenkbohrung eingepresst.

Ein Vorwärmer heizt das Gas auf, damit es bei der nachfolgenden Druckreduzierung auf den geringeren Fernleitungsdruck nicht zur Gashydratbildung innerhalb der Prozessanlage kommt.

Die Gastrocknung erfolgt in Glykolabsorptionsanlagen. Dabei nimmt das Glykol aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften das als Wasserdampf im Gas enthaltene Wasser auf.

Jetzt ist das Gas wieder in dem Zustand, in dem es ursprünglich angeliefert wurde, und kann, nach geeichter Volumenmessung, an die Erdgasversorgungsgesellschaft zurückgegeben werden.

Das geschilderte Verfahren der Entnahme aus dem Speicher setzt voraus, dass der Lagerstättendruck ausreichend hoch ist, um das Gas in die Fernleitung zu drücken. Ist dies am Ende der Entnahmephase nicht mehr der Fall, werden die Verdichter zeitweise auch beim Ausspeichern eingesetzt.

6 Sicherheitseinrichtungen

Eine sichere und umweltschonende Speichermethode ist die Einlagerung von Erdgas in ausgeförderten Erdgaslagerstätten. Das Gas kann sich im Speicher nicht mit Luft vermischen. Somit ist eine untertägige Verbrennung oder Explosion von Erdgas ausgeschlossen. Zahlreiche Sicherheitseinrichtungen sorgen für einen sicheren Speicherbetrieb. Sie werden sowohl vom RWE Dea-Fachpersonal als auch von anerkannten, unabhängigen Sachverständigen regelmäßig überprüft.

7541014/10787806875Biblio

Gasspeicheranlagen unterliegen der Störfallverordnung. Diese fordert vom Betreiber einen Sicherheitsbericht, in dem sämtliche Sicherheitsvorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen beschrieben sind.

Die Nachbarschaft wird regelmäßig über das richtige Verhalten informiert, falls ein Störfall eintreten sollte. Darüber hinaus gibt es ein Alarm- und Gefahrenabwehrplan.

- **Sicherheitstechnik für das Bohrloch**

Die Bohrungen sind durch einzementierte Rohrtouren und automatisierte Sicherheitsabsperrventile gegen unkontrollierten Erdgasaustritt gesichert. In einem Bohrloch zur Erdgasspeicherung liegt die erste Sicherheitsabsperrarmatur ca. 50 m bis 100 m unter der Erdoberfläche, die zweite befindet sich am Bohrlochkopf.

Die Prozessanlagen werden für alle Betriebszustände entsprechend den technischen Regeln sicher ausgelegt. So sind beispielsweise die Verbindungsleitungen zwischen den Sondenplätzen und der Verdichterstation jeweils an den Platzgrenzen mit Sicherheitsabsperrventilen ausgestattet. Die Ventile werden im Gefahrenfall geschlossen.

Eine elektronische Steuerung überwacht alle obertägigen Anlagen. Bei Überschreitung eines Grenzwertes wird der entsprechende Anlagenteil automatisch abgeschaltet. Zusätzlich befinden sich in der Anlage Sicherheitsabblasventile gegen Drucküberschreitung. Mit dem Prozessleitsystem wird der gesamte Speicherbetrieb rund um die Uhr gesteuert und überwacht.

7 Erdgas- und Erdölspeicher

Die folgenden Speicherdaten basieren auf der Grundlage einer jährlichen Datenabfrage des LBEG bei den Speicherfirmen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden der Bundesländer. Die Daten werden auch in der jährlichen Zusammenstellung des Bundeswirtschaftsministeriums „Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland“ verwendet.

Die geografische Lage der Untertage-Gasspeicher sowie der Kavernenspeicher für flüssige Kohlenwasserstoffe zeigt Abb. G-5.

Porenspeicher werden überwiegend durch ehemalige Erdöl- oder Erdgaslagerstätten in den Sedimentbecken von Nord-, Ost- und Süddeutschland dargestellt. Speicherhorizonte sind vorwiegend poröse Sandstein-Formationen. Aquiferspeicher spielen eine untergeordnete Rolle, haben aber an Standorten mit fehlenden Erdöl- und Erdgaslagerstätten bzw. Salzstrukturen für Kavernen eine hohe Bedeutung.

Der Bau von Kavernenspeichern erfolgt durch einen bergmännischen „Solprozess“ und ist nur dort realisierbar, wo mächtige Salinare vorkommen und gleichzeitig eine umweltverträgliche Ableitung oder Nutzung der Sole möglich ist. Die Lage von Kavernenspeichern ist daher aus geologischen Gründen auf den Norden Deutschlands beschränkt; der südlichste Kavernenspeicher liegt etwa auf der Höhe von Fulda. In bevorzugter Lage sind Standorte in Küstennähe, die eine Soleentsorgung ins Meer ermöglichen.

7541014/10787806875Biblio

Tab. 1-G: Kavernen- und Porenspeicher

Speicherart	Erdgas-Kavernenspeicher [in Betrieb]	Erdgas-Kavernenspeicher [im Bau]	Erdgas-Porenspeicher [in Betrieb]	Erdgas-Porenspeicher [im Bau]
Anzahl	169	58		
Ges.-Volumen Mio. m³	23.522	5.217	23.522	45
Teufen bis m	500–1.800	500–1.800	350–2.930	2.930
Kavernenspeicher für Rohöl, Mineralölprodukte und Flüssiggas				
Anzahl	12 Betriebe mit 103 Einzelspeichern		86 Speicher für Rohöl 5 Speicher Leichtöl 3 Speicher Benzin 9 Speicher für Propan, Butan, Ethylen	
Teufen	510–2.000 m			

Die Speicher für Rohöl, Mineralöl, Flüssiggas und sonstige Minerale befinden sich mit einer Ausnahme in Salzstock-Kavernen.
Ein Betrieb für Rohöl und Mineralprodukte befindet sich in einem stillgelegten Bergwerk in Hülsen. Weltweit werden 610 Erdgasspeicher mit einem Gesamtvolumen von 333.974 Mio. m³ betrieben. An der Spitze stehen die USA mit 385 Speichern und einem Arbeitsvolumen von 100.846 m³. Nach den GUS-Staaten (22 Speicher u. 93.533 m³) und die Ukraine (13 Speicher u. 31.880 m³) folgt Deutschland an vierter Stelle.

8 Speicher aus der Solegewinnung

Bei der **Bohrlochsolung** wird jeweils eine Bohrung pro Kaverne bis zum liegenden Anhydrit niedergebracht. Je nach geplanter Verwendung der Kaverne wird mehr oder weniger tief in die Salzschichten verrohrt und anschließend die Bohrlochverrohrung zementiert. In die Bohrung werden zwei konzentrische Spülrohre eingehängt und über Tage verflanscht. Der Solprozess beginnt mit dem direkten Spülverfahren. Dabei gelangt Süßwasser über das tiefer hängende Zentralrohr in das Bohrlochtiefste.

Die entstehende Salzsole wird dann gleichzeitig über die zweite äußere Spülrohrtour nach über Tage verdrängt. Im Laufe der Kavernenentwicklung wird der Spülkreislauf umgekehrt (indirektes Solverfahren).

7541014/10787806875Biblio

Abb. G-5: Lageplan der Kavernen- und Porenspeicher in Deutschland [LBEG]

7541014/10787806875Biblio

Hierbei gelangt das Süßwasser über den Ringraum in den Außenraum der Kaverne, sättigt sich auf dem Weg nach unten langsam auf und verlässt die Bohrung über das tiefer hängende Zentralrohr. Um während der Aussolung die Entwicklung der Kavernenfirste zu steuern, wird durch den Ringraum zwischen Bohrlochverrohrung und zweiter Spülrohrtour eine Schutzflüssigkeit, das sog. Blanket, eingepresst.

Wegen der geringeren Dichte schichtet sich diese über das Süßwasser und verhindert damit die vertikale Aussolung. Durch Solung können Kavernen entstehen, die ein Hohlraumvolumen zwischen 250.000 m³ und 400.000 m³ bis maximal 970.000 m³ aufweisen. Wenn die Kaverne ausgesolt ist und der Hohlraum nicht mehr vergrößert werden kann, bietet sich hier die Möglichkeit für die Errichtung eines Kavernen-Erdgasspeichers an.

In Deutschland gibt es etwa 35 Standorte (Stand 2010) mit Kavernenspeicher.
Davon sind ein Teil durch Aussohlung bei der Salzgewinnung (z. B. im Bereich des Salzbergwerkes Epe in NRW) oder ein anderer Teil durch speziell als Kavernenbohrung hergestellte Speicher (z. B. der Erdgasspeicher Bremen-Lesum).

8.1 Kavernenspeicher Bremen-Lesum

Für den Ausgleich kurzfristiger Bedarfsschwankungen verwendet man u. a. **den Kavernenspeicher Bremen-Lesum**. Er soll dazu beitragen, dass die Nachfrage auch an den verbrauchsstarken Wochentagen im Winter sicher gedeckt werden kann. Der Speicher in Bremen-Lesum ist ein Kavernen-Speicher, der durch Aussolen im Salzstock Lesum hergestellt wurde.

Der Speicher Lesum ist mit einer 5,5 km langen 20-Zoll-Leitung an die regionale Leitung von Ganderkesee nach Cuxhaven angeschlossen. Somit kann er schwerpunktmäßig die Spitzenleistungs-Anforderungen der Verbrauchszentren Bremerhaven, Cuxhaven und des Raums Bremen abdecken. Der Endausbau umfasst drei Kavernen.

Eine weitere große Speichermöglichkeit bietet sich in leergeförderten Erdgaslagerstätten an. Hierzu eignet sich besonders stark poröser Buntsandstein.

So wurde in **Dötlingen** der Ausbau des Untergrundspeichers in mehreren Stufen geplant. Die erste Ausbaustufe wurde mit einem jährlichen Umschlagsvolumen von 350 Mio. m³ 1983 in Betrieb genommen. Die stündliche Einpress- bzw. Entnahmemenge war mit vier fertig gestellten Speicherbohrungen auf 200.000 m³ ausgelegt.

Die Partner Esso und Mobil begannen 1985 mit der zweiten und 1991 mit der dritten Ausbauphase. Heute können in den Erdgasspeicher Dötlingen 2 Mrd. m³ Erdgas eingelagert werden. Das entspricht dem Jahresbedarf von etwa 1 Mio. Haushalten. Mit elf weiteren Speicherbohrungen sowie der Erweiterung der obertägigen Anlagen wird die stündliche Einpressmenge auf 775.000 m³, die stündliche Entnahmemenge auf etwa 840.000 m³ angehoben.

7541014/10787806875Biblio

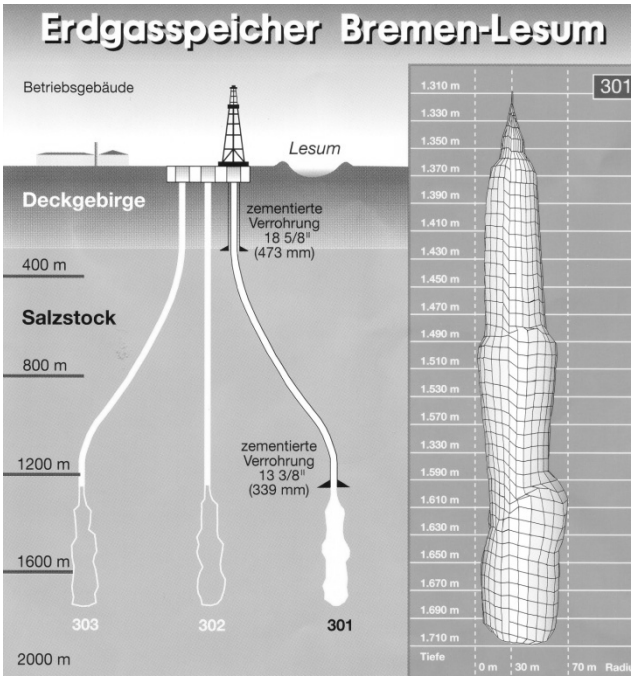


Abb. G-6:
Erdgasspeicher Bremen-Lesum [V11]

8.2 Untertage-Kavernen-Speicheranlage Epe[32)]

Eine der größten Kavernen-Speicheranlagen weltweit befindet sich in **Epe/Westfalen**. Das Arbeitsgasvolumen der Kavernen beträgt über 2,5 Mrd. m^3. Damit ist die Anlage die größte ihrer Art in Europa. Betreiber sind die Unternehmen E.on Ruhrgas AG, RWE WWE, Trianel sowie die niederländischen Unternehmen Essent und Nuon.

Das gespeicherte Erdgas stammt aus den Niederlanden, der Nordsee und Russland. Das Versorgungsgebiet reicht von Hamburg bis Frankfurt als auch in die Niederlande. Die Deutsche BP lagert in 5 Kavernen Erdöl. Das Unternehmen ENECO aus den Niederlanden nimmt 2011 einen neuen Erdgasuntertagespeicher in Betrieb.

Die Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen (SGW), ein Gemeinschaftsunternehmen der Unternehmen Solvay, Vestolit und Bayer, gewinnt aus den Salzlagern des Zechsteins in Epe jährlich über zwei Millionen Tonnen Kochsalz, die als Sole per Leitung an Standorte chemischen Industrie im Ruhrgebiet, Niederrhein und Belgien geleitet werden.

8.2.1 Näheres zum Salzbergwerk Epe

Die Bergbehörde in Nordrhein-Westfalen genehmigt im nördlichen Münsterland bei Epe die Solung von Salz für die chemische Industrie und die Nutzung der entstandenen Kavernen zur Energierohstoffspeicherung. Die hierzu erforderlichen Bergbauberech-

32) Grundlage der folgenden Ausführungen sind Auszüge von Veröffentlichungen der Bez.-Regierung Arnsberg Abt. Bergbau und Energie – Werner Grigo und Peter Dörne sowie der Aufsatz: „Salzbergwerk Epe – Von der Solegewinnung zum größten Kavernenspeicher Europas“ – Dipl.-Ing. Antje Kruse

7541014/10787806875Biblio

tigungen wurden der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH vom Land Nordrhein-Westfalen vertraglich für 99 Jahre auf einer Fläche von ca. 30 km² übertragen. Die 100. Bohrung wurde im Jahr 2009 abgeteuft. Im Zuge der Ölkrise wurde im Jahr 1974 für die 1.100 m bis 1.500 m tiefen Solkavernen die Einlagerung von Rohöl zugelassen; zurzeit besteht der Ölspeicher aus fünf Kavernen. Die Entwicklung als Gasspeicher begann zum gleichen Zeitpunkt. Aktuell werden 63 Kavernen mit Erdgas bespeichert, zehn weitere sind genehmigt und neun in der Planung.

Das genehmigte Gesamtvolumen beträgt ca. 4,7 Mrd. Nm³ (Arbeitsgasvolumen ca. 3,3 Mrd. Nm³) und wird von deutschen und niederländischen Energieversorgern bewirtschaftet. Das Kavernenfeld ist durch Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete, EU-Vogelschutzgebiete und Landschaftsschutzgebiete überdeckt. Aufgrund der besonderen Schutzwürdigkeit ist das Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung bei der Errichtung von Kavernenspeichern das Regelverfahren.

8.2.2 Bedeutung der Anlage

Nordrhein-Westfalen ist das Energieland Nummer 1 unter den Bundesländern und Zentrum der europäischen Energiewirtschaft. Es ist federführend in der ressourcenschonenden Nutzung von Kohle, Öl und Gas und beheimatet energieintensive Branchen wie Stahl, Chemie und Maschinenbau. Um diesen Spitzenplatz zu erhalten und auszubauen, müssen sich alle Branchen auf eine stabile Versorgung mit Rohstoffen und Energie verlassen können. Dies gewährleistet in Nordrhein-Westfalen nicht zuletzt die landesweit zuständige Bergverwaltung, die Abteilung Bergbau und Energie in NRW der Bezirksregierung Arnsberg.

Sie genehmigt unter anderem im nördlichen Münsterland die Gewinnung (Solung) von vorwiegend in der chemischen Industrie genutzten Salzen sowie die Nutzung der hierbei entstandenen Hohlräume (Kavernen) zum Zwecke der Energierohstoffspeicherung. Lediglich im Bereich „Borth“ erfolgt bergmännische Gewinnung durch das Salzbergwerk Borth.

8.2.3 Geologie der Salzlagerstätte Epe

Die Salzlagerstätte in Epe ist Teil der niederrheinischen Salzpfanne. Diese großräumige Salzlagerstätte erstreckt sich von Rheinberg im Süden bis in die norddeutsche Tiefebene und in die Niederlande hinein (siehe Abb. G-7).

Die Lagerstätte entstand vor ca. 250 Mio. Jahren und gehört zur geologischen Formation des Zechstein 1.

Das Salz lagert in einer Teufe von etwa 1.000 m bis 1.500 m relativ störungsfrei und flach. Das bis zu 400 m mächtige Salzlager wird im Liegenden und Hangenden von Anhydrit begrenzt. Zur Oberfläche hin schließen sich Schichtenfolgen des Zechstein 1, 2 und 3 an, die durch Ton-Anhydrit-Schichten gegen den darüber liegenden Buntsandstein abgedichtet sind.

Die Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins sind insgesamt ca. 630 m mächtig, sie werden überlagert von Schichten der Unterkreide und des Quartär. Das in Epe gewonnene Salz ist sehr rein (98 % bis 99 % NaCl). Es ist daher auch ein ideales, dichtes Muttergestein für Speicherkavernen. Kalisalze treten regional nicht auf.

7541014/10787806875Biblio

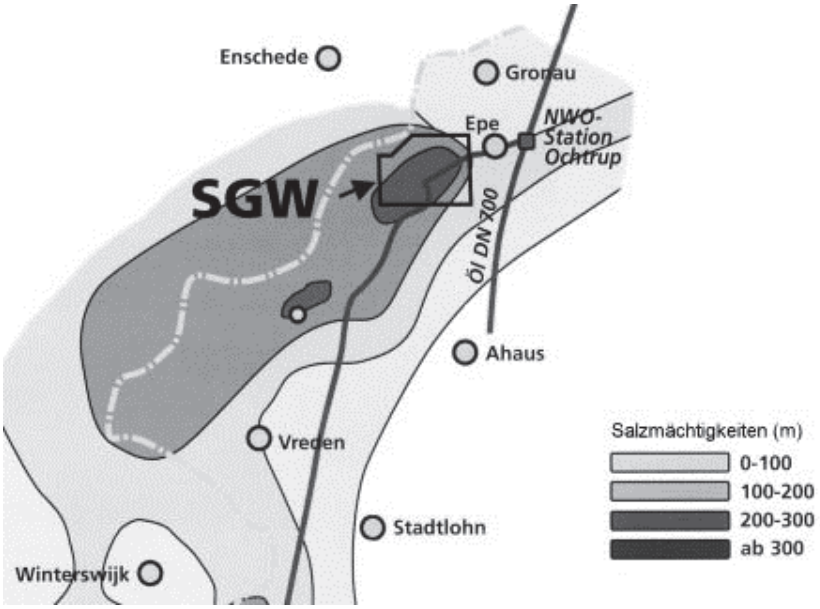


Abb. G-7: Verbreitung und Mächtigkeit des Werra-Steinsalzes am Niederrhein und im Münsterland [Quelle: SGW – Ausschnitt]

8.3 Gewinnung

Der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH (SGW) wurde gemäß § 38c ABG das Recht eingeräumt, im verliehenen Feld Steinsalz aufzusuchen, zu gewinnen und die hierzu erforderlichen Anlagen über und unter Tage zu errichten.
Die erste Solegewinnungsbohrung S1 wurde im Jahre 1970 niedergebracht. Im Jahr 2008 wird mit dem Abteufen der 100. Solegewinnungsbohrung begonnen.

Die durch die Solung entstehenden Kavernenhohlräume sind in definierten Abständen zueinander in einem trigonalen Raster angeordnet. Das Feld entwickelte sich in den Jahren 1970 bis 1990 von Süden ausgehend nach Norden und später nach Osten. Zu dieser Zeit war das abgelenkte Bohren, bei dem der Bohrpfad gezielt in definierte Richtungen geführt wird, noch nicht Stand der Technik. Die Bohrungen wurden nahezu senkrecht abgeteuft – daher erkennt man Solegewinnungsbohrungen aus dieser Zeit daran, dass jeweils nur ein Bohrlochansatzpunkt auf einem übertägigen Platz liegt.

Mit Einführung des abgelenkten Bohrens wurden im Feld Epe Clusterplätze möglich, auf denen anfangs zwei, später drei und heute schon bis zu 7 Bohrungen möglich sind. Das Zusammenfassen von Bohrlochansatzpunkten auf einen Platz stellt nicht nur einen finanziellen Vorteil für das Unternehmen dar, sondern es vermindert auch den Eingriff in Natur und Landschaft. Mit der Zulassung des Betriebsplanes für die 6. Solefelderweiterung im Jahre 2002 durch das ehemalige Bergamt Gelsenkirchen dehnte sich die Entwicklung der Solegewinnung Richtung Westen aus. Von 2002 an entwickelte sich der Abbaufortschritt der SGW in diese Richtung.

Zum Aussolverfahren s. Abschnitt Fs – Bergbau auf Salz.

7541014/10787806875Biblio

8.4 Erdölspeicherung im Kavernenfeld Epe

Im Zuge der Ölkrise und der Ansprüche des Energiebevorratungsgesetzes wurde der SGW 1974 für Solkavernen die Einlagerung von Rohöl und Rohölprodukten zugelassen. Zurzeit besteht der Ölspeicher aus 5 Kavernen. Die Betriebsführung des Ölspeicherbetriebes erfolgt durch die Salzgewinnungsgesellschaft, die auch bergrechtlicher Unternehmer ist. Sie ist vertraglich verpflichtet, der Deutschen BP als Rechtsnachfolger der VEBA-Chemie und VEBA-Oel insgesamt 3 Mio. m³ Ölspeicherraum bereitzustellen.

Das Mineralöl gelangt über die Mineralölfernleitung Wilhelmshaven – Wesseling der Nord-West Ölleitung GmbH (NWO) bis zur Pumpstation Ochtrup. Von hier führt eine 11 km lange, zum Speicherbetrieb gehörende Stichleitung zu einer Hochdruckpumpenstation in das Kavernenfeld Epe. Über Feldleitungssysteme werden die Ölspeicherkavernen sowohl an die Pumpstation als auch an das Solenetz angebunden. Das Öl-Feldleitungsnetz ist ca. 1,6 km lang und weist Durchmesser von DN 300, DN 200, DN 150 auf.

An der Speicherung sind folgende Unternehmen beteiligt:

- **E.ON Gas Storage GmbH**

Die Entwicklung des Kavernenfeldes Epe als Gasspeicher begann im Jahr 1974 mit der heutigen E.ON Gas Storage GmbH (EGS, vormals Ruhrgas AG und E.ON Ruhrgas AG).

Der Errichtung eines Erdgaskavernenspeichers mit Verdichter- und Entnahmestation, Feldleitungen und anfänglich zehn Speicherkavernen folgte ab 1987 die Erweiterung des Speichers um weitere 23 Kavernen. Nach einer längeren Ruhephase erfolgte ab 2005 bis 2009 eine Erweiterung des Speichervolumens auf heute insgesamt 39 Kavernen.

- **RWE Gasspeicher GmbH**

Als zweiter Gasspeicherbetreiber im Feld Epe erlangte die damalige Thyssengas, später RWE WWE Netzservice GmbH und heutige RWE Gasspeicher GmbH, 1986 eine Rahmenbetriebsplanzulassung für die Errichtung und den Betrieb eines Kavernenspeichers, der in der jetzigen Ausbaustufe aus insgesamt zehn Kavernen für die Speicherung von H-Gas besteht.

- **NUON Epe Gasspeicher GmbH**

Schon im Juli 2004 folgte der Antrag eines weiteren niederländischen Energieunternehmens, im Bereich Gronau/Epe einen Erdgaskavernenspeicher errichten und betreiben zu dürfen. Im Dezember 2004 wurde der N.V. NUON Energy Sourcing, einer 100 %igen Tochter der niederländischen N.V. NUON in Amsterdam, die Errichtung und der Betrieb einer eigenen Verdichter- und Entnahmestation mit vier Kavernen zugelassen. Im Mai dieses Jahres legte die NUON einen Antrag vor, um ihren Speicher um weitere drei Kavernen vergrößern und die Ein- und Ausspeicherkapazitäten erhöhen zu dürfen. Im Endausbau stehen bei einem maximalen Speichervolumen von 439 Mio. Nm³ ca. 332 Mio. Nm³ als Arbeitsgasmenge zur Verfügung.

7541014/10787806875Biblio

- **Trianel Gasspeicher Epe GmbH & Co. KG**

Als erstes deutsches Gemeinschaftsunternehmen im Kavernenfeld Epe beantragte im November 2005 die jetzige Trianel Gasspeicher Epe GmbH (vormals Trianel Gasspeichergesellschaft Epe mbH) die Errichtung und den Betrieb eines eigenständigen Erdgaskavernenspeichers mit 3 Kavernen. Gesellschafter der für den Betrieb verantwortlichen Trianel Gasspeicher Epe GmbH sind neben der Trianel European Energy Trading GmbH 13 kommunale Energieversorgungsunternehmen.

Bevor im Oktober 2008 der kommerzielle Betrieb des Speichers offiziell aufgenommen wurde, hatte die Trianel schon die Erweiterung des Speichers um eine weitere Kaverne im August 2008 sowie im Dezember 2008 die Erweiterung der Station beantragt. Der Ausbau des Speichers ist zurzeit in Gange.

Im Endausbau verfügt der Trianel-Speicher mit vier H-Gas-Kavernen über ein Arbeitsgasvolumen von 238 Mio. Nm^3 und ist in der Lage, 300.000 Nm^3 pro Stunde ein- und 600.000 Nm^3 pro Stunde auszuspeichern.

Die Ferngasversorgung erfolgt über zwei Ferngasleitungsanschlüsse an das H-Gas-Netz der RWE sowie einen Anschluss an das H-Gas-Netz der E.ON.

- **Eneco Gasspeicher B.V.**

Als drittes und auch drittgrößtes Energieversorgungsunternehmen in den Niederlanden folgte die Eneco Gasspeicher B.V. dem Beispiel der Essent und der NUON und beantragte, trotz aller Bemühungen der Behörden, eine Zusammenarbeit mit bestehenden Speicherbetreibern einzugehen, im Februar 2008 die Errichtung und den Betrieb eines eigenständigen Erdgaskavernenspeichers. Die Eneco Gasspeicher B.V. ist eine 100 %ige Tochter der Eneco Holding N.V., die aus einem Zusammenschluss von zwölf regionalen Energieversorgungsunternehmen entstand. Größte Einzelaktionäre sind Städte wie Rotterdam, Den Haag und Dordrecht.

In einem Speicherhohlraum von insgesamt ca. 950.000 m^3 können 190 Mio. Nm^3 Gas eingelagert werden. Der Kavernenbetrieb ist mit ca. 100 Mio. Nm^3 Arbeitsgas bei einer Einspeicherleistung von max. 400.000 Nm^3/h und einer Ausspeicherleistung von max. 600.000 Nm^3 geplant.

- **KGE – Kommunale Gasspeichergesellschaft Epe mbH & Co. KG**

Im März 2008 beantragte die KGE (Kommunale Gasspeichergesellschaft Epe) als Zusammenschluss der Energie- und Wasserversorgung Mittleres Ruhrgebiet (Ewer),

– der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung (DEW21),
– der Stadtwerke Essen und
– der Gelsenwasser AG,

einen neuen Erdgaskavernenspeicher. Hierbei schlug die KGE einen neuen Weg ein, verzichtete auf eine eigenständige Verdichter- und Entnahmestation und ging eine Kooperation mit der E.ON Gas Storage (EGS) ein.

In einem Speicherhohlraum von insgesamt ca. 1,25 Mio. m^3 können 250 Mio. Nm^3 H-Gas eingelagert werden. Der Kavernenbetrieb ist mit ca. 180 Mio. Nm^3 Arbeitsgas bei einer Einspeicherleistung von max. 150.000 Nm^3/h und einer Ausspeicherleistung von max. 400.000 Nm^3 geplant.

7541014/10787806875Biblio

- **CGS – Continental Gas Storage**

Die CGS Deutschland GmbH ist eine im Jahr 2008 gegründete 100 %ige Tochtergesellschaft der niederländischen Continental Gas Storage B. V. mit Sitz in Berlin. Unternehmensgegenstand sind die Errichtung und der Betrieb von Einrichtungen zur Speicherung von Erdgas. Ziel der CGS ist es, Kapazitäten für die Speicherung von Erdgas zu schaffen und diese insbesondere kleineren Gasversorgungsunternehmen auf vertraglicher Grundlage zur Verfügung zu stellen.

Die CGS beabsichtigt, eine eigene Verdichter- und Entnahmestation zu errichten und drei zur Gasspeicherung umgerüstete Kavernen als H- oder L-Gas-Speicher zu betreiben.

Die **EnBW – Energie Baden Württemberg AG** plant die Errichtung und den Betrieb eines eigenständigen Erdgaskavernenspeichers.

Auch für dieses Projekt konnte bisher kein gemeinschaftlicher Speicherbetrieb mit einem im Feld ansässigen Speicherbetreiber abgestimmt werden, so dass eine eigene Verdichter- und Entnahmestation geplant ist.

8.5 Übersicht über die Kavernenspeicher in Epe

Tab. 1-N: Übersicht über die Speichervolumina Stand: 2009

Kavernenbetreiber	Kavernenanzahl Stoff (geplant)	Gesamtgasvolumen [Mio.m³ (Vn)]	Arbeitsgasvolumen [Mio.m³ (Vn)]
E.on Gas Storage	HGas 31, LGas 8	2.400	1.600
RWE	HGas 10	625	473
Essent	LGas 6 (4)	433 (653)	337 (503)
NUON	LGas 4 (3)	285 (439)	218 (332)
Trianel	HGas 4	305	238
KGE	HGas (4)	250	180
Eneco	LGas (2)	190	100
CGS	HGas, LGas (3)	(450)	(149)
EnBW	HGas, LGas (3)	(215)	
SGW	Öl 5		

7541014/10787806875Biblio

Tab. 2-H: Übersicht über die Speicherleistung [SGW]

Kavernenbetreiber	Einspeicherleistung (geplant) [Nm³/h]	Ausspeicherleistung (geplant) [Nm³/h]	Feldleitungs-länge [km]
E.On Gas Storage	700.000 (1.200.000)	1.750.000 (3.500.000)H 1.200.000 (1.800.000)L	20
RWE	170.000	520.000	3,9
Essent	200.000 (400.000)	400.000 (800.000)	7 (2)
NUON	60.000 (360.000)	750.000 (1.000.000)	5,8 (10)
Trianel	300.000	600.000	5,6
KGE	(150.000)	(400.000)	3,3
Eneco	(400.000)	(600.000)	2,7
CGS	(200.000)	(500.000)	6,7
EnBW	(250.000–300.000)	(350.000–400.000)	1,7

7541014/10787806875Biblio

H Untertagespeicherung von CO_2

1 CCS – Begriffserklärung

Der englische Begriff **Carbon Capture and Storage (CCS)** bezeichnet die Abscheidung von CO_2 aus industriellen, insbesondere Kraftwerksprozessen und dessen sichere, langfristige Speicherung.

Die Systemkette ist grundsätzlich dreistufig. Für die Elektrizitätserzeugung umfasst sie die Anlage selbst, in der das CO_2 je nach Technologie vor oder nach dem Verbrennungsprozess abgeschieden wird. Von der Anlage aus erfolgt der Transport – bei größeren Volumen via Pipeline oder Schiff – zum Speicher. Dieser wird in der Regel eine tiefe geologische Formation sein, die den sicheren Einschluss über einen Zeitraum von mindestens 1.000 Jahren garantiert.

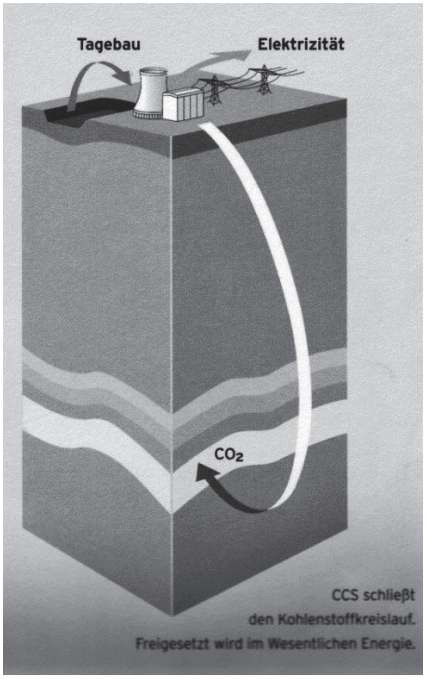


Abb. H-1: CO_2-Kreislauf [Vattenfall] Infrage kommen hierfür in Mitteleuropa Erdgas- und Erdöllagerstätten, nicht abgebaute Kohleflöze, vor allem aber poröse, salzwasserführende, tiefe Gesteinsschichten, sogenannte Saline. Aquifere [V39]

CCS als geschlossene Technologiekette zur Reduktion von Treibhausgasen ist neu. Für die einzelnen Glieder dieser Kette trifft dies jedoch nicht zu. Sie sind seit Jahrzehnten bekannt und etabliert.

- Die Abscheidung von Kohlendioxid ist eine gängige Technologie, die in zahlreichen industriellen Anwendungen, etwa in der chemischen Industrie, aber auch in der Erdgasaufbereitung praktiziert wird.
- Der Transport von CO_2 ist ebenfalls kein technisches Novum, sondern kommerziell ausgereifte Praxis.
- Auch die Einspeisung von Kohlendioxid in tiefe geologische Formationen ist ein von der Erdgas- und Erdölindustrie technisch beherrschter Prozess.

7541014/10787806875Biblio

Die neue Qualität – und die eigentliche Herausforderung – bei CCS liegt in der Maßstabssteigerung um den Faktor 20–50 zur Anwendung für kommerziell betriebene Kraftwerke sowie in der Prozess-Integration und -Optimierung. So fallen beispielsweise in einem 1.000-MW-Braunkohlekraftwerk, das im Grundlastbetrieb eingesetzt wird, jährlich circa 7,5 Mio. t CO_2 an.

Bei der Abscheidung werden effektive CO_2-Rückhaltegrade von mindestens 85 % angestrebt. Die technologisch mögliche Abscheidung liegt heute bereits bei rund 95 %. Der effektive Rückhaltegrad ergibt sich aus dem Vergleich mit konventioneller Kraftwerkstechnologie und resultiert vor allem aus dem höheren Brennstoffbedarf der CCS-Technologie.

2 Verfahrensanwendung

Die Abscheidung von Kohlendioxid ist eine gängige Technologie, die in zahlreichen industriellen Anwendungen, etwa in der chemischen Industrie, aber auch in der Erdgasaufbereitung praktiziert wird. Die Einspeisung von Kohlendioxid in tiefe geologische Formationen ist ein von der Erdgas- und Erdölindustrie technisch beherrschter Prozess. Die neue Qualität – und die eigentliche Herausforderung – bei CCS liegt in der Maßstabssteigerung um den Faktor 20–50 zur Anwendung für kommerziell betriebene Kraftwerke sowie in der Prozess-Integration und Optimierung.

So fallen beispielsweise in einem 1.000 MW-Braunkohlekraftwerk, das im Grundlastbetrieb eingesetzt wird, jährlich circa 7,5 Mio. t CO_2 an. Bei der Abscheidung werden effektive CO_2-Rückhaltegrade von mindestens 85 % angestrebt. Die technologisch mögliche Abscheidung liegt heute bereits bei rund 95 %. Der effektive Rückhaltegrad ergibt sich aus dem Vergleich mit konventioneller Kraftwerkstechnologie und resultiert vor allem aus dem höheren Brennstoffbedarf der CCS-Technologie.

Die Einspeisung von CO_2 ist eine bereits kommerziell praktizierte Technik in der Erdgas- und Erdölindustrie. In der Öffentlichkeit wenig bekannt und bislang auch weitgehend unabhängig von klimapolitischen Erwägungen wird CO_2 seit Jahrzehnten zur Steigerung der Ausbeute von Ölfeldern, aber auch zur Reinigung von „saurem“ Erdgas, in tiefe, poröse Gesteinsschichten eingebracht. Als Mittel zur „Enhanced Oil Recovery“ (EOR) sind allein in den USA inzwischen mehr als 500 Mio. t CO_2 verpresst worden.

3 Gefährlichkeit von CO_2

CO_2 ist kein Gift. Nach geltendem deutschem und internationalem Recht ist Kohlendioxid auch kein Abfall- oder Schadstoff. Wir atmen es täglich ein und geben es mit der Atemluft in höheren Konzentrationen wieder ab – gewissermaßen in Umkehrung der pflanzlichen Photosynthese.

Gefährdungen sind nur dann möglich, wenn das CO_2 aufgrund seines höheren Gewichts den für uns lebensnotwendigen Sauerstoff verdrängt. Dem wird bei der Speicherung durch entsprechende Überwachung und technische Sicherungssysteme entgegengewirkt. Tiefengespeichertes CO_2 kann aus einem verschlossenen Bohrloch nicht eruptiv austreten, wie etwa aus einer natürlichen unterseeischen Gasblase.

7541014/10787806875Biblio

Kohlendioxid ist ein bestens bekanntes und intensiv erforschtes Gas, dessen herausragendste Eigenschaft seine Reaktionsträgheit ist. Es ist weder brennbar noch explosiv und wird daher bei Bränden als Löschmittel genutzt. Die von ihm ausgehenden potenziellen Risiken sind vertraut und gelten als beherrschbar, nicht zuletzt auch aus der Erfahrung mit natürlich vorkommenden und seit Jahrzehnten etwa durch die Lebensmittelindustrie genutzten CO_2-Lagerstätten.

Die Risiken der CO_2-Speicherung sollten daher ins Verhältnis gesetzt werden zu den Risiken der Nicht-Speicherung: dem ungebremsten Eintrag dieses Treibhausgases in die Atmosphäre.

4 CO_2-Speicherung

Der langfristig sichere Einschluss wird durch die geologischen Bedingungen des Speichers und seiner Deckschichten bestimmt. Als potenziell geeignete Speicher gelten vor allem weitgehend ausgeförderte Erdgas- und Erdölfelder sowie tiefe, salzwasserführende Schichten, sogenannte saline Aquifere, in einer Tiefe von mehr als 800 Metern.

Grundsätzlich sind nur solche Formationen geeignet, die natürliche geologische Barrieren, in der Regel mehrere Deckschichten aus zum Beispiel Ton oder Tonsteinen, über dem porösen Wirtsgestein aufweisen.

Für jahrmillionen alte Erdgas- und Erdölfelder kann grundsätzlich von einem sicheren Langzeitabschluss ausgegangen werden, sofern die Bohrungen fachgerecht und dauerhaft versiegelt werden. Der Bohrlochsicherheit wird daher während der Einspeisungs- und Versiegelungsphase die Hauptaufmerksamkeit gelten. Gegebenenfalls sind auch ältere, bereits verfüllte Bohrlöcher zu sichern und nachzuverwahren.

Die Speicherung in salinen Aquiferen folgt demselben Grundprinzip, wobei hier die Ausbreitung des CO_2 vor allem durch die Form der „Sattelfalle“ bestimmt wird. So wird die häufig anzutreffende dreidimensionale Struktur bezeichnet, bei der sich zum Beispiel auch Erdöl im Scheitel einer nach oben aufgewölbten porösen Schicht sammelt, die nach oben durch undurchlässigere Deckformationen abgeschlossen ist.

Eine solche „Falle“ verhindert die horizontale wie vertikale Ausbreitung. Aber auch spiegelbildliche synklinale, also nach unten gewölbte, Strukturen bieten sich grundsätzlich als Speicher an und werden auf ihre Eignung als potenzielle Speicher untersucht. Die eigentliche Speicherung des CO_2 in salinen Aquiferen verläuft in einem mehrschichtigen Prozess. Das ursprüngliche Formationswasser wird beim Verpressen zunächst unmittelbar verdrängt.

Vier Prozesse führen dann zur dauerhaften Fixierung.

- Teile des eingebrachten CO_2 werden sich zum oberen Deckgestein des Aquifers hin ausbreiten, das die Dichtigkeit der Gesamtstruktur bestimmt.
- Die porösen Gesteinsstrukturen des Aquifers fixieren mit ihren Kapillarkräften CO_2 vergleichbar mit der Wasseraufnahme eines Schwammes.
- Teile des CO_2 werden im Wasser gelöst und dauerhaft gebunden. Da CO_2-reiches Wasser schwerer ist als CO_2-armes Wasser, sinkt es in tiefere Schichten.
- Während der Speicherung wird CO_2 zunehmend auch mineralisch gebunden.

7541014/10787806875Biblio

5 Speicherungsforschung in Deutschland

Ein Pilotprojekt erforscht im brandenburgischen Ketzin die erste CO_2-Speicherung auf dem europäischen Festland. Koordiniert wird das Projekt vom **GeoForschungs-Zentrum Potsdam**.

Der Startschuss zur ersten CO_2-Speicherung auf dem europäischen Festland erfolgte am 13. Juni 2007 im brandenburgischen Ketzin. In Anwesenheit des EU-Kommissars für Energie, Andris Piebalgs, wurde das Forschungsprojekt eingeweiht.

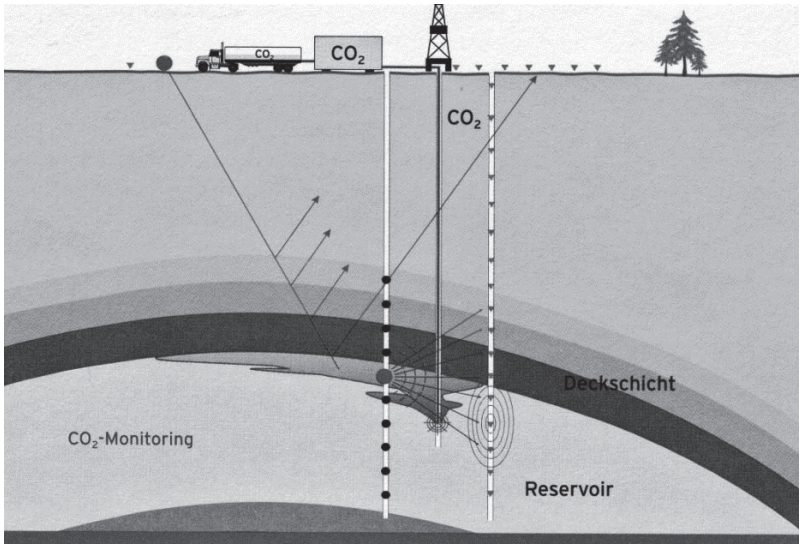


Abb. H-2: Prinzip der unterirdischen Speicherung von CO_2 und messtechnische Überwachung [V39]

Ein Jahr später, am 30. Juni 2008, ging die Anlage mit der Verpressung der ersten Tonne CO_2 in Betrieb. Rund 60.000 t lebensmittelreines CO_2 sollen über einen Zeitraum von drei Jahren in einen 700 m bis 800 m tief gelegenen Aquifer gespeichert werden.

Das Projekt wird vom GeoForschungs-Zentrum Potsdam koordiniert und von der EU im Rahmen des Forschungsprojektes CO_2SINK gefördert. 14 Institutionen aus acht europäischen Ländern sind daran beteiligt.

Auch Vattenfall zählt zu den industriellen Forschungspartnern. Ziel des Projektes ist vor allem die Weiterentwicklung von Monitoring- und Messverfahren sowie ein vertieftes Verständnis der im Untergrund ablaufenden Prozesse bei der CO_2-Speicherung.

6 Beispiel aus Norwegen

Aus dem bis zu 3.000 m unter dem Meeresgrund liegenden **Sleipner-Feld** wird unerwünschtes CO_2 aus dem geförderten Erdgas extrahiert und seit 1996 in den darüber liegenden Utsira-Aquifer verpresst.

7541014/10787806875Biblio

Auslöser für dieses Pionierprojekt war eine Gesetzgebung der norwegischen Regierung unter Gro Harlem Brundtland aus dem Jahr 1992, die eine Abgabe für emittiertes CO_2 in Höhe von rund 42 \$/t CO_2 vorsah.

Derzeit liegt diese CO_2-Pönale bei rund 60 \$/t CO_2. Vor die Wahl gestellt, diese Klimaabgabe zu entrichten oder eine technische Innovation voranzutreiben, um das CO_2 nicht mehr in die Atmosphäre zu entlassen, entschied sich **Statoil** für die zweite Option.

Das internationale geologische Monitoring hat bislang alte computergestützte Simulationen bestätigt: Die sichere Speicherung der eingebrachten CO_2-Volumen ist mit Hilfe modernster Seismik verlässlich nachweisbar. Sleipner ist der bislang überzeugendste Beleg für die Machbarkeit einer kontrollierten und langfristig sicheren Speicherung von CO_2 in salinen Aquiferen.

Bisher wurden hier mehr als 11 Mio. t CO_2 gespeichert.

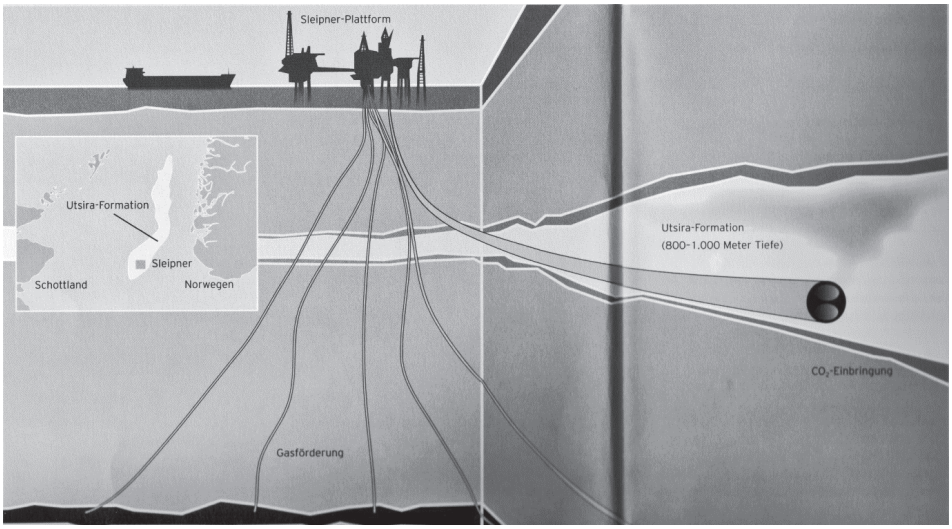


Abb. H-3:
Schema des CO_2-Speicherprojekts im norwegischen Erdöl-Revier [V39]

7 ERG-Pilotprojekt Altmark

Neben der Speicherung steht hier ein weiterer Aspekt im Zentrum: Durch die Nutzung von CO_2 als Förderhilfsmittel kann die Ausbeute aus dem Reservoir erhöht werden. Das injizierte CO_2 verdrängt das noch vorhandene Erdöl beziehungsweise Erdgas in Richtung der Förderbohrung. So ist es möglich, Ressourcen zu erschließen, die ansonsten kommerziell nicht mehr verfügbar gemacht werden können.

Dieses Verfahren wird als **Enhanced Gas Recovery (EGR)** beziehungsweise „Enhanced Oil Recovery“ (EOR) bezeichnet. Es ist weltweit in unterschiedlichen Projekten erprobt und wird vor allem in der Mineralölwirtschaft teilweise seit Jahrzehnten industriell angewandt.

7541014/10787806875Biblio

Vattenfall und Gaz de France haben Ende 2007 einen Kooperationsvertrag für ein solches EGR-Pilotprojekt geschlossen. Von Anfang 2009 an wird in einer abgeschlossenen Teilstruktur des Erdgasfeldes „Altmark“ in Sachsen-Anhalt das EGR-Verfahren getestet.

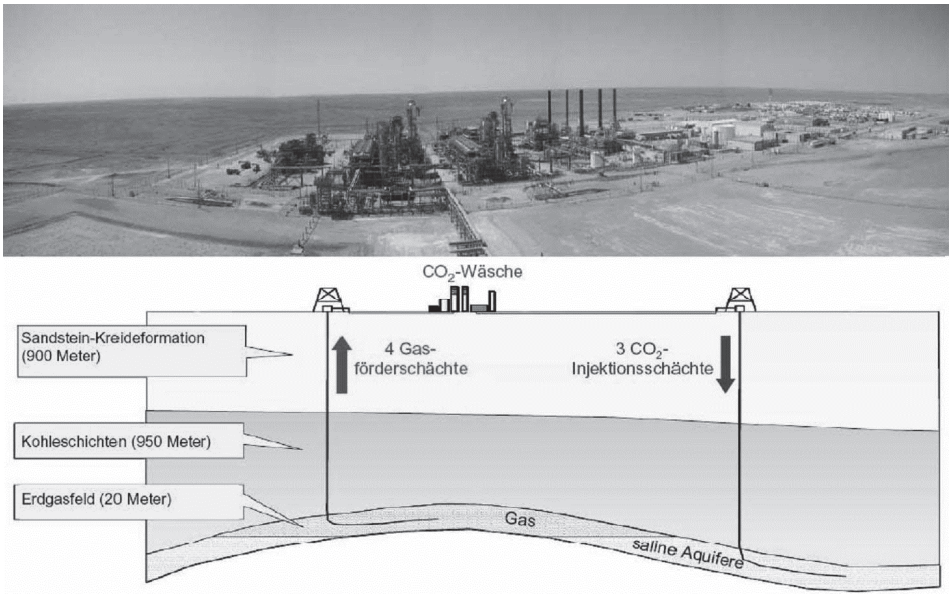


Abb. H-4: Einpressen von CO_2 zur Unterstützung der Förderung von Erdöl und Erdgas [V39]

Die Altmark ist die zweitgrößte Erdgasstruktur auf dem europäischen Festland. Rund vier Fünftel des Gases wurden in den vergangenen Jahrzehnten ausgefördert. Die verbleibende Restmenge stellt weiterhin einen erheblichen Wirtschaftsfaktor dar, ist aber unter konventionellen Förderbedingungen nicht mehr wirtschaftlich zu erschließen.

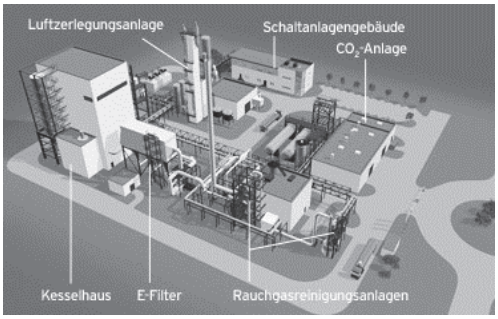


Abb. H-5: ERG-Versuchsanlage in Altmark [V39]

In einem ersten Schritt sollen nun rund 100.000 t CO_2 aus der CCS-Pilotanlage in Schwarze Pumpe in die Lagerstätte verpresst werden. Ziel ist es, durch die Injektion des Kohlendioxids die Erdgasförderung nachhaltig zu verlängern. Damit könnten die Kooperationspartner entscheidend zur weiteren Wertschöpfung in der ansonsten strukturschwachen Altmark beitragen. Das Speichervolumen der gesamten Erdgaslagerstätte liegt bei max. 500 Mio. m^3. Dies würde ausreichen, um die gesamte Menge an abgeschiedenem CO_2 eines Großkraftwerkes über dessen komplette Laufzeit aufzunehmen.

7541014/10787806875Biblio

Abb. H-6: Pilotanlage „Schwarze Pumpe“ [V39]

Im Rahmen dieses EGR-Pilotprojektes sollen darüber hinaus weitere Fragen hinsichtlich der langzeitsicheren Speicherung des CO_2 in Erdgasfeldern beantwortet werden. Ein entscheidender Aspekt bei der Speicherung von Kohlendioxid ist der Druck, der herrschen muss, um das Klimagas in flüssigkeitsähnlichem Zustand zu halten. Dieser Aggregatzustand gewährleistet das geringste Volumen und dadurch am meisten Platz für komprimiertes Kohlendioxid im potenziellen Speicher.

Die erforderlichen geologischen Druckverhältnisse sind ab einer Tiefe von etwa 800 m gewährleistet. Die Erdgaslagerstätte in der Altmark liegt rund 3.500 m tief und besteht in ihrer Struktur aus porösem Sandstein. Darüber liegende, bis zu 500 m mächtige gasundurchlässige Salzsteinschichten haben das Erdgas über mehrere Hundert Millionen Jahre sicher unter der Erdoberfläche gehalten.

Von der Pilotanlage in Schwarze Pumpe aus gelangt das flüssige und tiefkalte CO_2 in speziell angefertigten Tanklastzügen zur Injektionsanlage.
Um die anfallende Menge CO_2 über die 350 km lange Strecke zu transportieren, werden acht bis zehn Tanklastzüge pro Tag den Weg von der Lausitz in die Altmark zurücklegen. Der Transport des CO_2 per Lkw ist allerdings auf die Testphase beschränkt. Für die zukünftige großtechnische Umsetzung von CCS wird der Einsatz von Pipelines zu den unterschiedlichen Lagerstätten erforderlich sein.

Die Unternehmen Vattenfall und Gaz de France leisten mit dem Pilotprojekt einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung klimafreundlicher Kraftwerkstechnologien. Dieses Engagement wird auch seitens der Politik honoriert: Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Pilotprojekt im Rahmen der „Hightech-Strategie für den Klimaschutz“. Das GeoForschungs-Zentrum Potsdam begleitet die Industrieallianz von wissenschaftlicher Seite.

7541014/10787806875Biblio

8 Weitere Forschungen und Entwicklungen

Neben den im Folgenden vorgestellten Verfahren werden weltweit auch weitere Technologien erforscht. Unter diesen erscheint die Weiterentwicklung von Spezialmembranen, vor allem aber das „Chemical Looping“ viel versprechend. Bei ihm wird der Brennstoff in einem geschlossenen Kreislauf mit Metalloxiden anstatt mit Außenluft verbrannt.

Dies mag für die praktische Anwendung der nächsten zehn Jahre noch ohne Bedeutung sein, aber es zeigt bereits heute, dass der Forschungsansatz „CO_2-freies“ Kraftwerk noch viele Innovationen hervorbringen kann.

8.1 Postcombustion – Rauchgaswäsche

Im **Postcombustion-Prozess** wird das CO_2 mithilfe einer chemischen Lösung aus dem Rauchgas des konventionellen Kraftwerkes ausgewaschen. Dies geschieht in großvolumigen Absorbern, in denen das Abgas durch eine Aminlösung geleitet wird. Anschließend wird das in der Lösung gebundene CO_2 durch Energiezufuhr aus dem Lösungsmittel abgeschieden, verdichtet und gespeichert.

Die Postcombustion-Technik wird vor allem im Zusammenhang mit der Nachrüstung von bestehenden Kraftwerken diskutiert, da sie als nachgelagerte „Reinigungsstufe“ nur relativ geringe Eingriffe in den eigentlichen Kraftwerksprozess erfordert. Sie ist für alle Brennstoffe und Kraftwerkstypen geeignet.
Grundsätzlich gilt sie als eine ausgereifte Technologie, die jedoch erst noch für den Kraftwerksbereich weiterzuentwickeln ist und noch erhebliche Optimierungspotenziale auf der Effizienz- und Kostenseite aufweist.

Seit 2006 läuft eine Postcombustion-Testanlage im dänischen Esbjerg, mit der diese Optimierung vorangetrieben werden soll.

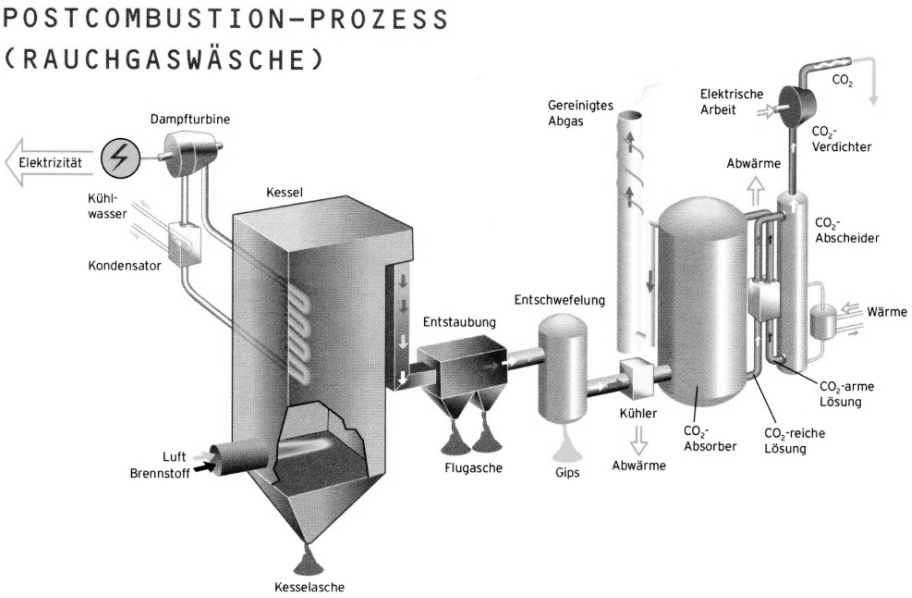


Abb. H-7: Rauchgaswäsche [V9]

7541014/10787806875Biblio

8.2 Precombustion – Kohlevergasung

Auch beim **Precombustion-Prozess** – der Kohlevergasung – handelt es sich um eine grundsätzlich beherrschte, wenn auch komplexe und investitionsintensive Technologie. Bei ihr können grundsätzlich alle Energieträger eingesetzt werden.

Der Brennstoff wird hierbei zunächst in einem Vergaser in ein Brenngas umgewandelt, um nach einem mehrstufigen Reinigungsprozess die hochkonzentrierten Stoffströme Kohlenmonoxid und Wasserstoff zu gewinnen. Das Kohlenmonoxid wird mit Wasserdampf zu CO_2 oxidiert, abgeschieden und verdichtet. Der Wasserstoff wird dann als hochwertiger Brennstoff in einer Gasturbine genutzt.

Dieses Verfahren wird auch als Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) bezeichnet und bereits in einer Reihe von Anlagen in Europa und den USA angewandt, allerdings ohne die CO_2-Abscheide- und -Speicherkomponente.

Das IGCC-Verfahren findet auch unter dem Aspekt der Gewinnung von Wasserstoff und der weiteren stofflichen Nutzung der zu gewinnenden Nebenprodukte besonderes Interesse. Dies spielt in der Petrochemie, für dezentrale Energieanwendungen und in der Mobilitätsdiskussion eine wachsende Rolle.

Entwicklungsbedarf besteht vor allem beim Vergasungsprozess, auch muss die mit einem hohen Wasserstoffanteil betriebene Gasturbine erst noch entwickelt und erprobt werden. Dabei wird es auch um eine erhebliche Steigerung des Wirkungsgrades gehen, der bei den heute existierenden IGCC-Anlagen deutlich unter 40 % liegt.

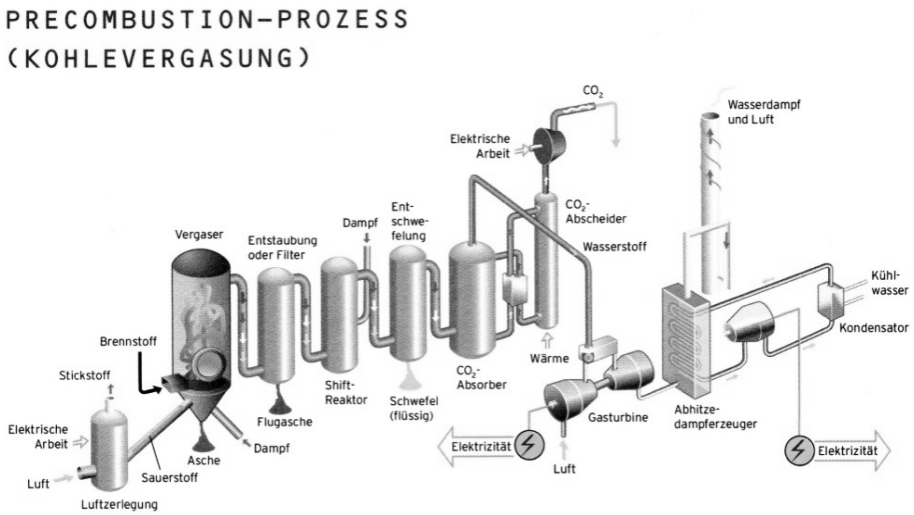


Abb. H-8: Das Kohlevergasungs-Verfahren zur CO_2-Abscheidung [V39]

8.3 Oxyfuel-Verfahren

Beim **Oxyfuel-Verfahren** wird der Brennstoff – Kohle oder Biomasse – nicht mit normaler Umgebungsluft verbrannt, sondern mit einem Gemisch aus reinem Sauerstoff und wieder in den Kessel zurückgeführtem – rezirkuliertem – Rauchgas. Das rezirkulierende

7541014/10787806875Biblio

Rauchgas dient dabei zur Kühlung, da die Verbrennung von Kohlenstoff mit reinem Sauerstoff zu Temperaturen von weit über 2.000 °C führen würde.

Am Ende des ansonsten mit dem konventionellen Kraftwerksbetrieb vergleichbaren Prozesses bleiben nach Entstaubung und Entschwefelung überwiegend hochkonzentriertes CO_2 und Wasserdampf übrig. Durch Auskondensieren des Wasserdampfes und Abtrennung der restlichen Begleitstoffe kann das Abgas dann als hochkonzentriertes CO_2 in fast reiner Form verdichtet und zur weiteren Nutzung beziehungsweise Speicherung transportiert werden. Der technische und wirtschaftliche Optimierungsbedarf betrifft weitgehend ausgereifte Komponenten wie die Luftzerlegungsanlage zur Erzeugung des Sauerstoffs für die Verbrennung sowie mehrstufige Verdichter zur Kompression des Kohlendioxids

Insgesamt verspricht Oxyfuel ein hohes CO_2-Abscheidungs- und Wirkungsgradpotenzial.

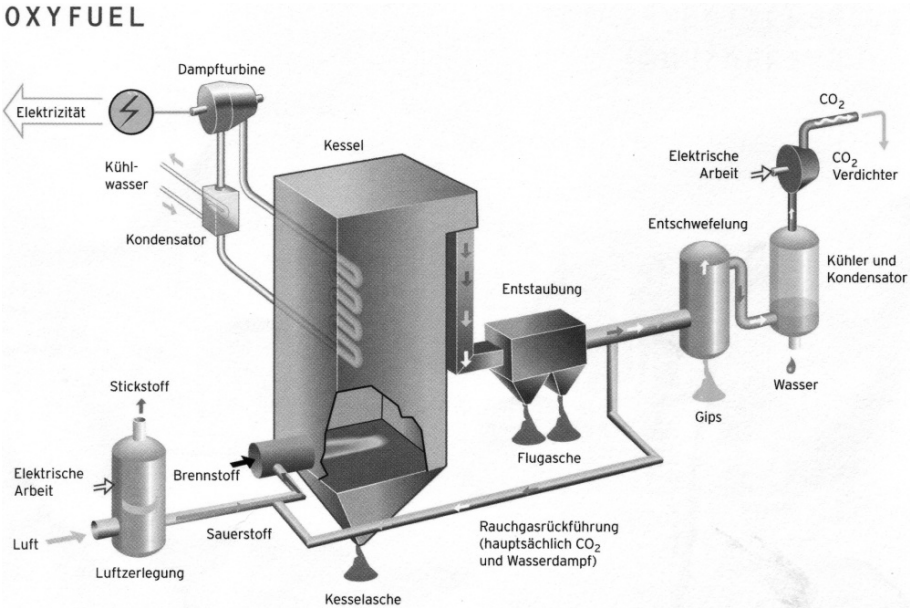


Abb. H-9: Das OXYFUEL-Verfahren [V39]

9 Rolle der Politik

Der Erfolg von CCS ist nicht allein eine Frage von Wissenschaft und Industrie. Auch die Politik steht dabei in einer besonderen Verantwortung, da nur sie den Rechtsrahmen für den erfolgreichen Einstieg in diese neue Technologie setzen kann. Brüssel und Berlin haben dies erkannt. Die EU-Kommission hat im Januar 2008 einen Richtlinienentwurf zu CCS vorgelegt, dessen Beratungen im Parlament und Rat bis zum Jahresende erfolgreich abgeschlossen werden sollen. Die Bundesregierung hat sich bereits im Sommer 2007 zu CCS bekannt und die rasche Herstellung geeigneter rechtlicher Rahmenbedingungen für die Pilot- und Demonstrationsanlagen zugesichert.

7541014/10787806875Biblio

10 Beispiel Australien

Die Bedeutung von CCS ist noch viel zu wenig bekannt. Im Gegensatz zu Deutschland, wo die Untertagelagerung von CO_2 noch sehr zurückhaltend verfolgt wird, werden in Australien mehrere beispielhafte Großprojekte betrieben.

Australien realisiert die CCS-Entwicklung im Rahmen einiger internationaler Kooperationen. An diesen ist Prof. Dr. Paul Feron maßgeblich beteiligt.

10.1 Näheres zu den Forschungsarbeiten in Australien

Professor Dr. Feron erläutert in einem Beitrag einer Informationskampagne des DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) u. a.:

„Ich habe in Europa einige Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur CO_2-Abscheidung geleitet, vor allem sogenannte „Postcombustion Carbon Capture"-Verfahren (PCC), bei denen das Kohlendioxid nach der Verbrennung abgetrennt wird. Die CSIRO sprach mich auf einer Vortragsreise in Australien an, weil sie ein solches Programm aufbauen wollten.

Zudem boten sie mir die Möglichkeit, hervorragende Ansätze und neue Forschungsrichtungen auszuloten, mit dem Ziel, die Energieverluste bei der CO_2-Abscheidung zu minimieren und die CO_2-Speicherung mit einzubeziehen.

Solch komplexe Ideen in einem Zeitrahmen von fünf bis zehn Jahren auf den Weg zu bringen, war bei meinen früheren angewandten Forschungsprojekten schwierig. Diese Kombination von innovativer PCC-Forschung und -Entwicklung unter australischen Bedingungen war also eine Gelegenheit, die ich nicht ablehnen konnte.

Nach Erdöl ist Kohle, gemessen am Verbrauch, der zweitwichtigste Energierohstoff der Welt, als Lieferant für elektrischen Strom sogar der wichtigste. Wie in vielen anderen Ländern spielt sie auch in Australien eine zentrale Rolle. Etwa 80 % unseres Stroms werden in Kohlekraftwerken erzeugt, 60 % aus Steinkohle, 20 % aus Braunkohle.

Nur im südöstlich gelegenen Bundesstaat Victoria mit der Hauptstadt Melbourne überwiegt der Braunkohleanteil. Dort liefert Braunkohle 94 % des Stroms und die Reserven reichen für Jahrhunderte.

Insgesamt sind unsere Kohlevorkommen derart groß und meist im Tagebau so wirtschaftlich abbaubar, dass Australien inzwischen jährlich über 250 Millionen Tonnen hochwertige Kohle exportiert, vor allem nach Japan, Korea, Indien und Taiwan, aber auch nach Europa.

An diesen Fakten lässt sich ablesen, welch enormen Beitrag die Kohle für die Versorgungssicherheit und die Handelsbilanz Australiens leistet. Dementsprechend konsequent investiert das Land in emissionsarme und damit zukunftsfähige Technologien.

Denn gerade Australien leidet aufgrund seiner geografischen Lage bereits ernsthaft unter negativen Folgen der Klimaerwärmung. Seit bald zehn Jahren beeinträchtigen Dürreperioden beispielsweise die Agrarwirtschaft. Allerdings hat eine Studie unserer staatlichen Forschungsanstalt „Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation" (CSIRO) gezeigt, dass die australische Bevölkerung zwar sehr über den Klimawandel besorgt ist, jedoch insbesondere von den wichtigen Konzepten zur

7541014/10787806875Biblio

Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid noch viel zu wenig weiß. Ein Umfrageergebnis, das in Europa kaum besser ausfallen dürfte.

Alle Menschen auch über diese „Carbon Capture and Storage"-Techniken (CCS) zu informieren und mit wissenschaftlichen Argumenten für eine breite Akzeptanz zu werben, ist eine weltweit dringende Aufgabe.

Die Wissenschaft muss jetzt beispielsweise nachweisen, dass die Einspeicherung von CO_2 in Millionen Jahre alten, ausgeförderten Gaslagerstätten oder in salinen Aquiferen so risikoarm ist, wie die Geologen es erwarten.

Das erfordert freilich Forschung und auch staatliche Unterstützung in Form von Rahmengesetzen für Pilotanlagen.

Australien fördert die CCS-Forschung schon länger über die CSIRO, das CO_2-Cooperative Research Centre (CO_2CRC), die „National Low Emissions Coal Initiative" (NLECI) sowie an Universitäten. Die NLECI stellt 75 Mio. australische Dollar für ein landesweites „Low emission coal"-Forschungsprogramm bereit und weitere 150 Mio. fließen in drei Demonstrationsprojekte, bei denen das bei der Verbrennung anfallende CO_2 abgeschieden wird. Zusätzlich stehen 50 Mio. zur Verfügung, um mögliche CO_2-Speicherstätten zu kartieren sowie einen Plan für die notwendige Transportinfrastruktur zu erstellen. Die CO_2-Speicherung selbst wird im „Otway-Projekt" untersucht, wo bereits 65.000 t CO_2 in eine ehemalige Gaslagerstätte gepresst worden sind.

Ab 2014 soll dann im Zuge der Erschließung des Erdgasfelds „Gorgon" die weltweit größte kommerzielle Demonstrationsanlage für CO_2-Speicherung in Aquiferen entstehen.

Damit alle emissionsarmen Techniken beschleunigt entwickelt werden können und etwa CCS wie vorgesehen 2020 kommerziell zur Verfügung steht, hat Australien Teile der Entwicklung und Demonstration jüngst in der „Clean Energy Initiative" gebündelt.

An die 4,5 Mrd. australische Dollar stehen jetzt bereit, um die Solarenergie und andere erneuerbare Energien sowie die CCS-Techniken voranzubringen.

Zudem vernetzt und unterstützt das ebenfalls dieses Jahr gegründete „Global CCS-Institute" industrielle CCS-Projekte weltweit. Da unser Wohlstand noch für längere Zeit auf der Nutzung der verfügbaren und kostengünstigen fossilen Energien basieren wird, gehört neben dem Ausbau erneuerbarer Energien und Effizienzsteigerung CCS zwingend ins Portfolio der Techniken zur Emissionsminderung. Immerhin setzen weltweit etwa 2.000 Kohlekraftwerke jährlich insgesamt an die 8 Gigatonnen CO_2 frei.

Man kann sie nachrüsten und neue so anlegen, dass die CO_2-Abscheidung später möglich ist. Laut aktuellen Schätzungen sind die CCS-Zusatzkosten durchaus vergleichbar mit den Kosten für andere Minderungstechnologien. Für uns in Australien liegt der ökonomische Nutzen ohnehin auf der Hand: Wir können die reichlich verfügbare Kohle nachhaltig zur Stromerzeugung verwenden oder sie exportieren. Zumindest der erste dieser beiden Vorteile trifft offensichtlich auch für Deutschland zu."

7541014/10787806875Biblio

I Geothermie

1 Bedeutung der Geothermie

Der Begriff **Geothermie** stammt aus dem Griechischen und bedeutet Erdwärme. Die Geothermie oder Erdwärme geht auf verschiedene Ursachen zurück. Sie wird zum einen ständig gespeist durch die Energie, die beim natürlichen Zerfall radioaktiver Isotope in der Erde frei wird. Zum anderen ist in der Erde noch immer Energie gespeichert, die bei der Erdentstehung freigesetzt wurde bzw. schon vor der Erdentstehung vorhanden war. Da die in der Erde gespeicherte Energie nur sehr langsam an der Erdoberfläche freigesetzt wird, wird diese Energiequelle noch sehr lange zur Verfügung stehen. Allerdings ist die Erde im Innern heißer als an der Oberfläche bzw. der äußeren Kruste, so dass die Nutzung der Energie in der Regel mit einem z. T. hohen technischen Aufwand verbunden ist.

Die Temperaturzunahme von der Erdoberfläche zum Erdkern – der sog. geothermische Temperaturgradient – verläuft nicht an allen Orten der Erde gleich.
Der geothermische Temperaturgradient gibt den Anstieg der Temperatur mit Zunehmen der Tiefe an. In Deutschland kann im Durchschnitt mit ca. 3 °C je 100 m Tiefe gerechnet werden. Es können aber lokal erhebliche Abweichungen auftreten, die u. U. für Geothermieprojekte besonders günstig sind und im Sinne möglichst wirtschaftlicher Anlagen genutzt werden können, da Wärme z. B. an den Grenzen der Kontinentalplatten leichter an die Oberfläche kommt, so dass an diesen Stellen schon in relativ geringen Tiefen relativ hohe Temperaturen herrschen können. So treten z. B. auf Island heiße Quellen an der Erdoberfläche zu Tage, während andernorts sehr tief gebohrt werden muss, um auf ein vergleichbares Temperaturniveau zu stoßen.

Die Erdwärme der oberen Bodenschichten bis etwa 100 m Tiefe ist zum einen gespeicherte Sonnenenergie, zum anderen Energie aus dem Erdinneren. So ist der Temperaturverlauf bis rund 10 m unter Geländeoberkante durch die jahreszeitlichen Temperaturunterschiede geprägt.
Ab ca. 15 m Tiefe ist er über das Jahr hinweg nahezu konstant und nimmt aufgrund des aufwärtsgerichteten Wärmestroms aus dem Erdinneren kontinuierlich um rund 3 °C pro 100 m Tiefe zu.

Da der Temperaturbereich mit durchschnittlich 8 bis 12 °C zum direkten Heizen zu gering ist, wird er mittels erdgekoppelter Wärmepumpe auf das benötigte Niveau, in der Regel 35 bis 55 °C, angehoben. Hierfür wird das aufgrund des großen Speichervolumens und der ganzjährig gleichmäßigen Untergrundtemperatur immense Erdwärmepotenzial über Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen oder erdberührte Betonbauteile erschlossen.

Bis zu 80 % der so gewonnenen Heizenergie stammen aus dem Untergrund – emissionsfrei und klimaneutral.

7541014/10787806875Biblio

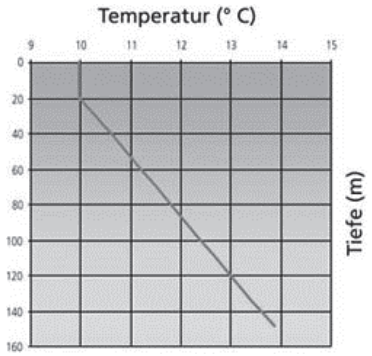


Abb. I-1: Grafik: Schätzung des Temperaturverlaufs im Untergrund nach S. Cattin als Beispiel: Schweizer Mittelland [Grafik, CREGE]

1.1 Gewinnung der Erdwärme

Erdwärme ist eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle. Aufgrund dieser Tatsache hat die Geothermie in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen und ist zu einem Hoffnungsträger für die Energieversorgung avanciert. Der Stellenwert der Geothermie in energiepolitischen Zukunftsszenarien nimmt deutlich zu.

Innovative Techniken nutzen jedoch den Untergrund nicht nur zum Heizen, sondern auch als Kältequelle und zum Speichern thermischer Energie (solarthermische Energie, Prozesswärme, saisonale Wärme- oder Kälteenergie).
Speziell bei der Raumkühlung kann häufig auf den Einsatz von Kältemaschinen verzichtet werden, weshalb derartige Anlagen hinsichtlich Stromverbrauch, Betriebssicherheit und Ökobilanz konventionellen Klimaanlagen überlegen sind.

Die Auswahl der Wärmequelle (Erdreich, Grundwasser) und der technischen Variante zur Erschließung – **Erdwärmekollektor, Erdwärmesonde, Grundwasserbrunnen** – richtet sich nach den örtlichen Untergrundverhältnissen und der hydrogeologischen Situation sowie dem oberirdischen Platzangebot. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist auf ein möglichst hohes Temperaturniveau, eine ausreichende Regenerationsfähigkeit und eine ganzjährige Verfügbarkeit der Wärmequelle zu achten. Die Erschließung der Wärmequelle sollte kostengünstig möglich sein und im Betrieb einen geringen Wartungsaufwand verursachen.

An einigen Stellen der Erde herrschen bereits in relativ geringen Tiefen hohe Temperaturen. So ist z. B. für die Plattengrenzen (Lithosphäre) ein hoher geothermischer Temperaturgradient charakteristisch. Er kann mehr als 100 K/km Tiefe betragen. Zwar befinden sich große Teile dieser Plattengrenzen in der Tiefsee, doch auch auf dem Festland gibt es geothermisch interessante Gebiete.

Um die Erdwärme an die Oberfläche zu bringen, erweist sich Wasser als geeignetes Transportmittel. Das Wasser heizt sich in der Tiefe besonders gut auf, wenn eine möglichst große Berührungsfläche mit dem Untergrundgestein gegeben ist. Aus diesem Grund bieten klüftige und poröse Gesteins-Formationen im Untergrund ideale Voraussetzungen für diese Wärmeübertragung.

Wasserführende Gesteine in größeren Tiefen werden **Aquifere** genannt. Aquifere sind geeignete Nutzhorizonte und finden sich in Deutschland in zwei verschiedenen Gesteinstypen. Bei den sog. **Porenspeichern**, die für eine geothermische Nutzung in Frage kommen, handelt es sich überwiegend um Sandsteinformationen. Sie sind durch eine

7541014/1078780687 5Biblio

große Wasserdurchlässigkeit gekennzeichnet. Die gewinnbare Wärmemenge ist dabei umso größer, je höher die Porosität und damit die Permeabilität des Gesteins ist.

An einigen Stellen ist das Gestein durch tektonische Spannungen gerissen. Sind die entstandenen Klüfte netzartig miteinander verbunden, wird das Fließen von Tiefenwasser ermöglicht.
Die Menge an Wasser, die durch diese sog. **Kluftspeicher** fließen kann, ist durch Weite, Länge und Dichte der Klüfte bestimmt. Darüber hinaus finden sich auch sog. **Karstspeicher**. Das sind unregelmäßig angeordnete Hohlräume in Kalk- und Dolomitengestein, das durch Wasser teilweise aufgelöst wurde. In diesen über weiträumige Gebiete auftretenden Verkarstungen herrscht eine hohe Wasserdurchlässigkeit. Neben den genannten Aquiferen existieren in größeren Tiefen sog. **Störungszonen**. So werden Bereiche in sedimentären oder kristallinen Gesteinen bezeichnet, die von zahlreichen Bruchzonen durchzogen sind und dadurch ein gutes hydraulisches Leitvermögen aufweisen. Um die in kristallinen Gesteinen wie Graniten oder Gneisen in großen Tiefen gespeicherte geothermische Energie nutzbar zu machen, ist ein künstliches Aufbrechen zur Schaffung von Wärmeübertragungsflächen notwendig. Zwar sind diese Tiefengesteine nicht gänzlich trocken, wie lange angenommen wurde, doch ist für eine Nutzung das Einleiten von Wasser nötig.

Die energiereichen und wasserdurchlässigen Gesteine müssen in allen Fällen neben einem geeigneten Temperaturniveau eine ausreichende räumliche Ausdehnung aufweisen, um einen großen nutzbaren Wärmestrom über einen langen Zeitraum hinweg zu ermöglichen. Denn bei der Geothermienutzung kühlt sich zwar nicht unser Planet ab, jedoch kommt es in den Bereichen um die geothermischen Entnahmestellen nach einigen Jahrzehnten zu einer gewissen Temperaturabsenkung.

1.2 Bedingungen zur Erdwärmenutzung in Deutschland

Ein Großteil der geothermischen Ressourcen Deutschlands ist in tiefem Kristallingestein und Störungszonen gespeichert. Diese können unter derzeitigen technisch-wirtschaftlichen Bedingungen jedoch noch nicht direkt kommerziell genutzt werden.

Die geothermische Energiegewinnung ist somit bisher auf Sedimentformationen angewiesen, in denen sich Warm- oder Heißwasseraquifere mit ausreichend hohen Fließraten finden lassen.

Sehr gute Bedingungen existieren im **Oberrheingraben**. Diese geologisch junge, tektonisch aktive Senkungszone mit einer Ausbreitung von etwa 300 km × 40 km vom Südrand des Taunus bis in die Region des Schweizer Jura weist geothermische Temperaturgradienten von bis zu 60 K je Kilometer Tiefenzunahme auf. In Tiefen von 2.500 m bis 4.000 m herrschen verhältnismäßig hohe Temperaturen bis über 150 °C.

Die heißen Untergrundwässer zirkulieren hier schon in gut erreichbaren Bohrtiefen, zumeist in Muschelkalk- oder Buntsandsteinformationen.

Das **Süddeutsche Molassebecken**, zwischen der Donau und den Alpen gelegen, bietet ebenfalls günstige geologische Voraussetzungen. Die geothermisch relevanten Horizonte liegen im Malmkarst. Die erzielbaren Fließraten des Thermalwassers betragen hier bis zum Dreifachen des bspw. im Norddeutschen Becken Üblichen. Eine weitere positive Besonderheit stellt der geringe Mineralgehalt des Thermalwassers dar. Dadurch unterliegen die für die Energienutzung notwendigen Anlagenteile nur einer geringen Korrosionsgefahr.

7541014/10787806875Biblio

Die besonders für die Stromerzeugung interessanten höheren Temperaturen (hier etwa 100 bis 130 °C) sind jedoch nur in wenigen Gebieten wie etwa im Bereich südlich von München und am Chiemsee in Tiefen von weniger als 4.000 m anzutreffen.

Im **Norddeutschen Becken** sind hochporöse Sandsteinformationen (Rotliegend) mit großer Flächenausdehnung vorzufinden. In Tiefen zwischen 4.000 m und 5.000 m herrschen hier Temperaturen um 130 bis etwa 160 °C. Die Tiefenwässer weisen eine starke Mineralisation auf. Sie müssen daher mit Hilfe geeigneter Maßnahmen für die Erdwärmenutzung aufbereitet werden.

Darüber hinaus sind nur gebietsweise Speichergesteine vorzufinden, welche eine ausreichende Fließrate ermöglichen. In den Gebieten des Thüringer Beckens, der Süddeutschen und der Subherzynen Senke (östlich des Harzes) werden hydrothermale Energievorkommen vermutet. Da die dortigen geologischen Bedingungen jedoch nur für mäßige Speichereigenschaften sprechen, bleiben potenzielle Nutzungsmöglichkeiten auf vereinzelte Standorte beschränkt.

1.3 Geothermische Potenziale in Deutschland

In der Abschätzung des energetischen Potenzials der Geothermie wird wie folgt unterschieden:

Als **theoretisches Potenzial** wird das gesamte vorhandene Erdwärmevorkommen bezeichnet, das theoretisch innerhalb einer Region nutzbar wäre. Dabei ist nicht von Bedeutung, ob tatsächlich geeignete technische Methoden zur Nutzbarmachung vorliegen oder ob die nicht-technischen Voraussetzungen dazu gegeben sind. Das theoretische Potenzial ist damit weit größer als die real nutzbare geothermische Energiemenge.

Das **technische Potenzial** beschreibt den Anteil am theoretischen Potenzial, welcher mit dem heutigen Stand der Technik nutzbar gemacht werden könnte. Dabei werden auch strukturelle und ökologische Restriktionen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt, soweit sie ähnlich den technischen Einschränkungen „unüberwindbar“ sind. Eine weitere Unterscheidung kann nach Angebots- und Nachfrageseite getroffen werden.

Das **technische Angebotspotenzial** bildet den Einfluss technischer und struktureller Restriktionen auf der Angebotsseite ab. Das **technische Nachfragepotenzial** berücksichtigt zusätzlich entsprechende nachfrageseitige Beschränkungen für den Fall, dass das Energieangebot die potenzielle Nachfrage übersteigt.

2 Geothermiequellen

Zu unterscheiden

- Oberflächennahe Geothermie,
- Tiefengeothermie,
- saisonale Wärmespeicher.

Weitere Unterscheidungen sind:

- Niedertemperatur-Geothermie,
- Mitteltemperatur-Geothermie,
- Hochtemperatur-Geothermie.

7541014/10787806875Biblio

2.1 Niedertemperatur-Geothermiequellen

Die **Niedertemperatur-Geothermiequellen** gehören zz. zu den am meisten genutzten Quellen, die verschieden genutzt werden können: **Erdwärmesonden, Erdwärme-Sondenfelder, Energie aus dem Grundwasser, Energiepfähle und Geostrukturen, Tunnelwärme** usw.

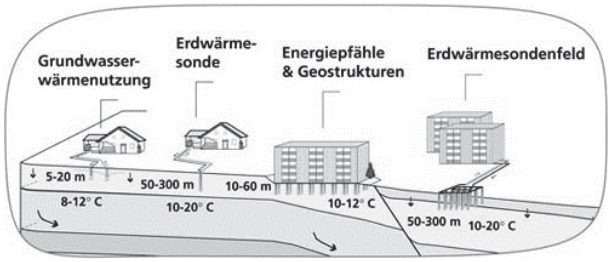


Abb. I-2: Grafik der verschiedenen Geothermiequellen im Niedertemperaturbereich mit Temperatur- und Tiefenangaben [V30]

2.2 Mitteltemperatur-Geothermiequellen

Der heterogene Aufbau von sedimentären Gesteinen begünstigt die Zirkulation von Wasser im Untergrund. In einer Tiefe von 300 m bis 2.000 m kann deshalb die Nutzung der verfügbaren, geothermischen Wärme durch ein Dubletten-System interessant sein.

Auch Thermalwässer aus tief liegenden, Grundwasser führenden Gesteinsschichten sind Energielieferanten. In Thermalbädern – der ältesten Form geothermischer Nutzung – wird der Effekt der Erdwärme besonders offensichtlich.
Während früher das warme Wasser einzig zum Baden diente, kommt heute einer effizienten Ausnutzung der vorhandenen Wärmemenge ebenfalls Bedeutung zu. Sogar die Energielieferung in Nahwärmenetze wird thematisiert und realisiert. Zu dieser Entwicklung hat die Erhöhung sowohl der Wasserschüttung wie auch die der Temperatur mit Hilfe von zusätzlichen Tiefbohrungen beigetragen.

Die Gewinnung der Erdwärme aus den zahlreichen stillgelegten Bergwerken, z. B. im Ruhrgebiet mit Tiefen bis ca. 1.500 m, wurde bisher kaum genutzt.
Die Anlagen wurden z. T. verfüllt ohne Verkehrungen zur Nutzung der großen Reserven an geothermischer Wärme zu treffen.

So konnte in der Schweiz die Wärme aus dem Berginnern, wo mehr als 700 Eisenbahn- und Straßentunnel vorhanden sind, nutzbar gemacht werden.
Da Tunnel stets eine Entwässerung des durchbohrten Gebirges bewirken, lässt sich das zufließende Kluftwasser sammeln und an den Tunnelportalen zur Wärmegewinnung nutzen. Mit zunehmender Gebirgsüberdeckung eines Tunnels steigt in der Regel auch die zur Verfügung stehende Wassertemperatur.

2.3 Hochtemperatur-Geothermiequellen

Beträgt die Temperatur der geothermischen Wärmequelle über 110 °C, ist eine Umwandlung der Wärme in Strom rentabel. Das geothermische Fluid aus einem Wasser-Dampf-Gemisch steigt im Bohrloch unter hohem Druck und hoher Temperatur auf.

Der Energieinhalt des unter Druck stehenden Dampfes wird mit Turbinen und Generatoren in Strom umgewandelt, der in ein Verteilernetz eingespeist wird. Am Ausgang der

7541014/10787806875Biblio

Turbine, also nach der Umwandlung der geothermischen Energie in Strom, ist die Temperatur des Fluids immer noch hoch. Dies erlaubt anschließend eine direkte Wärmenutzung, beispielsweise zur Gebäudeheizung.

Bis heute konzentrierte sich die geothermische Nutzung in der Schweiz ausschließlich auf Wärme- und Kälteerzeugung. Einen großen Schritt in Richtung Stromerzeugung bietet das „Enhanced Geothermal System (EGS)/Stimulierte Geothermische System (SGS)“, also das künstliche Erzeugen eines tief im Kristallingestein liegenden Wärmetauschers.

Mit dieser in Entwicklung stehenden Technik soll es möglich werden, Bandenergie, also jederzeit verfügbare Energie, zu erzeugen – ein bei erneuerbaren Energien selten anzutreffender Vorteil.

Das in Bohrungen injizierte Wasser wird im künstlich geklüfteten Kristallingestein in rund 5 km Tiefe auf 200 °C erhitzt. Zurück an der Oberfläche dient die geförderte Energie zum Betreiben einer Dampfturbine mit gekoppeltem Generator.

Hydrothermale Anlagen nutzen in anderen Ländern Aquifere in Tiefen von 1.500 m bis 2.000 m und erreichen damit Temperaturen von 60 bis 350 °C.

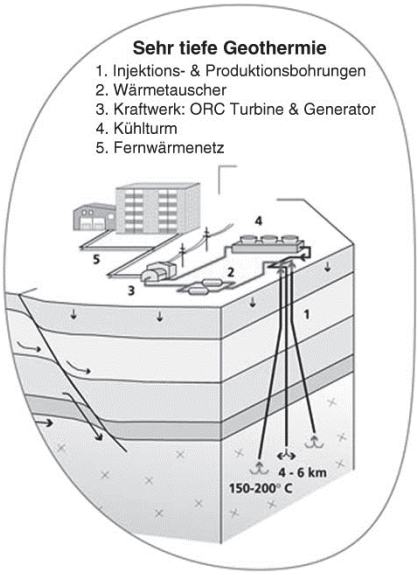


Abb. I-3: Geothermie-Kraftwerk Nesjavellir auf Island [V30]

3 Gewinnungsarten

Die Gewinnung erfolgt in der Regel aus dem erdnahen Bereich und wird zur zz. am meisten genutzt. Auch die Kosten befinden sich in einem vertretbaren Bereich. Die erforderlichen Genehmigungsverfahren sind außerdem nicht so aufwändig.

Die verschiedenen Systeme kann man zusammenfassen in:

– Erdwärmesonden (EWS),
– Erdwärmesondenfelder,

7541014/10787806875Biblio

- Erdwärmegewinnung durch Geostrukturen (Energiepfähle, Energiekörbe),
- Erdwärmekollektoren,
- Erdwärme aus dem Grundwasser,
- Erdwärmegewinnung aus Tunneln und Bergbauanlagen,
- saisonale Wärmespeicher.

Welches System zum Einsatz kommt, hängt von vielen Faktoren ab, und zwar u. a.

- vom Grundwasserstand,
- von der erforderlichen Energiemenge (Wärme bzw. Kälte),
- vom Platzbedarf (z. B. bei Erdwärmekollektoren),
- von den zu erwartenden Kosten – so können bei Pfahlgründungen (Bohrpfähle, Rammpfähle) Geostrukturen kostengünstig sein.

3.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden (vertikal verlegte Wärmetauscher), werden am häufigsten eingesetzt, um **Wärmepumpen** mit der nötigen Erdwärme zu versorgen. In den U-Rohren zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit. Für kombiniertes Heizen und Kühlen werden maximal 150 m tiefe Sonden verwendet, ausschließlich für Heizzwecke bis zu 400 m.

Schon lange werden Wärmepumpen als eine hervorragende Möglichkeit gesehen, um Primärenergie einzusparen und so den CO_2-Ausstoß und den Treibhauseffekt zu vermindern.
Nach den beiden Ölpreiskrisen der 70er und 80er Jahre erlebten Wärmepumpenheizungen eine kurze Blütezeit, die sehr schnell zu Ende ging. Die Preise für die fossilen Energieträger entwickelten sich nicht so nach oben, wie dies in der Krisenzeit prognostiziert wurde.

Neben dem Rückgang der Öl- und Gaspreise zeigte sich aber ebenfalls, dass der Rückgang der Wärmepumpen auch hausgemachte Ursachen hatte.
Neben der Vielzahl von Wärmepumpenherstellern, die teilweise mit wenig ausgereifter Technik auf den Markt drängten, war auch die nach deutschem Handwerksrecht geforderte strikte Trennung von Gewerken ein Grund dafür, dass der Wärmepumpen-Euphorie die Ernüchterung der Praxis folgte.
Der Kunde musste sich bei der Errichtung, Wartung und Reparatur solcher Anlagen gleich mit mehreren Handwerkern wie Heizungsbauern, Elektrikern, Kältetechnikern und bei Luft/Wasser-Wärmepumpen zusätzlich mit Lüftungstechnikern auseinandersetzen, was für ihn nicht nur lästig, sondern auch kostspielig war.

So brauchte man sich nicht zu wundern, dass Wärmepumpen sehr schnell in Misskredit gerieten. Dies hat sich heute grundlegend geändert.

Wärmepumpen nutzen Umweltwärme aus Luft, Wasser und Erde und benötigen dafür nur die Antriebsenergie. Außenluft und oberflächennahe Wärmequellen haben aber meist den Nachteil, dass sie genau dann, wenn der höchste Wärmebedarf erforderlich wird, die niedrigsten Temperaturen aufweisen. Die Wärmepumpe muss dann hohe Drücke für die Überwindung der hohen Temperaturdifferenz aufbringen, wodurch sich die Leistungsziffer verschlechtert, obwohl die Jahresarbeitszahl immer noch relativ gute Werte bringt.

7541014/10787806875Biblio

Eine Wärmequelle, die von den Temperaturen auf der Erdoberfläche unabhängig ist, bietet die Erde. Ab ca. 15 m Tiefe bleibt die Temperatur im Sommer und im Winter immer bei etwa 10 °C konstant und steigt sogar mit 3 °C pro 100 m kontinuierlich an.

3.1.1 Systembeschreibungen

Die **Erdwärmesonde (EWS)** ist ein unterirdischer Wärmetauscher. Einzel-Erdwärme-Sondenanlagen stellen zurzeit die gängigste Nutzungsart untiefer Geothermie dar. Eine Wärmesonde ermöglicht die Nutzung von Erdwärme in geringen Tiefen von etwa 50 m bis 400 m. Einmal in eine Bohrung eingebracht, bildet die EWS einen geschlossenen Kreislauf und bildet den Wärmetauscher mit dem Untergrund. Sie ermöglicht die Entnahme erneuerbarer Energie aus dem Boden, der sich zunächst leicht abkühlt und sich nach einigen Jahren auf ein relativ konstantes Gleichgewicht einstellt. Die Wärmeträgerflüssigkeit, bestehend aus Wasser und Frostschutzmittel, transportiert die Energie, indem sie die durch U-Rohre zirkuliert.

Die Länge einer EWS ist von den Bodeneigenschaften sowie von der erforderlichen Heizleistung abhängig. Einmal in eine Bohrung eingebracht, bildet die EWS einen geschlossenen Kreislauf und bildet den Wärmetauscher mit dem Untergrund.

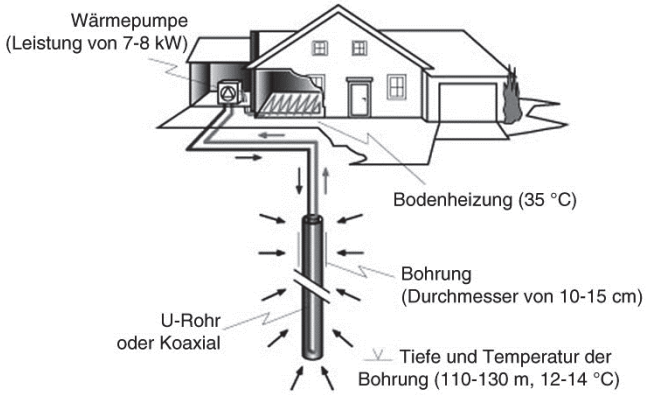


Abb. I-4: Schematische Darstellung einer Erdwärmesondenanlage [V30]

Für ein neues Einfamilienhaus beträgt die typische Tiefe einer EWS 120 m bis 150 m. Die Temperatur in dieser Tiefe ist während des ganzen Jahres konstant und liegt in der Größenordnung von 12 bis 15 °C.

Die Nutzbarkeit der Energie aus dem Untergrund wird mittels einer **Wärmepumpe (WP)** erhöht, indem das Temperaturniveau so weit angehoben wird, dass damit der Wohnraum beheizt werden kann und eventuell zusätzlich der Warmwasserbedarf gedeckt werden kann. Diese Technologie ist sehr verbreitet und lässt sich sowohl bei neuen Einfamilienhäusern als auch bei renovierten Gebäuden anwenden.

3.1.2 Funktion einer erdgekoppelten Wärmepumpe

Im ersten Kreislauf zirkuliert ein Arbeitsmittel, z. B. Wasser, durch die als Wärmetauscher fungierenden Erdwärmesonden und den Verdampfer der Wärmepumpe.
Das Wasser entzieht dem Untergrund thermische Energie und erwärmt sich dadurch auf etwa 8 bis 10 °C.

7541014/10787806875Biblio

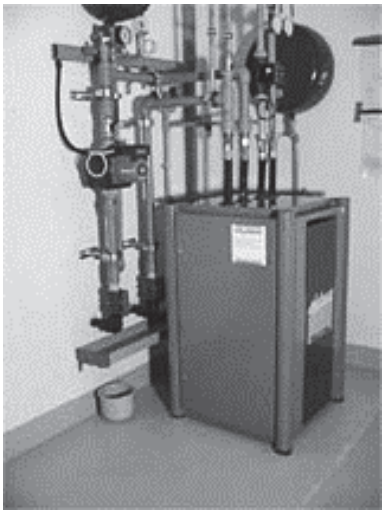


Abb. I-5: Beispiel einer Wärmepumpe [V30]

Über den Verdampfer gibt das Wasser Energie an ein in der Wärmepumpe zirkulierendes Arbeitsmittel mit einem niedrigen Siedepunkt ab. Dadurch wird das Arbeitsmittel erwärmt und in einen gasförmigen Zustand überführt (verdampft).

Das warme Gas wird im zweiten Kreislauf mit einem Kompressor verdichtet und erhitzt sich dadurch. Das heiße Gas (40 bis 70 °C) gibt Wärme über einen Wärmetauscher an den dritten Kreislauf (Heizung) ab und kühlt sich dadurch ab. Durch die Abkühlung und Entspannung (Drossel) wird das Arbeitsmittel wieder verflüssigt und kann erneut Wärme aus dem ersten Kreislauf aufnehmen.

Eine EWS benötigt nur sehr wenig Platz an der Erdoberfläche – im Gegensatz zu horizontalen Erdregistern, z. B. Erdwärmekollektoren – und bietet höchste Leistung und Effizienz.

Beispielsweise beträgt die potenzielle thermische Leistung bei einer jährlichen Betriebsdauer von 2.400 Stunden in einem durchschnittlich kompakten Gestein oder einem wassergesättigten Sediment etwa 40 bis 60 W/m, für horizontale Erdregister liegt sie hingegen bei nur 16 bis 24 W/m^2 Oberfläche.

Wenn die Bodenbeschaffenheit nur wenig bekannt ist, sollte ein Geologe oder Hydrogeologe mit einbezogen werden. Zusammen mit dem Heizungsinstallateur wird er die nötige Tiefe der Erdwärmesonde in Abhängigkeit des Wärmebedarfs festlegt. Die Dimensionierung einer Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage ist von besonderer Bedeutung bei einem Erdwärmesondenprojekt und sollte vor der Beantragung der Bohrbewilligung durchgeführt werden.

7541014/10787806875Biblio

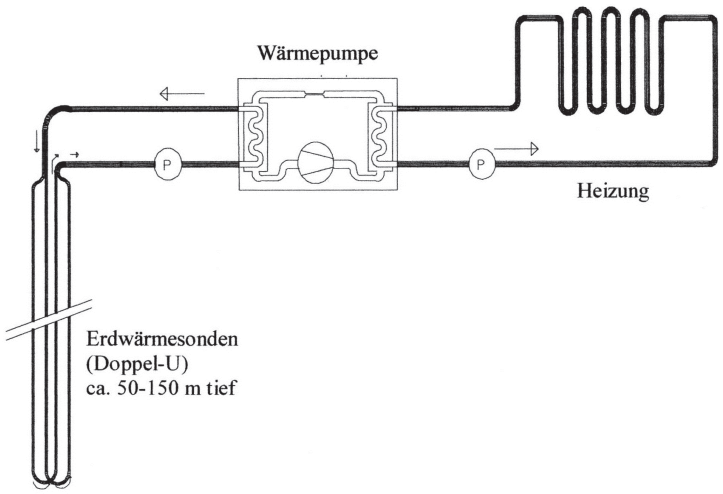


Abb. I-6: Funktionsweise eine erdgekoppelten Wärmepumpe
(Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, Schema nach Sommer) [5]

3.1.3 Erdwärmesondenfelder

Seit etwa einem Jahrzehnt werden **Erdwärmesondenfelder** für die Wärmeversorgung realisiert, die teilweise auch für die Kühlung während des Sommers eingesetzt werden. Diese Erdwärmesondenfelder bestehen aus einer Serie von Bohrungen, die im Allgemeinen mit zwei U-Rohren aus Polyethylen für den Wärmeaustausch mit dem Boden ausgerüstet sind.

Die Bohrungen sind mit einem Gemisch aus Zement und Bentonit hinterfüllt, um einen guten thermischen Kontakt zwischen den U-Rohren und der Bohrlochwand sicherzustellen.

Die benötigte Anzahl an Bohrungen (4 bis 80) sowie deren Tiefe (60 m bis 300 m) hängen vom Wärmebedarf und den lokalen geologischen Verhältnissen ab.

Die EWS werden so nahe wie möglich beim zu beheizenden Gebäude erstellt. Die Leitungen der einzelnen EWS werden zusammengeschlossen und versorgen so eine oder mehrere Wärmepumpen. Zum Beheizen mit niedriger Temperatur sowie zum Kühlen wird eine Wärmeträgerflüssigkeit in den Boden oder auch Decken des Gebäudes zirkuliert. Die Arbeitsweise beruht auf einem Jahreszyklus: während des Winters wird dem Boden die Wärme entzogen (Abkühlung des Bodens). Im Sommer, falls gekühlt wird, wird dem Boden die gespeicherte Kälte wieder entzogen (Erwärmung des Bodens).

Die Gebäudekühlung mit dem sog. „free-cooling“ ist energetisch gesehen besonders vorteilhaft, da sie ausschließlich über die EWS und ohne Kältemaschine läuft. Da EWS-Felder komplexer und kostenintensiver sind als eine Einzel-EWS für ein Einfamilienhaus, ist es wichtig, im Voraus anhand des benötigten Wärme- und Kältebedarfs die Gesamtanlage richtig zu dimensionieren.

Ist die Anlage einmal in Betrieb, erlaubt eine messtechnische Leistungsüberwachung während zwei Jahren, die Betriebsparameter optimal einzustellen. Die benötigten Planungsgrundlagen werden durch Computersimulationen erstellt.

7541014/10787806875Biblio

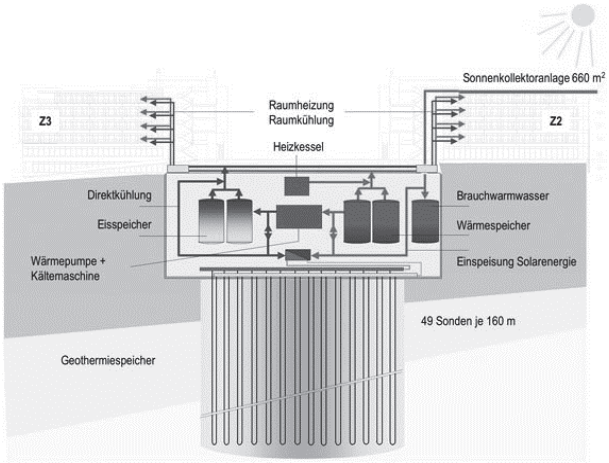


Abb. I-7: Schematische Darstellung einer Anlage mittels Erdwärmesondenfelder [V30]

3.2 Bohr- und Einbautechnik für Erdwärmesonden

Für die Erdwärmenutzung werden Bohrungen zwischen 30 m und 300 m Teufe ausgeführt. Bei der Dimensionierung und Auslegung der Bohrung muss auf eine dauerhafte Funktionssicherheit der Sonde besonders geachtet werden. Die Wärmeleitfähigkeit im Erdboden ist unterschiedlich: So gibt es stark fließwasserhaltige Untergründe, bei denen es möglich ist, mit einer Wärmeentzugsleistung von 80 Watt/m und mehr zu operieren. In vielen Gegenden zeigt die Geologie andere Bodenformationen, wie zerklüfteten Sandstein, Mergel, Sand oder Hohlräume, die solche günstigen Annahmen nicht zulassen, so dass bei Planungen in der Regel 50 bis 60 Watt/m Teufe angesetzt werden.

Eine lange Sonden-Lebensdauer ist nur gewährleistet, wenn die Soletemperatur nicht unter die Vereisungsgrenze abgesenkt wird. Durch eine höhere Soletemperatur mit geringeren Differenzen zwischen Wärmepumpen-Ein- und -Austritt wird die beste Leistungsziffer der Pumpe erreicht.

Die Bohrarbeiten sollten nur von Betrieben vorgenommen werden, die das „Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrunternehmen“ (BWP) besitzen oder zumindest eine gültige Zertifizierung nach DVGW Arbeitsblatt W 120 in den Gruppen G1 und/oder G2 nachweisen können

3.2.1 Bohrverfahren

Je nach Bohrausstattung sowie geologischen Verhältnissen finden folgende Bohrtechniken ihre Anwendung:

- Trockenbohrverfahren mit Bohrschnecken,
- Hohlbohrschnecken-Verfahren,
- direktes oder indirektes Spülbohrverfahren,
- Imlochhammer-Bohrverfahren mit bzw. ohne Doppelbohrkopf,
- Lufthebeverfahren.

Die Technik der **Schneckenbohrung** – insbesondere mit einer Hohlbohrschnecke – bei Bohrungen bis ca. 30 m Teufe ist eine schnelle Methode; die Teufen sind aber sehr begrenzt.

7541014/10787806875Biblio

Allerdings wird häufig die **Hohlbohrschnecke** mit 165/280 mm zum Einsatz als Standrohr, d. h. zum Einbinden und Absetzen der Rohrgarnitur auf Felsniveau, verwendet. Ebenso werden Standrohre (z. B. Ø ‘68 bzw. 219 mm) mit hydraulischen Verrohrungsmaschinen niedergebracht.

Danach kommt überwiegend das sogenannte **Imlochhammer-Bohrverfahren** mit direkter Luftspülung (Festgestein) oder Direktspülverfahren mit Wasser oder Bentonitspülung (Sedimente) zur Anwendung.

Der Bohrlochdurchmesser beträgt mindestens 152 mm. Die oberen Gesteinsschichten (Lockergestein) werden durch eine Hilfsverrohrung vor dem Zusammenbrechen geschützt. Die Anzahl der Bohrungen ist vom Energiebedarf und den geologischen Bedingungen am Standort abhängig.

Die Bohrtiefen liegen im Allgemeinen bei ca. 100 m. In einigen Gebieten Deutschlands sind durch Auflagen der Wasserbehörden auch geringere Bohrtiefen vorgegeben (Wasserrecht). Durch das Niederbringen der Bohrungen besteht die Möglichkeit, dass sich verschiedene Grundwasserstockwerke vermischen und ein stockwerksübergreifender Grundwasseraustausch ermöglicht wird.
Das kann zu qualitativen und quantitativen Veränderungen der Grundwasser-Horizonte führen.

Das **Lufthebeverfahren** kommt nur selten zur Anwendung. Durch spezielle Verpressverfahren mit der entsprechenden Technik werden eine saubere und sorgfältige Trennung der Grundwasser führenden Schichten sowie die Hinterfüllung der Erdwärmesonden garantiert.

Das direkte **Spülbohrverfahren (Rotarybohren)** wird vornehmlich in der Tiefengeothermie angewendet.

Weitere Beschreibungen zu den Bohrverfahren siehe Abschnitt D – Exploration.

3.2.2 Einbau der Sondenrohre

Am besten wird das Sondenbündel mit Hilfe eines kompletten Verpressrohres aus Stahlgewinderohren in das Bohrloch geführt. Hierzu haben auch die Zentrierungen ausreichend große Löcher, die später ein Herausziehen der Verpressrohre gestatten. Einige Hersteller lassen die Verpressgestänge in der Bohrung, da ein Ausbau und die Reinigung des Verpressgestänges mehr Arbeit machen, als jedes Mal neue Stahlgewinderohre zu verwenden.

Wird es abschließend mit Wasser frei gespült, könnten später sogar Sonden zur Kontrolle des Ringraumes oder der Temperatur eingefahren werden – langfristig vielleicht die sicherste Langzeitkontrolle von Erdwärmesonden.

In der Regel werden die Sonden für den Einbau mit Wasser gefüllt. Dies ist notwendig, weil sie sonst im Wasser bzw. der Spülung des Bohrloches aufschwimmen würden.

3.2.3 Verpressung der Sondenbohrung

Das Bohrloch bzw. der Bohrlochringraum wird vollständig mit einer Suspension von unten nach oben verpresst, um einen Zutritt von Oberflächenwasser in das Grundwasser sowie ggf. eine Verbindung unterschiedlicher wasserführender Horizonte zu verhindern.

7541014/10787806875Biblio

Die Verpressung der Sonden erfolgt mit einer schadstofffreien, nicht wassergefährdenden Suspension (meist Bentonit-Zement-Sand-Wasser-Suspension).

Der Hersteller muss die Unbedenklichkeit bescheinigen können. Es dürfen nur Hochofenzemente (CEM III B-Zemente) zum Einsatz kommen. Die Suspension wird im so genannten **Contractor-Verfahren** von unten nach oben über einen zusätzlichen Verpressschlauch eingebracht. Der Verpressvorgang wird dabei so lange durchgeführt, bis die Suspension nach oben hin austritt. Die Suspension muss nach der Erhärtung dicht und beständig sein.

Die Wiederherstellung der Dichtwirkung von Grundwasserstauern sowie die thermisch optimale Anbindung der Erdwärmesonde an das umgebende Gestein müssen gewährleistet sein. Die Verfüllung muss lückenlos sein.

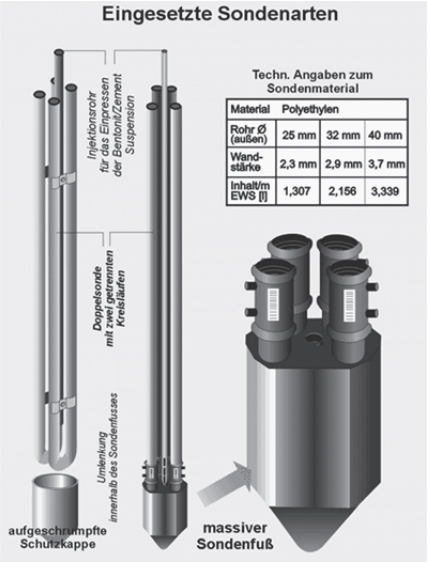
Durch eine dauerhafte und setzungsfreie Bohrlochverfüllung müssen evtl. spätere Setzungen vermieden werden.

Ein Schutz des Grundwassers vor auslaufenden Wärmeträgerflüssigkeiten bei defekten Rohren muss gesichert sein.

3.2.4 Bohrdurchmesser und Sondenrohre

Die Bohrlochdurchmesser richten sich nach der Nennweite der Vierfach-Polyethylenrohre inklusive Erdsondenkopf (Abb. I-8) und liegen in der Endteufe bei Ø 115 mm bis 142 mm (4¹/2" bis 5⁵/8"). Es sind derzeit Sonden der Nennweite NW 25, 32 und 40 mm gebräuchlich.

Der notwendige Bohrdurchmesser muss so groß sein, dass die PE-Rohre beim Einbau nicht beschädigt werden. Ferner müssen ein gerader Verlauf und Vertikalität gewährleistet sein. Schwerpunktmäßig wird in Deutschland die Erdsonde NW 32 mm mit zwei Kreissystemen eingebaut. Die Sondenrohre bestehen aus einem PE-Material. Der Sondenfuß besteht aus einem Doppel-U-Endstück, das mit PE-Rohren verbunden wird und somit einen aus zwei U-Rohren bestehenden Wärmeüberträger bildet. Im Kreislauf zwischen Wärmepumpe und Erdsonde zirkuliert die Wärmeträgerflüssigkeit, die beim Durchströmen die Erdwärme aus der Tiefe holt.



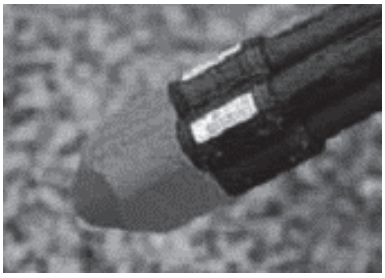


Abb. I-8: Sondenarten (rechts) und Erdsondenkopf [5]

7541014/10787806875Biblio

3.2.5 Bohrrohre, Innengestänge und Bohrköpfe

Bohrrohre und -gestänge sind außen glatt. Der Durchmesser des Innengestänges beträgt 95 mm mit ein oder zwei Schlüsselflächen, der Durchmesser des Außengestänges liegt je nach Sondengröße bei 146 mm oder 159 mm (zunehmend auch schon Bohrdurchmesser von 178 mm, 198 mm und 218 mm).

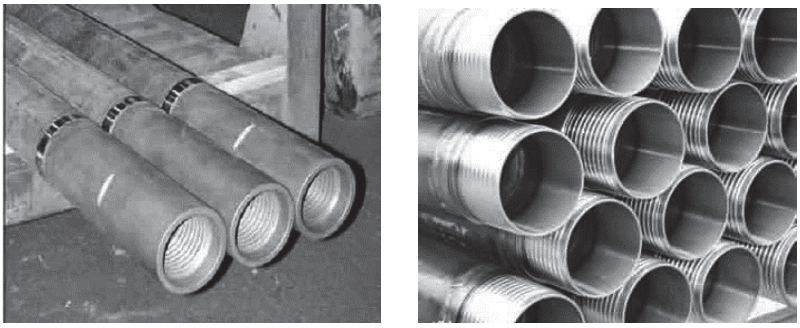


Abb. I-9: Innengestänge: links – Außengestänge: rechts [5]

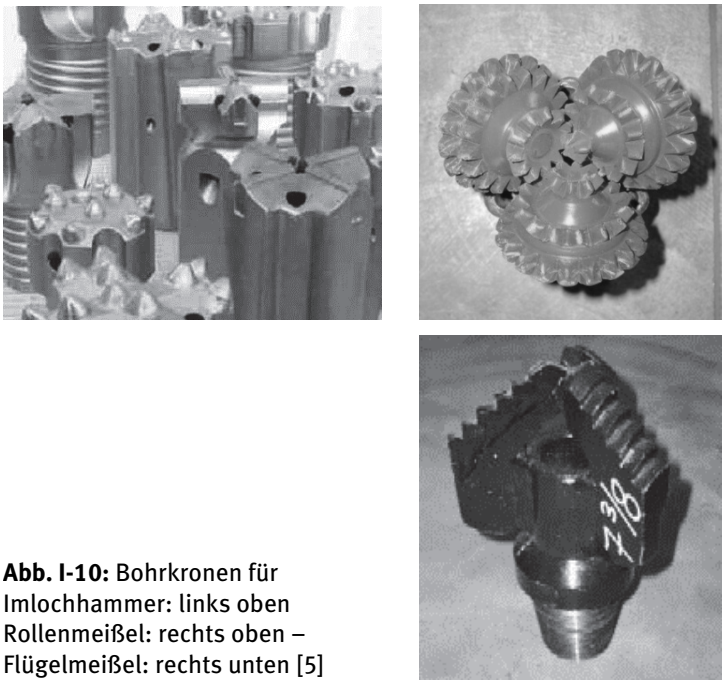


Abb. I-10: Bohrkronen für Imlochhammer: links oben Rollenmeißel: rechts oben – Flügelmeißel: rechts unten [5]

7541014/10787806875Biblio

3.2.6 Bohranlagen für die Oberflächennahe Geothermie

Gerade bei Erdsonden-Bohrungen wird die Vortriebsgeschwindigkeit zu einem entscheidenden Maßstab für ein vernünftiges Meterpreis-Verhältnis, wobei die geologischen Verhältnisse eine untergeordnete Rolle spielen.

- **Geräte der Nordmeyer GmbH**

Seit einigen Jahren erstellt u. a. die Fa. Nordmeyer auf Kundenwunsch spezifische Bohranlagen für Erdwärmesonden-Bohrungen her.

Abb. I-11: Bohrgerät Nordmeyer Type DSB 2/10 auf Mercedes-Lkw [V24]

Nordmeyer Type DSB 2/10 und ähnliche Anlagen bohren überwiegend mit Imlochhammer und einem großen Beistellkompressor. Bei einem Aufbau auf Lkw erfolgt der Antrieb über den Fahrzeugmotor.

In den meisten Fällen ist es unerlässlich, eine Schutzverrohrung mitzuführen – gegen Nachfall und auch speziell bei klüftigen Formationen mit starkem Wasserzulauf. Dieses Verfahren können bislang nur sogenannte Doppelkopfmaschinen kostengünstig durchführen. Viele Bohranlagen sind jedoch für Anker- bzw. Sprenglochbohrungen konzipiert und haben in der Regel keine Winde bzw. Spülpumpe. Jedoch werden diese Geräte zunehmend mit allen erforderlichen Zusatzgeräten (Winden, Spülpumpen und Verpresspumpen) als sog. GT-(Geothermie-)Version ausgerüstet (siehe z. B. Abb. I-12, I-13a bis I-13e).

Merkmale dieser Anlagen:

- Kraftdrehköpfe um 700 bis 1.000 Nm mit speziell gelagertem hydraulischem Spannkopf,
- zwei hydraulische Abfangzangen (1× Innengestänge, 1× Futterrohre) – Hub bis 4,8 m,
- Verpress- bzw. Injektionspumpe,
- Doppelrotorkopf sowie verstellbare Drehmomentbegrenzung und Druckbegrenzung für Spannkopf und Abfangzangen,
- Antriebsleistung bei Raupengeräten bis ca. 132 kW (bei Aufbau auf Lkw entsprechend der Fahrzeugleistung),
- Gewicht bis ca. 10 t (abhängig von den Zusatzgeräten).
- Der **Doppelrotorkopf** ermöglicht bei gleichzeitiger Übertragung des verfügbaren maximalen Drehmoments die Mitnahme eines Doppel-Bohrstranges, bestehend aus einem Innengestänge und dem Außengestänge (Futterrohre), als Schutzverrohrung.

7541014/10787806875Biblio

Ein wesentliches Merkmal ist die bestehende Möglichkeit, dass bei starkem Nachfall bzw. Verstopfen die Innengarnitur mit Hammer und Krone schnellstens in die Schutzverrohrung zurückgezogen werden kann.

Es ist also kein starres System und gerade dieses „Spielen mit dem Innenstrang“ bei geöffneten Backen der hydraulischen Spannvorrichtung ermöglicht dem erfahrenen Bohrmeister, die unterschiedlichsten Gebirgsverhältnisse anzugehen. Der Austrag des Bohrgutes erfolgt kontinuierlich, seitlich über einen Gewebeschlauch und ist damit gezielt in Container einzubringen, d. h., für die Bohrmannschaft herrschen staub- bzw. wassergeschützte Arbeitsbedingungen.

- **Geothermie-Bohranlage System Geotec**

Abb. I-12: Bohrgerät Geotec Typ Rotamax XL GT mit Gestängemagazin- und Gestänge-Liftsystem – Kenndaten siehe Tabelle [V17]

Kenndaten:

Antrieb Dieselmotor	Deutz-4-Zyl. – 97 kW – wassergekühlt
Trägergerät – Raupe – Gewicht	Gummistahlarmiert Spurweite 2.400 mm – G: 7–13 t
Hydraulikanlage	Tank: 300 l, Betriebsdruck: 250 bar
Mastlänge/Vorschub	7.360/4.000 mm
Zugkraft/Druckkraft	14.000/7.000 daN
Doppelkopf-Antrieb: Innengestänge – Verrohrung:	2 Gänge – max. 4.600 Nm – max. 130 min^{-1} 5 Gänge – max. 24.000 Nm – max. 60 min^{-1}
Ladung Gestänge – Container	Gestänge Ø 95 mm: 108 m- Rohre Ø 168 mm: 60 m
Hochdruck-Kolben-/ Kreiselpumpe	max. 70 l min^{-1} – 30 bar/1.800 l min^{-1} – 14 bar

7541014/10787806875Biblio

- **Bohrtec Vertical VB 10**

Die Fa. Bohrtec Vertical GmbH, Schwanau, ist eine 100 %ige Tochtergesellschaft der Herrenknecht AG, die, gestützt auf die Erfahrungen des Tunnelbau-Unternehmens Herrenknecht, auch das Tiefbohrgerät TERRA INVAVER 350 entwickelt hat.

Abb. I-13a: Bohrgerät VB 10 von Bohrtec Vertical mit Gestängemagazin [V3]

Das neu entwickelte **Vertikalbohrgerät VB 10** ist auf maximale Kompaktheit und vielseitige Einsetzbarkeit ausgelegt. Die Ansprüche an Material- und Verarbeitungsqualität liegen dabei immer auf höchstem Niveau.

Bei der Entwicklung wurde darauf geachtet, dass die VB 10 über ausreichende Kraftreserven für Einsätze bei Großprojekten in größeren Tiefen verfügt. Gleichzeitig wurden die Abmessungen der Anlage so gering wie möglich gehalten. Somit können Projekte realisiert werden, bei denen konventionelle Bohrgeräte aufgrund ihres Platzbedarfes keine Bohrvorgänge mehr erlauben.

Kenndaten:

Antrieb	Deutz 4 Zyl. Dieselmotor wassergekühlt – 98 kW 2.400 U/min
Hydraulikdruck	350 bar
Doppelkopf-Drehantrieb	Gestänge: max. 3.700 Nm – 120 U/min Außenverrohrung: max. 24.000 Nm – 54 U/min
Klemm-/Brecheinheit	Ø 80–254 mm – Brechmoment: 46.000 Nm – 3fach-Klemmzange
Mast	L: 7.190 mm – Zug (Kette): 240 kN – Druck: 50 kN
Seilwinde	Zug: 15 kN – Seillänge: 50 m – Seil-Ø: 9 mm
Injektorpumpe	Keramik-Kolbenpumpe max. 230 l/min – Druck 50 bar
Abmessungen/Gewicht	Transportlänge: 7,64 m, Breite: 1,90 m – Gew. 12 t

7541014/1078780687 5Biblio

- **Bohrgerät Satvia**

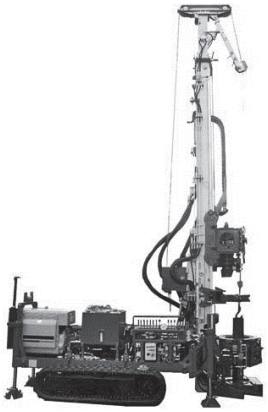


Abb. I-13b: Bohranlage der Satvia Typ 152 R für Baugrund- und Geothermiebohrungen (unten: Datentabelle) [V27]

Kenndaten:

Antrieb	Deutz 4 Zyl. Dieselmotor wassergekühlt – 50 kW
zul. Kronenlast	70 kN
Doppelkopf-Drehantrieb	Gestänge: max. 2.500 Nm – 180 U/min Außenverrohrung: max. 5.000 Nm – 90 U/min
Rohrdrehanlage	Ø 273 mm
Mast-Zug/Vorschub	L: 6.100 mm – Zug: 35 kN – Druck: 15 kN – Vorschub: 3,30 m
Seilwinde	Zug: 20 kN
Kolbenpumpe/Kreiselpumpe	80 l/min – 30 bar/900 l – 5 bar
Abmessungen/Gewicht	Transportlänge: 6,53 m, Breite: 1,72 m – Gew. 5,5 t
Sonstige Ausrüstung	hydraul. Spannkopf, Schlagwerk, Vierpunktabstützung, Gestängeabfangzange, Mastausleger, Aufbau auf Trailer oder Tandemachse möglich

7541014/10787806875Biblio

- **Klemm Geothermie-Bohrgerät**

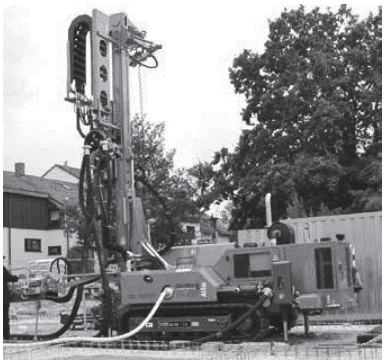


Abb. 13c: Bohrgerät Klemm Typ KR 707-1W bei der Herstellung von Geothermiebohrungen [V16]

Das Bohrgerät **Typ KR 707-1W** ist für vertikale Tiefbohrungen zum Einbau von Erdwärmesonden maßgeschneidert. Ein nach neuesten Abgasvorschriften (EURO COM 3/EPA TIER 3) zertifizierter 4-Zylinder-Dieselmotor mit einer Leistung von 95 kW treibt eine leistungsfähige Doppelkopfbohranlage an. Diese besteht aus zwei gegenläufig und unabhängig voneinander drehenden Kraftdrehköpfen für die Außenverrohrung und das Innengestänge. Der 2-fach schwenkbare und höhenverstellbare Steuerarm, der mit allen notwendigen Bohrfunktionen ausgestattet ist, lässt sich optimal an den jeweiligen Aufstellort des Gerätes anpassen. Dies ermöglicht eine freie Sicht auf den Bohransatzpunkt und die 3-fach-Klemm- und Brechvorrichtung.

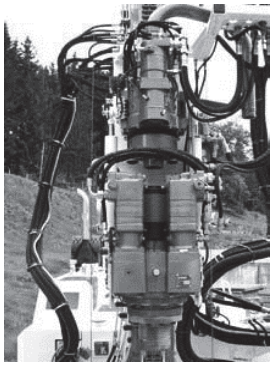
Die äußerst kompakte Bauweise, bei gleichzeitig hervorragender Schalldämmung und einer modernen kraftstoffsparenden Load-Sensing-Hydraulik, setzten neue Maßstäbe für den Betrieb in innerstädtischen Einsatzgebieten.

Die Kraftdrehköpfe sind zudem um 400 mm gegeneinander axial verschiebbar. Das geförderte Bohrgut wird über eine serienmäßig angebaute Preventeranlage kontrolliert und sauber in einen Bohrgutcontainer abgeführt

Das Bohrgerät ist ausgerüstet mit Lafette Typ 202, Rückzugkraft 100 kN 3-fach-Klemm- und Brechvorrichtung Typ DW-Doppelkopf-Bohranlage Typ KH 18/KH 5 mit Preventerferngesteuerten Ventilen für Luft- und Wasserspülung.

Nützliche Hilfseinrichtungen sind u. a. das von Klemm Bohrtechnik entwickelte Handhabungssystem für Doppelgestänge, Typ HBR 180, eine leistungsfähige Exzenterschneckenpumpe für Spülbohrverfahren und für den Verpressvorgang, eine Seilwinde am Mastkopf bzw. ein patentierter Heberahmen für die Sondenhaspel. Zusätzlich ist das Gerät für den Anschluss einer Injektionsanlage vorbereitet.

7541014/10787806875Biblio



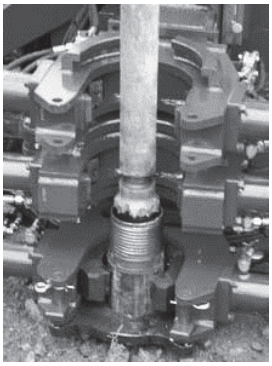


Abb. I-13d: links: Doppelkopf-Bohranlage System Klemm – rechts: Dreifach-Klemm- und Brecheinrichtung [V16]

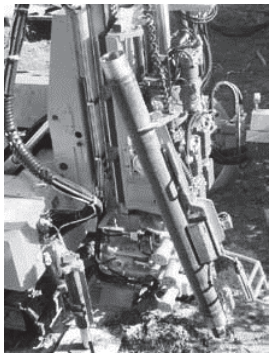


Abb. I-13e: Handhabungssystem für Doppelbohrgestänge [V16]

Kenndaten:

Dieselmotor	Deutz TCD 2012 L042V – 4 Zyl. 95 kW – 2.300 min^{-1}	**Hydraulik-system**	5 Kreisläufe, 320 bar
Doppelkopfbohr-anlage	KH 18/KH5 bzw. KH 20 G/KH5	**mit Preventer**	
Spülsystem	Exzenterschneckenpumpe	**Klemm- u. Brechanlage**	3fach-Typ DW
Vorschubkraft Rückzugkraft	50 kN 100 kN	**Länge Bohrlafette**	6.500 mm
Rückzug-Vorschubge-schwindigkeit	4,5/9,0–4,5/9,0 m/min	**Vorschub/ Rückzug**	schnell: 18,8/ 37,6 m/min
Raupenfahrwerk	Länge: 2.720 mm	**Transportbreite**	2.000 mm
Gerätearbeitshöhe	7.200 mm	**Transporthöhe**	2.600 mm
Einsatzgewicht	9,5 t	**Transportlänge**	6.500 mm
Sonstiges	Ferngesteuerte Ventile für Luft- und Wasserspülung Vierpunkt-abstützung – Seilwinde – Mastausleger – Gestänge-Handling-system		

7541014/10787806875Biblio

3.3 Erdberührte Bauteile

Als erdberührte Bauteile zur Gewinnung von Erdwärmeenergie gelten:

- Energiepfähle,
- Energiekörbe,
- Erdwärmekörbe,
- Erdwärmekollektoren.

3.3.1 Energiepfähle

Das Prinzip des Wärmeaustausches mit bodennahen Erdschichten ist auch für Geostrukturen dasselbe. Hier werden Gründungsteile von Gebäuden und Tiefbauprojekten energetisch genutzt, indem Rohrleitungen für eine Flüssigkeitszirkulation in die Betonstrukturen integriert werden. Sie gewährleisten den gewünschten Energieaustausch, was sich sowohl zum Heizen wie auch Kühlen eignet.

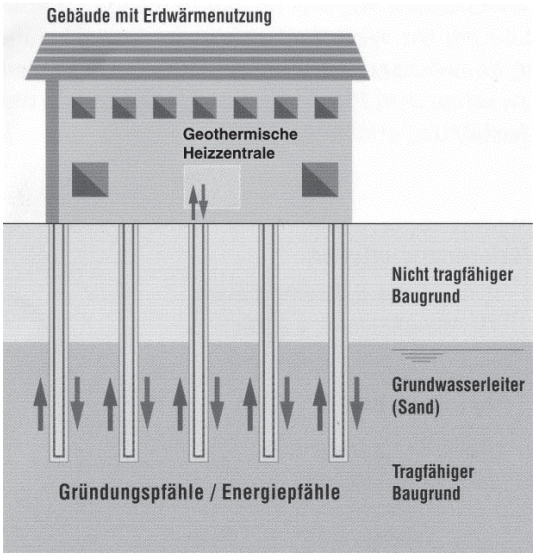


Abb. I-14:
Gründungspfähle gleichzeitig genützt als Energiepfähle [5]

Je nach Baugrundverhältnissen sind zur Gründung oder Erstellung von Großbauwerken teils tief in den Untergrund reichende Betonstrukturen wie Gründungspfähle, Schlitz- oder Pfahlwände usw. notwendig.

Da Beton eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzt, eignen sich diese Strukturen hervorragend zur Gewinnung und Speicherung von thermischer Energie in Form von Wärme und Kälte.

In Analogie zur Erdwärmesonde werden bereits bei der Herstellung der Betonstrukturen üblicherweise **HDPE-Rohre** als künftige Sole-durchflossenes Wärmetauschersystem in die Armierungskörbe eingebunden.
So werden z. B. aus Ortbetonpfählen ohne nennenswerten Mehraufwand so genannte „Energiepfähle“.

7541014/10787806875Biblio

Der wirtschaftliche Vorteil liegt neben dem ökologischen darin, dass die statisch ohnehin erforderlichen Bauteile zur geothermischen Nutzung mit einem nur geringen Aufwand aufgerüstet werden müssen.

Grundsätzlich lässt sich jede erdberührte Betonfläche entsprechend einrichten: als Energiepfahl, als Energiebodenplatte oder als Energieschlitzwand.

- **Sommerwärme im Winter – Winterkälte im Sommer**

Die konsequente Weiterentwicklung dieser Technik ermöglicht heute bereits die ganzjährige vollständige Klimatisierung, z. B. von Museen, Fabrik- und Verwaltungsgebäuden oder Kurheimen. Die im Sommer beispielsweise aus der Raumklimatisierung im Überschuss vorhandene Abwärme wird in die Betonbauteile bzw. das umgebende Erdreich abgeleitet und dort gespeichert.

Im Winter wird sie zum Heizen wieder verwendet. Moderne Wärmepumpenanlagen arbeiten hierzu lediglich im Umkehrbetrieb oder werden im Sommer ganz abgestellt. Diese energetisch besonders günstige Methode, auch als sog. „free cooling“ bezeichnet, erfolgt dann z. B. über Kühldecken direkt durch die mittels Pumpen umgewälzte kühle Sole.

Die im Sommer durch die Sonneneinstrahlung erzeugte Wärme wird über eingebaute Kollektorsysteme in den Untergrund abgeleitet und dort gespeichert. Im Winter wird die gespeicherte Wärme verwendet, um die Bauwerke eisfrei zu halten.

Als Nebeneffekt werden die Deformationen in den hitze- und frostempfindlichen Asphaltdecken gering gehalten. Bei **Bohrpfählen** erfolgt die Herstellung mit unterschiedlichen Systemen, und zwar mit Bohrpfählen im Greifer- und Schneckenbohrverfahren, als Atlaspfahl (z. B. Franki) nach dem Verdrängungssprinzip, mit Ortbeton-Rammpfählen nach dem Simplex-Verfahren. Bei allen Systemen werden die PE-Erdwärmerohre zum Schutz vor Beschädigungen mit Schaumstoff-Umhüllungen versehen und in die Bewehrungskörbe eingebunden und am Pfahlkopf herausgeführt.

Überall dort, wo ein Bauvorhaben aus wirtschaftlichen und geotechnischen Erwägungen auf **Fertigbeton-Rammpfählen** gegründet wird, besteht die Möglichkeit, die für die Lastabtragung erforderlichen Pfähle gleichzeitig zur Energiegewinnung aus dem Erdreich zu nutzen.

Ein entsprechendes System bietet u. a. die Fa. Centrum Pfähle an. Diese **Energiepfähle** wurden als Serienprodukt entwickelt.

Es ist im Gegensatz zu Bohrpfählen stets gewährleistet, dass die im Herstellerwerk eingebauten Wärmeaustauschrohre aus Polyethylen mit hoher Präzision in die Pfähle eingebaut werden, so dass sie auch bei der Rammung in der vorgegebenen Lage bleiben.

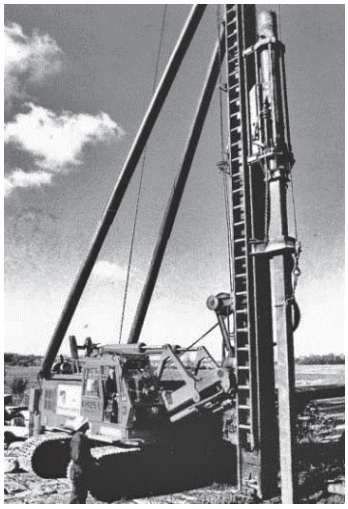
7541014/10787806875Biblio

Abb. I-15: links: Fertiggestellte Pfahlbewehrung mit schaumstoffumhüllten PE-Rohren
rechts: fertiggestellter Energiepfahl System Atlas-Franki [V12]

Die Energiepfähle können auch als Stahlbeton-Fertigrammpfähle hergestellt werden. Sie werden bis zur erforderlichen Tiefe in den Untergrund eingerammt. Der Rammvorgang entspricht dem bei herkömmlichen Rammpfählen. Am Pfahlkopf werden die Wärmetauschrohre aus Polyethylen nach dem Einrammen herausgeführt (Abb. I-16) und an die horizontalen Leitungen angeschlossen.

Die Pfähle müssen mit schonender Rammung eingebracht werden. Wird der Pfahl beschädigt, können dabei auch die Wärmeaustauschrohre Schaden nehmen. Kupplungspfähle sind für Energiepfähle nicht verwendbar.

7541014/10787806875Biblio



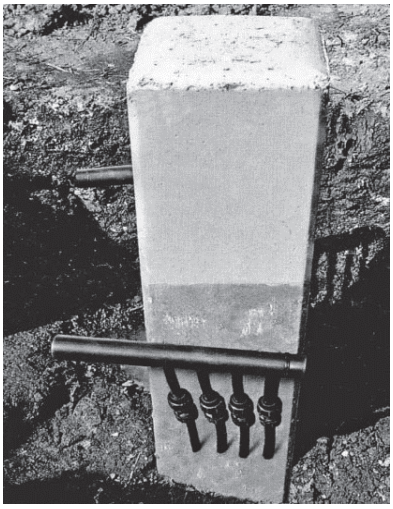
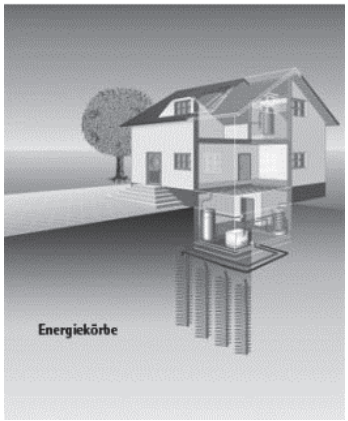


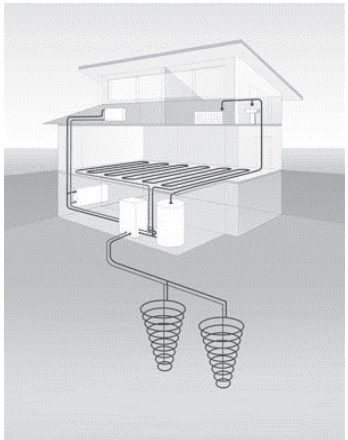
Abb I-16: links: Rammung von Centrum-Energiepfählen – rechts: Verteiler für die Wärmeaustauschrohre am Pfahlkopf [Centrum-Pfähle]



3.3.2 Energie-Spiralkörbe

Spiralförmige Energiekörbe sind eine weitere Alternative, Erdwärme zu nutzen. Sie werden in Vertikalbohrung oder in Gräben in etwa 2 m bis 4 m Tiefe in den Boden eingebracht. Der Abstand zwischen den Körben beträgt ca. 4 m.

Abb. I-17: Systemdarstellung der Energiekörbe [5]



3.3.3 Erdwärmekörbe

Die Erdwärmekörbe funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie die Spiralkörbe. Sie werden unterhalb der Frostgrenze in einer Tiefe von ca. 2,5 m vergraben. Das Wärmeträgermedium zirkuliert dabei in einem PVC-Rohr, das zu einem Korb gewickelt ist.

Abb. I-18: Systemdarstellung der Erdwärmekörbe [V80]

7541014/10787806875Biblio

Die großvolumige, konische Form des Erdwärmekorbes garantiert einen gleichmäßigen Entzug der Wärmeenergie aus dem Erdreich.

Als Energielieferant für die Körbe sorgen zum einen die regelmäßige Sonneneinstrahlung sowie die Feuchtigkeitszufuhr durch z. B. Regen, Schnee oder Dachentwässerung. Der Boden wird dadurch mit kostenloser Umweltenergie aufgeladen, die über die Erdwärmekörbe dem Boden wieder entzogen und der Wärmepumpe zugeführt wird.

Vorteil:

Erdwärmekörbe sind häufig auch an Orten zulässig, an denen eine Bohrung rechtlich nicht möglich ist. Einzige Voraussetzung ist genügend freie Fläche, um das Gebäude um die Erdwärmekörbe zu vergraben.

Nachteil:

Die Erdwärmekörbe benötigen einen größeren Platzbedarf als eine Erdwärmesonde und dürfen nicht überbaut werden.

Abb. I-19: Einbau der Energiekörbe [V80]

3.3.4 Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren sind Wärmetauscher, üblicherweise aus HDPE-Kunststoff, die als Rohrregister oder Kapillarrohrmatten horizontal in einer Tiefe von rund 0,2 m unter der örtlichen Frostgrenze (ca. 1,0 m bis 1,2 m) verlegt werden.

Bei Registerausführung verlaufen die Rohre im Abstand von 0,3 m bis 0,8 m parallel zueinander, sodass je 1 m² Entzugsfläche ca. 1,3 m bis 3 m Rohr verlegt werden. Im Kollektor zirkuliert als Trägerflüssigkeit ein Wasser-Frostschutzmittelgemisch („Sole“), das die Wärme aus dem Erdreich aufnimmt und an die Wärmepumpe weiterleitet.

Erdwärmekollektoren nutzen gespeicherte Sonnenenergie, die durch direkte Einstrahlung, Wärmeübertragung aus der Luft und durch Niederschlag in das Erdreich übergeht. Systembedingt unterliegt der Erdwärmekollektor den jahreszeitlichen Temperatureinflüssen, weshalb die Wärmepumpe in den Zeiten des größten Wärmebedarfs mit den ungünstigsten Wärmequellentemperaturen auskommen muss.

7541014/10787806875Biblio

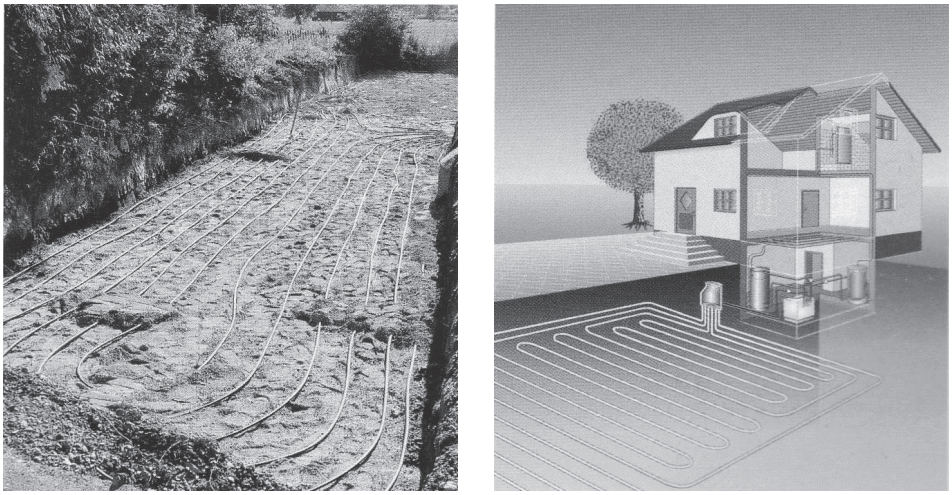


Abb. I-20: rechts: Schematische Darstellung der Erdwärmekollektoren – links: Verlegte Erdwärmerohre [5]

Dem Risiko geringerer Arbeitszahlen und höherer Betriebskosten in ungewöhnlich langen Kälteperioden begegnet der erfahrene Planer durch entsprechende Sicherheitszuschläge in der Auslegung. Die Regeneration der entzogenen Wärme ist aufgrund der Jahreszyklen grundsätzlich immer gegeben.

Der Erdwärmekollektor zeichnet sich durch vergleichsweise geringe Investitionskosten aus, benötigt aber eine nicht überbaubare Freifläche von in der Regel 1,5- bis 2-mal der zu beheizenden Fläche. Deshalb kommen zunehmend auch flächensparende Sonderformen wie der Grabenkollektor oder der Erdwärmekorb zum Einsatz. Hier wird die Erdwärme über Rohre gewonnen, die in meist mittels Bagger ausgehobenen Gräben oder Bohrlöchern installiert sind.

3.4 Neuere Entwicklungen

Die Gewinnung und Nutzung von Erdwärme erfolgte bislang u. a. durch Erdkollektor-Flächen, die oberflächennah verlegt werden. Der Flächenbedarf einer solchen Kollektoranlage ist erheblich und daher nur für große Grundstücke geeignet. Eine Alternative sind die bereits oben beschriebenen Vertikal-Sondenbohrungen bis in 50 m bis 100 m Tiefe. Die dafür benötigte Bohrtechnik ist allerdings aufwändig und teuer.

Außerdem steigt mit zunehmender Bohrtiefe die Wahrscheinlichkeit, dass natürliche Gegebenheiten die Genehmigung der Erdwärmesondenanlage unmöglich machen, insbesondere wenn es um den Schutz tief liegender Grundwasseretagen geht.

7541014/10787806875Biblio

Das **GRD-Verfahren** (GRD = Geothermal Radial Drilling®) nutzt gezielt den Tiefenbereich von 1,5 m bis 50 m Tiefe und vereint somit die Vorteile herkömmlicher Verfahren. Mit der patentierten Bohrtechnik werden von einem Schacht aus strahlenförmig Schrägbohrungen in alle Richtungen und Neigungen eingebracht.

Lage und Länge der einzubauenden Erdwärmesonden werden dem Zuschnitt des Grundstücks, dem Untergrund und den behördlich erlaubten Tiefen angepasst.

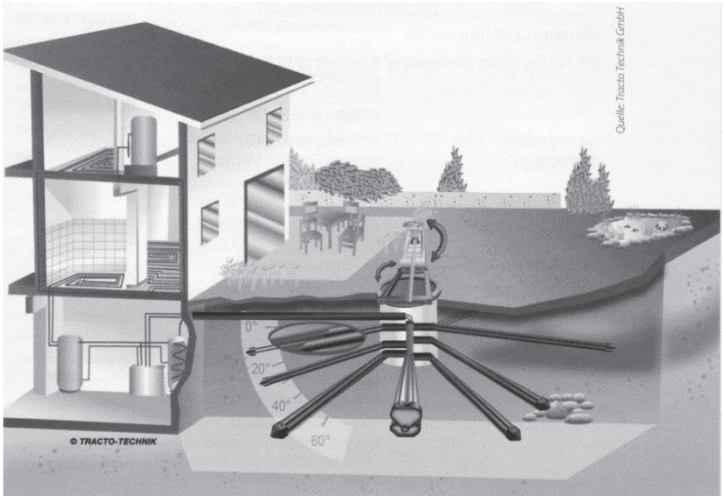


Abb. I-21: Schematische Darstellung des GRD-Verfahrens [V31]

Abb. I-22a: Die o. e. Bohranlage für das GRD-Verfahren im Einsatz [V31]

7541014/10787806875Biblio

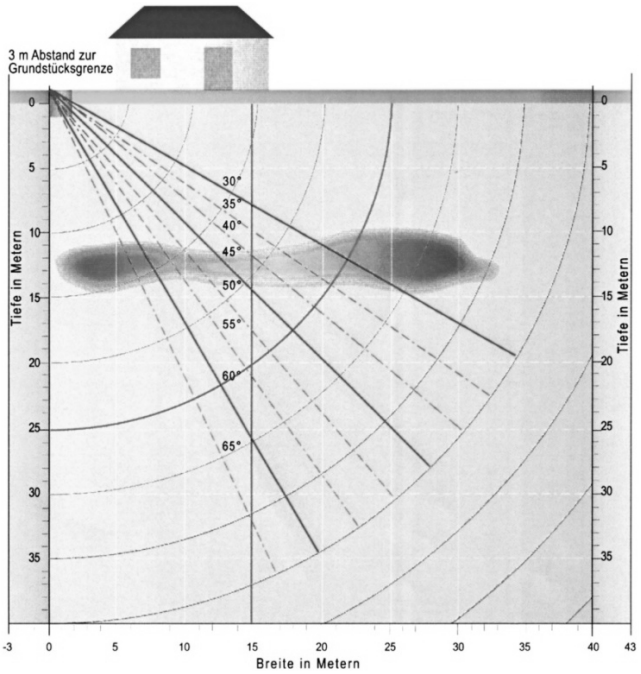


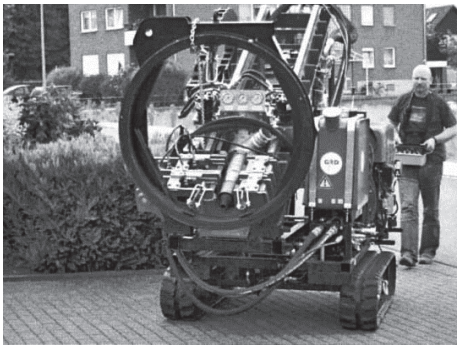
Abb. I-22b: Erreichbare Sondenlänge in Abhängigkeit von der Bohrneigung [V31]

Die Bohranlage selbst ist kompakt, bedienerfreundlich und lässt sich leicht transportieren sowie schnell installieren. Die Bohranlage hat einen Drehkranz, mit dem sie sich in jede gewünschte Position drehen lässt. Auch die Neigung ist von 15° bis 65° einstellbar. Auf diese Weise lassen sich auf dem Grundstück gezielt wasserführende Schichten mit hoher Wärmeentzugsleistung ansteuern.

Kenndaten:

Bohrungsneigung [°]	Erreichbare Sondenlänge [m]
35	48
40	40
45	37
50	33
55	31
60	28
65	26

7541014/10787806875Biblio



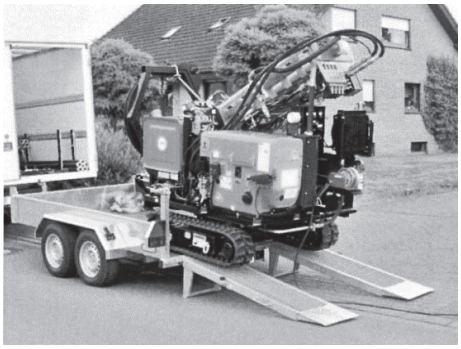


Abb. I-22-c: Transport zur Bohrstelle (links) – Geringe Transportkosten auf Tandem-Transporter-Anhänger [V31]

Die geringen Gerätemaße erlauben die Ausführung der Arbeiten auf engstem Raum, in geschlossenen Räumen, Hinterhöfen usw.

Die Vor- und Aufweitbohrung in dem erforderlichen Durchmesser werden in einem Arbeitsgang durchgeführt. Ein großer Zeitgewinn ist, dass das Gestänge ineinander gesteckt und nicht verschraubt wird. In einem zweiten Arbeitsgang erfolgt der Erdwärmesondeneinbau.

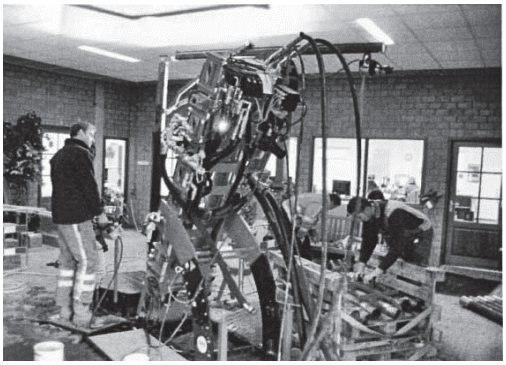


Abb. I-22d: Herstellung von Geothermiebohrungen in einem geschlossenen Raum [V31]

Anzuwendende Bohrverfahren

- Imlochhammer mit 90 mm Bohrkronen und Spülbohrungen,
- vorh. Pumpen: 4-stufige Schneckenpumpe 2.250 l/min – 20-bar-Kreiselpumpe: 750 l/min – 20 bar,
- Bohrrohre: L = 1.000 mm – Ø 114 mm – Bohrgestänge: L = 1.000 mm – Ø 76,1 mm
- Kraftdrehkopf: 1.500 Nm
- Antriebsleistung: 24 kW Hatz-Diesel

Hochwärmeleitfähiges Verpressmaterial fixiert die Sonden dauerhaft im Bohrloch, sodass der thermische „Kurzschluss“ unmöglich ist. Die Erdwärmesonden werden dann aus einem zugänglichen Sammelschacht herausgeführt und für den Anschluss an eine Wärmepumpe vorbereitet.

7541014/10787806875Biblio

3.5 Energie aus dem Grundwasser

3.5.1 Voraussetzungen

Auch das Grundwasser mit Temperaturen von ca. 8 bis 12 °C lässt sich energetisch nutzen. Im Gegensatz zu Oberflächengewässern weist Grundwasser nur geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen auf.

Große Vorkommen befinden sich vorwiegend entlang von Flüssen, also in Tälern des Mittellandes und der Voralpen, aber auch an inneralpinen Standorten, wo durchlässige wasserführende Kiesschichten anzutreffen sind. Diese zeichnen sich teils durch Mächtigkeiten von 30 m bis 60 m aus. Mit entsprechenden Bohrungen können die vorhandenen Grundwasserströme erschlossen werden.

In einem ersten Schritt wird festgestellt, ob am Standort genügend Grundwasser vorhanden ist. Ist dies der Fall, kann nach Vorliegen der Bewilligungen eine Bohrung realisiert und gemäß dem benötigten Wärmebedarf und den vorliegenden Grundwasserverhältnissen ausgebaut werden.

Mit einem Pumpversuch und einer chemischen Analyse wird festgestellt, wie viel Grundwasser maximal gefördert werden kann und ob das Grundwasser ohne zusätzliche technische Vorkehrungen direkt in die Wärmepumpe eingeleitet werden kann.

In einem zweiten Schritt wird abgeklärt, wie das abgekühlte Grundwasser wieder in den Grundwasserkörper zurückgeführt werden kann. Bei einem durchwegs durchlässigen Boden kann das Wasser mittels eines flachgründigen Sickerbrunnens zurückgegeben werden. Falls die Bodenschichten jedoch erst tiefer im Untergrund gut durchlässig sind, muss eine zweite Brunnenbohrung realisiert werden.

Erdwärme kann dem Untergrund über geschlossene Systeme (Erdsonden) oder offene Systeme (Grundwasserförderung) entzogen werden. Den Verfahren, die die oberflächennahe Erdwärme zu Heizzwecken nutzen, ist gemein, dass sie an den Betrieb einer Wärmepumpe gekoppelt sind.

Welches Verfahren an einem konkreten Standort zu favorisieren ist, hängt von zahlreichen Randbedingungen ab. Für Grundwasserwärmepumpen ist ein hinreichendes Grundwasserangebot Voraussetzung.

Das Grundwasser sollte möglichst oberflächennah angetroffen werden und die Absenkung im Förderbrunnen möglichst gering sein, da sonst die Förderenergie die Effizienz des Gesamtsystems negativ beeinträchtigt.

Der Untergrund muss so beschaffen sein, dass ein problemloses Reinfiltrieren möglich ist. Um nicht Gefahr zu laufen, dass der Schluckbrunnen durch ausfallendes Eisen und Mangan binnen kürzester Zeit verstopft, ist gegebenenfalls eine Wasseranalyse, zumindest aber eine Sauerstoffbestimmung, empfehlenswert.

Auf jeden Fall sollte eine Entspannung des Grundwassers vermieden werden, da z. B. durch das Entweichen von überschüssiger Kohlensäure das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gestört wird, was ebenfalls zu Ausfällungen führen kann.

7541014/1078780687 5Biblio

3.5.2 Lage der Brunnen

Bei der Erstellung der Anlage muss darauf geachtet werden, dass der Förderbrunnen im Zustrom- und der Rückgabebrunnen im Abstrombereich des Grundwassers liegt, da sich dieses sonst kontinuierlich abkühlt.

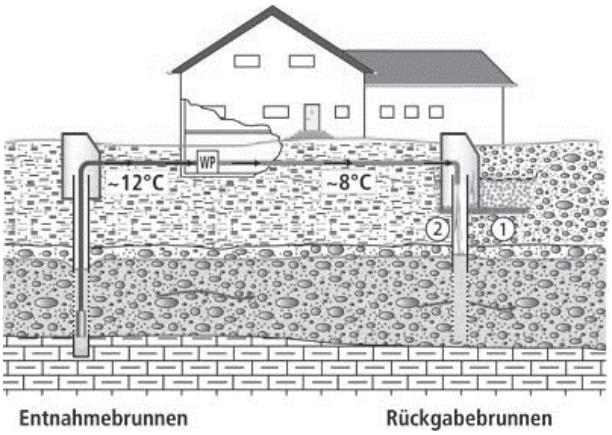


Abb. I-23: Schematische Darstellung und Lage der Brunnen beim Prinzip der Grundwassernutzung [5]

3.6 Saisonale Wärmespeicher

Geothermie steht immer, also unabhängig von der Tages- und Jahreszeit und auch unabhängig vom Wetter zur Verfügung. Optimal wird eine Anlage, in der das oberflächennahe Temperaturniveau genutzt werden soll, dann arbeiten, wenn sie auch zeithomogen genutzt wird.
Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn im Winter mit Hilfe einer Wärmepumpe das oberflächennahe Temperaturniveau von ca. 10 °C zum Heizen genutzt wird und sich dabei entsprechend absenkt und im Sommer dann dieses Reservoir zur direkten Kühlung benutzt wird.
Beim Kühlen im Sommer gibt sich dabei eine Erwärmung des oberflächennahen Reservoirs und damit dessen teilweise oder vollständige Regeneration.

Im Idealfall sind beide Energiemengen gleich. Der Energieverbrauch des Systems besteht dann im Wesentlichen aus der Antriebsleistung für die Wärme- bzw. Umwälzpumpe.

Verstärkt wird diese Funktion, wenn Geothermie mit anderen Anlagen z. B. **Solarthermie** kombiniert wird. Solarthermie stellt Wärme vorwiegend im Sommer zur Verfügung, wenn sie weniger gebraucht wird.

Durch Kombination mit Geothermie lässt sich diese Energie im Sommer in den unterirdischen Wärmespeicher einspeisen und im Winter wieder abrufen.

Die Verluste sind standortabhängig, aber in der Regel gering. Saisonale Speicher können sowohl oberflächennah als auch tief ausgeführt werden. Sogenannte Hochtemperatur-Speicher (> 50 °C) sind allerdings nur in größerer Tiefe denkbar. Beispielsweise verfügt das Reichstagsgebäude über einen derartigen Speicher.

7541014/10787806875Biblio

4 Tiefengeothermie

Die Geothermie ist neben der Sonnen- und Windenergie und der Wasserkraft eine sehr wichtige Möglichkeit der alternativen Energiegewinnung geworden. Neben der oberflächennahen Nutzung der Erdwärme, die schon seit einigen Jahren in großem Umfang genutzt wird, beginnt die Tiefengeothermie durch neue Techniken an Bedeutung zu gewinnen. Mit den Erdwärmevorräten der Erde könnte der derzeitige Energiebedarf (rein rechnerisch) weltweit für über 100.000 Jahre und mehr reichen.

Zu den neuen Möglichkeiten, die Erdwärme auch industriell (z. B. Wärme- und Stromkraftwerke) zu nutzen, zählt die neue Bohrtechnik.

Ein der modernsten Tiefbohranlagen, die neben Bohrungen auf Erdöl und Erdgas insbesondere für tiefe Geothermiebohrungen konzipiert ist, stellt die neue **Bohranlage „Terra Invader TI-350“** der Fa. Herrenknecht (Weltmarkführer für Tunnelbohrmaschinen) dar. Sie wurde Ende 2005 in Dienst gestellt und hat seitdem mehrere Bohrungen bis zu Teufen von 4.545 m (Stand 2009) mit Erfolg niedergebracht.

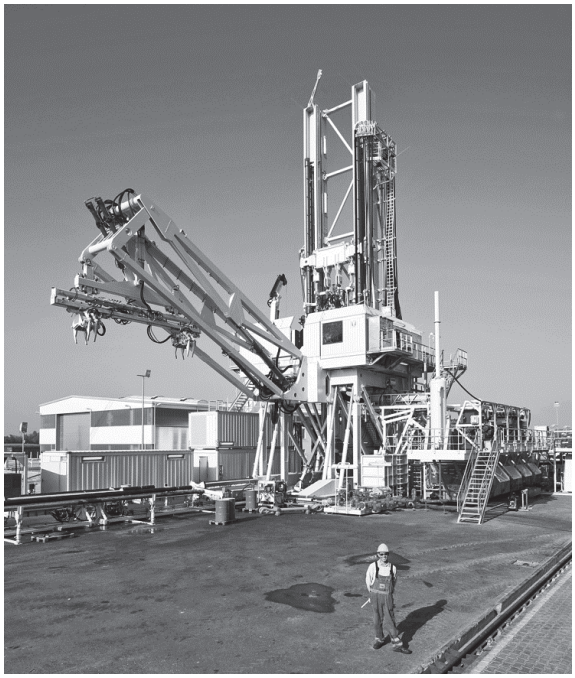


Abb. I-24a:
Herrenknecht-Tiefbohranlage TI-350 [V44]

4.1 Entstehung und Vorrat der Erdwärme

Die Erde ist vor mehreren Milliarden Jahren durch Ansammlung und Verdichtung entstanden. Dieser Vorgang wurde von enormer Wärmeentwicklung begleitet.

Dieser hat sich aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Gesteins bis heute erhalten. 30 % bis 50 % der geothermischen Wärme entstammen dieser Entstehungswärme, 50 % bis 70 % aus dem laufenden radioaktiven Zerfallsprozess im Erdinneren. Nahe der Erdoberfläche kommen außerdem Anteile aus der Sonneneinstrahlung hinzu.

7541014/10787806875Biblio

Man schätzt die Temperatur im Erdkern auf 4.500 °C bis 6.500 °C. Während ca. 99 % des Erdvolumens > 1.000 °C besitzen, weist der Rest eine Temperatur > 100 °C auf.
Der überwiegende Teil des verschwindend kleinen Restes weist eine Temperatur von mehr als 100 °C auf. Dieser „kleine Teil" stellt eine enorme Energiereserve dar. Dagegen sind die Reserven an fossiler Energie (Erdöl und Erdgas) mehr als gering.

Die relativ geringe Wärmestromdichte erfordert, dass die Ausbeutung der Wärmequellen dimensioniert wird, um eine zu starke Abkühlung zu vermeiden. Das bedeutet, dass die nicht genutzte Wärme (Gesamtwärme abzüglich der entnommenen Wärme) in den Wärmepumpen und Kraftwerken dem Boden wieder zugeführt wird. Bei Wärmekraftwerken ist hierzu eine zweite Bohrung erforderlich (s. „Energie aus Grundwasser" – Abb. I-23).

4.2 Tiefe Erdwärmesonde

Die tiefe Erdwärmesonde ist ein geschlossenes System zur Erdwärmegewinnung, welches tiefer reicht als eine in der oberflächennahen Geothermie eingesetzte Sonde. Beide funktionieren auf ähnliche Art und Weise, jedoch erreicht die tiefe Erdwärmesonde höhere Temperaturen, sodass meist keine Wärmepumpe notwendig und eine gleichzeitige Nutzung zu Kältespeicherung nicht möglich ist.

Die gewonnene Energie wird direkt als Wärme genutzt. Dabei stehen auch hier sämtliche potenziellen Wärmenutzungsmöglichkeiten zur Verfügung, die von der Prozesswärme für Industrie und Gewerbe bei hohen Temperaturen bis zur Agrarnutzung bei niedrigen Temperaturen reicht. Die Wärmeübertragungsfläche mit dem Gebirge entspricht lediglich der Mantelfläche der Bohrung.

Die mögliche Entzugsleistung liegt zwischen 150 bis 250 W/m Bohrtiefe, was bei einer Bohrung von 2.000 m bis 3.000 m nur einige hundert kW bedeutet.

Eine Stromerzeugung ist selbst bei hohen Temperaturen wegen der geringen Wärmetauscherfläche der Sonde nicht wirtschaftlich.

Das System der tiefen Erdwärmesonde besteht aus einer einzelnen Bohrung in Tiefen von über 400 m bis zu mehreren 1.000 m. Im einfachsten Fall wird ein koaxiales Rohr eingebaut.
In diesem Rohr zirkuliert ein Wärmeträgerfluid, das durch den äußeren Ringraum der Bohrung in die Tiefe gepumpt wird, sich dort erwärmt, um anschließend über eine dünnere, isolierte Steigleitung im Inneren der Bohrung wieder an die Oberfläche aufzusteigen. Das umgebende Gestein wird als Wärmetauscher genutzt. Als Wärmeträgermedium in den Sonden wird vorwiegend Wasser (evtl. mit Zusätzen) verwendet.

7541014/10787806875Biblio

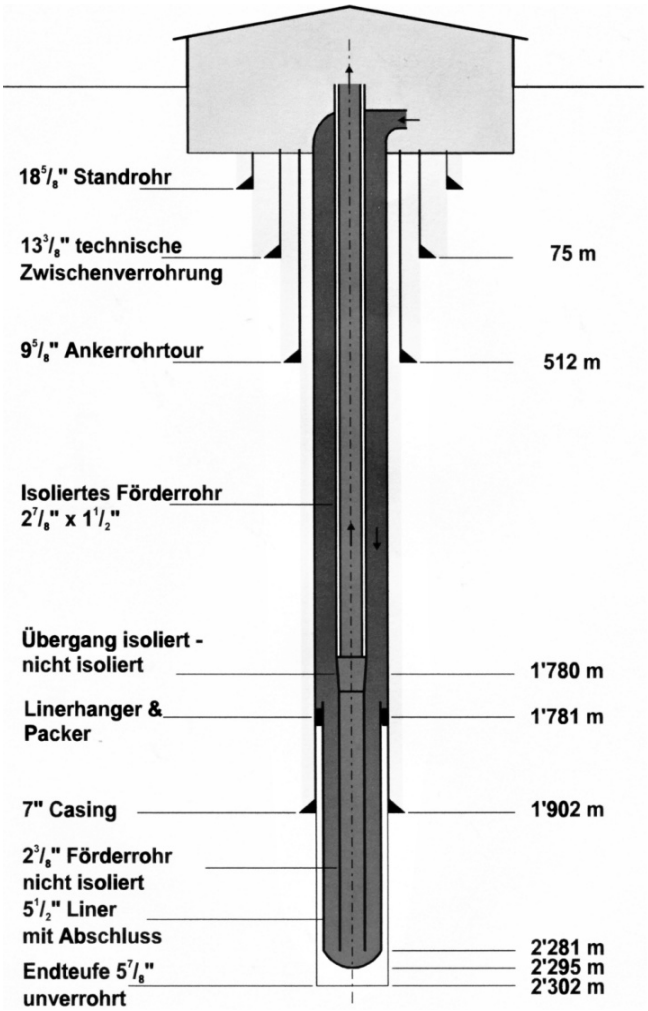


Abb. I-24b: Beispiel für eine tiefe Geothermiebohrung mit einer Teufe von 2.302 m (Systemschnitt) [5]

- **Vorteile tiefer Erdwärmesonden**

Der Vorteil tiefer Erdwärmesonden gegenüber offenen Systemen liegt darin, dass aufgrund des geschlossenen Kreislaufs kein Kontakt zum Grundwasser besteht und somit kein Stoffaustausch mit dem Untergrund stattfinden kann. Geochemische Prozesse wie Lösung und Mineralisation im Umgebungsgestein werden gänzlich vermieden. Tiefe Erdwärmesonden sind an jedem Standort möglich, da sie nicht auf natürliche Thermalwasservorkommen angewiesen und nicht an besondere geologische Strukturen gebunden sind. Es besteht also kein Fündigkeitsrisiko wie bei anderen Systemen der tiefen Geothermie.

Die thermische Leistung einer tiefen Erdwärmesonde ist in erster Linie abhängig von geologischen Randbedingungen – zum einen von dem geothermischen Gradienten, also dem lokal vorhandenen Temperaturanstieg mit zunehmender Tiefe. Zum anderen vom Wärmetransport, der konduktiv über das Gestein langsam, oder konvektiv und damit relativ dazu schnell über das Grundwasser erfolgt.

7541014/10787806875Biblio

Innerhalb der Sonde kann technisch Einfluss auf die maximal mögliche Wärmeleistung einer Anlage genommen werden. Durch den Einsatz von Großwärmepumpen kann die Leistungsausbeute bei geringen Ausgangstemperaturen weiter gesteigert werden.

Alternativ zu zirkulierendem Wasser als Wärmeträgermedium können auch Sonden mit sog. Direktverdampfern (Wärmerohre; engl.: heatpipes) eingesetzt werden.
Als Arbeitsmittel kommt dabei entweder eine Flüssigkeit mit einem entsprechend niedrigen Siedepunkt oder ein Gemisch beispielsweise aus Ammoniak und Wasser zum Einsatz. Eine derartige Sonde kann auch unter Druck und dann beispielsweise mit Kohlendioxid betrieben werden.

Heatpipes können eine erheblich höhere Entzugsleistung erreichen als konventionelle Sonden. Diese Technologie wird bereits in der Geothermie angewendet, befindet sich jedoch noch am Anfang der Entwicklung.

Der Großteil der Kosten für eine tiefe Erdwärmesonde muss für die Bohrung aufgewendet werden. Es können aber auch bereits aus der Erdöl- und Erdgasexploration vorhandene Bohrungen für tiefe Erdwärmesonden ausgebaut und nutzbar gemacht werden, was die Gestehungskosten reduziert.

So wurde z. B. bereits 1988 in Prenzlau eine bereits vorhandene Bohrung auf ca. 2.800 m vertieft und mit einer tiefen Erdwärmesonde ausgebaut. Seit 1994 werden rund 300 kW an thermischer Leistung in das städtische Fernwärmenetz eingespeist. Weitere Pilotprojekte in Deutschland laufen zurzeit an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen und in Arnsberg im Sauerland. Das Projekt mit dem Namen SuperC in Aachen sieht die Versorgung eines Universitätsgebäudes über eine 2.500 m tiefe Bohrung mit Sondenausbau vor, die ca. 80 % des Wärme- und Kühlungsbedarfs des neuen Studentischen Service Centers decken soll. Die Bohrtätigkeiten sind abgeschlossen.

4.3 Petrothermale Systeme

Gesteine in größerer Tiefe weisen eine hohe Temperatur auf. Sofern die Gesteine nahezu wasserfrei sind, kann die darin gespeicherte Energie zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden – Hot-Dry-Rock-System: HDR.

Um die Wärme dieser Gesteine nutzen zu können, müssen sie von Wasser als Wärmeträger durchflossen werden, das die Energie anschließend an die Oberfläche bringt. Das in der Tiefe vorhandene heiße Gestein wird über Bohrungen erschlossen. Hierbei gibt es mindestens eine Förder- und eine Verpressbohrung, welche durch einen geschlossenen Wasserkreislauf verbunden sind (s. dazu Abschnitt 4.6).

Zu Beginn wird Wasser mit einem hohen Druck, der so weit über dem petrostatischen Druck liegen muss, dass die minimale Hauptspannung in der jeweiligen Teufenlage überschritten wird, in das Gestein gepresst. Hierdurch werden Fließwege aufgebrochen oder vorhandene aufgeweitet und damit die Durchlässigkeit des Gesteins erhöht (hydraulische Stimulation).

Dieses Vorgehen ist notwendig, da sonst die Wärmeübertragungsfläche und die Durchgängigkeit zu gering wären. Das so geschaffene System aus natürlichen und künstlichen Rissen bildet einen unterirdischen, geothermischen Wärmeüberträger. Durch die Injektions-Verpressbohrung wird Wasser in das Kluftsystem eingepresst, wo dieses

7541014/10787806875Biblio

zirkuliert und sich erhitzt. Anschließend wird es durch die zweite Bohrung, die Produktions-Förderbohrung, wieder an die Oberfläche gefördert.

Der Vorteil des Hot-Dry-Rock-Verfahrens besteht darin, dass man mit der Wahl der Standorte wesentlich freier ist als bei der Hydrothermie. Nachteilig sind die notwendigen Veränderungen der geologischen Struktur in den tiefen Erdschichten.

Diese können unter Umständen zu ernstzunehmenden Gefährdungen von Anwohnern und Umwelt führen, wie zuletzt im Rahmen einer Bohrung im Raum Basel geschehen, die am 8. Dezember 2006 ein Erdbeben der Stärke 3,4 und weitere Folgebeben auslöste. Glücklicherweise mussten dabei kaum ernsthafte Schäden verzeichnet werden, aber es wurde deutlich, wie sorgfältig man die Installation eines petronalen Systems vorbereiten und durchführen muss.

- **Der Vorteil des Hot-Dry-Rock-Systems**

Grundsätzlich sind sich die Experten aber einig, dass das Verfahren an sich keine Gefahr birgt, Erdbeben einer derartigen Stärke auszulösen. Es müssen dazu weitere ungünstige geologische Bedingungen hinzukommen, die in der Erkundungsphase erkannt und bei der Planung berücksichtigt werden können.

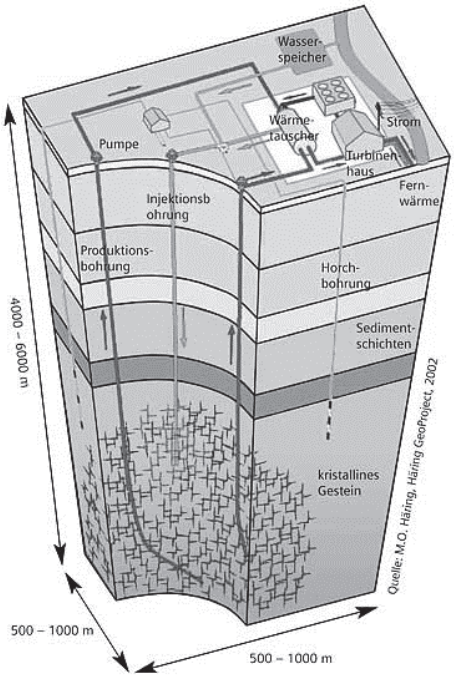


Abb. I-24c: Beispiel für industriell genutzte Erdwärme – Schematische Darstellung [5]

Trotz ausgefeilter seismologischer Erkundungsverfahren ist die Beschaffenheit der durch die Bohrung zu passierenden Erdschichten nicht vollständig ermittelbar. Kleinere Lagerstätten mit brennbaren Medien sind ab einer bestimmten Bohrtiefe nicht feststellbar und können eine potenzielle Gefahr für die mit der Bohrung beschäftigten Mitarbeiter sowie für die Anwohner darstellen, insbesondere wenn man bedenkt, dass Geothermieanlagen durchaus in der unmittelbaren Nähe bewohnter Gebiete errichtet werden.

7541014/10787806875Biblio

- **Tiefbohranlagen im Bereich der Erdwärmerschließung**

Wie oben geschildert, müssen – bevor es zur Nutzung der Energie aus der Tiefe zur Wärmegewinnung oder Stromerzeugung kommen kann – mehrere Bohrungen bis zu Tiefen von 6.000 m angebracht werden. Die grundsätzliche Technologie ist nicht neu: Schließlich ermöglicht das Bohren durch die oberflächennahen Erdschichten seit vielen Jahrzehnten die Förderung von Erdöl und Erdgas auf dem Festland und auf dem Meeresboden.

Für die Erschließung geothermischer Energieressourcen sind allerdings deutlich veränderte Randbedingungen vorgegeben, die bei der Gestaltung der Bohranlagen beachtet werden müssen.

Der wichtigste Unterschied besteht darin, dass die Bohrungen für Geothermieanlagen häufig in unmittelbarer Nähe zu dicht besiedelten Gebieten angebracht werden müssen und dass eine sehr große Anzahl solcher Bohrungen erforderlich ist, um den benötigten Energiebedarf zu decken. Die technologische Entwicklung bei der Förderung fossiler Brennstoffe auf die Erschließung von Lagerstätten geht in immer extremere Lagen.

4.4 Geräte für Geothermie-Tiefbohrungen[33)]

Zur Nutzung der Energie aus der Tiefe zur Wärmegewinnung oder Stromerzeugung müssen mehrere Bohrungen bis zu Tiefen von 6.000 m abgeteuft werden.
Diese Technologie ist nicht neu, sie wird seit vielen Jahrzehnten zur Gewinnung von Erdöl und Erdgas auf dem Festland und auf dem Meeresboden angewandt.

Für die Erschließung geothermischer Energieressourcen sind allerdings nicht unwesentliche Bedingungen zu beachten, die bei der Gestaltung der Bohranlagen beachtet werden müssen.
Der wichtigste Unterschied besteht darin, dass die Bohrungen für Geothermieanlagen sehr oft in unmittelbarer Nähe von besiedelten Gebieten eingebracht werden müssen. Außerdem sind stets mehrere Bohrungen niederzubringen, um den benötigten Energiebedarf zu decken.

Während die Entwicklung bei der Förderung fossiler Brennstoffe immer mehr in einem extremen Umfeld, z. B. der Tiefsee oder sibirischen Permafrostregion, erfolgen muss, sind bei den Geothermie-Tiefbohrverfahren folgende Voraussetzungen wichtig:

- hohe Arbeitssicherheit,
- hohe Arbeitsgeschwindigkeit,
- geringe Umweltbelastung (Lärm).

Der Weltmarktführer bei Tunnelvortriebmaschinen, die Herrenknecht AG, hat große Detail-Erfahrungen aus dem Maschinenbau, der Horizontalbohrtechnik, z. B. Bohr-Antriebe, Spülungstechnik, elektronische Steuerungen und elektronische Steuerung.

33) Der Abschnitt enthält Textbeiträge aus der Zeitschrift Ex 2007 Beitrag: „Energie aus der Tiefe der Erde“ (T. Arnhold u. A. Steilen) mit freundlicher Genehmigung der Herrenknecht AG.

7541014/10787806875Biblio

- **Tiefbohranlagen**

Diese Geräte unterscheiden sich von den üblichen Tiefbohrgeräten durch

– ein optimiertes Sicherheitskonzept (Hand-Off-Technologie),
– ein flexibles Energiemanagement,
– ein technisch ausgeklügeltes Konzept in Form von Zylinderhebewerken,
– integrierte Schallschutzmaßnahmen.

Abb. I-28 zeigt die schematische Übersicht einer Tiefbohranlage. Neben dem Bohrturm erkennt man als weitere Grundbestandteile der Anlage die Stromversorgung mit dem Dieseltank, den Stromgeneratoren und der Schaltanlage. Das beim Bohrvorgang gelöste Erdreich und Gestein muss mit einer Bohrflüssigkeit abtransportiert werden. Die Bohrflüssigkeit wird in den Spültanks gelagert, während des Bohrens in das Bohrloch gefördert und mit dem gelösten Material in der Separationsanlage wieder gereinigt. Zu explosionsgeschützten Dekandern zur Reinigung von Bohrflüssigkeiten.

- **Platzbedarf**

Mit einer Höhe von 52 m und einem Gewicht von 370 t benötigt das Bohrgerät nur eine Fläche von 9 m × 10 m. Die gesamte Bohranlage kann auf einer Fläche von 30 m × 80 m aufgebaut werden. Eine konventionelle Bohranlage benötigt dagegen 80 m × 100 m. Die verschiedenen Anlagenteile können sehr flexibel um den Bohrturm herum angeordnet werden. Auch während der Auf- und Abbauarbeiten reicht die Bohrplatzfläche aus.

- **Fahrerstand (Driller's Cabin)**

Abb. I-25: Driller's Cabin [V44]

Vom Fahrstand aus können vom **Driller** alle wesentlichen Steuerungen über Joystick und Touchscreen vorgenommen werden. Für die Bedienung werden lediglich drei qualifizierte Leute benötigt, bei konventionellen Anlagen dagegen 5 bis 6 Mann benötigt.

7541014/10787806875Biblio

Technischen Daten der Terra Invader 350 (TI-350):

Gerätetyp	*Tiefbohrgerät*
Bezeichnung	Terra Invader 350 (TI-350)
Leistung	4.500 KW
Bohrtiefe	bis 6.000 m
Bedienung (fernbedienbar)	Gestängehandhabung, Verschraubeinheit, Elevator, Iron Roughneck u. a.
***Mast*-Höhe/Hakenlast**	51,8 m/3.500 kN
***Unterbau* Typ**	Box-on Box
Freie Höhe/Futterrohrlast	8,20 m/3.500 kN
Zylinderhebewerk	
Typ	Doppelzylindersystem
Leistung	2.000 kW
Bremsen/Fahrweg	Hydraulische Senkwerkventile/22 m
Typ/Durchgang	HV DT 953-4.450 H – Durchgang: 953 mm (37 ½")
***Top Drive* – Typ/Nennlast**	MH PTD 500 AC 800/4.540 kN
Drehmoment	43.500 Nm
Antrieb	
Dieselmotor/Leistung	MTV 4000 G61E/3 × 1.465 kW
Generatortyp/Leistung	Leroy X 1.700 K/3 × 1.540 kVA
Spannung	690/400/V. 50 Hz
BOP: *Ring-/Backenpreventer*	13⅝" × 10 K/13⅝" × 10 K (1 × Single, 1 × Double)
Spülsystem	
Pumpentyp/Leistung	HVTSP80120-1200/3 × 1.000 kW
Spültankanlage	HV STA 250-135R
Schüttelsiebe	3 × Derrick FLC 2000
Nenndruck	350 bar
Volumina	135 m³ aktiv – 250 m³ gesamt

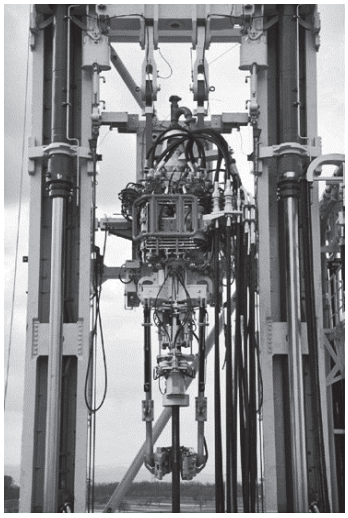
7541014/10787806875Biblio

- **Pipe-Handling-Systeme**

Abb. I-26: Pipe-Handling-Systeme [V44]

Die halbautomatischen Pipe-Handler können vom Assistenten des Drillers von der Driller's Cabin gesteuert werden und dies bei hohen Trippgeschwindigkeiten. Im Bohrbetrieb kann der Driller eigenhändig eine Bohrstange nachsetzen, während der Driller-Assistent andere Aufgaben übernimmt.

- **Top Drive**



Technische Daten Top Drive:

Max. Hakenlast	450 mt (500 sht)
Max. Druck	160 mt
Max. Drehmoment	63,6 kNm 93,4 min^{-1}
Installierte Leistung	800 kW
Lower main Connetion	Box API 7⅝" REG

Abb. I-27: Top Drive [V44]

7541014/10787806875Biblio

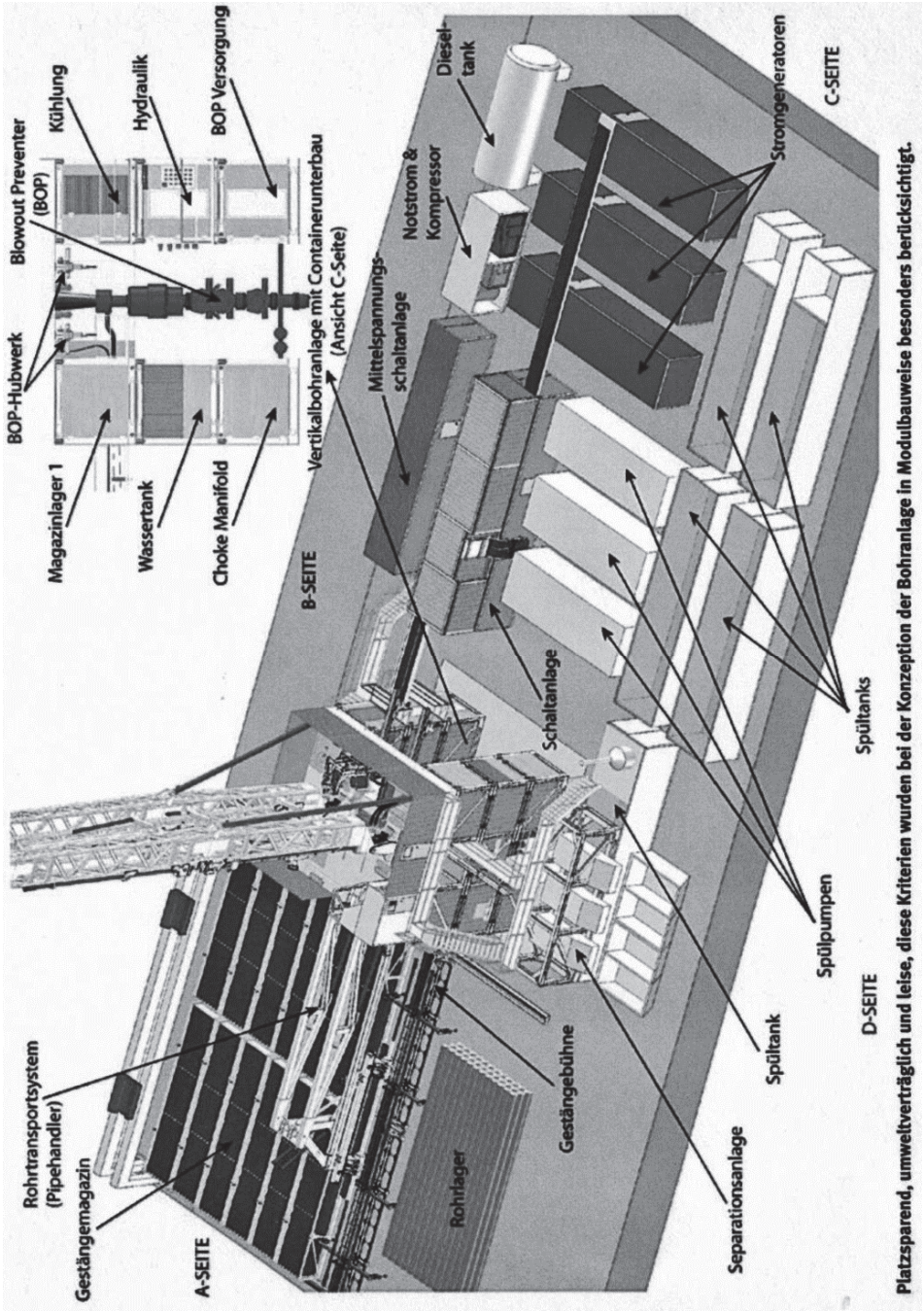
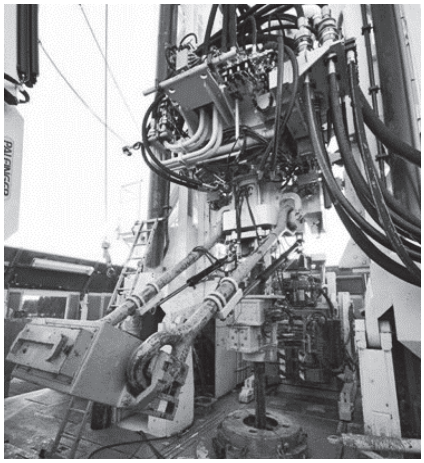


Abb. I-28: TI-350-Bohrplatzeinrichtung mit den Hauptkomponenten [V44]

7541014/10787806875Biblio

- **Elevator und Verschraubeinheit**



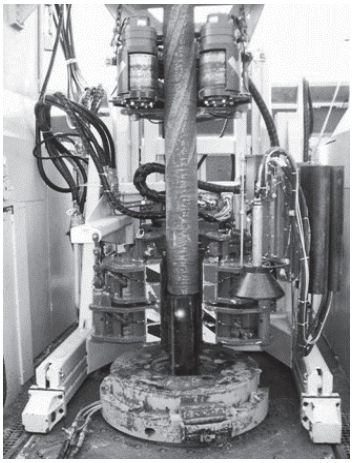


Abb. I-29: Elevator (links) – Verschraubeinheit (rechts) [V44]

Der hydraulische Elevator und die Verschraubeinheit mit Drehtisch werden vom Fahrstand aus bedient. Dadurch befindet sich kein Personal im Gefahrenbereich.

- **Schallschutz**

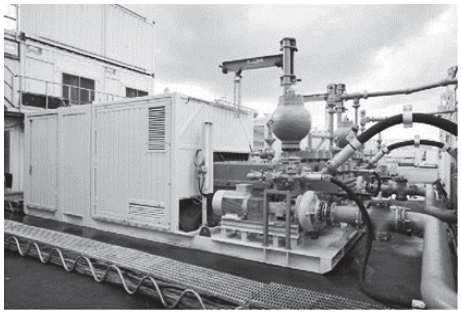


Abb. I-30: Spülpumpe mit Schallschutz [V44]

Am Beispiel der Spülpumpe ist der Schallschutz zu erkennen. Die Aggregate sind mit speziellen Schalldämpfern und optimierter Luftzuführung ausgestattet.

Alle Maßnahmen zusammen führen dazu, dass in einer Entfernung von etwa 120 m der Schall, der vom Arbeitsprozess abstrahlt, nicht über das Geräusch eines Fernsehers oder Radios hinausgeht, das auf Zimmerlautstärke eingestellt ist.

- **Vorteile des Zylinderhebewerkes gegenüber dem Seilhebewerk**

– Ziehen und Drücken des Bohrstranges/Rohrtour ist möglich,
– extrem feinfühlig fahrbar,
– kein Zeitverlust aufgrund von Seilinspektionen,
– kein Nachsetzen und Kürzen des Seiles,
– höhere Arbeitssicherheit.

7541014/10787806875Biblio

- **Gestängelager + Pipe-Handler**

Durch Gestängelager mit Fingerbühne und Pipe-Handler entfällt der sonst übliche Hö-henarbeitsplatz.

Vorteile:

– Keine Kapazitätsbegrenzung der Bohrstranglänge,
– Durchmesserunabhängigkeit der Rohre,
– einfacher Einbau der Futterrohre,
– Flexibilität im Design des Bohrstranges,
– unfallsicher und Schallschutz.

- **Antriebssysteme**

Möglich sind:

– reiner Generatorbetrieb,
– Netzbetrieb – Netz muss über eine Leistung von 4–6 MW verfügen,
– generatorunterstützter Netzbetrieb.

4.5 Genehmigungsverfahren

Erdwärme gilt nach Bundesberggesetz (BBergG) als bergfreier Bodenschatz. In der bayerischen Verwaltungspraxis werden jedoch nur Erdwärmeprojekte mit Bohrungen von mehr als 100 m Teufe oder einer thermischen Leistung von größer 0,2 MW berg-rechtlich behandelt.

Für Bau und Betrieb von Anlagen zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie sind die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Verbindung mit den jeweiligen Landesgesetzen maßgebend (siehe hierzu auch VDI-Richtlinie 4640 – Blatt 1).

So sind z. B. alle Erdwärmebohrungen im Land Bayern nach dem Lagerstättengesetz (LagerstG) dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160 in 86179 Augsburg, anzuzeigen. Nach Abschluss der Arbeiten sind die Ergebnisse der Bohrungen (Lageplan, Schichtenverzeichnis und Ausbauplan) zu übermitteln.

Die Anzeigepflicht nach LagerstG bzw. nach § 35 WHG Art. 34 BayWG oder nach § 127 BBergG obliegt der mit dem Bau der Erdwärmeanlage beauftragten Fach- bzw. Bohrfir-ma.

Ein Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis gemäß Art. 17 bzw. 17a BayWG hat hingegen durch den Bauherrn zu erfolgen; üblicherweise wird er jedoch in dessen Namen von der mit der Planung der Erdwärmeanlage beauftragten Firma gestellt.

BbergG – Bundesberggesetz vom 13.08.1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 37 des Gesetzes vom 21.06.2005 (BGBl. I S. 1818).

LgstG – Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstät-ten (Lagerstättengesetz) vom 04.12.1934 in der im BGBl. III, Gliederungsnummer 750-1 veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Artikel 22 des Gesetzes vom 10.11.2001 (BGBl. I S. 2992).

WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19.08.2002 (BGBl. I S. 3245).

7541014/10787806875Biblio

4.6 Ausführung einer Geothermie-Tiefbohrung[34] – Demonstrationsprojekt GeneSys

4.6.1 Projektbeschreibung

Das Geozentrum Hannover in Groß-Buchholz soll künftig mit Erdwärme aus knapp 4.000 m Tiefe beheizt werden. Grundlage dafür ist das Geothermie-Projekt GeneSys der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Das 23-Mio-Euro-Projekt wird durch Mittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziert. Im Juni 2009 haben die Bohrarbeiten auf dem Grundstück der BGR an der Buchholzer Straße begonnen. Die Anlage soll ab dem Jahr 2012 mit rund 2 MW thermischer Leistung in Betrieb gehen.

Prinzip: Kaltes Wasser wird unter hohem Druck durch eine Leitung in das Erdreich verpresst und erzeugt in ca. 3.700 m Tiefe im umliegenden dichten Buntsandstein ein System von feinen Rissen.

Das vordringende kalte Wasser heizt sich wie in einem natürlichen Wärmetauscher bis zu einer Temperatur von 150 °C auf. Das heiße Wasser steigt im Ringraum zwischen der Einpressleitung und der Bohrlochwand nach oben. Dort wird dem Wasser die Wärme für die Beheizung des Geozentrums entzogen. Das abgekühlte Wasser wird wieder in die Bohrung zurückgepumpt.

Laut Projektleiter Reiner Jatho „stellt das System der getrennten Zugänge für Kalt- und Heißwasser innerhalb einer Bohrung eine technische Herausforderung dar, ermöglicht aber auch eine erhebliche Kosteneinsparung gegenüber einem System mit zwei Bohrlöchern.

Mit dem Demonstrationsvorhaben GeneSys-Hannover soll die Machbarkeit der Nutzung tiefer geothermischer Energie aus dichten Sedimenten gezeigt werden. Hier werden die Forschungsergebnisse und Konzeptentwicklungen aus dem Projekt GeneSys Horstberg umgesetzt.

Ziel ist es, die Büro und Laborgebäude des Geozentrums mit Wärme zu versorgen. Hierfür ist ein Wärmebedarf von ca. 2 MW thermischer Leistung notwendig. Um diese Leistung zu erreichen, werden Fließraten von 25 m^3/h bei Fördertemperaturen von ca. 130 °C benötigt.

Mit der Umsetzung dieses Vorhabens soll unabhängig vom Standort Hannover demonstriert werden, dass Ein-Bohrloch-Konzepte eine Option zur geothermischen Wärmeversorgung von Abnehmern dieser Größenordnung sind (z. B. für Bürokomplexe).“

4.6.2 Ausführung

Das Konzept wurde bereits bei der 4.100 m tiefen Forschungsbohrung der BGR „Horstberg Z1“ in der Südheide erfolgreich getestet. Aufgrund der großen Tiefe und der hier vorhandenen geologischen Gegebenheiten ist nicht mit einer oberirdischen Beeinträchtigung durch feine Risse im Erdinneren zu rechnen. Das zeigen auch die

34) Text und Abb. sind teilweise von der Homepage der BGR und aus einem Artikel der BGR der „bbr“ Sonderzeitschrift „Tiefe Geothermie“ und Internetveröffentlichungen entnommen und wurden freundlicherweise von der BGR zur Verwendung freigegeben.

7541014/10787806875Biblio

Erfahrungen, die beim Horstberg-Projekt gemacht wurden. Die Bohrarbeiten dauern rund fünf Monate.

Hierfür wird von der beauftragten Bohrfirma eine besonders geräuscharme Bohranlage eingesetzt, die speziell für innerstädtische Arbeiten entwickelt wurde.

Eine besondere Herausforderung stellte die Nähe des Bohrplatzes zu einem angrenzenden reinen Wohngebiet dar. Um die Lärmbelastung während der Bohrarbeiten möglichst niedrig zu halten, wurden aufgrund eines unabhängigen Schallschutzgutachtens ausschließlich elektrisch betriebene und somit leise Motoren verwendet.

Die Geräte wurden, wenn nötig, gekapselt und eine 10 m hohe Schallschutzwand aufgestellt. Der Lieferverkehr hat sich in der Bohrphase nach Möglichkeit auf Werktage und auf die Tageszeiten beschränkt

Das Pilotprojekt wird in enger Kooperation mit dem ebenfalls im Geozentrum angesiedelten Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA-Institut) durchgeführt, das hierzu ein wissenschaftliches Begleitprogramm betreibt.

Die Baumaßnahmen bis zur fertigen Wärmezentrale sind auf drei Jahre angelegt. In dieser Zeit werden umfangreiche Tests zur Funktions- und Leistungsfähigkeit der späteren geothermischen Heizanlage durchgeführt.

Abb. I-32-1: Vor Anlieferung der Bohranlage wird die Schallschutzwand mit einer Höhe von 10 m errichtet.
[Quelle: BGR]

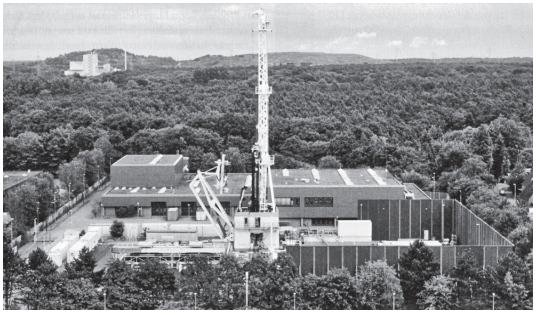


Abb. I-32-2: Bohrplatz der Geothermiebohrung bei Groß-Buchholz mit der aufgebauten Bohranlage Ti 350. Auf der rechten Bildseite ist die Lärmschutzwand und am äußeren Bildrand die Wohnbebauung zu erkennen.
[Quelle: BGR]

4.6.3 Tiefenzirkulationskonzept

Beim **Tiefenzirkulationskonzept** (Abb. I-32-3) werden zwei voneinander in der Höhenlage getrennte Gesteinsschichten über den künstlich erzeugten Riss verbunden und in der Bohrung hydraulisch voneinander getrennt. Wasser wird in eine Formation verpresst und über den erzeugten Riss in die andere Formation geleitet.

7541014/10787806875Biblio

Es wird durch die Sandsteinformation wieder zur Bohrung zurückgeführt und nach über Tage gebracht. Mit diesem Konzept ist eine kontinuierliche Produktion möglich. Es bedingt aber eine vorhandene Permeabilität im Zuflusshorizont, um die „Rückleitung" des Wassers zur Bohrung zu ermöglichen. Ferner wird eine zusätzliche gut isolierte Förderleitung in der Bohrung benötigt, um die in der Bohrung stattfindenden gegenläufigen Wasserströme voneinander zu isolieren.

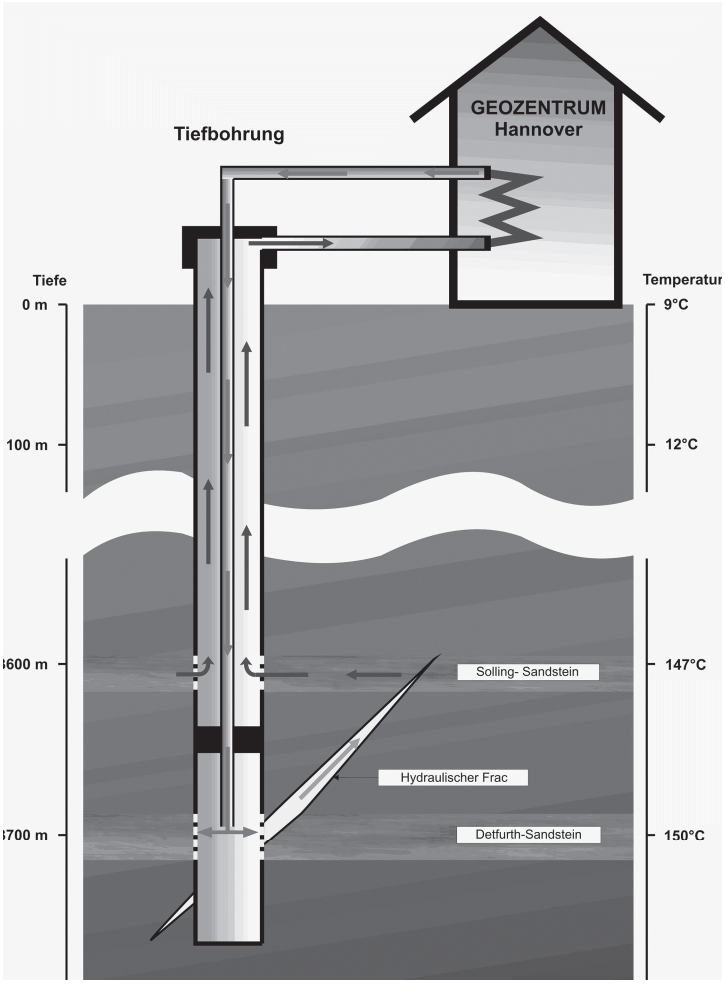


Abb. I-32-3: Prinzip der Tiefenzirkulation [Quelle: BGR]

4.6.4 „Huff-Puff"-Konzept

Hierbei wird eine große Menge Wasser in die erzeugte Rissfläche in der Formation verpresst, dort über eine gewisse Zeit (Aufheizphase) gespeichert und anschließend gefördert (Abb. I-32-4). Die Wärme wird dann über Tage mittels Wärmetauscher dem Thermalwasser entzogen und dem Heizungssystem zugeführt. Das geförderte Wasser wird in einer höher gelegenen Formation verpresst oder zwischengelagert.

7541014/10787806875Biblio

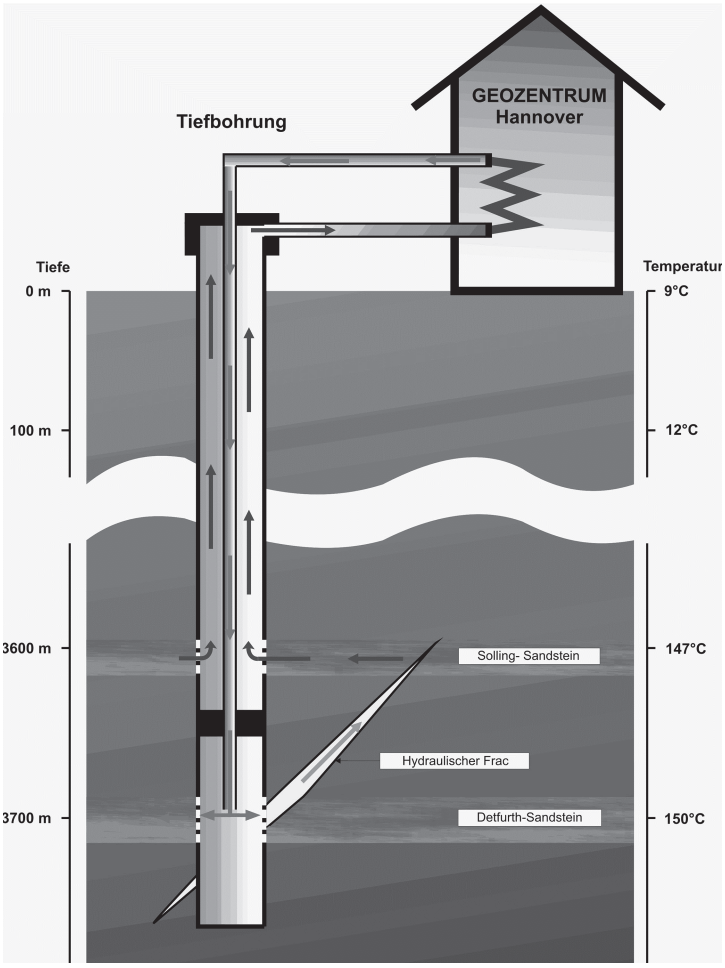


Abb. I-32-4: Prinzipdarstellung des „Huff-Puff"-Systems (blaue Pfeile Injektion – rote Pfeile Förderung) [Quelle: BGR]

Eine geringe Permeabilität der Formation ist für dieses Konzept von Vorteil, da der Verlust von Wasser in der Gesteinsmatrix dadurch minimiert wird. Nach erfolgreichen, durch das BMU finanzierten Test- und Entwicklungsarbeiten in der aufgelassenen Erdgasbohrung Horstberg Z 1 in der Südheide wurden 2005 die Arbeiten für das Demonstrationsprojekt GeneSys in Hannover, finanziert vom BMWi (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), freigegeben.

Die neu entwickelten Konzepte zur Gewinnung geothermischer Energie aus den dichten Sedimenten der Formationen des Buntsandsteins sollen in Hannover zur Anwendung kommen.

7541014/10787806875Biblio

4.6.5 Bohrarbeiten

Nach Zulassung des Hauptbetriebsplans am 27.05.2008 wurden die Arbeiten zum Abteufen der Bohrungen in die Wege geleitet. Am 02.06.2009 wurde mit dem Aufbau der Bohranlage Herrenknecht Innova Rig TI 350 und dem Einrichten des Bohrplatzes begonnen. Bohrbeginn war am 24.06.2009.

Die Bohrarbeiten wurden ausgeführt von dem Bohrunternehmung H. Anger's Söhne, Hessisch Lichtenau.

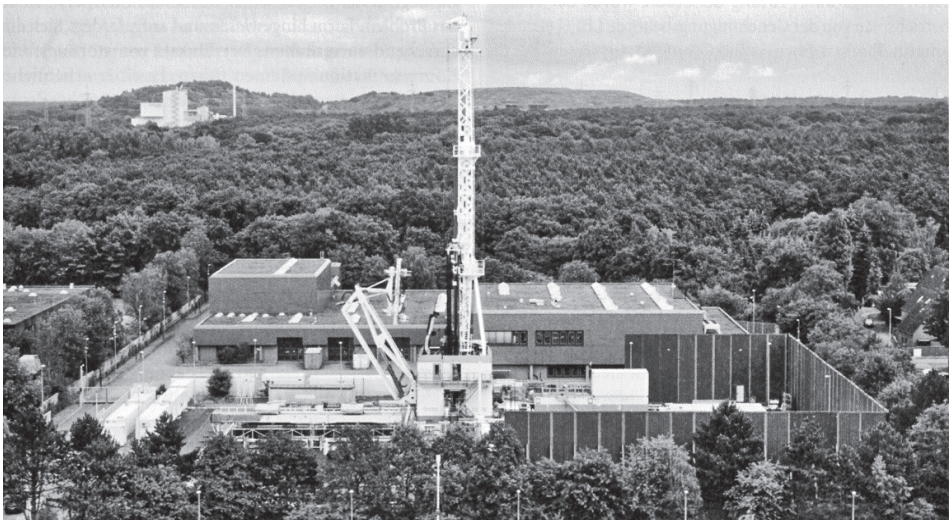


Abb. I-32-5: Gesamtansicht mit Bohrgerät und Lärmschutzwand recht im Bild [Quelle: BGR]

Im Bild (I-32-6) erkennt man das aufgebaute Bohrgerät. Der Mast hat eine Höhe von 51,8 m über Grund. Die Haken-Nennlast beträgt 350 t. Links im Bild befindet sich in ca. 6 m Höhe der sogenannte „Pipe-Handler", der das Bohrgestänge aufnimmt und mit einer 90°-Drehung in den Bohrturm stellt. In der Bildmitte unten steht ein Lagergestell für das Gestänge. Jedes Einzelgestänge hat eine Länge von 9 m. [Quelle: BGR]

7541014/10787806875Biblio

Abb. I-32-6: Komplett errichteter Bohrturm

- **Erster Bohrabschnitt**

Gebohrt wurde im Bohrdurchmesser 17½" mit Zahnmeißeln im Rotary-Verfahren mit Top Drive. In einer Teufe von 625 m wurde am 28.06.2009 auf Bohren mit Untertagebohrmotor mit Benthousing (Neigungsübergang) und MWD (Messdatenerfassung beim Bohren: Neigung, Richtung, Temperatur) umgestellt. Grund war eine Messung der Neigung mit Single-Shot von 110 die sich dann jedoch als Fehlmessung herausstellte. Mit dieser Garnitur wurde am 03.07.2009 das Valangin (Unterkreide) in ca. 1.100 m Teufe angefahren und bis 1.154 m durchteuft.

In dieser Teufe wurden erste Anzeichen des Wealden-Sandsteins als vorgesehene Absetzformation der 13⅜"-Ankerrohrtour festgestellt.

Beim Befahren der Bohrung traten ab einer Teufe von ca. 550 m mehrfach Schwierigkeiten beim Hochfahren (Über-Lasten) und beim Nachräumen (hohe Lastaufnahme und Drehmoment, starker Austrag) auf. Der Strang war mehrfach kurz fest, konnte aber immer wieder freigearbeitet werden. Unter schwierigen und zeitintensiven Bedingungen wurde der Wealden-Sandstein bis zu einem kompakten Abschnitt in Teufe 1.196 m als geeignete Absetzteufe für die Ankerrohrtour durchteuft.

7541014/10787806875Biblio

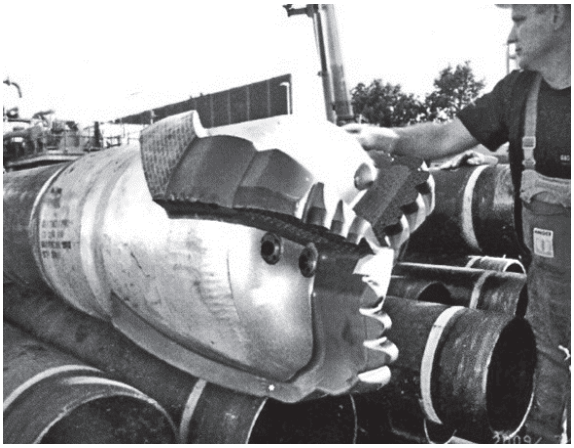


Abb. I-32-7: Schneidkrone zum Einbau der 13⅜-Casing-Systems Tork-Drive der Fa. Weatherford [Quelle: BGR]

Da ein freies Befahren der Bohrung, wie es für einen konventionellen Rohreinbau notwendig ist, nicht erreicht werden konnte, wurde entschieden, die Rohre mit dem Tork-Drive-System der Firma Weatherford mit Einsatz einer Schneidkrone einzubauen (Abb. I-32-7). Mit diesem System konnten die Rohre spülend, drehend bis Teufe 1.175 m eingebaut werden. Anschließend wurden die 13⅜"-Rohre in drei Schritten (zweiter und dritter Schritt über den Ringraum mit 1,66"-Tubing) bis zutage zementiert. Das verpumpte Zement-Volumen betrug ca. 500 m³.

Grund für die Verzögerungen waren neben den nicht vorhersehbaren geologischen Problemen die Auflagen zum Lärmschutz.

Während das Bohrgestänge bei konventionellen Anlagen senkrecht im Turm abgestellt wird, wurde beim GeneSys-Projekt zum Schutz der Anwohner ein besonders geräuscharmes Verfahren gewählt. Bei der von der BGR eingesetzten Anlage ‚Innova-Rig' wird das Bohrgestänge in dem auf dem Boden stehenden Gestängeboxen abgelegt.

Das ist deutlich leiser, führt aber zu längeren Zeiten beim Ein- und Ausbau des Bohrmeißels. Insgesamt wurden beim GeneSys-Projekt 19 Bohrmeißel benötigt, um die Endteufe zu erreichen. Insgesamt erhöhten sich die Bohrkosten dadurch um vier auf 13 Mio. Euro. Die Investitionen für das komplette Projekt inklusive Forschungs- und Testarbeiten sowie neuer Heizzentrale betragen rund 20 Mio. Euro. Finanziert wird das Vorhaben durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Nach der erfolgreichen Verrohrung des ersten Bohrlochabschnitts bis 1.175 m wurde der Rohrschuh aufgebohrt und aus dem Wealden-Sandstein ein Kern gezogen.

Ein geplanter hydraulischer Fördertest, Lifttest mit Stickstoffvorlage unter Einsatz einer Coiled Tubing (CT) Unit in der Wealden-Formation, brachte einen Zufluss von etwa 15 m³ pro Stunde aus der offenen Bohrlochstrecke zwischen 1.175 m und 1.223,5 m. Zusätzlich wurden vier In-situ-Tiefenproben (Formationswasser und Gas) gewonnen und zur Analyse weitergegeben.

7541014/10787806875Biblio

Abb. I-32-8: Neuer PDC-Meißel (links) – Verschlissener PDC-Meißel nach 1.000 m Bohrstrecke (Quelle: BGR)

- **Zweiter Bohrabschnitt**

Der zweite Bohrabschnitt wurde im Durchmesser von 12¼" bis auf 2.878 m vertieft.

Aufgrund der nachfallbedingten Schwierigkeiten im ersten Bohrlochabschnitt wurde der zweite Abschnitt mit einer höherwertigen Spülung gebohrt als zunächst geplant, und zwar mit dem Ultradrill-System von MI SWACO.

Hierbei handelt es sich um eine stark toninhibierende Spülung auf Wasserbasis, die fast die gleichen Eigenschaften hat wie eine Spülung auf Ölbasis. Ferner wurde die Strecke mit Motor, Benthousing und MWD und im mit PDC (polycristalline diamond cutter) bohrbaren Bereich (1.250 m bis 2.396 m (Rhät-Sandstein)) mit PDC-Meißel in einem „run" abgeteuft. Die Neigung konnte in diesem Bereich unter 3° gehalten werden bei einem Azimut von 220°.

Das neue Spülungssystem und der Einsatz des PDC-Werkzeuges führten dazu, dass die Bohrung in diesem Abschnitt nahezu kaliberhaltig ist. Nach Erreichen der Teufe 2.396 m wurde eine Bohrlochmessung durchgeführt (Kaliber, Neigung, Orientierung, Gamma-Ray, Sonic sowie Dichte und Porosität in ausgewählten Abschnitten). Im Bereich 1.985 m bis 2.035 m – Übergang vom Dogger zur Lias – kam es zu einem leichten Gaszutritt in Verbindung mit einem Zufluss von ca. 6 m^3. Durch Anheben des Spülungsgewichts von 1,25 kg/l auf 1,35 kg/l konnte dieser beendet werden.

In den folgenden Abschnitten kamen Warzenmeißel zum Einsatz. Nach Erreichen des Oberen Muschelkalks wurden Bohrlochmessungen insbesondere zur Bestimmung der Spannungsverhältnisse in der Bohrung durchgeführt. Sie sollten erste Erkenntnisse für die Festlegung der Richtung der im dritten Bohrlochabschnitt geplanten Ablenkung erbringen.

Die gemessenen Temperaturen ließen auf einen höheren Gradienten als zunächst prognostiziert schließen, die Temperatur in 2.800 m betrug ca. 130 °C.

Der zweite Bohrlochabschnitt bis 2.878 m Teufe wurde mit einer 9⅝"-Rohrtour gesichert, deren Rohrschuh in Teufe 2.876 m steht.

Der Ringraum zwischen der 9⅝"- und der 13⅜"-Ankerrohrtour wurde nicht bis zu Tage, sondern planmäßig nur bis 1.325 m zementiert.

Somit ist über den Ringraum zwischen der zuvor eingebauten 13⅜"-Rohrtour und dieser Rohrtour der Wealden-Sandstein offen und für spätere Maßnahmen zugänglich.

7541014/10787806875Biblio

- **Dritter Bohrabschnitt und Abschluss der Bohrarbeiten**

Der dritte und letzte Bohrlochabschnitt im Bohrdurchmesser 8½" wurde teilweise gerichtet gebohrt, um dem Bohrloch eine Neigung von etwa 30° und eine Richtung in Azimut 220° zu geben. Zum Einsatz kamen im oberen Bereich Warzenmeißel und im Bereich ab 3.563 m ein imprägnierter Diamantmeißel.

Während der Richtbohrphase im Buntsandstein wurde ein Gamma Ray im MWD mitgefahren, um mögliche Sandsteinformationen für den Gewinn von Bohrkernen früh genug identifizieren zu können.

Abb. I-32-9: Perforation der Verrohrung (links) – Bohrgestänge mit Räumer (rechts) [Quelle BGR]

Der dritte Bohrlochabschnitt konnte ohne große Schwierigkeiten abgeteuft werden. Die erwarteten Bohrfortschritte konnten aber aufgrund der stark verfestigten Formationen nicht erreicht werden. Große Richtungskorrekturen waren nicht notwendig, die Bohrung hatte einen „natürlichen" Verlauf in die vorgesehene Richtung Azimut +/– 220°. Nach der letzten Kernstrecke wurde ohne MWD mit einem imprägnierten Diamantmeißel weitergebohrt. Dieser Bereich soll im Wesentlichen als Sumpf dienen, der Verlauf und die Neigung waren daher nicht mehr ausschlaggebend.

Im Bereich des Rötsalinar war der Strang kurzzeitig fest, konnte aber durch Einzirkulieren von Süßwasserpillen freigearbeitet werden. Das Spülungsgewicht wurde von 1,6 kg/l auf 1,79 kg/l angehoben. Im nachfolgenden Bohrabschnitt traten keine weiteren Probleme durch Festwerden auf.

Es wurden insgesamt vier Bohrkerne aus den Formationen des Detfurth- und Volpriehausen (Mittlerer Buntsandstein) gewonnen (Abb. I-32-9). Die GeneSys-Bohrung hatte am 27. November 2009 ihren letzten Bohrtag. An diesem Tag wurde mit 3.901 m die Endteufe im Unteren Buntsandstein erreicht. Anschließend wurde ein Bohrlochmessprogramm in vier Runs durchgeführt.

7541014/10787806875Biblio

Abweichend von der ursprünglichen Planung wurde dieser letzte Bohrlochabschnitt nicht bis zu Tage verrohrt, sondern als Liner eingebaut, (Rohrdurchmesser 7" und 7⅝"; Dickwandrohre in den Bereichen der drückenden Salzformationen).

Der Linerkopf steht in einer Teufe von 2.747 m. Nach intensiver Überlegung wurde diese Variante gewählt, da dadurch im Bereich oberhalb von 2.747 m mehr Raum für den Einbau von Testgarnituren und auch spätere Komplettierungen vorhanden ist. Die Rohrtour wurde bis zum Liner-Hanger unter Verwendung eines für hohe Temperaturen und den Belastungen einer Geothermienutzung geeigneten Zements (Elasticem der Firma Halliburton) zementiert. In Abbildung I-32-11 sind die Stratigrafie sowie der Ausbau der Bohrung dargestellt.

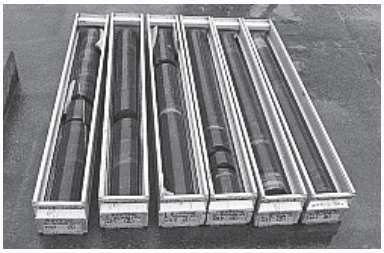


Abb. I-32-10: Bohrkern aus dem mittl. Buntsandstein aus 3.550 m [Quelle BGR]

Am 27.11.2009 um 11:00 wurde nach 157 Tagen Bohrzeit die Endteufe der Bohrung erreicht. Diese liegt bei 3.901 m im unteren Buntsandstein. Die „Saigerteufe", d. h. die senkrechte Tiefe, liegt bei 3.820 m. Am 05.12. und 06.12.2009 wurde die dritte Rohrtour als Liner-Hanger eingebaut und zementiert. Das Bohrloch ist somit komplett verrohrt und zurzeit gegen die Formation verschlossen.

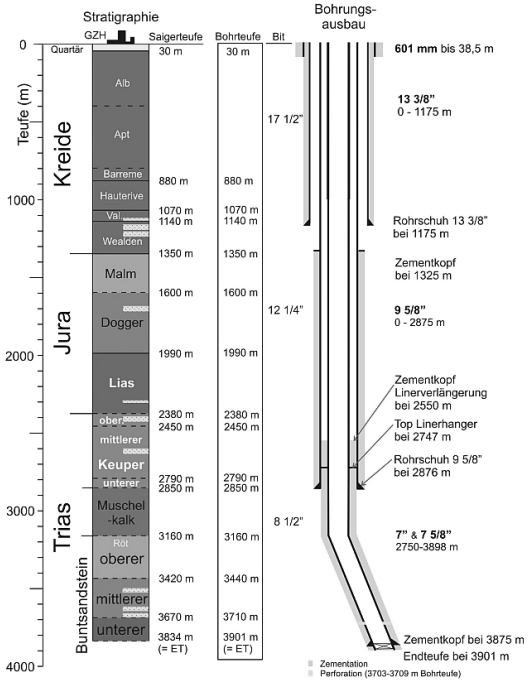


Abb. I-32-11: Stratigrafie und Bohrungsausbau der Bohrung GT1 [Quelle BGR]

7541014/10787806875Biblio

Mit dem Auszirkulieren der Bohrspülung und der Montage des Bohrlochkopfes wird Ende der KW. 50 die Phase des Bohrens abgeschlossen sein. Es folgen im Frühjahr 2010 die Perforation der Verrohrung in den Zielhorizonten und die Vorbereitung der Frac-Operationen zur Schaffung des künstlichen Riss-Systems.

- **Abschließende Arbeiten**

Am 14.12.2009 wurde die Bohranlage frei gemeldet. Der Abbau erfolgte Anfang 2010. Für das Abteufen der Bohrung inkl. aller Nebenarbeiten wurden 174 Einsatztage benötigt.

Die längere Einsatzzeit gegenüber dem Plan ist im Wesentlichen begründet durch die geologischen Schwierigkeiten im ersten Bohrabschnitt (geplant 13 Tage, Dauer 49 Tage), durch sechs Ausfalltage für Reparatur und Einstellarbeiten an der Bohranlage durch die Firma Herrenknecht Vertical, durch eine längere Richtbohrstrecke im dritten Bohrlochabschnitt sowie durch Mehraufwendungen für zusätzlich gewonnene Kerne und Testarbeiten.

Für das Abteufen der Bohrung wurden 16 Bohrwerkzeuge und 3 Kernbohrkronen eingesetzt. Die Zielhorizonte des Mittleren Buntsandsteins wurden in geringerer Teufe angetroffen als erwartet. Dieses Ergebnis deutete sich bereits an, als auch schon die Schichten des Muschelkalks in flacherer Lage angetroffen wurden. Aus diesem Grund musste die Bohrung nicht bis auf über 4.000 m vertieft werden, sondern konnte bereits bei 3.901 m beendet werden.

Der geothermische Tiefengradient scheint in Hannover etwas höher als in Norddeutschland üblich zu sein. Im Bohrlochtiefsten wurde bisher eine noch bedingt durch den Kühleffekt der Bohrarbeiten „gestörte“ Temperatur von 150 °C gemessen. Eine erste Messung der „wahren“ Temperatur ist für den Sommer 2010 geplant.

- **Die Frac-Versuche**

Im Juni 2010 wurde die Verrohrung im Bereich der Zielformation perforiert. Dafür wurden mit einer Perforationskanone Löcher in die Verrohrung geschossen, um so den Anschluss an die Formation zu schaffen (siehe Abb. I-32-9). Durch einen anschließenden **Minifrac-Versuch** mit einer kleinen Fließrate wurden der Gebirgsdruck ermittelt und grundlegende Daten für die geplante massive Frac-Operation geschaffen. Aufgrund des unerwartet hohen Gebirgsdruckes musste ein Schutzstrang in die Bohrung eingezogen werden, um die Verrohrung während der Experimente nicht zu überlasten. Anschließend werden Tests zur Erprobung der verschiedenen Konzepte durchgeführt.

Im September 2010 wurde erneut bei kleiner Fließrate in den bereits bestehenden Minifrac injiziert. Die Wiederholung des Minifrac-Versuchs bestätigte den ermittelten Gebirgsdruck.

Mehrere Druckentlastungen und Beobachtungen der Wiederanstiegskurven wurden zwischen den genannten Testarbeiten durchgeführt, um eine hydraulische Charakterisierung des geothermischen Reservoirs zu ermöglichen.

Im August 2010 fand ein erster erfolgreicher Injektionstest über dem Ringraum der Bohrung statt, um die hydraulische Durchlässigkeit der Wealden-Sandsteine zu testen. Erneute Temperaturmessungen bestätigten eine ungewöhnlich hohe Temperatur von 169 °C im Bohrlochtiefsten.

7541014/10787806875Biblio

4.6.6 Abschluss der Arbeiten

Obwohl für das Abteufen der Bohrung zwei Monate länger erforderlich waren als geplant, konnte GeneSys-Projektleiter Dr. Michael Kosinowski am Ende der 154 Tage dauernden Bohrarbeiten ein positives Fazit ziehen. „Wir haben den Zielhorizont 300 Meter höher als erwartet angetroffen. Gleichzeitig ist es in dieser Tiefe mit 150 Grad Celsius deutlich wärmer als ursprünglich gedacht. Das erhöht den Wirkungsgrad für die spätere Beheizung."

Grund für die Verzögerungen waren zum einen nicht vorhersehbare geologische und technische Probleme. Kosinowski: „Zu Beginn der Bohrung sind wir auf unerwartet weiche Tonschichten gestoßen, die das Bohrloch immer wieder zugedrückt haben. Das hat uns allein einen Monat Zeit gekostet." Zum anderen verlängerte der Einsatz der neuartigen Bohranlage die Abläufe.

Während das Bohrgestänge bei konventionellen Anlagen senkrecht im Turm abgestellt wird, wurde beim GeneSys-Projekt zum Schutz der Anwohner ein besonders geräuscharmes Verfahren gewählt. Bei der von der BGR eingesetzten Anlage InnovaRig wurde das Bohrgestänge, wie bereits erwähnt, vor dem Turm auf dem Boden abgelegt. Das ist deutlich leiser, führt aber zu längeren Zeiten beim Ein- und Ausbau des Bohrmeißels.

4.6.7 Genehmigungsverfahren

Wie bereits erwähnt, unterliegen alle Betriebsanlagen und Betriebseinrichtungen zur Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen dem Bundesberggesetzes (BBergG § 2) und sind in der Regel betriebsplanpflichtig.

Bohrungen sind Bestandteil der Betriebsanlagen und Erdwärme ist ein bergfreier Bodenschatz, wenn eine Direktnutzung vorliegt, d. h. kein Einsatz einer Wärmepumpe erforderlich ist.

- **Zulassungsverfahren im Projekt GeneSys**

Aufgrund der in Hannover vorliegenden Umfeldsituation – innerstädtischer Bereich, reines Wohngebiet – wurde im Vorfeld der Bohrung in Hannover von der zuständigen Bergbehörde der Nachweis gefordert, dass die Vorgaben der „Technischen Anleitung zum Schutz vor Lärm" (TA Lärm) (35 dB [A] in den Nachtstunden für reines Wohngebiet) während des Betriebes eingehalten werden können.

Im Vorfeld wurde eine Studie (1. Schallimmissionsprognose) über eine im Betriebsfall auftretende Lärmbelästigung erstellt. In dieser Studie wurden die zu erwartende Lärmbelastung dargestellt und die Möglichkeiten der Lärmminderung aufgezeigt.
Hierbei zeigte sich, dass der aus dem Umfeld verursachte Grundlärmpegel durch angrenzende Autobahnen schon über dem zulässigen Wert der TA Lärm lag – der gemessene Dauerschallpegel in den Nachtstunden lag bei 44,6 dB(A).

Für das Projekt Hannover waren neben den Trägern öffentlicher Belange auch die direkt betroffenen Anwohner in das Verfahren einzubeziehen (§ 48 des BBergG). Am 08.11.2005 wurden die Anwohner durch die Bergbehörde zu einer Anhörung eingeladen. Dort wurde das Projekt vorgestellt und die Ergebnisse der 1. Schallstudie dargestellt. In diesem Gespräch stellte sich schnell heraus, dass neben der „Angst" vor star-

7541014/10787806875Biblio

ker Lärmbelästigung auch eine Gefährdung der Integrität ihrer Wohnbebauung durch Erschütterungen während der Bohrarbeiten befürchtet wurde. In den Nebenbestimmungen der Zulassung des Rahmenbetriebsplans wurden diese Bedenken in den folgenden Punkten aufgenommen (Auszug aus der Zulassung):

- Einhaltung der in der 1. Schallimmissionsprognose als Grundlast gemessenen Werte durch Errichten einer Lärmschutzwand (LSW), geräuscharme Antriebe der Anlagen (elektrisch), Mitarbeitersensibilisierung usw.
- Erstellung einer Studie zu den möglichen Erschütterungen während der Arbeiten als Voraussetzung zur Einleitung des Betriebsplanverfahrens zum Hauptbetriebsplan.
- Das Standrohr ist zu bohren, Rammen ist nicht zulässig.
- Lärmintensive Arbeiten sind grundsätzlich tagsüber und an Werktagen durchzuführen.

In einer internen Studie wurde eine „Abschätzung der Erschütterungen“ zur Beurteilung möglicher Beeinträchtigungen von Personen in Gebäuden oder Gebäudeschäden durch auftretende Erschütterungen während der Bohrplatzherstellung, der Bohrarbeiten, der anschließenden Testarbeiten sowie im regulären Betrieb ausgearbeitet. Die Ergebnisse wurden in einer Kurzfassung den Anwohnern zur Verfügung gestellt. Die zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten liegen im Wesentlichen unter 1 mm/s. Bei den Arbeiten zum Bohrplatzbau und bei notwendigen Fangarbeiten können Schwinggeschwindigkeiten bis 16 mm/s auftreten.

Auf die weiteren umfangreichen Nebenbestimmungen wird im Rahmen dieses Buches nicht eingegangen.

Das Genehmigungsverfahren hatte aufgrund der exponierten Lage des Projektes besondere Planungs- und Vorbereitungsarbeiten notwendig gemacht.

Die intensive Zusammenarbeit mit der zuständigen Zulassungsbehörde – in Niedersachsen das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) – erbrachte hier die richtigen Lösungen und ermöglichte eine gezielte Vorbereitung der Zulassungsverfahren.

Durch Einsatz einer schalloptimierten Bohranlage und besonderer Lärmminderungsmaßnahmen wie Lärmschutzwand, elektrischer Antrieb der Anlage und Sensibilisierung der Bohrmannschaft konnten die Arbeiten erfolgreich durchgeführt werden.

Die Einbeziehung der Anwohner in das Projekt durch Anhörung, Informationsveranstaltungen und schriftliche Informationen sowie der offene Umgang mit interessierten Bürgern führten zu einer beschwerdefreien Ausführungszeit.

5 Risikobewertung von Geothermiebohrungen

Durch die in der Vergangenheit bekannt gewordenen Probleme und Schäden im Zusammenhang mit Geothermiebohrungen sind Zweifel an der sicheren Nutzung der oberflächennahen und tiefen Geothermie aufgekommen. Ein sicheres Vertrauensverhältnis für eine sichere Erdwärmenutzung wird daher nur erreicht werden, wenn die Probleme, Auswirkungen und Schäden sowie die hierfür verantwortlichen Ursachen bzw. Gefahrenpotenziale bekannt gemacht und Lösungswege aufgezeigt werden.

7541014/10787806875Biblio

Grundsätzlich sind alle Bohrungen Eingriffe in den geologischen Erdkörper. So sind auch Geothermiebohrungen unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.
Deren Auswirkungen müssen im Vorfeld von den zuständigen Behörden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens bewertet werden.

Die Bohrungen und auch die Erdwärmenutzung selbst können zu irreversiblen Veränderungen im Boden und im Umfeld der Bohrung führen.

5.1 Beispiele für Schadensfälle

- **Kamen-Methler**

Am 9. Juli 2009 wurde in Kamen-Methler (NRW) eine Geothermiebohrung für ein im Rohbau fertiggestelltes Einfamilienhaus niedergebracht.

Als die Bohrung eine Tiefe von ca. 70 m erreicht hatte, wurden die Bohrarbeiten unterbrochen und sollten am nächsten Tag fortgesetzt werden.

Am Abend kam es in der unmittelbaren Umgebung der Bohrstelle zu Bodenabsenkungen, die innerhalb weniger Stunden zur Bildung eines Kraters von rund 50 m^3 bis 60 m^3 Volumen führten. Das Bohrgerät stürzte in den Trichter und das im Bohrloch verbliebene Bohrgestänge riss ab. In der Umgebung traten an insgesamt ca. 20 Gebäuden z. T. erhebliche Rissbildungen und Schäden bis hin zu Schiefstellungen von Wänden auf. Feuerwehr und THW evakuierten die betroffenen Bewohner, die Gebäude wurden gesichert. Sechs Häuser mussten abgerissen werden; es entstand ein Sachschaden in Millionenhöhe.

Abb. I-33: Der Schadensfall in Kamen-Methler [Online Focus]

In der Nacht zum 6. November 2009 wurde in Wiesbaden bei einer Erkundungsbohrung zur Erdwärmenutzung für das hessische Finanzministerium ein unter hohem Druck stehender, artesischer Grundwasserleiter erbohrt.

Das Bohrloch konnte in der Nacht wieder verfüllt werden, allerdings hatten sich seitlich neue Wasseraustritte gebildet. Aus dem sogenannten verwilderten Arteser traten bis zu 6.000 l Wasser pro Minute aus.

Durch diesen unerwartet ergiebigen Arteser wurden auch große Mengen Schlamm ausgetragen, die mehr als einen halben Meter Höhe erreichten und größere Flächen bedeckten.

7541014/10787806875Biblio

- **Landau**

Das Geothermiekraftwerk ist erneut in die Kritik geraten. Der Expertenbericht zur Ursache zweier Erdbeben, die in der Nähe des Kraftwerks Gebäudeschäden verursachten, steht noch aus. Zudem traten wiederholt Schwaden von Wasserdampf aus der Anlage aus. Ein Anwohner erstattete jetzt Anzeige – er befürchtet, dass der Dampf radioaktive Bestandteile enthält.

Schon mehrfach ist der Erscheinungstermin des Gutachtens über die Ursachen der Landauer Erdbeben aus dem Spätsommer 2009 verschoben worden.

Der Inhalt könnte große Auswirkungen haben auf die Haftung für Schäden und möglicherweise auf die Genehmigungspraxis für bestehende und geplante Geothermiekraftwerke.

Die Dampfschwaden, die Anlass für die aktuelle Berichterstattung in den Medien wurden, werden von Experten als ungefährlich eingestuft.

- **Staufen im Breisgau**

Eine kleine beschauliche Stadt am Fuße des Schwarzwalds. 7.800 Menschen leben hier. Im Herbst des Jahres (2007) begann das Unheil. Man wollte das historische Rathaus mit klimafreundlicher Erdwärme beheizen. Eine österreichische Firma wurde engagiert, um sieben Sondenbohrungen mit jeweils 140 m Tiefe unterhalb des Rathauses einzubringen.

Kurz danach zeigten sich erste Risse in dem historischen Gebäude. Noch war man nicht wirklich beunruhigt. Zunächst wurde von „kosmetischen Schäden“ und Bewegungen im Millimeter-Bereich gesprochen.
Aus Millimetern wurden jedoch Zentimeter und aus den kosmetischen Schäden eine Katastrophe.

Die Risse im Rathaus begannen zu wachsen, auf andere Häuser überzugreifen, immer länger und immer tiefer zu werden. Nach nur einem Jahr sind mehr als hundert Häuser von zum Teil tiefen Rissen durchzogen.

Abb. I-34:
Beispiel für Schäden in Staufen [1]

7541014/10787806875Biblio

Unter Staufen brodelt etwas. Die gesamte Stadt hat sich angehoben. Und das in Dimensionen, die für geologische Verhältnisse enorm sind. Es geht um mehrere Zentimeter pro Monat.

Geologen wurden zu Rate gezogen. Sie sollten klären, ob – und wenn ja wie – die rätselhaften Risse durch die Bohrungen verursacht wurden.
Wissenschaftler von der TU Darmstadt vermuten, dass durch die Bohrungen am Rathaus die Gips-Keuper-Schicht durchstoßen wurde und man darunter auf den Grundwasserleiter gestoßen ist, in dem Wasser unter hohem Druck steht.

Keuper ist ein Anhydrit, ein Kalziumsulfat. Kommt es mit Wasser in Kontakt, entsteht Gips. Und der dehnt sich aus.
Als die Grundwasserschicht unter dem Keuper angebohrt wurde, schoss das Wasser wie bei einem Geysir durch die Bohrung hoch und kam mit dem Anhydrit in Kontakt. Dadurch kam die chemische Reaktion in Gang. Bis zu 60 % kann das Gestein im Untergrund bei diesem Prozess an Volumen zunehmen.

Anwohner und Gastronomen sind verzweifelt. Am schlimmsten steht es um das Rathaus. Statiker prüfen, wie sicher es überhaupt noch ist, das Gebäude zu betreten.

Die Landesregierung hat zur finanziellen Hilfe bei der Schadensregulierung aufgefordert, da die Stadt das Problem nicht alleine lösen kann. Die Landesregierung hat der Stadt Staufen 2 Mio. Euro Soforthilfe zugesichert.

Inzwischen sind mehr als 230 Häuser beschädigt. Der Schaden betrug 2011 schon über 100 Mio. Euro und ein Ende ist noch nicht abzusehen. Es ist der bis heute größte Schaden im Geothermiebereich.

- **Leonberg BW-Stadtteil Eltingen**

Ein neuer Schaden wurde am 09.08.2011 aus Leonberg (Kreis Böblingen, Baden-Württemberg) gemeldet. Schäden wurden bis dahin aktuell an 24 Häusern gemeldet. Sie werden „sehr wahrscheinlich“ auf die Erdwärmebohrungen zurückgeführt.

Im Fall der umstrittenen Erdwärmebohrungen hat die ausführende Bohrfirma möglicherweise die Auflagen der Behörden missachtet. Bei der Bohrung sollen laut Behörden-Experten zwei grundwasserführende Schichten getroffen worden sein. Der Anwalt der Firma erklärte, „zum jetzigen Zeitpunkt können wir nicht sagen, wie die Verantwortlichkeiten gelagert sind“. Mehrere Gutachter seien dabei, den Fall zu untersuchen.

Abb. I-35: Bis zu 5 cm starke Risse an zz. 24 Häusern. Wie die Gipsmarken zeigen, sind die Bewegungen noch nicht beendet. (Quelle SWR)

Die 80 m tiefe Bohrung wurde von einer ortskundigen Bohrfirma aus dem benachbarten Renningen ausgeführt. Auch das Landesbergamt aus Freiburg, das erst für Bohrungen ab einer Tiefe von mehr als 100 m zuständig ist, hat sich bei der Ursachensuche eingeschaltet.

7541014/10787806875Biblio

Deutschlandweit wurden laut Bundesverband Geothermie rund 300.000 Projekte der oberflächennahen Geothermie erfolgreich ausgeführt. Allein im Landkreis Böblingen sind rund 600 Geothermieanlagen in Betrieb.

Der Verband hat seine fachliche Unterstützung angeboten und hofft, aus den Erkenntnissen von Leonberg künftig solche Vorfälle vermeiden zu können.

5.2 Fehlerquellen

Bei mehreren hunderttausend Erdwärmebohrungen allein in Deutschland kann man im Augenblick nur von Einzelfällen reden und sollte die Vorgänge nicht dramatisieren. Da es sich größtenteils um große Schäden handelt, darf man auch nicht bagatellisieren.

Über Schadensfälle bei der Erkundung und Nutzung der oberflächennahen Geothermie wurden bisher keine zentralen Statistiken geführt, was zu wünschen wäre, denn die Auswirkungen von oberflächennahen Erdwärmesondenanlagen betreffen in vielen Fällen das Schutzgut Grundwasser, die selten bekannt werden.

Neben nachteiligen Auswirkungen auf das Grundwasser selbst können auch nachteilige Beeinträchtigungen an der Erdoberfläche auftreten. Arteser stellen zum Beispiel eine beherrschbare und damit zeitlich begrenzt nachteilige Auswirkung dar. Vereinzelt können aber bei Vorarbeiten oder beim Bau oder Betrieb geothermischer Anlagen Auswirkungen größeren Ausmaßes auftreten.

Die Gründe für Schäden bei Erdwärmebohrungen können sein:

- Planungsfehler, z. B.: ungenügende Informationen über der Untergrundverhältnisse, falsche Bemessung,
- Technische Ursachen, z. B.: falsches Gerät, ungeeignetes Bohrverfahren, unerwartete Hohlräume, z. B.: alte Bohrungen, ehemalige Bergwerksaktivitäten, Gebirgsspalten,
- Antreffen von Grundwasserüberdruck (Arteser),
- Fehler bei der Spülung, z. B.: falsche Spülungszusammensetzung,
- Fehler beim Verpressen, z. B.: zu starker oder zu geringen Verpressdruck,
- Geologische Gründe, z. B.: Anhydritvorkommen, Gebirgsspalten,
- Personelle Gründe, z. B.: Fehler durch Leistungsdruck.

Bei den vielen Möglichkeiten beim Auftreten einer Havarie ist das Bohrpersonal i. d. R. überfordert, da es nicht ausreichend auf die Anzeichen, Vorkommnisse und sofortige Gegenmaßnahmen vorbereitet ist. Es stellt sich die berechtigte Frage: Reicht die kurze Ausbildung zum Geräteführer für diese anspruchsvollen Bohrarbeiten aus oder ist nicht doch eine umfassende Bohrmeisterschulung hierfür notwendig?

Die Bohrunternehmen müssen damit rechnen, dass aufgrund der möglichen Schadenssummen die Höhe der Haftpflichtversicherungsprämien enorm steigen wird. Aus diesem Grunde sollte den geologischen Voruntersuchungen eine wesentlich höhere Bedeutung zukommen. Nach dem Grundsatz in der Geotechnik: „Der Bauherr stellt den Baugrund und trägt die Risiken, die vom Baugrund ausgehen“, daher gehen auch die Kosten entsprechender Baugrunderkundungen zu seinen Lasten.

Die Risikoübernahme deckt natürlich nicht Schäden, die nachweislich durch Fehler und Nichtbeachtung der Vorgaben vom Bohrunternehmen zu verantworten sind.

7541014/10787806875Biblio

6 Zusammenfassung

Die Energiegewinnung durch Erdwärmenutzung gehört zu den umweltfreundlichsten Verfahren und nimmt ständig an Bedeutung zu.

In diesem Kapitel konnten nur die Grundzüge der Geothermie behandelt werden. Diese Technik ist inzwischen zu einem komplexen Thema geworden.

Bei der zu erwartenden Energiekostensteigerung ist mit einer weiteren Zunahme und Entwicklung neuer Techniken zu rechnen, umso wichtiger ist es, das Fachpersonal entsprechend auszubilden.

Die richtige Ausführung des Einbaus, z. B. die Wahl des Bohrverfahrens, auch in Bezug auf die Vermeidung von Gefahren für Dritte, liegt in der Verantwortung der Fachfirmen und nicht in der Aufgabe der Wasserbehörden.

Anders ist dies bei Bohrungen, die nach dem Bergrecht genehmigt werden müssen. Dieses hat nicht nur den Grundwasserschutz im Fokus, sondern die Betriebssicherheit und Sicherheit gegenüber Dritten.

7541014/10787806875Biblio

J Bergrecht

1 Begriffe und Wesen des Bergrechts

Unter Bergrecht sind die Sondervorschriften für das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen zu verstehen. Rechtsvorschriften, die sowohl für den Bergbau als auch für andere Wirtschaftszweige gelten, zählen nicht zum Bergrecht. Wenn allgemeine Vorschriften und das Bergrecht denselben Sachverhalt regeln, kommt das Bergrecht als Sonderrecht für den Bergbau grundsätzlich vorrangig zur Anwendung.

Das Bergrecht bildet die wesentliche rechtliche Grundlage für ordnungsgemäße bergbauliche Tätigkeiten. Da das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen in geologischer, technischer, sicherheitlicher und wirtschaftlicher Hinsicht Besonderheiten aufweisen, die in anderen Wirtschaftszweigen nicht vorkommen, ist eine eigenständige gesetzliche Regelung notwendig. Die Gewinnung von Bodenschätzen kann nämlich nur dort erfolgen, wo eine Lagerstätte vorhanden ist – der Bergbaubetrieb ist also standortgebunden. Wegen des mit dem Abbau verbundenen ständigen „Verzehrs" der Bodenschätze (Verringerung der Substanz) muss der Betrieb der Lagerstätte folgen und sich den Erfordernissen der Lagerstätte ständig anpassen. Der Bergbaubetrieb ist also im Gegensatz zu anderen Industriezweigen kein statischer, sondern ein Betrieb mit ständiger räumlicher Fortentwicklung. Eine Folge dieses fortschreitenden Abbaus ist auch die ständige Veränderung der bergbaulichen Arbeitsstätten. Die dynamische Betriebsweise und die Gefährlichkeit bergmännischer Arbeiten sind der Grund dafür, dass seit altersher das Bergrecht auf Regelungen des Arbeitsschutzes und der Betriebssicherheit besonderes Gewicht legt. Schließlich ist der Abbau von Bodenschätzen bei übertätiger Gewinnung zwangsläufig mit einer Inanspruchnahme der Erdoberfläche verbunden. Bei untertägiger Gewinnung können sich je nach den Lagerstättenverhältnissen zwangsläufig Auswirkungen auf die Oberfläche ergeben. Diese bergbautypischen Situationen sind immer schon Regelungsgegenstand des Bergrechts.

Grundlage des Bergrechts ist seit dem 1. Januar 1982 das Bundesberggesetz vom 13. August 1980, das nach der Vereinigung beider deutscher Staaten auch für die neuen Bundesländer gilt. Das Bundesberggesetz hat in den alten Bundesländern die bisherigen Berggesetze der Länder, wie das Allgemeine Berggesetz für die Preußischen Staaten vom 24. Juni 1865, sowie zahlreiche berggesetzliche Nebengesetze des Bundes und der Länder abgelöst.

In den neuen Bundesländern trat das Bundesberggesetz an die Stelle des Berggesetzes der Deutschen Demokratischen Republik vom 12. Mai 1969.

Ziel des Bundesberggesetzes ist, die Sicherung der Rohstoffversorgung durch das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen zu regeln.

Dies soll unter Berücksichtigung der Standortgebundenheit und des Lagerstättenschutzes bei sparsamem und schonendem Umgang mit Grund und Boden erfolgen.

Dazu gehört es, die Sicherheit der Bergbaubetriebe und ihrer Beschäftigten zu gewährleisten sowie die Vorsorge gegen Gefahren für Personen und Sachgüter zu verstärken. Ferner ist der Ausgleich für unvermeidbare Schäden zu verbessern.

7541014/10787806875Biblio

2 Materieller Inhalt des Bundesberggesetzes

2.1 Anwendungsbereich

Das Bundesberggesetz erfasst die bergbaulichen Tätigkeiten von der Erforschung der Lagerstätte bis zur Wiedernutzbarmachung der in Anspruch genommenen Oberfläche. Insoweit wird die bergbauliche Tätigkeit von Anfang bis zum Ende, d. h. auch die Folgenbeseitigung der eigentlichen Gewinnung, erfasst. Das Bundesberggesetz gilt für das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen.

Die Bergfreiheit hat ihre Wurzeln im Mittelalter. Schon damals wurde erkannt, dass die Gewinnung von Bodenschätzen vielfach nur möglich ist, wenn sie von den Grenzen des Grundeigentums unabhängig ist. Der Abbau von Bodenschätzen wird nämlich von der Lagerstätte diktiert und bestimmt sich nicht nach den Grundstücksgrenzen. Darüber hinaus ist mit der dynamischen Betriebsweise die zeitweise Beeinflussung mehr oder weniger großer Flächen zwangsläufig verbunden.

Eine ausreichende Versorgung der Volkswirtschaft mit mineralischen Rohstoffen kann deshalb bei besonders wertvollen Bodenschätzen nicht vom Willen des Grundeigentümers abhängig sein. Deshalb ist das Recht zum Aufsuchen und Gewinnen dieser Bodenschätze vom Grundeigentum getrennt. Das Recht, solche Bodenschätze zu gewinnen und sich anzueignen, kann dabei dem Staat oder dem Unternehmer zustehen. Im Mittelalter räumte das Bergregal dem Landesherrn das Verfügungsrecht für bestimmte Minerale ein. Das Eigentum an Bodenschätzen kann dem Staat auch in der Form zustehen, dass bestimmte Bodenschätze als volkseigen bezeichnet werden.

Diesen Weg beschritt die ehemalige DDR mit ihrem Bergrecht. Das Bundesberggesetz sieht ausgehend von der Bergfreiheit ein öffentlich-rechtliches Konzessionssystem vor, wonach derjenige, der bergfreie Bodenschätze aufsuchen und gewinnen will, einer vom Staat erteilten Bergbauberechtigung bedarf.

Zu den bergfreien Bodenschätzen zählen bestimmte im Bundesberggesetz aufgeführte, volkswirtschaftlich besonders wertvolle Bodenschätze wie Stein- und Braunkohle, Stein- und Kalisalze, Erdöl und Erdgas, Blei, Eisen, radioaktive Erze, Gold, Kupfer, Silber, Zinn sowie Erdwärme und alle Bodenschätze im Bereich der Küstengewässer und des Festlandsockels. In den neuen Bundesländern gehören zu den bergfreien Bodenschätzen weitere mineralische Rohstoffe, die zum Aufbau der neuen Bundesländer erforderlich sind, zum Beispiel Kiese und Kiessande zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.

Grundeigene Bodenschätze sind die dem Grundeigentümer zustehenden Bodenschätze. Hierzu zählen in den alten Bundesländern zum Beispiel Quarz, Quarzit und feuerfeste Tone sowie alle anderen Bodenschätze, soweit sie nicht bergfrei und untertägig aufgesucht und gewonnen werden.

In den neuen Bundesländern sind alle Bodenschätze, die nicht bergfrei sind, grundeigene Bodenschätze. Für die übertätig abgebauten Bodenschätze, die in den alten Bundesländern nicht dem Anwendungsbereich des Bundesbergesetzes unterliegen – wie Torf, Kies und Sand –, gelten nicht die Vorschriften des Bundesberggesetzes, sondern die landesrechtlichen Vorschriften für Abgrabungen.

7541014/10787806875Biblio

Einzelne Bestimmungen des Bundesberggesetzes finden ferner Anwendung auf bergbauverwandte Tätigkeiten, wie Errichtung und Betrieb von Untergrundspeichern oder Bohrungen von mehr als 100 m Tiefe.

2.2 Bergbauberechtigungen

Wer Bodenschätze aufsuchen und gewinnen will, muss hierzu berechtigt sein. Während sich dieses Recht für grundeigene Bodenschätze aus dem Grundeigentum ergibt, ist für bergfreie Bodenschätze eine vom Staat erteilte Bergbauberechtigung erforderlich. Das Bundesberggesetz unterscheidet folgende Bergbauberechtigungen:

- Erlaubnis,
- Bewilligung,
- Bergwerkseigentum.

- **Erlaubnis**

Die Erlaubnis gewährt das ausschließliche Recht, innerhalb eines „Feldes“ die in der Erlaubnis bezeichneten Bodenschätze aufzusuchen. Aufsuchen ist die auf die Entdeckung von Bodenschätzen oder die Feststellung der Ausdehnung der Lagerstätte gerichtete Tätigkeit, wobei es sich sowohl um Prospektions- als auch Explorationsmaßnahmen handeln kann.

Dem Erlaubnisinhaber steht auch die Befugnis zu, die notwendigerweise bei der Aufsuchung anfallenden Bodenschätze zu gewinnen und sich anzueignen sowie die für das Aufsuchen erforderlichen Einrichtungen, wie Untersuchungsschächte und Stollen, zu errichten. Soweit hierfür die Benutzung fremder Grundstücke erforderlich und eine Einigung mit dem Grundeigentümer nicht möglich ist, kann die Bergbehörde dem Aufsuchungsberechtigten das Recht zum Betreten und Benutzen fremder Grundstücke einräumen.

Die Erlaubnis ist dem Antragsteller von der Bergbehörde zu erteilen, wenn die im Bundesberggesetz aufgeführten Voraussetzungen erfüllt sind. Hierzu zählt u. a. die Vorlage eines Arbeitsprogramms, aus dem hervorgeht, dass die vorgesehenen Aufsuchungsarbeiten hinsichtlich Art, Umfang und Zweck ausreichend sind und in einem angemessenen Zeitraum erfolgen.

Der Erlaubnisinhaber hat jährlich Feldesabgaben zu zahlen. Die für das Aufsuchen gemachten Aufwendungen sind auf die Feldesabgabe anzurechnen.

Die Erlaubnis wird befristet erteilt; sie kann jedoch verlängert werden. Neben Erlaubnissen für gewerbliche Zwecke können für dasselbe Feld auch Erlaubnisse für wissenschaftliche Zwecke oder zur großräumigen Aufsuchung erteilt werden.

- **Bewilligung**

Wer Bodenschätze gewinnen will, bedarf hierzu einer Bewilligung. Die Bewilligung gewährt das ausschließliche Recht, innerhalb eines bestimmten Feldes bestimmte bergfreie Bodenschätze zu gewinnen und an ihnen Eigentum zu erwerben. Zur Gewinnung zählen nicht nur das Lösen und Freisetzen von Bodenschätzen, sondern auch die damit zusammenhängenden vorbereitenden, begleitenden und nachfolgenden Tätigkeiten, wie der Aufschluss eines Grubenfeldes, die Grubenbewetterung und das Aufschüt-

7541014/10787806875Biblio

ten von Halden. Die Bewilligung räumt auch die Befugnis ein, die für die Gewinnung erforderlichen Betriebsanlagen, wie Schachtgebäude und Förderanlagen, zu errichten. Ist der Bewilligungsinhaber nicht Eigentümer des Grundstücks, auf dem die Betriebsanlagen errichtet werden sollen, kann er die Grundabtretung verlangen.

Die Bewilligung ist von der Bergbehörde zu erteilen, wenn der Antragsteller die im Bundesberggesetz genannten Voraussetzungen erfüllt. Hierzu zählen u. a. eine genaue Beschreibung der Lage der Bodenschätze und ein Arbeitsprogramm über die vorgesehene technische Durchführung der Maßnahmen und den zeitlichen Ablauf. Die Bewilligung wird befristet erteilt und kann unter bestimmten Voraussetzungen widerrufen werden. Auf die Bewilligung finden die für das Eigentum geltenden Vorschriften des Bürgerlichen Gesetzbuches entsprechend Anwendung. Die Bewilligung wird von der Eigentumsgarantie des Grundgesetzes erfasst.

Für die Einräumung der Befugnisse, bergfreie Bodenschätze zu gewinnen und sich diese anzueignen, hat der Bewilligungsinhaber eine Förderabgabe zu entrichten, die grundsätzlich 10 v. H. des Marktwertes der gewonnenen Bodenschätze beträgt, und zwar auch dann, wenn aus dem Bergbaubetrieb kein finanzieller Gewinn erzielt wird.

Um den unterschiedlichen Lagerstättenverhältnissen und Gewinnungsverfahren bei den einzelnen Bodenschätzen Rechnung zu tragen, aber auch im Interesse volkswirtschaftlicher Belange, können die Bundesländer für bestimmte Zeit die Förderabgabe für einzelne Bodenschätze modifizieren. Von dieser Ermächtigung haben die Länder weitgehend Gebrauch gemacht.

- **Bergwerkseigentum**

Das Bergwerkseigentum gewährt dieselben Rechte wie die Bewilligung. Darüber hinaus wird das Bergwerkseigentum als grundstücksgleiches Recht behandelt. Es wird folglich im Grundbuch eingetragen und ist beleihungsfähig. Das Bergwerkseigentum kann nur dem Bewilligungsinhaber verliehen werden.

Ist das Bergwerkseigentum vor Inkrafttreten des Bundesberggesetzes verliehen und aufrechterhalten worden, braucht der Bergwerkseigentümer keine Förderabgabe zu zahlen. Außerdem gilt sein Recht grundsätzlich unbefristet.

2.3 Bergbaubetrieb

Die Bergbauberechtigung stellt nur einen Rechtstitel dar. Sie erlaubt dem Inhaber nicht, mit dem Aufsuchen und der Gewinnung von Bodenschätzen zu beginnen. Vor Ausübung der in der Berechtigung genannten Tätigkeiten bedarf es vielmehr noch der Zulassung durch die Bergbehörde.

Als bewährtes Instrument der präventiven Betriebskontrolle stellt das Betriebsplanverfahren einen Teil der intensiven behördlichen Betriebsüberwachung dar. Die Besonderheit des bergbaulichen Betriebsplanes liegt darin, dass er im Gegensatz zu einer einmaligen, auf räumlich nicht veränderbare Betriebsweise ausgerichteten Genehmigung dem fortschreitenden Betrieb angepasst wird. Dies ist der Grund dafür, dass es je nach Situation des Betriebes verschiedene Betriebsplanarten mit unterschiedlichen Regelungsgegenständen gibt.

7541014/10787806875Biblio

Zu den wichtigen zählen der Rahmenbetriebsplan, der einer längerfristigen Absicherung des Bergbaubetriebes dient, der in der Regel alle zwei Jahre zu erneuernde Hauptbetriebsplan zur Führung des Betriebes, der Sonderbetriebsplan für einzelne Betriebsteile und der Abschlussbetriebsplan für die ordnungsgemäße Schließung eines Bergbaubetriebes oder eines Teils des Betriebes.

Allen Betriebsplänen gemeinsam ist die grundsätzliche Anforderung, Umfang, technische Durchführung und Dauer des Vorhabens darzustellen. Der Bergbauunternehmer stellt nach seiner Planung den Betriebsplan auf.

Die Bergbehörde hat anhand dieser Angaben zu prüfen, ob die im Bundesberggesetz bezeichneten Erfordernisse und Belange sichergestellt sind. Dazu gehören zum Beispiel:

- Vorsorgemaßnahmen für die Betriebssicherheit und den Arbeitsschutz,
- Maßnahmen zum Schutz der Oberfläche im Interesse der persönlichen Sicherheit und des öffentlichen Verkehrs,
- Vermeidung von gemeinschädlichen Einwirkungen,
- Schutz der Lagerstätte,
- Vorsorgemaßnahmen zur ordnungsgemäßen Wiedernutzbarmachung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Fläche.

Sind die gesetzlichen Voraussetzungen erfüllt, muss der Betriebsplan von der Bergbehörde zugelassen werden.

Berühren die in einem Betriebsplan vorgesehenen Maßnahmen den Aufgabenbereich von anderen Behörden oder der Gemeinden als Planungsträger, hat die Bergbehörde diese vor der Betriebsplanzulassung zu beteiligen. Beteiligung bedeutet Anhörung und erfordert nicht die Zustimmung dieser beteiligten Stellen.

Grundeigentümer erhalten Gelegenheit zur Äußerung, wenn durch die geplanten untertägigen bergbaulichen Maßnahmen mit schwerwiegenden Beeinträchtigungen ihres Grundeigentums zu rechnen ist. Über die Betriebsplanzulassung entscheidet die Bergbehörde in eigener Verantwortung, da ein zugelassener Betriebsplan die für die bergbauliche Tätigkeit nach anderen Rechtsvorschriften erforderlichen Erlaubnisse und Genehmigungen nicht umfasst (keine Konzentrationswirkung), wie zum Beispiel wasserrechtliche Erlaubnis und Umwandlungsgenehmigung nach dem Forstgesetz. Diese hat der Bergwerksunternehmer neben der Betriebsplanzulassung bei der jeweils zuständigen Behörde einzuholen.

Beim Aufsuchen und bei der Gewinnung von Bodenschätzen sind allgemeine Verbote und Beschränkungen, die bestimmte Grundstücke im öffentlichen Interesse schützen, zum Beispiel Naturschutzgebiete oder Wasserschutzgebiete, zu beachten. Jedoch ist bei der Anwendung solcher Vorschriften nach dem Bundesberggesetz dafür Sorge zu tragen, dass das Aufsuchen und die Gewinnung von Bodenschätzen so wenig wie möglich beeinträchtigt werden.

Seit 1990 ist für neue Bergbauvorhaben, die mit erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sein können, ein Rahmenbetriebsplan vom Bergbauunternehmer aufzustellen, für dessen Zulassung ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen ist.

7541014/10787806875Biblio

Das bedeutet, dass die Bergbehörde neben den bergrechtlichen Vorschriften auch die nach anderen Fachgesetzen einschlägigen Rechtsvorschriften anwendet und den Rahmenbetriebsplan durch einen Planfeststellungsbeschluss zulässt, so dass für das Bergbauvorhaben grundsätzlich keine nach anderen Rechtsvorschriften zusätzlichen Genehmigungen erforderlich sind (Konzentrationswirkung). Teil dieses bergrechtlichen Planfeststellungsverfahrens ist darüber hinaus eine Umweltverträglichkeitsprüfung zur Ermittlung, Beschreibung und Bewertung von erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens können diejenigen, deren Belange durch das geplante Vorhaben berührt werden, Einwendungen gegen den Rahmenbetriebsplan vortragen.

Einzelheiten über die im Betriebsplanverfahren zu beachtenden Anforderungen und anderer zu schützender Belange sind in Bergverordnungen enthalten. Diese treten weitgehend an die Stelle der in der gewerblichen Wirtschaft geltenden Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften. Bergverordnungen erlassen je nach Sachbereich das Bundeswirtschaftsministerium oder die Bergbehörden der Länder.

Im Rahmen der Bergaufsicht wacht die Bergbehörde über die Einhaltung der bergrechtlichen Vorschriften. Sie kann neben der Betriebsplanzulassung die zur Durchführung des Berggesetzes und zur Gefahrenabwehr notwendigen Maßnahmen anordnen.

Die Bergbehörden gliedern sich als Landesbehörden grundsätzlich in **Bergämter** (untere Bergbehörde), **Oberbergämter** (mittlere oder höhere Bergbehörde) sowie **Ministerien** (Oberste Bergbehörde).

Der Bergbauunternehmer ist für die Sicherheit und Ordnung des Betriebes verantwortlich. Zur Wahrnehmung dieser Aufgabe bedient er sich fachkundiger, zuverlässiger und körperlich geeigneter Personen („verantwortliche Personen“), die im Rahmen der ihnen übertragenen Aufgaben und Befugnisse die Sicherheit und Ordnung im Betrieb zu verantworten haben.

Nicht zuletzt aus sicherheitlichen Gründen ist eine genaue Vermessung und zuverlässige schriftliche Darstellung des gesamten Bergwerkbetriebes unerlässlich. Der Bergbauunternehmer hat deshalb für jeden untertägigen Aufsuchungsbetrieb und jeden Gewinnungsbetrieb ein Risswerk mit einem Grubenbild von einem anerkannten Markscheider anfertigen und nachtragen zu lassen.

2.4 Bergbau und Grundeigentum

Die Tätigkeit des Bergbaus ist durch die Bindung an die Lagerstätte gekennzeichnet. Eine Überschneidung mit anderen Nutzungsinteressen auf der Erdoberfläche ist deshalb immer wieder gegeben. Um dennoch die im volkswirtschaftlichen Interesse gebotene Aufsuchung und Gewinnung von Bodenschätzen zu ermöglichen, trifft das Bergrecht Regelungen über die Rechtsbeziehungen zwischen Bergbau und Grundeigentümer.

- **Grundabtretung und Baubeschränkung**

Bei der Gewinnung von Bodenschätzen wird die Erdoberfläche zwangsläufig in Anspruch genommen. Dies gilt nicht nur für Tagebaue mit ihren betrieblichen Einrichtun-

7541014/10787806875Biblio

gen, sondern auch für Tagesanlagen des untertägigen Bergbaus, wie zum Beispiel Fördergerüste und Grubenlüfter.

Wegen der mit dem Prinzip der Bergfreiheit verbundenen rechtlichen Trennung der bergfreien Bodenschätze vom Grundeigentum muss der Bergbauberechtigte zur Durchführung dieser Maßnahmen auch die Möglichkeit haben, das Grundstück zu nutzen. In der Regel wird sich der Bergbauunternehmer mit dem Grundeigentümer über die Benutzung des Grundstückes im Verhandlungswege vertraglich einigen (Pacht-/Kaufvertrag). Wenn eine gütliche Einigung mit dem Grundeigentümer nicht zustande kommt, kann als ultima ratio durch eine behördlich angeordnete Grundabtretung dem Bergwerksunternehmer das Recht zur Nutzung übertragen werden. Das setzt voraus, dass die Inanspruchnahme dem Wohle der Allgemeinheit dient, wenn also zum Beispiel die Versorgung des Marktes mit Rohstoffen gesichert wird. Die behördliche Entscheidung ist für den Einzelfall zu treffen. Da für den Bergbaubetrieb meist nur eine vorübergehende Inanspruchnahme fremder Grundstücke notwendig ist und die Grundabtretung nur in dem für den Bergbaubetrieb notwendigen Umfang durchgeführt werden darf, ist die Grundabtretung grundsätzlich auf eine zeitlich begrenzte Nutzung gerichtet.

Die Übertragung des Eigentums ist nur bei bebauten Grundstücken sowie in den Fällen, in denen der Grundeigentümer es ausdrücklich verlangt, zulässig. Der Bergwerksunternehmer ist verpflichtet, dem Grundeigentümer für den eingetretenen Rechtsverlust Entschädigung zu leisten.

Ist die Inanspruchnahme von Grundstücken durch das Aufsuchen und die Gewinnung von Bodenschätzen innerhalb der nächsten 15 Jahre zu erwarten, kann die zuständige Landesregierung zur langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung Baubeschränkungsgebiete festlegen.

Im Gegensatz zu den in der ehemaligen DDR bestehenden Bergbauschutzgebieten beschränken sich Baubeschränkungsgebiete auf die vom Bergbau zu nutzenden übertägigen Flächen, zum Beispiel Tagebaue. In Baubeschränkungsgebieten dürfen bauliche Anlagen nur mit Zustimmung der Bergbehörde errichtet werden. Die dem Grundeigentümer hierdurch entstehenden Wertminderungen hat der Bergbauunternehmer zu ersetzen.

- **Bergschäden**

Um insbesondere auch den untertägigen Bergbau zu ermöglichen, legt das Bergrecht dem Grundeigentümer eine grundsätzliche Duldungspflicht gegenüber bergbaulichen Einwirkungen auf. Der Bergbauunternehmer seinerseits wird verpflichtet, die aufgrund des Bergbaubetriebes entstandenen Schäden – unabhängig von einem Verschulden – zu ersetzen.

Nach dem Grundsatz „lieber Schaden verhüten, als vergüten“ soll der Entstehung von Bergschäden durch Anpassung und Sicherungsmaßnahmen vorgebeugt werden. Der Bauherr hat auf Verlangen des Bergwerksunternehmers seine baulichen Anlagen bei Errichtung, Erweiterung oder wesentlicher Änderung den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen nach Lage, Stellung und Konstruktion anzupassen. Wo diese Anpassungsmaßnahmen zur Verhütung von Bergschäden nicht ausreichen, sind Sicherungsmaßnahmen, beispielsweise die Verstärkung der Fundamente, durchzuführen. Die Kosten für die schadensverhütenden Maßnahmen hat grundsätzlich der Bergwerks-

7541014/10787806875Biblio

unternehmer zu tragen. Nur die unwesentlichen Aufwendungen für Anpassungsmaßnahmen muss der Bauherr selbst übernehmen. Kommt der Bauherr seiner Anpassungsverpflichtung nicht nach, verliert er seinen Bergschadensersatzanspruch.

Bieten weder Anpassungs- noch Sicherungsmaßnahmen einen ausreichenden Schutz vor Schäden oder stehen die Aufwendungen für solche Maßnahmen in einem unangemessenen Verhältnis zur möglichen Verminderung des Bergschadensrisikos, kann der Bergbauunternehmer den Bauherrn vor der Bebauung des Grundstückes warnen. Wenn der Bauherr trotz dieser Bauwarnung baut, kann er für den am Bauwerk entstandenen Bergschaden keinen Ersatz verlangen. Falls das Grundstück ausschließlich infolge der Bauwarnung nicht bebaut werden kann, hat der Bergwerksunternehmer die Minderung des Grundstücksverkehrswertes zu ersetzen.

Ein Bergschaden liegt vor, wenn durch den Bergbaubetrieb Menschen oder Sachen Schaden erleiden.

Zum Bergbaubetrieb zählen alle Tätigkeiten und Einrichtungen, die mit dem Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen verbunden sind. Neben dem Bergwerksunternehmer haftet auch der Inhaber der Bergbauberechtigung.

Für Bergschäden aus untertägigem Bergbau ist durch eine gesetzliche Bergschadensvermutung die Beweisführung für den Geschädigten erleichtert. Die Ersatzpflicht für Bergschäden kann vertraglich ausgeschlossen werden (Bergschadensverzicht).
Der Verzicht kann in das Grundbuch eingetragen werden und belastet dadurch dinglich gesichert das Grundstück.

Ein Sonderfall der Interessenkollision zwischen Bergbau und Oberflächennutzung ist das Verhältnis zu den öffentlichen Verkehrsanlagen. Dazu zählen Bundesbahnstrecken, Autobahnen und Wasserstraßen. Das Bundesberggesetz geht von einer grundsätzlichen Verpflichtung zur gegenseitigen Rücksichtnahme bei der Planung und Durchführung von öffentlichen Verkehrsanlagen und Bergwerksbetrieben aus.

Wenn ein Nebeneinander von Bergbau und öffentlicher Verkehrsanlage nicht möglich ist, wird der Verkehrsanlage grundsätzlich der Vorrang eingeräumt. Aufwendungen für Anpassungs- und Sicherungsmaßnahmen werden nach der zeitlichen Priorität verteilt, da sowohl öffentliche Verkehrsanlagen als auch Bergbau im öffentlichen Interesse stehen.

Wird der Abbau von Bodenschätzen bereits vor der Planung einer öffentlichen Verkehrsanlage zugelassen, hat der Träger der öffentlichen Verkehrsanlage die Kosten für Anpassungs- und Sicherungsmaßnahmen zu übernehmen; andernfalls hat der Bergbauunternehmer diese zu tragen.

2.5 Ausblick

Das Bundesberggesetz hat sich bisher grundsätzlich bewährt. Regelungsbereiche des Bundesberggesetzes werden zunehmend durch das Recht der Europäischen Gemeinschaft vorgegeben. Dies gilt vor allem auf den Gebieten des Arbeitsschutzes und der Betriebssicherheit sowie des Umweltschutzes. Ein Fachgesetz ist für den Abbau von Bodenschätzen aufgrund der tatsächlichen Besonderheiten sowie im Hinblick auf die Versorgung mit heimischen Rohstoffen weiterhin notwendig. Die Anpassungsfähigkeit des Bundesberggesetzes an die allgemeine Entwicklung hat das Bergrecht mit der Ein-

7541014/10787806875Biblio

führung eines Planfeststellungsverfahrens einschließlich Umweltverträglichkeitsprüfung für bestimmte Bergbauvorhaben bewiesen. Mögliche Konflikte zwischen Bergbau und Umwelt müssen unter Berücksichtigung der Standortbindung des Bergbaus sachgerecht und zügig entschieden werden.

Wesentlich ist, dass der Bergbau seine Investitionsentscheidungen auf einer langfristig gesicherten Rechtsbasis treffen kann.

Literatur zum Abschnitt „Bergrecht“

1. Das Bergbauhandbuch 1994 – Herausgegeben von der Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V. Bonn.
2. Boldt, G.; Weiler H.: Bundesberggesetz (BBergG) nebst Durchführungsbestimmungen des Bundes und der Länder. Berlin: 1983.
3. Boldt, G.; Weiler H.: Ergänzungsband zum Kommentar Bundesberggesetz mit Bestimmungen des Einigungsvertrages. Berlin: 1992.
4. Dapprich, G.; Franke F. J.: Leitfaden des Bergrechts. Aufl. Essen: 1982.
5. Piens, R.; Schulte H. W.; Graf Vitzthums: Bundesberggesetz-Kommentar. Stuttgart: 1983.
6. Zeitschrift für Bergrecht. Red. und hrsg. im Auftr. des Bundesministeriums für Wirtschaft von U. Kullmann und W. Heller.
7. Zydek, H.: Das Bundesberggesetz (BBergG) – Materialien. Essen: 1980.

Hinweis zum BVOT

Die BVOT – Bergverordnung für Tiefbohrungen, Untergrundspeicher und die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohren – wurde zuletzt durch Rundverfügung vom 30.09.2006 geändert.

Wichtig ist, dass länderspezifische Änderungen vorliegen können. Daher ist bei Bohrmaßnahmen die entsprechende Verordnung des Landes zu beachten (z. B. „Rundverfügung der Abt. für Bergbau und Energie in NRW des Reg. Bez. Arnsberg“).

7541014/10787806875Biblio

Resümee

Bei den Recherchen zum vorliegenden Fachbuch wurden meine Hinweise im Vorwort voll bestätigt. „Deutschland ist ein rohstoffreiches Land mit einem funktionierenden Bergbau und einer weltweit führenden Technologie." In der Unfallverhütung und Grubensicherheit sind die deutschen Bergbaubetriebe ein Weltmaßstab. So hat es in Deutschland seit 20 Jahren keine größeren Unfälle in Bergbaubetrieben gegeben.

In allen Bereichen wird mit Nachdruck daran gearbeitet, die Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe immer umweltfreundlicher zu machen. In der Rekultivierung und Renaturierung stehen wir in der Welt an erster Stelle. Wo einst Quarzsand gebaggert wurde, sind große Badestrände entstanden und aus Steinbruchbetrieben wurden Biotope. Aus riesigen Bergehalden im Ruhrgebiet sind Naherholungsgebiete entstanden. Agrarland und Wälder entstehen, wo einst riesige Schaufelradbagger die Braunkohle für die Kraftwerke lieferten.

Bei den Kraftwerken werden heute schon Techniken angewandt, die den CO_2-Ausstoß ständig weiter verringern, z. B. das Kraftwerk „Schwarze Pumpe" im Lausitzer Revier und das Kraftwerksprojekt „BOA 2&3" am Standort Neurath im Rheinischen Braunkohlenrevier. Durch einen immer höheren Wirkungsgrad verringert sich auch der CO_2-Ausstoß. Viele Kraftwerke sind schon in der Lage, den Staub bis zu 98 % abzufiltern.

In etwa 4.000 Bergbauunternehmen (rohstoffgewinnende Unternehmen, die der Aufsicht der Bergbehörde unterstehen) werden rd. 220.000 Menschen beschäftigt. Dazu kommen ca. 500.000 Beschäftigte, die für die o. g. Unternehmen als Versorger, Lieferanten und Beschäftigte in der Bergbaugerätetechnik tätig sind.

Die Steinbrüche, Sand- und Kiesgruben sowie die Zementwerke liefern (außer Stahl) alle Rohstoffe für die Bauindustrie und dies ohne wesentliche Transportkosten, da die Lieferbetriebe über ganz Deutschland verteilt sind.

Die Kali- und Salzgruben decken den gesamten Bedarf an Industriesalz, Düngesalz, Streusalz, Salze für die Medizin und Ernährung. Sie sind außerdem wesentlich am Export beteiligt.

Bis zu 20 % unseres Erdgasbedarfs stammen aus deutschen Vorkommen. Anerkannte Wissenschaftler sagen, dass wir uns ganz vom Erdgasimport befreien könnten, wenn die großen Vorräte genutzt würden.
Die Steinkohlen-, Braunkohlen- und Salzreserven reichen noch für einige hundert Jahre.

In Deutschland werden jährlich rund 1,2 Mrd. t Rohstoffe verbraucht. Der größte Teil, und zwar 800 Mill. t und 16 Mrd. m^3 Erdgas, wird aus heimischen Lagerstätten gewonnen und produziert und stellt die Eigenversorgung mit diesen Rohstoffen ganz oder anteilig sicher.

Feldspat, Kaolin, Quarzsand, Gips und Anhydrit sind wichtige Rohstoffe mit einem breiten Einsatzspektrum in der heimischen und europäischen Industrie.

Kalisalze in Form verschiedenster Düngemittel sind für unsere Landwirtschaft unabdingbar und werden in die ganze Welt exportiert.

Die Menschen in den Bergbauregionen leben z. T. mehr als hundert Jahren mit den Unternehmen in einem guten Verhältnis (von einigen stets Unzufriedenen einmal abge-

7541014/10787806875Biblio

sehen). Leider berichten die Medien überwiegend über diese. Die positiven Aspekte werden aus nicht nachvollziehbaren Gründen unterdrückt. Dass z. B. die Mitarbeiter der MIGRAG und die Menschen der Region sich stolz „Migraner“ nennen, darüber wird nicht berichtet, es sei denn, in den regionalen Medien.

Der Ausbildungsstand liegt – insbesondere in den Bergbaubetrieben auf Steinkohle, Braunkohle und Salz – in Deutschland wesentlich über dem der übrigen Industrie. Der Anteil der Auszubildenden in der Industrie lag 2008 bei 2 % bis 4,5 % und bei den o. g. Bergbauunternehmen bei 6 % bis 8 %. Alle Auszubildenden werden dort i. d. R. nach Ende der Lehrzeit vom Unternehmen übernommen. Als Beispiel sei die MIBRAG – Mitteldeutsche Braunkohlen AG – genannt. Hier legen jährlich ca. 40 Auszubildende in 7 verschiedenen Berufen ihre Prüfung ab. Das entspricht bei einer Gesamtbelegschaft von ca. 2.100 Mitarbeitern einem Anteil von 8 %.

Anträge für Neuerrichtungen oder Erweiterungen von Bergbaubetrieben werden mit Auflagen der Umweltverbände belegt und durch Bürokratismus z. T. verzögert, dass Unternehmen ihren Betrieb einstellen bzw. Erweiterungsplanungen zurückstellen.

Zu erwähnen ist, dass auch Unternehmen der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen oder Wind und Sonne z. T. erhebliche Probleme haben. So können große Strommengen aus Windkraftanlagen nicht genutzt werden, da die notwendige Erweiterung der Starkstromtrassen von Umweltschutzverbänden behindert wird.

Bürgerinitiativen sind in Deutschland zur Mode geworden und haben großen Zulauf aus Kreisen, die oft selbst nicht einmal betroffen sind.

Einzelpersonen verursachen hohe wirtschaftliche Schäden durch Einsprüche ohne Rücksicht auf die negativen Folgen für ganze Regionen (siehe Kraftwerk Datteln, eins der modernsten Steinkohlekraftwerke in der Welt). Die Entscheidungen der Gerichte sind nur für wenige Menschen nachvollziehbar.

Die Menschen in der Region ständen dem Unternehmen „Datteln“ wesentlich positiver gegenüber, wenn das zukünftige KW mit Steinkohlen aus der Region betrieben würde und nicht mit Importkohlen.

Ich bleibe trotzdem dabei: „Deutschland ist ein rohstoffreiches Land.“ Eine andere Aussage geht, so falsch wie sie ist, völlig an der Realität vorbei. Vielleicht werden unsere Nachfahren die Abraumhalden einmal nach brauchbarem Material absuchen und die gefluteten Gruben wieder leerpumpen, um das „schwarze Gold“ aus deutschen Gruben wieder zu gewinnen.

Die stetig steigenden Rohstoffpreise auf dem Weltmarkt haben sogar schon die EU veranlasst, den Abbau heimischer Rohstoffe zu fördern.
Die Gründe der Preissteigerungen liegen z. T. an einer Rücknahme der Exporte verschiedener Förderländer. So hat China den Export „Seltener Erden“ zurückgenommen. Indien verringert den Export von Kohle und Erz. Außerdem horten einige Länder verschiedene Rohstoffe.

Entscheidend ist aber auch, dass die Vorräte mit günstigen Lagerungsverhältnissen der Billigförderländer zusehends abnehmen, so dass die Gewinnungskosten auch dort steigen werden. Auch die zunehmenden Umweltschutzmaßnahmen in diesen Ländern führen zwangsläufig zu höheren Gewinnungskosten. Dies könnte dazu führen, dass die Rohstoffförderung in Deutschland wieder größeres Interesse bekommen wird.

7541014/10787806875Biblio

Ich wünsche zum Abschluss dieses Buches dem deutschen Bergbau weiterhin Glückauf!

7541014/10787806875Biblio

Fachbegriffe für den Bergbau

Abbaugeschwindigkeit
v in m/Zeiteinheit
Geschwindigkeit, mit der ein Punkt einer Böschung je Zeiteinheit in Abbaurichtung fortschreitet

Abbaurichtung
Richtung, in der der Abbau im Ganzen fortschreitet

Abfluss (A)
Der Abfluss erfolgt teils oberirdisch in Gewässern (Gräben, Vorfluter, Spree, Lausitzer Neiße), teils unterirdisch in den Lockergesteinsfolgen des Untergrundes (Grundwasser).

Ablegekriterien
Zusammengefasste Schadensbeurteilung, die zum Ablegen eines Bauteiles (Seil, Eimerkette, Schaufel) führen kann.

Abraumförderbrücke
AFB
Fahrbares Fördergerät, bei dem der vom Gewinnungsgerät gebaggerte Abraum auf direktem Wege über den offenen Tagebauraum gefördert und auf der Kippe verstürzt wird.

Absenkungskurve
Darstellung der Grundwasseroberfläche in vertikalen Schnitten

Absenkungstrichter
räumliche Ausbildung der Grundwasseroberfläche und/oder Grundwasserdruckfläche infolge Wirkung einer Entwässerung

Absetzer
As, A_2 Rs - B
Großgerät, das im Tagebau zum Verkippen von Abraum oder sonstigen Schuttgütern sowie von festem mineralischem Rohstoff eingesetzt wird.
Man unterscheidet Absetzer mit Schienenfahrwerken und Raupenfahrwerken und in ein- und zweiteiliger Ausführung.

Absetzerkippe
Kippe, auf welcher der Abraum mittels eines Absetzers verkippt wird

Abtragshöhe
h_{Ah} in m
abzutragende Mächtigkeit eines Hochschnittes, wird lotrecht gemessen

Abtragsmächtigkeit
h_A in m
Summe aus Abtragshöhe und Abtragstiefe, wird lotrecht gemessen

Abtragstiefe
h_{At} in m
abzutragende Mächtigkeit eines Tiefschnittes, wird lotrecht gemessen

Abtragung (geologisch)
Massenverlagerung des durch Verwitterung aufbereiteten Gesteinsmaterials durch Schwerkraft, Wind, Wasser und Eis

Abwurfausleger mit Band
Verkippungsorgan beim Absetzer

Achsen
Sie werden auf Biegung beansprucht und übertragen kein Drehmoment.

Adsorptionswasser
Das Adsorptionswasser ist als Wasserfilm fest an der Oberfläche des Bodenteilchens adsorbiert (Teil des Haftwassers).

Akkumulation
Ablagerung bzw. Aufschuttung von Lockergesteinsmaterial durch Flüsse (Schotter), Wind (Dünen) oder Gletscher (Moränen)

alpidische Gebirgsbildung
Gebirgsbildungsphase, in der zahlreiche Gebirge entstanden (u. a. Alpen, Karpaten, Kaukasus, Himalaja); sie erfolgte im Zeitraum zwischen Kreide und Pleistozän

Analogieverfahren
Das anschaulichste Analogieverfahren zur Berechnung der Grundwasserströmung ist die Elektroanalogie. Hierbei wird die Analogie zwischen dem ohmschen Gesetz und dem Darcy-Gesetz ausgenutzt, d. h. zwischen dem ohmschen Widerstand und dem hydraulischen Widerstand, der Spannung und dem Grundwasserstand sowie dem Strom und der Wassermenge.

Anfahrmaß
a_A in m
- Baggerstrosse
  konstruktiv bedingter, minimal möglicher horizontaler Abstand zwischen Mitte der Aufgabestelle am Aufgaberollentisch und Mitte der Aufgabestelle an der Umlenkstation oder Mitte der Übergabestelle an der Antriebsstation eines Gurtbandförderers auf der Baggerstrosse
- Kippenstrosse
  konstruktiv bedingter, minimal möglicher horizontaler Abstand zwischen Mitte der Übergabestelle am Übergabewagen und Mitte der Aufgabestelle an der Umlenkstation oder Mitte der Übergabestelle an der Antriebsstation eines Gurtbandförderers auf der Kippenstrosse

Anfangsböschung
bleibende Böschung, die beim Aufschluss hergestellt wird oder in der Anfangsstellung einer Kippe entsteht

Anordnung der Bagger
Bei Abraumförderbrücken gibt es folgende Möglichkeiten der Baggeranordnung:
- einseitige Anordnung
  ein oder zwei Bagger sind auf einer Seite der Abraumförderbrücke angeordnet
- beidseitige Anordnung
  auf jeder Seite der Abraumförderbrucke sind ein oder zwei Bagger angeordnet
- wechselseitige Anordnung
  ein Bagger ist abwechselnd auf der einen oder anderen Seite der Abraumförderbrucke angeordnet

antiklinal (Antiklinale)
der nach oben gerichtete Teil einer Sattelstruktur

7541014/10787806875Biblio

Drehpunkt
Im weiteren Sinne bezeichnet man damit einen koordinatenmäßig festgelegten Punkt, um den Teilsysteme bzw. der Tagebau schwenken.

Drehstützenlager
meist ein Gleitlager bei AFB;
überträgt senkrechte Lasten bei der Drehbewegung zwischen Brückenhauptträger und Drehstütze sowie haldenseitigem Fahrwerk

Dreipunktabstützung
statisch bestimmte Abstützung von einzelnen Raumkörpern der Großgeräte auf drei Punkten

Druckrohrleitung
Rohrleitung, in der das Fördermedium unter einem höheren als dem atmosphärischen Druck steht. Im Allgemeinen sind es die einer Pumpe nachgeschalteten Rohrleitungen.

Durchlässigkeit
Eigenschaft eines Gesteins, durchfließbar zu sein, hydraulische Leitfähigkeit,
→ Permeabilität

Durchlässigkeitsbeiwert
Der Durchlässigkeitsbeiwert, (k-, kf-, k_i-, K-Wert in m/s) ist das Maß für die Durchlässigkeit eines Lockergesteins;
→ Filtrationskoeffizient

Effektives Fördervolumen
V_{eff} in m³ fest/h
das in einer Stunde reiner Betriebszeit geförderte Gesteinsvolumen

Eimer
Hauptbestandteil der Eimerkette zur Aufnahme und zum Transport des Fördergutes

Eimerkette
besteht aus Eimern, Eimer-, Dick-, Nasenschaken, Kettenbolzen u. a.

Eimerkettenbagger
Es, ERs
Stetigförderer zum Fördern von Abraum und Kohle im Tagebau
Eine umlaufende Eimerkette wird von einem Turasantrieb angetrieben sowie durch Eimerleiter und Eimerrinne geführt. Die Bagger sind mit Raupen- oder Schienenfahrwerken ausgerüstet.

Eimerkettenhauptantrieb (auch Turasgetriebe)
dient zum Antrieb der Eimerkette

Eimerleiter
Stahlbau-Raumkörper zur Führung der Eimerkette

Einlage
Die Einlage stützt die Drähte oder Litzen gegeneinander und bestimmt die äußere Form der Litzen und des Drahtseiles mit.

Endböschung
bleibende Böschung, die in der Endstellung der Bagger- bzw. Kippenstrossen entsteht

Entwässern
Teil der Entwässerung; Absenkung des Grundwassers durch Lösung des Wassers aus dem spannungsfreien Porenvolumen, meist durch Gravitation

Entwässerung
Lösen, Fassen, Heben und Ableiten von Grund- und Oberflächenwasser; notwendig zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit, der Abbaufuhrung sowie zur Erhöhung der Gebrauchseigenschaften des festen mineralischen Rohstoffes

Entwässerungselement
Bestandteil der Entwässerungstechnik; u. a. Fallfilter, Steckfilter, Filterbrunnen, Schluckbrunnen, Sickerbrunnen, Horizontalbohrloch, Entwässerungsstrecke, Nadelfilter, Pumpensumpf, Pumpe, Rohrleitung, Drainage, Klär- und Absetzbecken

Entwässerungsgraben
Graben zur Entwässerung oder Entspannung eines Grundwasserleiters bzw. Ableitung von Oberflächen und Grubenwasser

Entwässerungsstrecke
Teil der untertägigen Entwässerung

Entwässerungstrichter
zwischen der natürlichen und der abgesenkten Grundwasseroberfläche entstandener Raum; Begrenzung in der Fläche durch die Reichweite; größte Teufe in der Nähe der Entwässerungselemente

Entwässerungszeit
Zeit von der Inbetriebnahme eines Entwässerungselementes bis zum Erreichen des Entwässerungszieles

Erdkruste
Die Erde hat einen Schalenaufbau. Sie besteht aus einem festen Kern (unterhalb 2 900 km Tiefe), dem unteren Erdmantel (unterhalb 900 km Tiefe) und oberen Erdmantel (von 35-900 km Tiefe) und der Erdkruste (ca. 35 km dick).

Erosion
die ausfurchende Tätigkeit des fließenden Wassers, die eine Vertiefung und Verbreiterung der Flusstäler bewirkt

Fächerschnitt
bei Eimerkettenbaggern durch Absenken der Eimerleiter im Hoch- oder Tiefschnitt entstehende Spanfolge

Fallfilter
Teil der untertägigen Entwässerung; von über Tage bis zur Entwässerungsstrecke niedergebrachtes ausgebautes Bohrloch; dadurch freies Ausfließen des Grundwassers in die Strecke

Fazies
Bezeichnung für die Gesamtheit der Merkmale einer Ablagerung, die von den physisch-geographischen und geologischen Verhältnissen des Abtragungs- und Ablagerungsraumes bestimmt werden (verschiedene Ausbildung von Sedimentgesteinen gleichen Alters).
Ihre Bestimmung ermöglicht die Rekonstruktion der für die Entstehung des Sediments erforderlichen Bedingungen.

Festraupe
Verlagerung des Raupenträgers mit zwei Punkten an dem Unterbau einer Antriebsstation

Festseite
auch 2-Punkt-Seite
Bestandteil der statisch bestimmten Dreipunktabstützung, überträgt waagerechte und senkrechte Belastungen

Filterbrunnen
mit Filterrohr und Filterkies ausgebautes und zur Wasserhebung geeignetes Bohrloch

Filterbrunnenentwässerung
Entwässerung von über Tage durch Filterbrunnen; Heben des Grundwassers mittels UWM-Pumpen

Filterbrunnenriegel
reihenförmige Gruppierung von Filterbrunnen; Arten: Rand-, Feld- und Kippenriegel

Filterkies
Ausbaumaterial bestimmter Körnung zum Verfüllen des Hohlraumes zwischen Filterrohr und Bohrlochwand

Filtrationskoeffizient
k in m/s
Koeffizient der Permeabilität eines

7541014/10787806875Biblio

Lockergesteins für strömendes Wasser

Flexur
Verbiegung von Gesteinsschichten durch endogene oder exogene Beanspruchung

Flöz
Schicht, die einen nutzbaren festen mineralischen Rohstoff führt (z. B. Braunkohlenflöz, Kaliflöz, Kupferschieferflöz)

Flözbank
Aufspaltung eines Flözes in parallel verlaufende Schichten, die durch Zwischenmittel getrennt sind

Fluchtfahrgeschwindigkeit
v_{max} in m/min
Geschwindigkeit, mit der ein Bagger, Absetzer, eine Förderbrücke im Falle einer Gefahr fährt.
Sie entspricht der maximal möglichen Fahrgeschwindigkeit unter Ausschaltung bestimmter Sicherheitseinrichtungen.

Fluten
planmäßiges Füllen eines Tagebaurestloches durch Wiederanstieg des Grundwassers bzw. durch Wasserzuführung

Formschluss
durch ineinander greifende Systeme zur Übertragung von Drehbewegungskräften, z. B. Getriebe

fortschreitende Böschung
Böschung, deren Lage sich infolge der Gewinnung oder Verkippung verändert

freies Grundwasser
→ ungespanntes Grundwasser

freies Liegendes
unterste Fläche des offenen Tagebaues (betriebliches Liegendes)

Freischnittwinkel
φ_f in °
Winkel zwischen der gemeinsamen Tangente an Schaufel und äußerster Konstruktionskante des Schaufelradauslegerkopfes und der Verbindungslinie zwischen Schaufel- und Baggermitte, gemessen in horizontaler Ebene.
Bedingt durch die Konstruktion kann er auf beiden Seiten unterschiedlich groß sein.
Er bestimmt den Mindestabstand zwischen seitlicher Böschungsunterkante und Baggermitte, der bei Geradeaus-Fahrt des Baggers immer freigeschnitten werden kann.

Freispiegelleitung
Wasserableitung unter atmosphärischem Druck bei natürlichem Gefälle in Rohrleitungen oder offenen Gerinnen

Frontverhieb
Verhiebsart, bei der der Bagger während des Fahrens längs der Abbaufront Massen gewinnt

Frontversturz
Verkippungsart, bei welcher der Absetzer während des Fahrens längs der Kippenstrosse Abraum verstürzt

Gefluder
künstlich angelegtes, meistens abgedichtetes offenes Bauwerk zur Wasserableitung

Gelit
Unter dem Mikroskop bestimmter Anteil von Humusgelen in der Kohle (auch unter Vergelung bekannt). Flözbereiche mit erhöhtem Gelit haben eine schwarze Farbe, glänzen steinkohlenartig, weisen eine starke Rissigkeit auf und zerfallen splittrig. Aufgrund dieser Eigenschaften sind hohe Gelitgehalte bei der Brikettierung unerwünscht.

Generalneigung
$\tan \beta_G$
Tangens des Winkels eines Böschungssystems, der durch die Verbindungsgerade von der Oberkante der obersten bis zur Unterkante der untersten Böschung und deren Projektion auf die Horizontalebene gebildet wird

Genese
Entstehung, Entwicklung

Geohydrologie
fachübergreifende Wissenschaft unter Beachtung von geologischen, hydrologischen, hydrographischen, klimatologischen, geomorphologischen, hydrochemischen, ökologischen, technischen, technologischen und wirtschaftlichen Momenten

Geometrisches Modell
Idealisierung der Höhenangaben (GWL-Sohle, GWL-Oberkante) zu einem repräsentativen Wert für das entsprechende Gebiet

Geopark
Ein geschütztes Gebiet mit Objekten von spezieller geologischer Bedeutung, Seltenheit und Schönheit. Es ist Zeugnis der geologischen Geschichte der Region sowie deren formenden Ereignissen und Prozessen.

Geotechnische Sicherheit
Teil der Tagebausicherheit, der den Belangen der Sicherheit (- von Personen, - der Tagesoberfläche und des angrenzenden Territoriums, - der Lagerstätte, der Böschungen und Böschungssysteme sowie der Halden und Restlöcher, - der Tagebaugeräte und sonstiger bergbaulicher Anlagen hinsichtlich hydrologischer und bodenmechanischer Gefährdung) Rechnung trägt und ausschließt, dass Schäden auftreten, die bei Anwendung der neuesten wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse vermeidbar sind.

Gesamtkippenhöhe
h_k in m
Höhe einer aus mehreren Schüttungen bestehenden Kippe

gespanntes Grundwasser
Bei gespanntem Grundwasser ist das Grundwasser im Grundwasserleiter eingespannt (artesisches GW); im Pegel wird die Grundwasseroberfläche bzw. Grundwasserdruckfläche über der Oberkante des Grundwasserleiters gemessen.

Getriebe
dient zur Erhöhung des Drehmomentes bei gleichzeitiger Reduzierung der Drehzahl

glaziale Serie
Typische Landschaftsform, deren Oberfläche weitgehend durch Eis- u. Gletschereinwirkung gestaltet wurde (z. B. das Norddeutsche Tiefland). Sie besteht aus der Grundmoräne, der Endmoräne, dem Sander und dem Urstromtal.

Glaukonitsande
Sande mit Glaukonitkörnern, einem dunkelgrünen, glimmerartigen Mineral, das sich unter marinen Bedingungen bildet

GPS – Globales Positionierungssystem
Ein vom amerikanischen Verteidigungsministerium betriebenes System, das aus 24 Satelliten besteht, welche die Erde in einer Höhe von 17 700 km umkreisen. GPS-Satelliten senden ein Signal aus, das die genaue Ortsbestimmung eines GPS-Empfängers ermöglicht. Die Empfänger können ihre Position ermitteln, wenn sie feststehend sind, sich auf der Erdoberfläche, in der Erdatmosphäre oder in niederen Umlaufbahnen bewegen.

Grabenschöpfgerät
G – E
Großgerät zur Rückgewinnung und Verladung von Kohle zum Weitertransport in das Kraftwerk aus einem Grabenbunker

7541014/10787806875Biblio

Grauwacke
dunkelgraues, sandsteinartiges Sedimentgestein

Großes Entwässerungsgespräch
Das Große Entwässerungsgespräch wird 2-mal jährlich je Tagebau durchgeführt. Es erfolgt die gegenseitige Information und Abstimmung zur geotechnischen Situation und zur Entwässerungssituation einerseits und zum Stand der Realisierungen der Entwässerungsmaßnahmen und der Entwässerungsbetriebsführung andererseits.

Grubenwasser
bei der Entwässerung von Tagebauen abgeleitetes Wasser

Grundwasser (GW)
unterirdisches Wasser, dass den durchströmbaren Hohlraum des Lockergesteins zusammenhängend und vollständig ausfüllt (wassergesättigt) und mindestens einen atmosphärischen Druck aufweist

Grundwasserabsenkung
Herabsetzen des Grundwasserstandes im Tagebauraum mit Hilfe von Entwässerungselementen

Grundwasserabsenkungsvorlauf/ -rückstand
Differenz zwischen dem in der hydrologischen Berechnung vorgegebenen Grundwasserstand (Sollwert) und dem gemessenen Grundwasserstand an den repräsentativen Grundwasserbeobachtungsrohren (GWBR) als Ist-Wert zu einem definierten Zeitpunkt

Grundwasserbeobachtungsrohr (Pegel)
als Grundwassermessstelle dienende verrohrte Bohrung

Grundwasserdifferenzenplan
grundrissliche Darstellung der Veränderung der Oberfläche des Grundwassers in einem Grundwasserleiter innerhalb eines Zeitabschnittes

Grundwasser-Flurabstandskarten
In Grundwasser-Flurabstandskarten werden die Abstände zwischen Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche als Linien gleicher Differenz in m dargestellt. Sie werden bei der Bearbeitung von Bergschadensanzeigen verwendet.

Grundwasserhöhe
→ Grundwasserstand

Grundwasserisohypse (Grundwasserhöhengleiche)
Linie mit gleich hohem, zum gleichen Zeitpunkt gemessenem und auf ein einheitliches Höhenniveau bezogenem Grundwasserstand

Grundwasserisohypsenplan (Grundwasserhöhengleichenplan, Grundwassergleichenplan)
grundrissliche Darstellung von Grundwasserisohypsen in einem Plan

Grundwasserisopache
Linie mit gleicher, zum gleichen Zeitpunkt gemessener Grundwassermächtigkeit

Grundwasserisopachenplan
grundrissliche Darstellung von Grundwasserisopachen in einem Plan

Grundwasserleiter (GWL)
Teil des Lockergesteins, in dem Grundwasser strömen kann und dessen Filtrationskoeffizient im Vergleich zum benachbarten Grundwasserstauer bedeutend größer ist (> 10fach); Untergliederung nach - Art der Hohlräume (Porengrundwasserleiter usw.), - Bedeutung und Lage, - petrophysikalischer Beschaffenheit

Grundwassermächtigkeit
vertikaler Abstand zwischen Grundwassersohle und Grundwasseroberfläche

Grundwasserneubildung (GWN)
V_N in m/s
Entstehen von Grundwasser aus Niederschlag und Oberflächenwasser durch natürliche Infiltration und Versickerung. Für die GW-Modellierung in der Lausitz kann eine durchschnittliche GW-Neubildung von $V_N = 5*10^{-9}$ m/s (= 158 mm/a) angegeben werden.

Grundwasseroberfläche
reale Fläche im Grundwasserströmungsfeld, auf der der absolute Druck des Grundwassers gleich dem atmosphärischen Druck ist

Grundwasserreinigung
Die Schwebstoffe des Grubenwassers setzen sich infolge einer Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit in großen Becken ab. Unter Zugabe von Kalk (Entsäuerung) wird es einerseits neutralisiert und andererseits das Eisen (Enteisenung, Belüftung) oxydiert.

Grundwassersohle
Die Grundwassersohle ist die untere Grenzfläche des Grundwasserkörpers.

Grundwasserspiegel
Grundwasseroberfläche in einem hydrogeologischen Aufschluss

Grundwasserstand
in m über Bezugsniveau
Höhe der Grundwasserfläche in Metern über Bezugsniveau.
Bei ungespanntem Grundwasser ist der Grundwasserstand gleich der Höhe des Grundwasserspiegels; bei gespanntem Grundwasser ist er gleich der Höhe des Liegenden der abdichtenden Deckschicht.

Grundwasserstauer
Teil des Lockergesteins, dessen Filtrationskoeffizient im Vergleich zum benachbarter Grundwasserleiter so gering ist, das ein Grundwasseraustausch praktisch nicht zustande kommt

Grundwasserstockwerk
einzelner Grundwasserleiter, der sich in einem Komplex von mehreren übereinander liegenden Grundwasserleitern befindet, die durch Grundwasserstauer getrennt sind

Grundwasserwiederanstieg
Anstieg der Grundwasseroberfläche oder Grundwasserdruckfläche infolge Reduzierung bzw. Beendigung einer Grundwasserabsenkung oder durch Flutung

Gurtabstreifer
äußere und innere;
dienen zur Beseitigung von Fördergurtresten an Innen- und Außenseite des Fördergurtes

Gurtbandförderer
Stetigförderer zum Transport von Abraum und Kohle im Tagebau; sind auf den Großgeräten ortsfest und als Strossenbandanlagen rückbar

Gurtlenkeinrichtungen
Einrichtung, wie Lenkrollenstationen, zur Korrektur seitlichen Auswanderns des Fördergurtes

Gurtschlupf
die Drehzahldifferenz zwischen treibender und nicht getriebener Trommel

Gurtspanneinrichtung
Einrichtung, die der Regulierung der Gurtspannung sowie der Erzeugung der für die Übertragung der Antriebskraft notwendigen Vorspannung dient

Gurttrommel
Maschinenelement zum Antrieb, zur

7541014/10787806875Biblio

Ablenkung, Umlenkung oder zum Spannen von Fördergurten

Haftwasser
Haftwasser ist gegen die Schwerkraft am Bodenteilchen adhäsiv gehaltenes Wasser (Molekularkräfte)

Halde
eine auf unverritztem oder wieder urbar gemachtem Gelände angelegte Kippe

Haldenausleger
Raumkörper der Abraumförderbrücke im Anschluss zum Hauptträger von der Haldenstütze bis zum Kippenabwurf

Haldenschütt- und Rückgewinnungsgeräte
As - G, Ks - S
Fördergeräte, die zum Aufhalden und Rückgewinnen vor allem von Kohle eingesetzt werden

Halslager bei AFB
oberes und unteres;
übertragen die waagerechten Kräfte des Brückenhauptträgers in die Drehstütze und haldenseitigen Fahrwerke

Hangendes
das über dem Punkt der Betrachtung anstehende Gestein

Hauptträger
Raumkörper der Abraumförderbrücke von der baggerseitigen Stütze bis zur Haldenstütze

Hauptwasserhaltung
Wasserhaltung eines Tagebaues, in die in der Regel alles dem offenen Tagebauraum zufließende Wasser eingeleitet, gespeichert und von dort der Vorflut zugeleitet wird

Heckantrieb
Antriebsstation, bei der die Antriebstrommel das Untertrum des Fördergurtes zieht

Hennig
Mit der Formel von Hennig
$n_0 = 0{,}4 + 0{,}05 * \log$ (k-Wert) kann aus dem Durchlässigkeitsbeiwert die entwässerbare Porosität n_0 berechnet werden.

Hochkippe
Eine von der Kippenarbeitsebene in Hochschüttung hergestellte Kippe.
Der verkippte Abraum liegt oberhalb der Arbeitsebene.

Hochschnitt
Teil des Gebirges, der oberhalb der Arbeitsebene eines Gewinnungsgerätes gebaggert wird

Hochstufe
Gewinnungstechnologie, die beim Blockverhieb angewendet werden kann, wenn die Abtragshöhe die zulässige Abtragshöhe übersteigt
Der Hochschnitt wird dabei in zwei Teilschnitte unterteilt, die von demselben Bagger gewonnen werden. Der Bagger schneidet in die Hochschnittböschung eine Rampe ein, über die er auf ein höheres Niveau (Hilfsarbeitsebene) gelangt und den oberen Teilschnitt gewinnt. Nach dem Ausbaggern fährt der Bagger auf die zugeordnete Arbeitsebene zurück und gewinnt den unteren Teilschnitt. Das Fördermittel und - wenn vorhanden - das Verladegerät bleiben auf der zugeordneten Arbeitsebene.

Horizontalschnitt
beim Baggern durch horizontale Einstellbewegungen entstehende Spanfolge

Horizontalspan
durch horizontale Einstellbewegung bei einmaligem Eingriff des Graborgans entstehender Körper

Hydrogeologie
Wissenschaft vom unterirdischen Wasser, seiner Herkunft, seinen Lagerungsbedingungen, seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften, seinen Wechselwirkungen mit Gesteinen, seinen Beziehungen zu atmosphärischen und Oberflächenwässern und seiner wirtschaftlichen Bedeutung

Hydrogeologische Berechnung
Verfahren zur Berechnung der Grundwasserabsenkung bzw. des Grundwasserwiederanstieges und dessen Dokumentation

Hydrogeologischer Schnitt
schnittliche Darstellung der geohydrologischen Verhältnisse wie vorhandener Grundwasserstand, geplanter Grundwasserstand, Abbaustände, Filterbrunnen und Grundwasserbeobachtungsrohre

Hydroisohypse
→ Grundwasserisohypse

Hydroisohypsenplan
→ Grundwasserisohypsenplan

Hydroisopache
→ Grundwasserisopache

Hydrologie
Wissenschaft vom Wasser, seinen Erscheinungsformen, natürlichen Zusammenhängen und Wechselwirkungen mit den umgebenden Medien über, auf und unter der Erdoberfläche

Hydrologischer Grenzwert für gewachsene Böschungen (h_{W100}-Wert)
Ein hydrologischer Grenzwert für gewachsene Böschungen ist der h_{W100}-Wert.
Er beträgt im Allgemeinen $h_{W100} \leq 3$ m („Höhe Wasser in 100 m Entfernung" ≤ 3 m), d. h. in 100 m Entfernung vom Böschungsfuß in die Böschung hinein darf ein bestimmter maximaler Grundwasserstand (3 m), bezogen auf den möglichen Wasseraustrittspunkt über dem Stauer, am Böschungsfuß vorhanden sein.

Hydrologischer Grenzwert für Kippenböschungen ($h_{WK} \leq 0{,}2 * h_K$)
Für Kippen darf der Grundwasserstand (h_{WK}) in einer Entfernung von 7 mal Höhe der Kippe (h_K) nur 0,2 bzw. 20 %, bezogen auf den Böschungsfuß, betragen (jeweils für Vorkippe und Gesamtkippe).

Infiltration
Eintritt von Wasser in den Boden durch die Bodenoberfläche oder durch Bohrungen

Inkohlung
langer Prozess der diagenetischen und metamorphen Veränderung pflanzlicher Substanz vom Torf bis zu Steinkohle und Anthrazit

Inlandvereisungen
Im Quartär sind durch globale Klimaveränderungen große Gletscher aus Skandinavien bis in den mitteleuropäischen Raum vorgedrungen.

Innenkippe
Kippe, die innerhalb des Tagebauraumes liegt, in dem der zu verkippende Abraum gewonnen wird

Kalenderzeit
Tk in h
Gesamtheit eines Zeitabschnittes, der aus der Summe aller mit 24 Stunden multiplizierten Kalendertage gebildet wird.
Die Kalenderzeit eines Jahres beträgt 8 760 Stunden (Schaltjahr 8 784 Stunden).
Die Kalenderzeit wird in Betriebszeit und Stillstandszeit gegliedert.

Kaltzeit
Abschnitt der Erdgeschichte, in dem durch Klimaveränderungen außerpolare Gebiete durch Inlandgletscher bedeckt werden

7541014/10787806875Biblio

Kapillarwasser
ist ein Anteil des Haftwassers und befindet sich an Berührungspunkten zwischen zwei Bodenteilchen

Kettenteilung
mittiger Abstand der Bohrungen zur Aufnahme der Eimerkettenbolzen in einer Schakung

Kettfaden
Bezeichnung des Längsfadens bei der Herstellung eines Textilgurtgewebes

Kippe
Teil des verkippten Raumes; sie wird von einer Arbeitsebene aus in Tief- oder Hochschüttung hergestellt

Kippenhöhe
h_{Kh} in m
geschüttete Höhe einer Hoch- oder Tiefkippe

Kippensystem
zwei oder mehrere übereinander liegende Kippen mit den dazugehörigen Bermen
Übereinander liegende Kippen werden von unten nach oben gezählt.

Klassifizierung der Lockergesteine
Lockergesteine werden entsprechend ihrer Eigenschaften (material- und zustandsbeschreibende Kennzahlen und mechanische Eigenschaften) in verschiedene Bodengruppen unterteilt.

Kleines Entwässerungsgespräch
Das Kleine Entwässerungsgespräch wird am Monatsanfang je Tagebau durchgeführt.
Hierbei wird das Betreiben der Brunnen analysiert (Fahrweise, Regenerierung, Wiederinbetriebnahme). Das Ergebnis findet seinen Niederschlag in der Monatstechnologie.

Kluft-Grundwasserleiter
Festgesteine der Mittel- und Hochgebirge bilden Fugen-Hohlräume, die man auch als Klüfte bezeichnet.

Kohlenqualität
Qualität ist kein feststehender Begriff. Es werden die abnehmerspezifischen Anforderungen sortenbezogen (z. B. Kesselkohlen und Veredlungskohlen) berücksichtigt.
Die Kohlenqualität unterteilt sich in die Bereiche
Kohlenchemie
- Ermittlung der chemischen Eigenschaften mittels moderner Analyseverfahren (z. B. Aschegehalt, Schwefelgehalt),

Kohlenpetrographie
- Ermittlung der makroskopisch und vor allem mikroskopisch erkennbaren Bestandteile der Kohle und

Kohlenphysik
- Ermittlung der physikalischen Eigenschaften (z. B. Rohdichte, Korngrößenverteilung)

Kolmation
Ablagerung von Partikeln außerhalb sowie Einlagerung von Partikeln innerhalb des Korngefüges und dadurch bedingte Verringerung von Porenvolumen und Permeabilität unter dem Einfluss von Infiltration und Sedimentation

Konsistenzindex
zustandsbeschreibende Kennzahl
Beschreibt die Zustandsform eines bindigen Lockergesteins. Es wird zwischen fest, halbfest, steif, weich und breiig unterschieden.

Kopfantrieb
Antriebsstation, bei der die Antriebstrommel das Obertrum des Fördergurtes zieht

Kopfbaggerung
Schneiden einer vorgegebenen Kopfböschung durch Eimerkettenbagger, die im Frontverhieb arbeiten.
Bei Kopfbaggerung stehen die Fahrwerke des Eimerkettenbaggers, während der Baggeroberbau geschwenkt wird. Dabei entsteht ein Sichelschnitt.

Kopfböschung
bleibende Böschung, die beim Fortschreiten des Tagebaues an den Enden der Bagger- bzw. Kippenstrossen entsteht

Korngröße
d in mm
maßgebliche Abmessung des Feststoffpartikels; Bestimmung mittels Sieb- bzw. Schlämmanalyse

Korngrößenanalysen
Aus den 2-m-Bohrkernen der Erkundungsbohrungen werden Siebproben entnommen und eine Siebanalyse bestimmt.
Dabei werden mittels Sieben (ca. 9 Siebe) mit unterschiedlichem Netzabstand (von 4 bis 0,063 mm) die entsprechenden Siebrückstände ermittelt.

Kornverteilungskurve
Darstellung der Ergebnisse der Sieb- oder Schlämmanalyse

Kraftschluss
durch Reibung erforderliche Kraft zur Übertragung von Antriebsleistungen, z. B. Antriebstrommel

Kristallisationsdifferentiation
Durch das Aufsteigen von Magmen aus dem Erdmantel in die Erdkruste kühlt sich das Magma ab. Mit sinkender Temperatur entstehen unterschiedliche Minerale entsprechend ihrer Schmelztemperatur. Je langsamer die Abkühlung, desto größer die Minerale → grobkristallines Gestein, je schneller die Abkühlung, desto kleiner die Minerale → feinkristallin.

Lagerungsstörungen
durch innere (endogene) und äußere (exogene) Kräfte hervorgerufene Veränderungen der ursprünglichen (primären) Ablagerung von Gesteinsschichten

Laufräder
nichtangetriebene Räder in den Zweiradschwingen (Läuferschwingen)

Liegendes
das unter dem Punkt der Betrachtung anstehende Gestein

Litze
ist die Anordnung von in einer oder mehreren konzentrischen Lagen schraubenlinienförmig um einen Kern liegenden Drähten

Loben (Lobus)
halbkreisförmig ausgebildete Gletscherzunge

Lockergestein
nicht verfestigtes Sedimentgestein. Es besteht aus drei Phasen, der festen (Festsubstanz), der flüssigen (meist Wasser) und der gasförmigen (Bodenluft) Phase. Man unterscheidet in nichtbindige, bindige und organische Lockergesteine.

Magmatit
durch Kristallisationsdifferentiation aus einer flüssigen Gesteinsschmelze (Magma) entstandenes Festgestein

Markasit
Bezeichnung für das Mineral Eisen-Schwefelkies (FeS_2). Markasit hat gegenüber dem Pyrit eine andere Kristallisationsform und ist instabiler (verwittert).

Markscheide
ist die äußere Begrenzung des Abbaufeldes (im Tagebau meist die Oberkante des obersten Abraumschnittes im Kopf-

7541014/10787806875Biblio

böschungsbereich)

Markscheiderische Betriebskontrolle
Tätigkeit, die auf der Grundlage markscheiderischer Mess-, Berechnungs- und Auswerteverfahren in bestimmten Zeitabständen durchgeführt wird und die Überwachung bergbaulicher oder den Bergbaubetrieb beeinflussender sowie tagebauspezifischer Kontrollobjekte mit deren Kenngrößen umfasst.
Kenngrößen von Kontrollobjekten werden unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten, Vorgabewerten und Toleranzen durch Gegenüberstellung mit Soll- bzw. Istwerten überwacht oder ermittelt und sind insbesondere:
- Länge
- Höhe
- Fläche
- Volumen
- Masse
- Neigung/Böschungswinkel
- Dimensionierung
- Bodenbewegung.

Markscheiderische Leistungskontrolle
Teil der markscheiderischen Betriebskontrolle, der aus ökonomischen, betriebsorganisatorischen, statistischen, technologischen und der Planabrechnung dienenden Gründen, insbesondere zur Kontrolle betrieblicher Leistungsangaben, die Überwachung tagebauspezifischer Kontrollobjekte umfasst. Zu den Kontrollobjekten der markscheiderischen Leistungskontrolle gehören insbesondere:
- Abraumbewegung
- Rohstoff-Freilegung
- Rohstoff-Förderung
- Rohstoff-Bestand
- Volumen-Masse-Verhältnis
- Abbauverlust
- Rohstoff-Ausbringen
- Nutzung von Bodenflächen
- Auffahrung von Grubenbauen

Markscheiderische Sicherheitskontrolle
Teil der markscheiderischen Betriebskontrolle, der aus bergbausicherheitlichen Gründen, insbesondere zur Kontrolle geotechnischer und technologischer Vorgaben, die Überwachung bergbaulicher oder den Bergbaubetrieb beeinflussender Kontrollobjekte umfasst.
Zu den Kontrollobjekten der markscheiderischen Sicherheitskontrolle gehören insbesondere:
- Böschungen und Böschungskanten einzeln und als Böschungssysteme
- Arbeitsebenen, Bermen, Rampen, Transporttrassen, Trennebenen, Liegendflächen
- Sicherheitspfeiler und festgelegte Sicherheitsabstände
- unter- und oberirdische Bauwerke, Bauten, Anlagen sowie Vorfluter im Einwirkungsbereich bergbaulicher Anlagen
- Grubenbaue und Schächte einschließlich deren Verwahrung

Materialbeschreibende Kennzahlen
rein physikalische und chemische Eigenschaften eines Lockergesteines, die von künstlich erzeugten Zuständen einer Probe unabhängig sind

Mechanische Eigenschaften
Eigenschaften eines Lockergesteines, die dem Material in verschiedenen künstlich erzeugten und natürlichen Zuständen eigen sind

Mechanische Sicherheitseinrichtungen
stellen vor allem Überlastkupplungen, wie Lamellenrutsch-, Strömungs- und Rastrollenkupplungen dar. Sie sollen Antriebe und Arbeitsorgane eines Baggers vor Stößen, Reiß- und Seitenkräften schützen.

Metamorphit
Metamorphes Gestein, welches durch Umwandlung (Umkristallisation) aus einem anderen Gestein entsteht.

Metamorphose
Umwandlung, die ein Gestein durch Druck, Temperatur u. Bewegung in der Erdkruste erleidet. Es entstehen neue Gesteine (Metamorphite).

Minerale
jeder anorganische, chemisch und physikalisch einheitliche und natürlich gebildete Stoff der Erdkruste; Baustein kristalliner Gesteine

Mineralien
anorganische, chemisch und physikalisch homogene und natürlich gebildete Bestandteile der Erdkruste

Mittel
Schichten oder Einlagerungen, die zwischen Rohstoffkörpern, Teilen derselben oder in Rohstoffkörpern auftreten

Mittelabraum
V_{MA} in m^3
Abraum, der sich aus den Mitteln in und zwischen Rohstoffkörpern sowie den Gewinnungsverlusten an den Grenzflächen dieser Mittel mit den Rohstoffkörpern zusammensetzt

Mudde
organisch-mineralische Ablagerung in stehenden oder langsam fließenden Gewässern

Muldung
Durchbiegung des Fördergurtes in einer rechtwinklig zu seiner Längsachse liegenden Ebene. Das Maß der Muldung wird durch den Neigungswinkel der äußeren Tragrollen zur Horizontalen bestimmt.

Nachholabschnitt
Abschnitt am Strossenende, in dem beim Einsatz von Förderbrücken mit mehr als einem Bagger auf einer Strosse nicht alle Bagger gleichzeitig arbeiten können. Seine Länge entspricht dem Baggerabstand, der an den Strossenenden eingenommen wird.

Nachholschnitt
Baggerung des Nachholabschnittes

Nasssiebung
Bestimmung der Korngrößenanteile eines Lockergesteines nach vorheriger nasser Abtrennung der Feinbestandteile

Niederschlag (N)
Die durch Luftmassen transportierte Feuchtigkeit gelangt als Niederschlag (Regen, Hagel, Schnee) zur Erde. Die Niederschlagshöhe wird in Millimetern [mm] angegeben (1 mm = 1 Liter/m^2). Der Niederschlag zeigt sowohl örtliche als auch zeitliche Unterschiede.

Oberflächenwasser
Wasseransammlung mit freiem Wasserspiegel auf der Geländeoberfläche oder im offenen Tagebauraum

Oberirdischer Abfluss
ist neben der Niederschlagshöhe, Niederschlagsintensität und Niederschlagsart auch durch die Form des Gebietes, insbesondere die Neigung bestimmt

Obertrum
Teil des Gurtbandförderers, der oberhalb einer zum Fördergurt parallelen Fläche liegt, die durch die Achsen der Umlenktrommeln geht (Gegensatz: Untertrum)

Paläontologie
Wissenschaft von den Lebewesen vergangener Erdperioden

Parallelabbau
Abbauart, bei der die Strossen der Gewinnungsgeräte parallel zu sich selbst in Abbaurichtung fortschreiten

7541014/10787806875Biblio

Parallelschnitt
bei Eimerkettenbaggern durch kontinuierliches Rücken oder durch eine entsprechende Fahr- oder Schwenkbewegung des Baggers entstehende Spanfolge.
Dabei ist stets die gleiche Eimerleiterlänge im Eingriff.

Parametermodell
Idealisierung der Parameterwerte (K-Wert, entwässerbare Porosität, GW-Neubildung) zu einem repräsentativen Parameter für das entsprechende Gebiet

Passpunkte
Bodensignale für die Luftbildbefliegung. Meist sind dies horizontale weiße Blechkreuze auf dunklen Metallpyramiden (ca. 1,50 m hoch) oder weiße Holzkreuze, die auf Pfählen befestigt sind. Sie stellen den Bezug zwischen den Luftbildern und der Erdoberfläche für die photogrammetrische Auswertung dar.

Pegel
→ Grundwasserbeobachtungsrohr

Pelit
feinkörnige Sedimente mit Korngrößen < 0,02 mm

Pendelraupe
Verlagerung des Raupenträgers mit dem Unterbau an einem Punkt

Pendelstütze
auch 1-Punkt-Seite
Bestandteil der statisch bestimmten Dreipunktabstützung; überträgt senkrechte Belastungen

periglazial
vor dem Gletscherrand

Permafrost
dauerhafter Bodenfrost, der nur im Sommer in den obersten Bodenschichten (1 - 4 Meter) kurzzeitig zerfällt

Permeabilität
Fähigkeit eines Gesteines, unter Einwirkung eines Potentials oder Druckgefälles Fluide durchzulassen; sie erfasst die Wechselwirkung von strömenden Medien (z. B. Wasser) und porösen Medien (z. B. Boden)

Permeabilitätskoeffizient
→ Durchlässigkeitsbeiwert

Photogrammetrische Auswertung
Verfahren zur Erstellung von Karten und Karteninhalten aus räumlichen Bildmodellen, die auf der Basis von Luftbildbefliegungen erzeugt werden. Die Darstellung der aktuellen Tagebaugeometrie erfolgt in der Markscheiderei durch photogrammetrische Auswertung.

Planetengetriebe,
auch Umlaufrädergetriebe
besteht aus Sonnen- bzw. Antriebsritzel, Planetenrad/-räder, Planetenträger (Steg) und Abtriebswelle sowie innenverzahntem Außenrad.
Weist mindestens ein Zahnrad (Planetenrad) auf, dessen Achse nicht raumfest (wie beim normalem Stirnradgetriebe) angebracht ist, sondern sich um eine Mittel- oder Zentralachse (im Steg) dreht.

Planierkratzer an AFB
sind links und rechts an den haldenseitigen Fahrwerken angehängen; dienen der Gestaltung des Rückplanums auf der Haldenseite

Planum
eingeebnete Bodenfläche, auf der im Tagebau die Gewinnungs- und Verkippungsgeräte betrieben werden und die als Auflage für Fördermittel dient

Plastizitätsindex
Zustandsbeschreibende Kennzahl. Wird errechnet als Differenz des Wassergehaltes an der Fließgrenze und dem Wassergehalt an der Ausrollgrenze und beschreibt die Empfindlichkeit der Lockergesteines gegenüber einer Wasseraufnahme.

Plattentektonik
Die Erdkruste besteht aus mehreren Teilen, den so genannten Platten, die sich auf dem Magmengürtel gegeneinander bewegen. Es gibt Zonen, in denen Kruste neu gebildet wird (mittelozeanische Rücken) und Zonen, in denen Kruste unter andere Platten geschoben und aufgeschmolzen wird.

Poren-Grundwasserleiter
pleistozäne und tertiäre Sedimente (Lockergesteine) wie Sand und Kies; beinhalten Poren-Hohlräume

Porenwasserdruck
Druck im Porenwasser eines Lockergesteins in Folge Erhöhung der Normalspannung/Auflast

Porosität P
Eigenschaft von festen und halbfesten Stoffen, Fluide durchzulassen
Die Porosität P (oder n) beschreibt den Anteil des Porenvolumens am Gesamtvolumen.

Porositätszahl n
Quotient aus dem Porenvolumen und dem Gesamtvolumen

potentielle Verdunstung
wird über Formeln aus der Sonnenscheindauer, der Lufttemperatur usw. (Wind, Globalstrahlung) berechnet; ist die maximal mögliche Verdunstung

Prätertiär
Zusammenfassung der gesamten Erdgeschichte vor dem Tertiär

Pressungen
Kräfte, die zu Veränderungen der Erdkruste führen und die Ursache von Lagerungsstörungen sind. Pressungen sind Einengungen durch Druck. Es wird unterschieden in Falten (bruchlose Deformation), Aufschiebung, Überschiebung, Blattverschiebung (Bruchdeformationen).

Pumpe
Arbeitsmaschine zur Förderung von Flüssigkeiten, Gasen und deren Gemischen durch eine statische oder dynamische Erhöhung der Druck- oder Geschwindigkeitsenergie des Fördermediums

Pumpensumpf
Teil der Pumpstation unterhalb des Ansaugstutzens zur Fassung des zufließenden Wassers; dient zum Absetzen von Feststoffteilchen

Pumpstation
Teil der Entwässerung; in der Pumpstation wird das zugeführte Wasser wird mittels Pumpen abgefördert

Pumpversuch
zeitweilige Grundwasserentnahme mittels Pumpe zur Bestimmung qualitativer und quantitativer Parameter eines Grundwasserleiters

Pyrit
Bezeichnung für das Mineral Eisen-Schwefelkies (FeS_2)

Pyritverwitterung
Das in den tertiären Schichten enthaltene Pyrit wird beim Abbaggern belüftet. In den Kippen erfolgt der Kontakt mit den verschiedensten Formen von Wasser. Es entstehen Eisenhydroxid und Schwefelsäure.

7541014/10787806875Biblio

Quartär
jüngste Periode der Erdgeschichte, durch die Inlandvereisungen charakterisiert; 2,5 Mio. Jahre bis heute

Radkraft,
auch Radlast
Kraft, die über ein Rad auf die Fahrbahn (z. B. Gleis) übertragen wird

Rampe
schiefe Ebene zum Überwinden eines Höhenunterschiedes im Tagebau
Sie wird in der Regel parallel zur Längsachse von einer Böschungsoberkante und einer Böschungsunterkante begrenzt.

Rasensohle
bergmännische Bezeichnung für die unverritzte Erdoberfläche; unabhängig von Bebauung und Bewuchs

reelle Verdunstung
ist kleiner als die potentielle Verdunstung und ergibt sich daraus unter Berücksichtigung des vorhandenen Wasserangebotes

Reichweite
R in m
Die Reichweite der Grundwasserbeeinflussung ist der horizontale Abstand zwischen einer Grundwasserfassung und dem Rand des zugehörigen Entwässerungstrichters.
Die Reichweite der Tagebauentwässerung ist die Grenze der Beeinflussung des Grundwasserstandes durch die Entwässerungsmaßnahmen.
Die Reichweite wird durch geologische Strukturen verringert (Dichtwand-Wirkung).

Restwasserhöhe
Grundwasserstand nach beendeter Grundwasserabsenkung

Restwasserstand
In Bereichen ohne aktive Entwässerung verbleibt ein Restwasserstand über den Stauern.

Reviernivellement
Das Reviernivellement ist ein periodisch wiederkehrendes Feinnivellement (Höhenmessung mit großer Genauigkeit) im Niederlausitzer Braunkohlenrevier.
Es dient der Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaues auf die Erdoberfläche (insbesondere durch Grundwasserabsenkung) auf Grundlage eines Höhenfestpunktfeldes.

Ringvolumen,
auch schaufelloser Ringraum
das unter einer Schaufel durch das hintere Stegblech und die Projektion der Schaufelvorderkante abgegrenzte Ringvolumen beim zellenlosem Schaufelrad

Rollbahnträger
hoher Stahlbauträger am unteren Ende des Brückenhauptträgers auf der Baggerseite von AFB; bewegt sich mit seinen Rollbahnträgerschienen auf den Laufrädern des Rollentisches

Rollentisch auf der Baggerseite der AFB
Stahlbaukörper mit eingebauten Laufrädern, auf der der Hauptträger mit seinem Rollbahnträger in festgelegten Grenzen zwischen baggerseitiger und haldenseitiger Brückenstütze verschoben werden kann

Rückabschnitt
Abschnitt der Strosse, auf dem Rückarbeiten durchgeführt werden

Rückbares Gleis
Gleis, das entsprechend seiner Konstruktion gerückt werden kann

Rückbreite
b_r in m
kürzeste Entfernung jedes Punktes der rückbaren Anlage vor und nach dem Rücken

Rückfläche
A_r in m^2
die von der Ausgangs- und Endstellung einer gerückten Anlage begrenzte Fläche

Rücklänge
l_r in m
Länge eines Rückabschnittes

Rückmaß
a_r in m
Maß, um das die rückbare Anlage während eines Durchganges der Rückvorrichtung seitlich verlagert wird

Rückraupe
Raupe mit fest montiertem oder abnehmbarem Seitenausleger und Rückrollenkopf. Die Raupe fährt während des Rückens parallel zu den zu rückenden Gleisen bzw. Gurtbandförderern.

Sachverständiger für Tagebauentwässerung (SfTE)
von den Obersten Bergbehörden der jeweiligen Länder anerkannter Fachmann mit besonderer Qualifikation und Erfahrung für die Anfertigung oder Bestätigung von hydrogeologischen Berechnungen

Schakung
Anzahl der Schaken in einem Eimerkettenstrang von einer Eimerschake zur nächstfolgenden Eimerschake
Es werden vor allem 4- und 6-fach Schakung unterschieden.

Schaufelradbagger
SRs
Stetigförderer zum Fördern von Abraum und Kohle im Tagebau. Das Graborgan besteht aus einem Radkörper, an dessen Umfang Schaufeln angeordnet sind.

Scheibenbreite
b_s in m
durch die Konstruktion des Gewinnungsgerätes und die Abbautechnik bedingte Breite des Abbaublocks; sie entspricht der Blockbreite

Scheibenhöhe
h_s in m
lotrecht gemessener Abstand zwischen der oberen und der unteren Begrenzungsfläche einer Abbauscheibe

Schlitzwand
→ Dichtwand

Schluckbrunnen
meist mit Filter ausgebautes Bohrloch zur Aufnahme und Ableitung von Oberflächenwasser in einen Grundwasserleiter mit guter Porosität

Schluff-Feinsand-Wechsellagerung (Su/Fs-Wechsellagerung)
Wechsel von geringmächtigen Feinsandschichten und Schluffschichten. Sie bilden oft einen schwer entwässerbaren Komplex über der Kohle.

Schnitthöhe
h_{sch} in m
Durch die Konstruktion des Gewinnungsgerätes bedingte maximal abtragbare Mächtigkeit eines Hochschnittes.
Sie wird lotrecht gemessen. Bei Löffelbaggern wird die Schnitthöhe Reichhöhe genannt.

Schnittmächtigkeit
h_{Sm} in m
Durch die Konstruktion des Gewinnungsgerätes bedingte maximal abtragbare Mächtigkeit.
Sie entspricht der Summe von Schnitthöhe und Schnitttiefe.

7541014/10787806875Biblio

Spezifische Grabkraft
k_L in N/cm oder k_A in N7m²
spezifisch aufzuwendende Kraft am Gewinnungsorgan auf einen Zentimeter Schneiden- bzw. Zahnlänge oder auf einen Quadratmeter Spanfläche

spezifischer Speicherkoeffizient
s0 in m-1
Speicherkoeffizient für einen Meter Grundwassermächtigkeit im gespannten Grundwasser

Standardbeprobungen
Die wichtigsten zu beobachtenden Parameter sind der pH-Wert, das Eisen (Fe gesamt, Fe gelöst, Fe^{2+}, Fe^{3+}) und die abfiltrierbaren Schwebstoffe

Standböschung
bleibende Böschung, die u. a. beim Herstellen von Einschnitten, Rampen und Dämmen entsteht

Standsicherheit eines Großgerätes
statischer Nachweis gegen Umkippen, Abtreiben durch Wind und Neigung

Standsicherheitsberechnung
Methode, bei der auf der Grundlage der geologischen Situation (Schichtung des Gebirges, Lagerungsverhältnisse), der hydrologischen Verhältnisse (Stand der Entwässerung) und der bodenmechanischen Bedingungen (Festigkeiten und Zustände der Lockergesteinsschichten) die Parameter für eine sichere Böschungsgestaltung (Böschungswinkel, Böschungshöhe, Bermenbreite) berechnet werden. Dabei sind die technologischen Randbedingungen der Großgeräte (Abtragsmächtigkeit, Arbeitsbreite, Vorlandbreite usw.) zu berücksichtigen.

Stationierung
Bezugssystem zur Orientierung zwischen Tagebauplanung und der tatsächlichen Situation vor Ort im Tagebau.
Die Stationierung stellt ein System von parallelen Linien im 50- oder 100-Meter-Abstand dar, welches die fortschreitenden Böschungskanten der Tagebaustrosse etwa senkrecht schneidet.
Vor Ort wird die Stationierung in Form von Stationstafeln mit Stationsnummern an den Abraum-, Kippen- und Grubengleisen sichtbar gemacht.

statisch bestimmtes System
Ausbildung eines Stutzdreieckes zur Gewährleistung der Kippsicherheit für alle Betriebszustände

Stillstandszeit Tagebaugerät
Teil der Kalenderzeit, in dem ein Tagebaugerät außer Betrieb ist. Es wird in Stillstände (mit personeller Besetzung) T_s und Planstillstände (ohne personelle Besetzung) T_p unterschieden.

Stillstände
T_s in h
Hierzu zählen Stillstände durch
- geräte- und betriebliche Störungen,
- Fördersystem,
- Tagebausystem,
- planmäßige Instandhaltung/Umbau.

Planstillstände
T_p in h
Hierzu zählen Stillstände durch
- Arbeitszeitregime,
- Reservestellung,
- Außerbetriebnahme/Umsetzung.

Stoßverbindung
Zusammenfügung von Teillängen eines Fördergurtes durch Vulkanisieren, Kleben oder Klammern

Stratigraphie
Teilgebiet der Geologie, das sich mit der senkrechten u. damit auch zeitlichen Aufeinanderfolge der Schichtgesteine befasst. Sie nutzt Fossilien zur Altereinstufung von Gesteinen (Biostratigraphie).

Strosse
Teil der Arbeitsebene, auf dem Gewinnungs- und Verkippungsgeräte in Verbindung mit den ihnen zugeordneten Fördermitteln arbeiten bzw. der mit Fördermitteln ausgerüstet ist

Strossenendbaggerung
Gesamtheit aller Baggerarbeiten in einem bestimmten Abschnitt am Strossenende, bei denen Minderungen des effektiven Fördervolumens eintreten.
Zur Strossenendbaggerung zählen:
- die Kopfbaggerung
- die Baggerung im Nachholabschnitt bei Förderbrücken
- die Baggerung im Strossenabschnitt, in dem bei Zugförderung nicht mehr alle Wagen beladen werden können

Strossenendwinkel
α in °
Winkel, der von der Oberkante einer fortschreitenden Böschung und der Abbau- oder Verkippungsgrenze in Abbau- oder Versturzrichtung gebildet wird

Strossenriss
grafische Darstellung, welche die aktuelle Tagebaugeometrie mit Abraumböschungssystemen, Kohleschnitten, Kippensystem, Gleisachsen, Bandanlagen und Arbeitsebenenhöhen, ergänzt durch technologische und topografische sowie sicherheitsrelevante Informationen, enthält

Stützhöhenverbindung Hauptbrücke – Zubringerbrücke der AFB
Höhendifferenz zwischen Hauptarbeits- und oberer Arbeitsebene

Stützhöhenverbindung Hauptbrücke der AFB
Höhendifferenz zwischen Hauptarbeits- und Kippenarbeitsebene

Stützkippe
Kippe, die zur Sicherung einer Böschung oder eines Böschungssystems geschüttet wird

Stützkugel und Stützsäule
übertragen senkrechte und waagerechte Kräfte sowie Momente über Schwingen in die Fahrwerke

Stützweite der Hauptbrücke der AFB
Abstand zwischen Mitte baggerseitiger und haldenseitiger Stütze

Stützweite der Zubringerbrücke der AFB
Abstand zwischen Mitte Abstützung der Zubringerbrücke auf der Hauptbrücke und der Abstützung der oberen Arbeitsebene

subarktisch
Wechsel von winterlichen Dauerfrostphasen und sommerlichen Auftauperioden, meist geringe Vegetation mit Kiefern, Birken, Gräsern

subglazial
unterhalb des Gletschers

Suffosion
Es werden Teilchen der feineren Fraktion eines ungleichförmigen nichtbindigen Erdstoffes, die die Skelettfüllung bilden, im vorhandenen Porenraum des Skeletts durch die Strömung umgelagert und transportiert. Das tragende Feststoffskelett wird dabei nicht verändert.

Sümpfen
teilweises oder vollständiges Absenken des Wasserspiegels in Gruben- oder Tagebauen, Teichen oder Restlöchern

7541014/10787806875Biblio

Tagebauentwässerung
die Gesamtheit aller Maßnahmen der Filterbrunnenentwässerung einschließlich des Dichtwandbaues sowie der Oberflächenentwässerung mit der Drainageentwässerung zur Freimachung aller Böschungen von Grund- und Oberflächenwasser

Tagebausicherheitsaktiv (TSA)
Das Tagebausicherheitsaktiv tritt monatlich je Tagebau zusammen. Es ist gleichzeitig die Nachweisführung der innerbetrieblichen Kontrolle gegenüber der Bergbehörde. Im TSA wird auf der Grundlage der vom Stab erarbeiteten Monatsanalyse „Geotechnische Sicherheit" die aktuelle Situation erörtert und werden entsprechende Entscheidungen getroffen.

Tertiär
„Braunkohlenzeit"; geologische Epoche, in der in Mitteleuropa die heutigen Braunkohlen entstanden. Eine Unterteilung in Stufen und Folgen ist in der Anlage „Stratigraphische Tabelle des Tertiärs" im Anlagenteil nachzulesen. 65 Mio. Jahre bis 2,5 Mio. Jahre

Teufe
bergmännischer Begriff für Tiefe

Tiefschnitt
Teil des Gebirges, der unterhalb der Arbeitsebene eines Gewinnungsgerätes gebaggert wird

Tiefschüttung
Vorgang des Herstellens einer Tiefkippe

Tiefstufe
Gewinnungstechnologie, die beim Blockverhieb angewendet werden kann, wenn die Abtragstiefe die zulässige Abtragstiefe übersteigt. Der Tiefschnitt wird in zwei Teilschnitte unterteilt, die von demselben Bagger gewonnen werden. Der Bagger gewinnt zunächst den oberen Teil des Tiefschnittes und fährt anschließend über eine Rampe auf die so geschaffene Hilfsarbeitsebene und gewinnt den unteren Teil des Tiefschnittes.
Das Fördermittel und - wenn vorhanden - das Verladegerät bleiben auf der zugeordneten Arbeitsebene.

Tragrollen
Teil der Tragrollenstationen zum Tragen des Fördergurtes
Man unterscheidet glatte Stahlmantel-, Scheiben- und Polstertragrollen.

Tragrollenstation
Teil des Gerüstes von Gurtbandförderern Man unterscheidet starre und gelenkige (z. B.: Girlanden) Tragrollenstationen.

Transgression
Vordringen des Meeres über ein Festland durch großräumige Senkungen der Erdoberfläche bei gleichzeitiger Abtragung der Erdschichten (Gegenteil ist die Regression). Im Kleinen wie Ebbe und Flut zu erklären, nur dass die Ursache Krustenbewegungen sind und demnach der gesamte Prozess sehr viel langsamer abläuft.

Treibräder
angetriebene Räder in den Zweiradschwingen (Treibschwingen)

Trennebene
horizontale oder wenig geneigte Fläche, die das Gebirge aus bergtechnischen Gründen trennt
Die Trennebene kann Arbeitsebene, Zwischenebene oder Berme sein.

Trennstelle
Gemeinsame Grenze der Arbeitsbereiche zweier Gewinnungs- oder Verkippungsgeräte auf einer Strosse. Die Trennstelle ändert ihre Lage in Abhängigkeit von der Abbautechnologie.
Als Trennstelle wird auch ein für einen längeren Zeitraum festgelegter Gleisabschnitt bezeichnet, in dem zum Zwecke des Rückens die Gleise geöffnet und nach Abschluss der Rückarbeiten und korrigierter Länge wieder geschlossen werden.

Überhang
$V_{ü}$ in m^3/m
Volumen je Meter Böschungskante, das im Bereich der Überhöhe den natürlichen Böschungswinkel überschreitet

Überhöhe
$h_{ü}$ in m
Differenz zwischen der Abtragshöhe und der zulässigen Abtragshöhe oder Differenz zwischen der Abtragsmächtigkeit und der zulässigen Abtragsmächtigkeit

Umkristallisation
durch Druck und Temperatur bewirkte Veränderung von Mineralen bis zur Mineralneubildung aus anderen Mineralen

Umlenkstation
Teil des Gurtbandförderers, mit dem das ankommende in das rücklaufende Trum umgelenkt wird

Umschlingungswinkel
bezeichnet den Winkel, der sich ergibt vom Auflaufen bis zum Ablaufen des Gurtes auf der Trommel

Umströmung
Strömung des Grundwassers um eine Dichtwand bzw. um wasserundurchlässige Gebirgsschichten

Ungespanntes Grundwasser
Grundwasser; die Grundwasseroberfläche ist im Grundwasserleiter vorhanden

Unterirdischer Abfluss
Ein flaches Relief und entsprechend durchlässiger Untergrund begünstigen die Versickerung. Bei Dauerniederschlägen und bei langsam abtauendem Schnee ist die Zeitdauer zur Einsickerung in den Untergrund ausgedehnter und somit eine Grundwasserneubildung möglich.

Unterströmung
Strömung des Grundwassers in grundwasserführenden Schichten im Liegenden einer Dichtwand

Unterwassermotorpumpe (UWM-Pumpe)
ein- oder mehrstufige, vertikale Kreiselpumpe mit verhältnismäßig geringem Durchmesser und großer Länge

Variszische Gebirgsbildung
Gebirgsbildung am Ende des Paläozoikums; Entstehung von Harz, Vogesen, Riesengebirge, Schwarzwald, Erzgebirge u. a.

Verdunstung (V)
Der Vorgang der Verdunstung ist physikalisch gesehen ein wärmeenergetischer Prozess. Ein beträchtlicher Teil des Niederschlages verdunstet vom Boden oder von freien Wasserflächen. Bei Bewuchs kommen noch zusätzlich die vegetations- und bodenbedingten Faktoren hinzu. Man unterscheidet verschiedene Arten der Verdunstung. Die Verdunstung kann nicht gemessen werden. Sie kann aus der Differenz zwischen Niederschlag minus Abfluss ermittelt werden.

Verhiebsgeschwindigkeit
v_v in m/Zeiteinheit
Geschwindigkeit, mit der ein Punkt einer Böschung je Zeiteinheit in Verhiebsrichtung fortschreitet

Verhiebsrichtung
Richtung, in der die Böschung bei der Gewinnung vom Gerät angeschnitten wird

7541014/10787806875Biblio

Verkippungsgeschwindigkeit
v_{vk} in m/Zeiteinheit
Geschwindigkeit, bei der ein Punkt einer Böschung in Verkippungsrichtung fortschreitet

Verkippungsrichtung
Richtung, in der die Kippenstrosse als Ganzes fortschreitet

Verladeausleger mit Band
Verladeorgan des Baggers auf ein zentrales Band oder Transportzug

Versturzgeschwindigkeit
v_{vs} in m/Zeiteinheit
Geschwindigkeit, mit der ein Punkt einer Böschung in Versturzrichtung fortschreitet

Versturzrichtung
Richtung, in der das Schüttgut bei der Verkippung gestürzt wird

Versturztiefe
h_{vt} in m
Abstand vom Scheitelpunkt der Abwurfparabel bis zur Auftreffstelle des Schüttgutes

Verteilerstation
Aufteilung des Förderstromes in vorgeschriebene Förderrichtungen durch Übergabe- und Aufgabeschurren, Sattelwagen, Hosenschurren usw.

Vertikalbewegungen
Kräfte, die zu Veränderungen der Erdkruste führen und die Ursache von Lagerungsstörungen sind. Vertikalbewegungen sind Hebungen und Senkungen von Platten. Es wird unterschieden in Biegungen, Beulen und Schleppungen (bruchlose Deformation), sowie in Brüche und Gleitungen (Bruchdeformationen).

Vertikalschnitt
beim Baggern durch vertikale Einstellbewegung entstehende Spanfolge

Vertikalspan
durch vertikale Einstellbewegung bei einmaligem Eingriff des Graborganes entstehender Körper

Vorbeugender Brandschutz
erstreckt sich auf Maßnahmen zur Verhinderung eines Brandausbruches, einer Brandausbreitung und zur Sicherung der Rettungswege.
Er schafft Voraussetzungen für einen wirkungsvollen abwehrenden Brandschutz.

Vorfluter
vorhandener Wasserlauf, der das Grubenwasser aufnimmt oder abführt

Vorkippe
Teil einer Direktversturzkippe, welcher der Hauptkippe vorgelagert ist bzw. auf dem die kippenseitige Arbeitsebene liegt. Sie kann unterteilt sein.

Vorlandbreite
b_v in m
kürzeste Entfernung von der Böschungskante bis zum ersten belasteten Punkt der Arbeitsebene, der für die Standsicherheit maßgebend ist

Vorlauf
Vorauseilen eines Arbeitsprozesses gegenüber einem anderen damit in Beziehung stehendem. Es gibt u. a. Erkundungsvorlauf, Grundwasserabsenkungsvorlauf, Vorlauf eines Schnittes.

Vorschnitt
alle Schnitte, die in einem Tagebau einer Abraumförderbrücke oder einer Direktversturzkombination vorauslaufen

Warmzeit
Zeitraum zwischen zwei Kaltzeiten mit einem zu heute ähnlichem, z. T. auch wärmerem Klima und entsprechender Tier- und Pflanzenwelt

Warve
innerhalb eines Jahres abgelagerte Schicht aus einer hellen, sandig-schluffigen Sommerlage und einer dunklen, tonigen Winterlage

Wassergesättigte Bodenzone
ist mit der Bezeichnung Grundwasserkörper gleichbedeutend

Wasserhaltung
Gesamtheit aller Vorgänge, Anlagen und Einrichtungen unter oder über Tage zum Fassen, Klären, Heben und Ableiten des zufließenden Wassers

Wasserkreislauf
Der Wasserkreislauf in der Natur ist eine ständige Folge von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung. Er wird durch die Wasserhaushaltsgleichung (hydrologische Grundgleichung) beschrieben:
Niederschlag (N) =
Abfluss (A) + Verdunstung (V) [mm]

Wassernutzungsentgelt
Für benutztes Grundwasser (Bohrwasser, Bohrspülung, Ascheverspülung, Brauchwasser, Beregnung, Löschwasser) muss Wassernutzungsentgelt an die jeweiligen Länder in unterschiedlicher Höhe bezahlt werden.

Wasserreinigung
Qualitätsverbesserung des Wassers für eine vorgesehene Nutzung

Wasserungesättigte Bodenzone
befindet sich über dem Grundwasser

Wellen
werden auf Biegung beansprucht und übertragen prinzipiell ein Drehmoment

Windkanter
Geröll, dem durch Windschliff glatte, ebene Flächen und scharfe Kanten angeschliffen wurden

Windwerke,
auch Hubwerke
sind für das Heben und Senken von Eimerleitern, Schaufelrad-, Abwurf- und Verladeauslegern notwendig. Man unterscheidet zwischen Seil-, Spindel- und Hydraulikwindwerken.

Winkelfahrweise
programmierte Steuerung der Winkelstellung einer Abraumförderbrücke durch Änderung der Fahrgeschwindigkeit der Kippenstütze zur Realisierung einer vorausberechneten Massenverteilung

Winkelstellung
Stellung eines schwenkbaren Geräteteiles im Koordinatensystem/Tagebaugerät
Man unterscheidet u. a.: Winkelstellung Oberbau, Verladeausleger und Abwurfausleger bei Baggern und Absetzern sowie Winkelstellung Baggerstütze, Kippenstütze und Zubringerbrücke bei AFB.

Wirbelschichtkohle
Bezeichnung für getrocknete und fein aufgemahlene Braunkohle (grobkörniger als Braunkohlenstaub). Sie lässt sich in geschlossenen Systemen pneumatisch fördern, lagern, transportieren und dosieren und wird in Heizkraftwerken verwendet. Wirbelschichtkohle wird in einem durch Luftzufuhr aufgewirbelten Bett verbrannt. Sie hat einen Wassergehalt von durchschnittlich 18 % und einen Heizwert von durchschnittlich 19,5 MJ/kg.

Xylit
fossiles Holz in der Braunkohle; als Stubben oder einzelne Äste und Stämme im Kohleflöz erkennbar

7541014/10787806875Biblio

Zellenlose Schaufelräder
Die Entleerung erfolgt über einen größeren Teil des oberen Innenumfangs. Für diese Bauart sind eine Leitschurre (Niere) und eine Austragsschurre erforderlich.

Zellenschaufelräder
Schaufeln sind entsprechend der vorhandenen Zellen am Umfang angeordnet

Zerrungen
Kräfte, die zu Veränderungen der Erdkruste führen und die Ursache von Lagerungsstörungen sind
Zerrungen sind Dehnungen durch Zugkräfte. Es wird unterschieden in Flexuren (bruchlose Deformation), Abschiebungen, Kippschollen, Spalten (Bruchdeformationen).

Zulässige Abtragshöhe
h_{Ahz} in m
nach sicherheitstechnischen Gesichtspunkten abtragbare Mächtigkeit eines Hochschnittes
Sie wird lotrecht gemessen.
Bei Eimerkettenbaggern wird sie durch die Horizontale, die durch die Welle des Umlenkturas geht, begrenzt.

Zulässige Abtragsmächtigkeit
h_{Az} in m
Summe aus zulässiger Abtragshöhe und zulässiger Abtragstiefe, wird lotrecht gemessen

Zulässige Abtragstiefe
h_{Atz} in m
nach sicherheitstechnischen Gesichtspunkten abtragbare Mächtigkeit eines Tiefschnittes, wird lotrecht gemessen

Zulässige Neigung
auf der Grundlage der Sicherheits- und Betriebsbedingungen festgelegte Neigung oder Steigung, bei der Fahrzeuge und Geräte noch arbeiten, fördern oder transportiert werden dürfen
Bei Arbeits- und Transportebenen für Bagger werden Längs- und Querneigungen festgelegt.

Zustandsbeschreibende Kennzahlen
Eigenschaften eines Lockergesteines, die von speziellen, künstlich erzeugten Zuständen der Probe abhängig sind

Zwischenebene
zwischen Arbeitsebenen entstandene, nicht ausgerüstete Trennebene

Literaturangaben

[1] Fachwörterbuch „Begriffe für den Tagebau", 3. überarbeitete Auflage, Febr. 1989, Herausgeber: Sektion Feste Brennstoffe der WTG Energiewirtschaft der KDT.
[2] Handbuch zur Leistungs- und Zeitdatenerfassung für Tagebaugeräte (VE-M-Handbuch gültig ab 1. 4. 2003).

7541014/10787806875Biblio

Literaturverzeichnis

1 Buja, H. O.: Studienunterlagen, eigene Vorlesungsunterlagen, Exkursionen, Studienfahrten, Dozententätigkeit u. a.

2 Buja, H. O.: „Handbuch des Spezialtiefbaus 1. und 2. Auflage“, Werner Verlag, Düsseldorf 1997 und 2001

3 Buja, H. O.: „Handbuch der Baugrunderkundung“, Werner Verlag, Düsseldorf 1999

4 Buja, H. O.: „Deutschlands Bodenschätze“, Projekte-Verlag, Halle, 2010

5 Buja, H. O.: „Handbuch der Tief-, Flach-, Geothermie- und Horizontalbohrtechnik“, Vieweg+Teubner-Verlag, Wiesbaden, 2011

6 Buja, H. O.: „Handbuch der Bodenerkennung“ – Geräte und Verfahren, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009

7 Buja, H. O.: „Spezialtiefbau-Praxis von A–Z“, Bauwerk Verlag, Berlin, 2001

8 Buja, H. O.: „Praxishandbuch der Ramm- und Vibrationstechnik“, Bauwerk Verlag, Berlin, 2007

9 Kukuk, Paul: Geologie, Mineralogie und Lagerstättenkunde, Springer-Verlag, Berlin 1960

10 Hrsg.: Bundesverband Braunkohle, Postfach 400253, 50832 Köln, Tel.: 234-1864-0, www.braunkohle-forum.de

11 Lahl, Bernd u. Kugler, Jens: „Alles kommt vom Bergwerk her“, Chemnitzer Verlag 2006, www. freipresse.de

12 Tsedendorj, S.: Mining Engineering Handbook, Ulaanbaatar 2005

13 Steinmetz, Mahler, H.: „Tagebauprojektierung“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1987

14 Lahl, B., Jens, K.: „Alles kommt vom Bergwerk her“, Chemnitzer Verlag, 2006

14 Wirtschaftsvereinigung Bergbau e. V., Bonn: „Das Bergbauhandbuch“, Verlag Glückauf GmbH, Essen 1994

15 Müllensiefen, K. (Hrsg.): „Der Braunkohlentagebau“, Springer Verlag, 2008

16 Patzold, V. u. a.: „Der Nassabbau“, Springer Verlag, 2008

17 Thies, G.: „Rohstoffpolitik in Europa“, Springer Verlag, 2009

18 Vattenfall (Hrsg.): „Grundlagen der Tagebauführung im Lausitzer Revier“, Eigenverlag

19 Südwestdeutsche Salz Werke AG, Heilbronn (Hrsg.): „125 Jahre Bergwerk Heilbronn“ in drei Bänden, Eigenverlag, 2010 – Tel.: 07131-6494-0

20 Bohnenberger, G. Dr.-Ing.: „Stand der Bergtechnik im Steinsalzwerk Heilbronn“, Aufsatz aus der Zeitschrift -Glückauf, 2001 Nr. 3

7541014/10787806875Biblio

21 Bohnenberger, G. Dr.-Ing.: „Vom Sprengen zum Schneiden – Technologiewechsel im Steinsalzbergwerk Heilbronn“, Aufsatz aus der Zeitschrift „Glückauf“, 2009 Nr. 5

22 Bohnenberger, G. Dr.-Ing.: „Die schneidende Gewinnung bei der Südwestdeutsche Salzwerke AG“, Aufsatz aus der Zeitschrift „World of Mining“, 2008 Nr. 1

23 Josefson, L.G. u. a., (Hrsg.): „CCS-Innovations- und Klimaschutztechnologie“ – Informationsschrift der Vattenfall Europe AG

24 WEG – Wirtschaftsvereinigung Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V., Informationsschrift „Erdgas – Erdöl – Entstehung – Suche – Förderung“, Hannover, 2008

25 Jacob, T. Dr.-Ing.: „Moderne Bunkergestaltung in den Bergwerken der K+S Gruppe“, Aufsatz aus der Zeitschrift „Kali und Steinsalz“ Heft 3 2004

26 Weigert, W.: „Gewinnungs- und Verwahrungstätigkeiten in ausgewählten Gruben des Werra der K+S AG“ – Vortrag – VBGU – Jahreskolloquium 2007

27 K+S Gruppe: Firmeninformation „Ein Jahrhundert Kalibergbau an Werra und Ulster“, 2000

28 Fecker, E.: „Geotechnische Messgeräte und Feldversuche“, Erike Verlag, Stuttgart 1997

29 Goodman, R. E.: „Einführung in die Gesteinsmechanik“ (engl.), New York 1989

30 „Handbuch der Gesteinsbohrtechnik“, Hrsg.: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1983

31 Happel, M.: „Verfahren zur Herstellung von Bohrlöchern“, Untereisesheim 1992

32 Firmenschrift Steinsalzbergwerk Stetten der Wacker AG (Hrsg.): „Salz der Erde – 150 Jahre Salzbergwerk Stetten“

33 Kühn, G.: „Bohren im Lockergestein“ – Untersuchungsbericht, Baumaschine und Technik 1980

34

35 Marx, C.: „Diamantbohrwerkzeuge in der Schürfbohrtechnik“, Christensen Diamond Products, Celle

36 Tholen, M. u. Dr. S. Walker-Hertkorn: „Arbeitshilfen Geothermie“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Bonn 2008.

37 Wirth Maschinen- und Bohrgeräte: „Bohrtechnisches Handbuch“, Erkelenz 2004

38 Wirth-Bohrgeräte: Vortragsband anlässlich des Aufbaulehrgangs der FIGAWA „Die verschiedenen Drehbohrverfahren“, Kerpen 1991

39 Cambefort, H.: „Bohrtechnik – Tief-, Gründungs- und Erkundungsbohrungen“, Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin, 1964

40 DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) Hrsg.: „Braunkohle in Deutschland 2011 – Profil eines Industriezweiges“

41 Arnhold, Th.: „Energie aus der Tiefe der Erde“, Beitrag in der Zeitschrift Ex, 2007

7541014/10787806875Biblio

42 MIBRAG Hrsg.: „Mehr als Kohle“ – Geschäftsbericht 2011 der Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH

43 Krüdener, A. Frhr. von, und Becker, A.: „Atlas Standortkennzeichnender Pflanzen“, Berlin 1941

44 Ambatiello, P.: „Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beim Abbau der alpinen Salzlagerstätten“ – Salzbergwerk Berchtesgaden, Bergwerkstraße 83.

45 Barbara Erzbergbau GmbH, Hrsg.: „Steinbruchbetrieb unter Tage mit Erz und Verstand“, Aufsatz in der Zeitschrift „Steinbruch und Sandgrube“, Heft 1/2008

46 Strozodka, K.: „Tagebautechnik“ Band I, VEB Deutscher Verlag, Leipzig 1979 und Band II 1980

47 „Zehn Fakten rund um die Braunkohle“ – Hrsg. DEBRIV, 2011

48 „Unsere Braunkohle – Lagerstätten“ – Hrsg. DEBRIV, 2011

49 C. H. Fritzsche: Bergbaukunde, erster und zweiter Band – erste Ausgabe –Springer Verlag 1961

50 R. Schillinger „Sprengtechnik und Umwelt“, Hanser Fachbuchverlag Verlag

51 Jendersie, H. (Hrsg.) „Sprengtechnik im Bergbau“, VEB Verlag Leipzig 1981

Verzeichnis der Informationsunterlagen und Abbildungen von Fachunternehmen, Geräte- und Maschinenhersteller

V1 Bauer Maschinenbau GmbH, Bauer-Str. 1, 86522 Schrobenhausen, Tel.: 08252-97-0, E-Mail: info@bauer.de, Internet: www.bauer.de

V2 Bentec GmbH Drilling & Oilfield Systems, Deilmannstraße 1, 48455 Bad Bentheim, Tel.: 05922-2272466, www.bentec.com – E-Mail: info@bentec.de

V3 Bohrtec Vertical GmbH, Im Heidenwinkel 7, 77963 Schwanau – Tel.: 07827-3020

V4 Broschüre „Oberflächennahe Geothermie“ herausgegeben vom Bayerisches Staats- Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz)

V5 Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie StMWIVT, Prinzregentenstr. 28, 80538 München

V6 BetaTherm-Erdwärmekörbe – Ausführung: Dietrich Rohrleitungsbau GmbH, Carl-Benz-Straße 16, 73235 Weilheim/Teck, Tel.: +49 (0) 70 23/95 14-0, E-Mail: info@dietrich-rb.de.

V7 Broschüre: Geothermie – herausgegeben von der Handelskammer Düsseldorf – Zentrum für Umwelt und Energie, Mülheimer Str., 46049 Oberhausen, Tel.: 0208-82055-55, E-Mail: info@umweltmarkt.org.

V8 Celler Brunnenbau GmbH, Postfach 101171, 29221 Celle, Tel.: 05141-8844 www.celler-brunnen-bau.deenbau.de., E-Mail: cb@celler-brunnenbau.de, Internet: www.celler-brunnenbau.de.

7541014/10787806875Biblio

V9 COMDRILL Bohrausrüstungen GmbH, Im Kressgraben 29, 74257 Untereisesheim, Tel.: 07132-99870,ino@comdrill.de

V10 DCI Europe, Kurmainzer Straße 56, 97836 Bischbrunn, Tel.: 09394-990990 – Web: digitrak.com – E-Mail: dcieurop@digital-control.com.

V10 Drilltec GUT GmbH Großbohr- und Umwelttechnik Josef-Wallner-Straße 10, 94469 Deggendorf, www.drilltec.de. E-Mail: info@drilltec.de.

V11 ExxonMobil Central Europe Holding GmbH, Kapstadtring 2, 22297 Hamburg, Internet: www.exonmobil.com.

V12 Franki Grundbau GmbH &Co. KG, Hittfelder Kirchweg 24–28, 21220 Seevetal, Tel.: 04105-869-0, E-Mail: info@franki.de, Internet: www.franki.de. alpinen Salzlagerstätten“ – Salzbergwerk Berchtesgaden, Bergwerkstraße 83.

V13 Heinz Burkhardt GmbH & Co KG – Erdwärme, Tulpenstr. 15, Tel.: 07055-9297-0, E-Mail: info@burkhardt-erdwaerme.de, Internet: www.burkhardt-erdwaerme.de Hrsg. DEBRIV, 2011

V14 Herrenknecht AG, Postfach 63, Tel.: 07824-302-0 – www.herrenknecht.de, utility@herrenknecht.de.

V15 Keller Grundbau GmbH, Kaiserleistr. 44, 63006 Offenbach, Tel.: 069-80510, E-Mail: matketing@KellerGrundbau.com, Internet: KellerGrundbau.com.

V16 KLEMM-Bohrtechnik, Postfach 1265, 57484 Drolshagen, Tel.: 02761-7050, Web: www. klemm-bt.de – E-Mail: klemm-bt@klemm-mail.de.

V17 Geotec Bohrtechnik GmbH, Aspastr. 26, 59394 Nordkirchen, Tel.: 02596-97000, E-Mail: contact@geotec-bohrtechnik.de, Internet: www.geotec-bohrtechnik.de

V18 Hans Leffer Stahl- und Apparatebau GmbH, Pfählerstr. 1, 66125 Saarbrücken, Tel.: 06897-793-0, E-Mail: info@leffer.de, Internet: www.leffer.de.

V19 ITAG Tiefbohr GmbH, Itagstraße 5-17, 29221 Celle, Tel.: 05141-914-0, www.itag-ce.de – E-Mail: info@itag-ce.de.

V20 LMR Drilling GmbH, Ammeländer Heerstraße 368, Tel.: 0441-97191 www.lmr-drilling.de – E-Mail: info@lmr-drilling.de.

V21 Liebherr-Werk Nenzing GmbH, Dr. Hans Liebherr Str. 1, A 6710 Nenzing-Austria, www. liebherr.com, E-Mail: info@liebherr.com.

V22 Max Streicher GmbH & Co. KG a. A., Schwaigerbreite 17, 94469 Deggendorf, Tel.: 0991-230-0 – www.streicher.de – E-Mail: info@streicher-bau.de.

V23 Maschinenfabrik Sennebogen, Hebbelstr. 30, 94315 Straubing, Tel.: 09421-540-0 www.sennebogen.de -E-Mail: info@sennebogen.de.

V24 Nordmeyer GmbH – Maschinen und Brunnenbohrgeräte, Postfach 1604, Tel.: 05171-542-0, E-Mail: info@nordmeyer.de, Internet: www.nordmeyer.de

V25 Prime Drilling GmbH HDD-Technology, Ludwig-Erhard-Straße 4, Tel.: 03762-930 96 0 – www.prime-drilling.de – E-Mail: infoprime-drilling.de.

7541014/10787806875Biblio

V26 RWE Dea AG, Überseering 40, 22297 Hamburg, www.rwedea.com – info@rwedea.com

V27 Satvia Maschinen- und Bohrgerätebau GmbH, Industriepark Straße B Nr. 8, 39245 Gommern, Tel.: 039200-732-0 – www.satvia.de – E-Mail: info@satvia.de.

V28 Sennebogen Maschinenfabrik GmbH, Hebbelstraße 30, 94315 Straubing, www.sennebogen.com, E-Mail: cranedivision@sennebogen de.

V29 SPIBO Spielhoff-Bohrwerkzeuge GmbH, Kronprinzenstr. 26, 44135 Dortmund, Tel.: 0231-528246, E-Mail: spibo-dortmund@t-online.de, Internet: www.spibo.de.

V30 SVG – Förderstelle Geothermie Nord-Schweiz, Dr. Mark Eberhard, Schachenallee 29, CH 5000 Aarau, Tel.: 062-8232707, E-Mail: mark.eberhard@geothermal-energy.ch

V31 Tracto-Technik GmbH Co. KG – Spezialmaschinen, Postfach 4020, 57356 Lennestadt, Tel.: 02723-8080, www.tracto-technik.de.

V32 Vermeer Deutschland GmbH, Puscherstraße 9, 90411 Nürnberg, Tel.: 0911-54014-0,www.vermeer.de.

V33 WEG –Wirtschaftsverband Erdöl-und Erdgasgewinnung e.V., Broschüre: Erdgas – Erdöl – Entstehung – Suche – Förderung, Brühlstraße 9- 30169 Hannover, www.erdoel-erdgas.de – E-Mail: info@.erdoel-erdgas.de.

V34 Wirth Maschinen- und Bohrgeräte-Fabrik GmbH, Postfach 1660, 41806 Erkelenz, Tel.: 02431-83267, Internet: www.wirth.drilling.com, E-Mail: info@wirth-drilling.com.

V35 Barbara Erzbergbau GmbH, An der Erzgrube 9, 32457 Porta-Westfalica, E-Mail: info@barbara-rohstoffe.de – Internet: www.barbara-rohsoffe.de

V36 RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH – Informationsmaterial, Osnabrücker Straße 112, 49477 Ibbenbüren, Tel.: 05451-513200, E-Mail: ibgmbh@rag.de, Internet: www.rag-anthrazit-ibbenbüren.de

V37 RWE Power AG – Informationsmaterial –, Huyssenallee 2, 45128 Essen, Tel.: 0201-12-01,

V38 Digital Control Incorporated DCI Europe, Kurmainzer Str. 56, 97836 Bischbrunn – Tel.: 09394-990990 – www.digitrak.com

V39 Vattenfall Europe AG – Informationsmaterial; Von Stein Straße 39, 03050 Cottbus, Tel.: 0355-28870, info@vattenfall.de, Internet: www.vattenfall.de

V40 K+S AG, Berta-von-Suttner-Straße 7, 34131 Kassel, Tel.: 0561-9301-0, E-Mail: info@k-plus-s.com, Internet: www.k-plus-s.com

V41 RAG – Ruhrkohle Aktiengesellschaft – Shamrockring 1, 44623 Herne, Tel.: 02323-15-0, E-Mail: info@rag.de, Internet: www.rag.de

V42 Südsalz GmbH, Salzgrund 67, 74076 Heilbronn, Tel.: 07131-6494-0, E-Mail: info@salzwerke.de. Internet: www.suedsalz.de

7541014/10787806875Biblio

V43 MIBRAG GmbH (Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH), Glück-Auf-Straße 1, 06711 Zeitz, Tel.: 03441-684-0, E-Mail: info@mibrag.de, Internet: www.mibrag.de

V44 Herrenknecht AG – Info-Material, Postfach 63, 77961 Schwanau, Tel.: 07824-302-0, E-Mail: info@ herrenknecht.de, Internet: www.herrenknecht.de

V46 Rohr-Bagger GmbH, Rotterdammer Straße 15, 68219 Mannheim, Tel.:0621-84559-0, E-Mail: info@rohrbagger.de, Internet: rohrbagger.de

V47 KC Deutag Drilling GmbH – Info-Material, Deilmannstraße 1, 48455 Bad Bentheim, Tel.: 05922-72-0, E-Mail: info@uk.kcadeutag.com, www.kcadeutag.com

V48 ABF Bohrtechnik GmbH & Co. KG, Zur schwarzen Brücke, 54516 Wittlich, Tel.: 06571-9123-0, E-Mail: info@abf-bohrtechnik.de, Internet: www.abf-bohrtechnik.de

V49 Aker Wirth GmbH – Info-Material –, Kölner Straße 71-73, 41812 Erkelenz, (Geräte für Bohrtechnik, Tunnelbau, Bergbau, Onshore- und Offshore-Technik), Tel.: 0231-83-0, E-Mail: info@akersolutions.com, Internet: akersolutions.com/akerwirth

V50 LMR Drilling GmbH – Info-Material-, Ammerländer Heerstraße 368 Oldenburg, Tel.: 0441-97191-0, E-Mail: info@lmr-drilling.de, Internet: lmr-drilling.de

V51 Süd-Chemie AG – Spezialtiefbau, Ostenrieder Str. 15, 85368 Moosburg, Tel.:08761-82626, E-Mail: infor@sudchemie.com, www.sudchemie.com

V52 Eickhoff Bergbautechnik GmbH, Hundscheidtstraße 176, 44789 Bochum, E-Mail: kontakt@eickhoff-bochum.de, Internet: www.eickhoff-bochum.de

V53 BUCYRUS Europe GmbH, Infos überBergbaumaschinen, Industriestraße 1, 44534 Lünen, Tel.: 02306-709-0, E-Mail: info@de.bucyrus.com, www.buccyrus.de

V54 Betek Bergbau- und Hartmetalltechnik – Karl-Heinz Simon GmbH & Co. AG, 78733 Aichhalden, Tel.:07422+5650, E-Mail: info@betek.de, Internet: www.betek.de

V55 MiSwaco Deutschland GmbH (Info-Material über Geräte der Spülungstechnik, Graffring 5-7, 29227 Celle, Tel.: 05141-9841-0, Internet: miswaco.com

V56 Beyer GmbH – Infos über Geräte für die Kies- und Sandgewinnung, Zeppelinstraße 9, 68519 Viernheim, Tel.: 06207-9669-0, E-Mail: zentrale@beyer-viernheim.de, Internet: www.beyer-viernheim.de

V57 Heinrich Döpke GmbH, Infos über Geräte für die Kies- und Sandgewinnung, Stellmacherstraße 10, 26506 Norden, Tel.: 04931-97201-0, E-Mail: info@doepke-gmbh.de, Internet: www.doepke-gmbh.de

V58 SMT Stichweh-Maschinen & Service GmbH, Am Schmiedebrink 2, 31020 Salzhammerdorf, Tel.: 05186-9414-0, E-Mail: office@smt-stichweh.com, Internet: www.smt-stichweh.com

V59 Derrick Coporation Mühlenweihestraße 2,92242 Hirschau, Tel.: 09622-7190268, E-Mail: ubruder@derrickcorb.com, Internet: www.derrickcorp.com

7541014/10787806875Biblio

V61 Quarzwerke – Gruppe – Hauptverwaltung, Kaskadenweg 40, 50226 Frechen, Tel.: 02234-101-0, E-Mail: info@quarzwerke.com

V62 Quarzsand- und Mahlwerk Haltern, Quarzwerkstraße 160, Tel.: 02364-964-0. Zur Quarzwerke-Gruppe zählen noch eine größere Zahl von Quarzsandgewinnungs- und www.kcadeutag.com

V63 Deilmann-Haniel GmbH, Haustenbecke 1, 44319 Dortmund, info@ dhms.com, www.dhms.com

V64 Thyssen Schachtbau GmbH, Sandstr. 107-135, 45473 Mühlheim, Tel.: 0208-3002-0, www.tyssen-schachtbau.de

V65 SWAG Salzgitter Maschinenbau AG, Windmühlenbergstr. 20–22, E-Mail: bergbau@smg.de – www.smag.de

V66 Mössing+Wolter Maschinenbau GmbH, An der Steinhalde 32, 44879 Bochum, Tel.:0234-36956-20, info@moessinger-wolter.de, www.moessinger-wolter.de

V67 Volvo Baumaschinen Bayern GmbH, Posthaltering 2, 85599 Parsdorf, Tel.: 089-920996740, www.volvo-bayer.com

V68 WAT Wärmeaustauscher GmbH, Auf dem Stemmingholt 18–20, Hamminkeln, Tel.: 02856-9191, kontakt@wat-Klima.de, www.wat-klima.de

V69 Hausherr System Bohrtechnik GmbH, Heissenbergstr. 11, 59423 Unna, Tel.: 0203-98624-0, info@ hausherr.con, www.hausherr.com

V70 FAM Magdeburger Förderanlagen und Baumaschinen GmbH, Sudenburger Wuhne 47, 39112 Magdeburg, Tel.: +49 391 6380, sales@fam.de, www.fam.de

V71 esco -Steinalzbergwerk Bernburg der K+S Gruppe – Info-Material – Kustrenaer Weg 7, 06406-Bernburg (Saale) – Tel.: 03771-810 – www.esco.salt.com

V72 esco-Steinsalzbergwerk Borth der K+S Gruppe – Karlstr. 80, 47495 Rheinberg, Tel.: 07495-48-2212 – info@esco-salt.com

V73 Baker Hughes – Info-Material –, Baker-Hughes-Str. 1, 29221 Celle, Tel.: 05141-203-0 – www.bakerhughes.de

V74 Erdölmuseum Wietze, Schwarzer Weg 7, 29323 Wietze, Tel.: 05146-92340 – verwaltung@erdoelmuseum.de

V75 Schieferbergwerke an der Moselstraße – Katzenberg, Margareta und andere – www.moselstrasse.de

V76 MAXAN – Bohr- und Sprengtechnik – MAXAM Deutschland GmbH, Gnaschwitzer Str. 4, 02692 Doberschau, Tel.: 03591-357-0

V77 Voest-Alpine Erzbergbau GmbH, Erzberg, Steiermark/Österreich

V78 Baryt-Grube Clara, Ober-Wolfach, 77709 Wolfach, Tel.: 07834-867772

V79 Atlas Copco Holding GmbH, Langemarckstr. 35, 45141 Essen, Tel.: 0201-2177-0 – www.atlascopco.de

7541014/10787806875Biblio

V80 Dietrich-Erdwärme GmbH, Carl-Benz-Str. 16, 73235 Weilheim/Teck, Tel.: 07023-95140 – info@dietrich-erdwaerme.de

Aus folgenden Fachzeitschriften wurden Informationen entnommen:

Z1 „bbr“ –Fachzeitschrift für Brunnen- und Leitungsbau – Verlag wvgw – Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH-, Josef-Wirmer-Straße 3, 53123 Bonn, Tel.: 0228-9191-0, info@wvgw.de

Z2 Sonderheft der 2010 „bbr“ – Tiefe Geothermie – Anschrift siehe oben

Z3 Sonderheft der 2010 „bbr“ – Oberflächennahe Geothermie – Anschrift s. oben

Z4 „tis“ – Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau – Bau Verlag BV GmbH, Postfach 120, 33311 Gütersloh, Tel.: 05241-80-88730

Z5 „Glückauf“ – Zeitschrift für Rohstoff, Bergbau und Energie – VEG Verlag GmbH, Postfach 185620, 45206 Essen – Internet: www.vge.de

Z6 „Steinbruch und Sandgrube“ – Fachmagazin für Entscheider in der Roh- und Baustoffindustrie – Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH, Hans-Böckler-Allee 7, Tel.: 05111-8550-0, Internet: schluetersche.de

Z7 „Bergbau“ – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie und offizielles Organ des RDB e. V., Ring Deutscher Bergingenieure – Verlag: Makossa Druck und Medien GmbH, Pommerstr. 17, 45889 Gelsenkirchen, Tel.: 0209-98085-0

Z8 „geotechnik“ – Zeitschrift für Bodenmechanik, Erd- und Grundbau, Felsmechanik, Ingenieurgeologie, Kunststoffe in der Geotechnik und Umweltgeotechnik – Organ der DGG – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik – Verlag: Ernst-&Sohne, Berlin – Internet: info@ernst-und-sohn.de.

Z9 „tunnel“ – Fachzeitschrift für Bauführung und Planung von unterirdischen Bauwerken – offizielles Organ der STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen, Internet: tunnel-online.info.

Z10 „Steine + Erden“ – Fachmagazin für Prävention der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie in der Branche Baustoffe – Steine und Erden – Theodor-Heuss-Straße 160, 30853 Langenhagen, Tel.:0511-7257-100, E-Mail: info@steine-und-erden.net

Z11 „World an Mining“ – GDMB Zeitschrift der Informationsgesellschaft mbH – Paul-Ernst-Straße 10, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Tel.: 0523-9372-0, E-Mail: info@GDMB.de

Hinweis zur *GDMB* und die Zeitschrift „World of Mining“

Die *GDMB* Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik e. V. ist ein internationales Forum für den technisch-wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch zwischen Industrie, Behörden und Wissenschaft. Sie ist ein bedeutender Bestandteil des internationalen Netzwerks in den Bereichen der Rohstoffgewinnung und der Nichteisen-Metallurgie. Die Mitglieder sind Einzelpersonen, Unternehmen, Hochschulinstitute und Behörden. Sie verfügen über Kompetenzen in der Geologie, der bergbaulichen

7541014/10787806875Biblio

Rohstoffgewinnung und den Bereichen Aufbereitung, Veredelung, Sanierung und Renaturierung.

Außerdem sind sie Experten in allen Wirtschaftszweigen der Nichteisen-Metallurgie von der metallurgischen Erstgewinnung bis zum Recycling sowie der damit in Zusammenhang stehenden Umwelttechnik.

Die *GDMB* veranstaltet neben den regelmäßigen Treffen der Fach- und Arbeitsausschüsse themenbezogene Kolloquien, Symposien und Kongresse, die dem internationalen Wissensdialog dienen und allen interessierten Fachkollegen zur Weiterbildung offen stehen. Als Herausgeber von Fachliteratur wird die *GDMB* zu einer wichtigen, branchenspezifischen Informationsquelle.

Die **„World of Mining"** – Surface & Underground ist eine Fachzeitschrift der GDMB Informationsgesellschaft mbH. Diese internationale zweisprachige Bergbauzeitschrift ist aus der 1902 gegründeten Zeitschrift Braunkohle hervorgegangen, die seit 1993 auch die Zeitschrift Neue Bergbautechnik einbezogen hat.

Vom Jahrgang 2004 an ist World of Mining – Surface & Underground auch um den bergbaulichen Teil der ehemaligen Zeitschrift ERZMETALL erweitert.

Die Berichterstattung der World of Mining umfasst die gesamte Breite der bergbaulichen Rohstoffgewinnung.

Dazu gehören die Lagerstättengeologie, die Planung bergbaulicher Anlagen, die Gewinnung, Förderung, Veredlung und Nutzung sowie die Rekultivierung und Altlastensanierung. Ein Schwerpunkt der Zeitschrift ist dabei der Braunkohlenbergbau.

Neben originären Fachartikeln und technischen Berichten informiert die Zeitschrift über Neuheiten aus der Industrie, über Personalveränderungen und über branchenrelevante Veranstaltungen.

Quellenangaben zu den einzelnen Kapiteln

Abkürzungen

m. b. G. F.: – mit besonderer Genehmigung und Freigabe

g. f.: – geprüft und freigegeben

a. f. n. I. – aus frei nutzbaren Internetseiten

a. e. U. – aus eigenen Unterlagen – siehe auch unter [1]

Andere Quellen und Kontaktadressen stehen in eckigen Klammern [ ]

Kapitel	Quellen
A	**Deutschland und der Bergbau**
	a) a. e. U.
	b) Lahn/Kugler: „Alles kommt vom Bergwerk her" [11]

7541014/10787806875Biblio

c) H. O. Buja: „Deutschlands Bodenschätze“ [4]

d) Wirtschaftsvereinigung Bergbau: „Das Bergbau Handbuch“ [14]

e) K+S-Gruppe: „Ein Jahrhundert Kalibergbau an Werra und Ulster“ [27]

f) SWS Heilbronn: „125 Jahre Bergwerk Heilbronn“ [19]

g) Steinsalzwerk Stetten: „Salz der Werde – 150 Jahre Salzbergwerk Stetten“ [32]

h) RWE Power „Informationsmaterial“ [37]

i) Erdölmuseum Wietze [V74]

B Grundlagen der Geologie

a) a. e. U.

b) Paul Kukuk: „Geologie, Mineralogie und Lagerstättenkunde“ – Springer Verlag – 1960 [9]. Hierfür liegt eine offizielle Freigabe des Springer-Verlages vom 29.06.2011 vor.

c) H. O. Buja: „Handbuch der Bodenerkennung“ – Vieweg+Teubner Verlag – 2009 [6]

d) H.O. Buja: „Handbuch der Bodenerkundung“ – Werner-Verlag – 1999 [3]

e) Krüdener, A. Frhr: „Standortkennzeigende Pflanzen“ [32]

f) Weitere Quellen siehe Literaturverzeichnis und Verzeichnis der Informationsunterlagen[1, 3, 6, 9, V11, V24, V26, V33, V37, V40]

g) R. Schillinger „Sprengtechnik und Umwelt“, Hanser Verlag [50]

h) Jendersie, H. (Hrsg.) „Sprengtechnik im Bergbau“, VEB Verlag Leipzig 1981 [51]

C Grundlagen der Mineralogie

vergleiche **B**

D Exploration

a) a. e. U.

b) H. O. Buja: „Handbuch der Bodenerkennung“ [6]

c) H. O. Buja: „Deutschlands Bodenschätze“ [4]

d) ExxonMobil [V11] m. b. G. F. – a. f. n. I.

e) WEG [V33] m. b. G. F. – a. f. n. I.

f) RWE-Dea [V38] [V26] – m b. G F.

g) RAG [V41] – m. b. G. F.

h) RWE Power [V37] – m. b. G. F.

i) Wirth [V34] – m. b. G. F.

7541014/10787806875Biblio

j) Comdrill [V9] – m. b. G. F.

k) Nordmeyer [V24] – g. f.

l) Satvia [V27] – g. f.

E Grundlagen der Sprengtechnik

a) a. e. U.

b) Unterlagen aus meinem Sprengmeister-Lehrgang

c) C. H.: „Bergbaukunde“ – Springer-Verlag [49] a. e. U.

d) R. Schillinger: „Sprengtechnik und Umwelt“ [50]

e) H. Jendersie: „Sprengtechnik im Bergbau“ [51]

F Gewinnung der Rohstoffe

Fl Lagerstätten

a) a. e. U.

b) [9], [11]

Fst Bergbau auf Steinkohle

a) a. e U.

b) C. H. Fritsche „Bergbaukunde Bd. 1 + 2“ – Springer-Verlag [49]. Hierfür liegt eine offizielle Freigabe des Springer-Verlages vom 28.06.2011 vor.

c) RAG Ruhrkohle AG: „Informationsmaterial“ – [V35, V36] – a. f. n. I. – g. f.

d) Eickhoff Bergbaumaschinen [V52] a. f. n. I.

e) Salzgitter AG [V65] – a. f. n. I.

f) Mössing+Wolter-Maschinenbau [V66] – a. f. n. I.

g) Deilmann-Haniel GmbH [V63] – a. f. n. I.

h) Thyssen Schachtbau GmbH [V64] – a. f. n. I.

i) WAT Wärmaustauscher GmbH [V68] – a. f. n. I.

j) BUCYRUS Europe, Bergbaumaschinen [V34] – a. f. n. I.

k) Herrenknecht AG [V14] – a. f. n. I.

Fs Bergbau auf Salz

a) a. e. U.

b) SWS Salzwerke AG, Heilbronn „125 Jahre Bergwerk Heilbronn“ [18] – g. f.

c) Bohnenberger, G. Dr.-Ing. – folgende Aufsätze: „Stand der Bergtechnik im Steinsalzwerk Heilbronn“ – „Vom Sprengen zum Schneiden“ – Schneidende Gewinnung bei der Südwestdeutschen Salzwerke AG“ [20, 21, 22]

7541014/10787806875Biblio

d) K+S Gruppe Firmeninformation „Ein Jahrhundert Kalibergbau an Werra und Ulster“ – [27] – g. f.

e) Steinsalzbergwerk Stetten der Wacker AG „Salz der Erde – 150 Jahre Salzbergwerk Stetten“ – [32] – m. b. G. F – g. f.

f) Steinsalzbergwerk Borth der K+S-Gruppe [V73] a. f. n. I

g) Steinsalzbergwerk Bernburg der K+S-Gruppe [72]

h) Salzbergwerk Berchtesgaden der SWAG [V74] a. f. n. I.

i) Salzbergwerk Epe der Salzgewinnungsgesellschaft Westf. (SWG) [V75] a. f.

j) Jacob, T. Dr.-Ing. „Moderne Bunkergestaltung in den Bergwerken der A+S-Gruppe [25] – a. f.

Fe Bergbau auf Erz

a) a. e. U.

b) Barbara Erzbergbau GmbH – [45] Information – m. b. G. F.

c) Lahl u. Kugler: „Alles kommt vom Bergwerk her“ [11]

d) Weigert, W. „Gewinnungs- und Verwahrungstätigkeiten in ausgewählten Gruben der K+S-Gruppe“ [26]

e) „Bergbau“ – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung und Energie“ – offizielles Organ des RDB – Ring Deutscher Bergingenieure – [27]

f) Erzgewinnung am Erzberg in der Steiermark/Österreich – Betreiber Voest-Alpine Erzberg GmbH – a. f. n. I.

g) Baryt-Bergbau Grube Clara der Sachtleben GmbH & Co. KG in Wolfach/Schwarzwald – a. f. n. I.

h) Bergbau auf Scheelit der Bergbau- und Hütten GmbH KG in Mittersill-Felbertal/Österreich – a. f. n. I.

i) Ambatiello, P.: „Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der alpinen Salzlagerstätten“ – Salzbergwerk Berchtesgaden [44]

j) Salzbergwerk Berchtesgaden der SWAG [V74]

Fb Bergbau auf Braunkohle

Bundesverband der Braunkohle (DEBRIV) „Braunkohle in Deutschland 2011“ [V75] „Braunkohle. Was liegt näher?“ [V77]

a) Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG) „Mehr als nur Kohle“ – Geschäftsbericht 2010 [V76]

b) RWE Power AG, Essen – Informationsmaterial a. f. n. I.

c) MIBRAG GmbH, Zeitz – Informationsmaterial, g. f.

d) Vattenfall Europe AG, Cottbus – Informationsmaterial – g. f.

7541014/10787806875Biblio

e) Vattenfall (Hrsg.) „Grundlagen der Tagebauführung im Lausitzer Revier“ – g. f.

f) Müllensiefen, K. (Hrsg.): „Der Braunkohlentagebau“, Springer Verlag 2009 [15]

g) Strozodka, K.: „Tagebautechnik“ [16]

h) „10 Fakten rund um die Braunkohle“ – Hrsg. Bundesverband Braunkohle [10]

i) e. U.

Ft Bergbau auf Torf

a) a. e. U.

b) „Das Bergbauhandbuch“ – Hrsg.: Wirtschaftsvereinigung Bergbau e. V. Bonn [14].

c) Internetseite des Moor- und Fehnmuseum, Elisabethfehn.

d) Internetseite des Fördervereins Torfbecker e. V.

f) Exkursion in den Torfgebieten von Wiesmoor und Bourtanger Moor sowie den Torfmooren in den Niederlanden.

Ff Bergbau auf Festgestein

a) a. e. U.

b) siehe Kap. „Grundlagen der Sprengtechnik“

c) „Handbuch der Gesteinsbohrtechnik“ Hrsg.: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie – [30]

d) COMDRILL Bohrausrüstungen GmbH [V9]

e) Hausherr System Bohrtechnik GmbH, Unna [V69]

f) MAXDATA Deutschland GmbH (Westspreng) [V75]

g) Schieferbergwerk Katzenberg bei Mayen in der Vulkaneifel – Internetseite der Moselschiefer-Str. [V76]

Fk Bergbau auf Kies und Sand

a) a. e. U.

b) V. Patzold, Hrsg. „Der Nassabbau“ [16]

c) Rohr-Bagger GmbH, Mannheim [V46]

d) Bayer GmbH – Geräte für Kies- und Sandgewinnung, Viernheim [V56]

e) Heinrich Döpke GmbH – Geräte für Kies- und Sandgewinnung, Norden [V57]

f) SMT Stichweh-Maschinen & Service GmbH, Salzhammerdorf [V58]

g) Quarzsand- und Mahlwerke, Haltern (Quarzgruppe) [V62]

7541014/10787806875Biblio

G Untertagespeicherung von Erdöl und Erdgas

a) a. e. U.

b) RWE Dea AG, Hamburg [V26]

c) ExxonMobil Produktion, Hannover [V80]

d) Erdgasspeicher im Salzbergwerk Epe [V81]

H Untertagespeicherung von CO_2

a) a. e. U.

b) Vattenfall Europe AG – Informationsschrift „CCS – Innovations- und Klimaschutztechnologie“ [V39]

I Geothermie

a) a. e. U.

b) Broschüre „Oberflächennahe Geothermie“, Hrsg.: Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie – [V4]

c) Armhold, Th.: „Energie aus der Tiefe der Erde“ [41]

d) Dietrich GmbH, BetaTherm Erdwärmekörbe, Weilheim [V3]

e) Geotec Bohrtechnik GmbH, Nordkirchen [V17]

f) Klemm Bohrtechnik GmbH, Drolshagen [V16]

g) Nordmeyer GmbH, Peine [V24]

h) Satvia Maschinen- und Bohrgerätebau, Gommern [V27]

i) Tracto-Technik GmbH, Lennestadt [V31]

j) Herrenknecht AG, Schwanau [V44]

k) Sonderheft der 2010 „bbr“ – Tiefe Geothermie [Z2]

l) Sonderheft der 2010 „bbr“ – Oberflächennahe Geothermie [Z3]

m) Textbeiträge aus der Zeitschrift *Ex 2007 Beitrag:* „Energie aus der Tiefe der Erde“ (T. Arnhold u. A. Steilen) mit freundlicher Genehmigung der Herrenknecht AG.

n) Text und Abb. sind teilweise von der Homepage der BGR und aus einem Artikel der BGR der „bbr“ Sonderzeitschrift „Tiefe Geothermie“ und Internetveröffentlichungen entnommen und wurden freundlicherweise von der BGR zur Verwendung freigegeben.

7541014/10787806875Biblio

Empfehlungen für die Erdöl- und Erdgasindustrie, Technische Richtlinien, Normen, Merkblätter

WEG-Merkblätter

Umweltschutz und Arbeitssicherheit haben bei den Mitgliedsfirmen des WEG einen hohen Stellenwert. Zusammen mit Experten der Erdöl- und Erdgasgewinnungsindustrie erarbeitet der WEG Merkblätter, Richtlinien und Empfehlungen zur Konkretisierung von bestehenden gesetzlichen Vorschriften für die Erdöl- und Erdgasgewinnungsindustrie. Folgende Auswahl der gültigen Merkblätter, Richtlinien und Empfehlungen steht hier als Download zur Verfügung:

WEG-Merkblatt für Coiled Tubing-Einsätze

WEG-Merkblatt für die Veröffentlichung geowissenschaftlicher Arbeiten

WEG-Richtlinie Ermittlung von Fristen für Prüfungen an Feldleitungen/TRFL

WEG-Leitfaden Futterrohrberechnung

WEG-Leitfaden Erfassung von Unfällen

WEG-Leitfaden zur Freigabe von Informationen

WEG-Leitfaden Kathodischer Korrosionsschutz

WEG-Leitfaden Beispielsammlung zur Anlagenverordnung

WEG-Empfehlung Bohrlochkontrolle

WEG-Beispielsammlung MSR/Stand 06 03

WEG-Empfehlung Einstufung Druckbehälter

WEG-Beispielsammlung nicht elektrischer Ex-Schutz

WEG-Handlungsempfehlung DGRL

WEG-Leitfaden-Blitzschutz

WEG-Leitfaden für Arbeiten mit natürlicher Radioaktivität

WEG-Leitfaden Gestaltung des Bohrplatzes

WEG-Handlungsempfehlung zur Prüfung nichtelektrischer Betriebsmittel

WEG-Leitfaden zum Umgang mit der Gefahrstoffverordnung

Zum Download von Merkblättern, Richtlinien und Empfehlungen melden Sie sich bitte als Benutzer bei der WEG an. Dann erscheint in der linken Navigation der Zugang zur Download-Seite.

Sollten Sie noch keine Zugangsberechtigung haben, können Sie mit dem Formular „Anmeldung zum Download“ eine entsprechende Zugangsberechtigung bei der WEG beantragen.

WEG – Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. Brühlstraße 9,
30169 Hannover – Tel.: 0511-121720 – Telefax: 0511-1217210 – erdoel-erdgas.de –
E-Mail: info@erdoel-erdgas.de

7541014/10787806875Biblio

DVGW-Regelwerk

W 110	06.05	Geophysikalische Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur Erschließung von Grundwasser; Zusammenstellung von Methoden
W 111	03.97	Technische Regeln für die Ausführung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung
W 112	04.83	Entnahme von Wasserproben bei der Wassererschließung
W 113	07.01	Ermittlung, Darstellung und Auswertung der Korngrößenverteilung wasserleitender Lockergesteine für geohydrologische Untersuchungen und für den Bau von Brunnen
W 114	06.89	Gewinnung und Entnahme von Gesteinsproben bei Bohrarbeiten zur Grundwassererschließung
W 115	03.01	Bohrungen bei der Wassererschließung
W 116	04.98	Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei der Erschließung von Grundwasser
W 117	12.75	Entsanden und Entschlammen von Bohrbrunnen (Vertikalbrunnen) im Lockergestein und Verfahren zur Feststellung überhöhten Eintrittswiderstandes
W 120	02.05	Verfahren für die Erteilung der DVGW-Bescheinigung für Bohr und Brunnenbauunternehmen
W 121	07.03	Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen
W 122	08.95	Abschlussbauwerke für Brunnen der Wassergewinnung
W 123	09.01	Bau von Vertikalfilterbrunnen für die Wassergewinnung
W 124	11.98	Abnähmen und Kontrollen von Vertikalfilterbrunnen

Zu beziehen bei der Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Josef-Wirmer-Straße 1–3, 53123 Bonn, Tel. 02 28/5 20 80-400

DIN-Normen der Bohrtechnik

DIN 4020	09.03	Geotechnische Untersuchungen für Bautechnische Zwecke
DIN 4023	02.06	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Anschlüssen
DIN 1896	06.06	Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
DIN EN ISO 22475-1	01.07	Geotechnische Erkundung und Untersuchung-Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung

7541014/10787806875Biblio

DIN EN ISO 22475-2	04.05	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Teil 2: Rammsondierungen
DIN EN ISO 22476-3	04.05	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 3: Standard-Penetration-Test
DIN EN ISO 22476-12	04.05	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Teil 12: Drucksondierungen mit mechanischen Messwertaufnahmen
DIN EN ISO/TS 22475-2	01.07	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 2: Qualifikationskriterien für Unternehmen und Personal,
DIN 4094-1	06.02	Baugrund – Felduntersuchungen – Teil 1: Drucksondierungen
DIN 4094-2	05.03	Baugrund – Felduntersuchungen – Teil 2: Bohrlochrammsondierung
DIN 4094-4	01.02	Baugrund – Felduntersuchungen – Teil 4: Flügelscherversuche

DIN-Normen aus der Sicherheitstechnik

DIN EN 344	Anforderungen und Prüfverfahren für Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe für den gewerblichen Gebrauch
DIN EN 354	Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz; Verbindungsmittel
DIN EN 361	Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz; Auffanggurte
DIN EN 791	Bohrgeräte; Sicherheit
DIN 4840	Arbeitsschutzhelme; sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfling

DIN-Taschenbücher

12	Wasserversorgung 1 – Wasseruntersuchung, Wasseraufbereitung
36	Erd- und Grundbau
62	Wasserversorgung 2 – Faserzement-, Guss-, Kunststoff-, Stahlbeton- und Stahlrohre für Wasserleitungen
63	Wasserversorgung 3 – Rohrnetz und Zubehör
91	Bohrarbeiten, Brunnenbauarbeiten, Wasserhaltungsarbeiten
113	Erkundung und Untersuchung des Baugrundes

Alle DIN-Normen und Taschenbücher sind zu beziehen beim Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, Telefon: 030/2601-2260 oder über Buchhandlungen

7541014/10787806875Biblio

Hinweise zur API

In der ***Onshore- und Offshore***technik sind wesentliche Regeln für die Ausführung sowie die verwendeten Werkzeuge und Materialien durch **API** geregelt.

API steht für **„American Petroleum Institute“** und ist der größte Interessenverband der Öl- und Gasindustrie einschließlich der petrochemischen Industrie in den USA. Dem API gehören ca. 400 Unternehmen an (Stand August 2005). Das Institut äußert sich zu Themen wie der Ausbeutung von Lagerstätten, Ölverbrauch, Steuern, Handel, Umwelt- und Arbeitsschutz. Ein wichtiges Arbeitsgebiet ist die Erarbeitung von technischen Richtlinien und Standards. Der Einfluss des API geht weit über die USA hinaus.

Die vom API herausgegebenen technischen Richtlinien sind vergleichsweise umfassend und anspruchsvoll. Die Richtlinien werden nicht von unabhängigen Einrichtungen, sondern von Fachleuten aus dem im Verband zusammengeschlossenen Industriefirmen erarbeitet. Vom API liegen Spezifikationen für Motoröle vor (siehe: Schmieröl). Andere Richtlinien beschäftigen sich beispielsweise mit der Ausführung von Maschinen, Öltransport auf Schiffen, Wartung von Apparaten und der Ausführung von Sicherheitseinrichtungen sowie Qualitäts- und Maßrichtlinien für Bohrgestänge und Bohrzubehör.

Kontaktadresse: http://germany.ihs.com/collection/api/index.htm

BVOT – **Bergverordnung für Tiefbohrungen, Untergrundspeicher und für die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohrungen.**

Der Erlass der neuesten Fassung ist vom **20. September 2006** und verbindlich ab **01. Januar 2007** eingeführt. Der Wortlaut kann über die zuständigen Ländesämter für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) bezogen werden.

Abruf im Internet (z. B. für Niedersachsen) unter „www.lbeg.niedersachsen.de“.

Hinweis

Normen und Regeln unterliegen insbesondere durch die Anpassung und Umstellung auf die EU-Normen und Richtlinien einer ständigen Änderung. Teilweise werden auch Normen und wegen Einsprüchen zurückgezogen.

Anwender und Ausführende sollten sich daher stets über den neuesten Stand informieren. Da zwischen den Recherchen zu einem Buch und der Veröffentlichung mehrere Jahre liegen, kann der Autor aus den genannten Gründen keine Garantie für die Aktualität der aufgeführten Normen und Regeln übernehmen.

7541014/10787806875Biblio

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Unternehmen, öffentlichen Einrichtungen und Berufskollegen, die zum Gelingen des Buches beitragen haben.

Mein besonderer Dank gilt u. a.:

Herrn Ulrich Göbel von der Abt. Kommunikation bei der K+S AG in Kassel,

den Herren Dipl.-Ing. Dietmar Kauer, Uwe Köhler und Ingolf Arnold von der Vattenfall Europe Mining AG in Cottbus/Spremberg,

Herrn Gido Steffen von der Kommunikations-Abt. der RWE Power AG in Essen,

dem Informationsdienst der RAG – Ruhrkohle AG in Herne,

Herrn Stefan Bauckmann von der Bucyrus GmbH in Lünen,

Herrn Kipker von der Fa. Bentec in Bad Bentheim,

Frau Dr. Diesener, Leiterin der Pressestelle und Herrn A. Struzina von der Abt. für Öffentlichkeitsarbeit der Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH in Zeitz,

Herrn Dr. Gerd Bohnenberger von der Südsalz AG, Heilbronn,

Herrn Degenhardt von der Fach- und Wissenschaftspresse der Wacker AG München,

Herrn Stefan Bauckmann von der BUCYRUS Europe GmbH, Lünen,

Herrn Garbe von der Barbara Erzbergbau GmbH, Porta Westfalica,

der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Träger des Projektes „GeneSys“ in Groß-Buchholz bei Hannover.

Meiner Ehefrau Margarete und meinem Enkel Marvin Bux, Student des Bauingenieurwesens an der Universität Stuttgart, für die Unterstützung beim Layout und der Korrektur.

Mein Dank gilt aber nicht zuletzt dem Beuth Verlag und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die gute Zusammenarbeit.

Ohne die Unterstützung der Genannten und der vielen nicht Genannten, wäre es schwierig gewesen, das Buchprojekt im vorliegenden Umfang zu verwirklichen.

Der Autor

Heinrich Otto Buja

7541014/10787806875Biblio

Stichwortverzeichnis

A

Abarten dieser Einbrüche 177
Abbau der Kohle 394
Abbau- und Gerätetechnik 473
Abbau- und Gewinnungstechnik 753
Abbau von Kaolin 36
Abbaubedingungen bei Großbohrlochsprengungen 199
Abbauführung 786
Abbautechnik 225, 493, 519, 589, 598, 659, 661, 664, 737
Abbauverfahren 401, 407, 436, 447, 449, 486, 493, 526
Abbauvorbereitung und Wasserhaushalt 658, 662, 664
Abfälle langzeitsicher entsorgt 429
Abfallverwertung 467, 478
Abfangkeile 831
Abraumförderbrücken (AFB) 653, 654
Abraumförderung und Verkippung 658, 662, 664
Abschiebungen 79
Abschlaglänge 199, 234
Abschluss der Arbeiten 969
Abschluss der Bohrung 879
Abschlussbetriebsplan 620
Absenkbrunnen für den Braunkohlentagebau 136
Absenkungen 395
Absetzer 520, 549, 550, 551, 552, 558, 560, 561, 562, 563, 568, 571, 572, 573, 574, 593, 594, 602, 608, 609, 622, 639, 640, 642, 647, 655, 658, 662, 664, 687, 691, 694, 696, 697, 702, 703, 704, 708, 710, 712
Abstand der Quersch 260
Abteufarbeiten im Detail 463
Abteufen 231, 232, 252
Abwurfgerät 628, 656, 657
Adneter Marmor 769
Akku Lok 350
Allgemeine Einrichtungen im Unter-Tage-Erzbergbau 533
Allgemeines der Schiefergewinnung in Deutschland 759
Aluminium 511
Anfänge in der La-Tène-Zeit und Entwicklung 1
Anforderung an die Fahrzeugtechnik 437
Anforderungen an das Sprengergebnis 194
Anker und ihre Wirkungsweise 274
Ankersetzgerät System „Fletcher Roof Bolter“ 321
Anordnung und Herstellung der Gefrierlöcher 246
Anthrazit Ibbenbüren 224
Anthrazit-Steinkohle in Ibbenbüren 32
Antimon 96
Antriebssysteme 957
Anwendungsbeispiel für den Erzbergbau 191
Anzünden der Zündschnur 150
Arbeitsbühnen für den Streckenvortrieb 273
Arbeitsschritt Laden der Sprenglöcher 414
Arbeitsvorbereitungen 874
Arsenate 90
Arten der Sonderbewetterung bei „Lutten“ 293
Arten von Bohrungen 132
Artesisch gespanntes Wasser 87
Atomecho im Gestein 863
Aufbau der Erdkruste 55
Aufbau der Sprengkapseln 147
Aufbau des Erdkörpers 56, 62
Aufbau und Einrichtung 874
Aufbringen von Spritzbeton 301
Auffahren der Flözstrecken 310
Auffahren der Füllörter 264
Auffahren der Gesteinsstrecken 266
Auffahren der Querschläge 308
Auffahren mit Bohr- und Sprengarbeit 261
Auffahrtechniken 312
Aufgaben der Bodenerkundung 107
Aufgaben der Bohrspülung 834
Aufgaben der Grubenwehr 391
Aufhaldung 427
Aufhauen und Abhauen 314

7541014/10787806875Biblio

Aufschluss 735, 737
Aufschlussbohrung 122, 132, 133, 134
Aufsteigende Quellen 87
Aufsteigende und abfallende Bewetterung 376
Auftreten und Beseitigung nicht atembarer Gase 360, 361
Aus- und Vorrichtung 226
Ausbau 337
Ausbau in herkömmlichen Systemen 316
Ausbauschild der BUCYRUS 339
Ausbildung der Arbeitseben 195
Ausbildung der Kontur des Stehenbleibenden 195
Ausführung der Sprengarbeit 169
Ausführung einer Geothermie-Tiefbohrung 958
Ausführung und Verlegung der Leitungen 160
Ausführung von Wettertüren 384
Auskünfte von Nachbarn 110
Ausmaß des Vorsetzens von Abbaustrecken 312
Ausrichtung in der Sohlenebene 259
Ausrichtung vom Schacht aus 256
Aussehen des Marmor 768
Aussolverfahren 503
Auswahl der Bohranlage 929
Auswertung der Messergebnisse 126
AutoTrak-Funktions-System 860
AutoTrak-System 858

B

Bagger-Band-Absetzer (BBS) System 560
Baggertechnologie 633
Bahnbetrieb 569, 570
Bandabsetzer 551, 572, 598, 609, 610, 628, 655, 656, 692, 696, 701, 702, 705
Bandanlagen 221, 332, 341, 402, 404, 410, 437, 446, 455, 533, 549, 550, 551, 552, 558, 562, 566, 568, 574, 576, 640, 641, 642, 647, 650, 658, 662, 664, 665, 690, 692, 694, 695, 700, 701, 703, 704, 705, 708, 709, 710
Bandförderung 261, 306, 471, 493, 637, 639, 655
Bandschleifenwagen 551, 552, 558, 562, 571, 572, 573, 574, 609
Bandspannstationen 344
Bandspeicheranlagen 344
Baryt Bergbau Grube Clara 534
Basalt 48, 68
Basaltabbau 771, 772
Basisbohrung 122
Bauart der dynamoelektrischen Zündmaschinen 163
Bauformen von Ankern 276
Baustoffzentrale 301
Bauxit 102
BBA-System 551
Bedeutung der Anlage 501
Bedeutung der Deutschen Braunkohle 548
Bedeutung der Lagerungs- und Betriebsverhältnisse 228
Bedeutung der Vorratsbunker unter Tage 421
Bedingungen zur Erdwärmenutzung in Deutschland 917
Bedüsungen an Walzenschrämladern 333
Begriffe und Techniken 196
Begriffe und Wesen des Bergrechts 977
Begriffsbestimmung 808
Behandlung der Sohle 201
Beispiel aus Norwegen 906
Beispiel Australien 913
Beispiel einer Widerstandsmessung 168
Beispiele für die Lademengenberechnung 171
Beispiele für Renaturierungsmaßnahmen 671
Beispiele für Schadensfälle 971
Beispiele vorhandener Bunker 422
Belegung der Gewinnungs- und Streckenbetrieben 340
Belüftung 293
Bentec-Tiefbbohrgeräte 813
Bentonit-Bergbau 40
Berauben 417
Beraubungsfahrzeug 453

7541014/10787806875Biblio

Bergbau auf Braunkohle 543, 733
Bergbau auf Erz 505
Bergbau auf Fluss- und Schwerspat 512
Bergbau auf Kupfer 513
Bergbau auf Salz 399
Bergbau auf Scheelit 536
Bergbau auf Steinkohle 217
Bergbau auf Steinsalz 444
Bergbau auf Torf 721
Bergbau bis zur Industriellen Revolution 5
Bergbau im Erzgebirge 5
Bergbau im Siegerland 1
Bergbau und Grundeigentum 982
Bergbauberechtigung 554, 555, 978, 979, 980, 984
Bergbaubetrieb 9, 557, 977, 980, 983, 984
Bergbauperiode 4
Bergbaurevier Saarland 33
Bergmännische Gewinnung 445
Bergschäden 394, 983
Bergsenkung 396
Bergungsbohrungen 134
Bergwerk Auguste Victor 220
Bergwerk Ost 222
Bergwerk Prosper-Haniel 221
Bergwerk Saar 223
Bergwerk West 223
Bergwerkseigentum 554, 555, 979, 980
Besatz 169
Besatzstoffe 170
Besondere Anforderungen an die Lade- und Transportgeräte 477
Besondere Probleme bei Übertagesprengungen 193
Besonderheit beim Kaolinabbau 37
Besonderheiten beim Einbruchsprengen 180
Besucherbergwerke 469
Betrieb von Sonderbewetterungsanlagen 387
Betriebsablauf und Belegung 313
Betriebsausstattung 286
Betriebserfahrungen 287
Betriebsplan 556
Bewegungen 395
Bewetterung 243, 359, 764
Bewetterung in der Aus- und Vorrichtung 386
bindige Böden 82
Blasende und saugende Bewetterung 386
Blei und Zink 511
Blenden 96, 97
Boden- u. Wasserverhältnisse anzeigende Pflanzen 110
Bohr- und Einbautechnik für Erdwärmesonden 925
Bohraktivitäten 123
Bohranlagen 579, 802, 803, 807, 808, 812, 814, 819, 821, 823, 831, 843, 854, 859, 929, 951
Bohrarbeiten 56, 87, 108, 110, 135, 178, 245, 579, 622, 827, 873, 876, 885, 890, 925, 958, 959, 962, 966, 968, 969, 970, 971, 974
Bohrdurchmesser und Sondenrohre 927
Bohren der Sprenglöcher 413
Bohren und Sprenge 233
Bohrgeräte 116, 278, 738, 821, 932
Bohrgestänge 846
Bohrgestängeantrieb 854
Bohrhaken (Traveling Block) 826
Bohrkronen 279
Bohrloch-Solegewinnung 501
Bohrmotor – (Downhole Motor) 855
Bohrrohre, Innengestänge und Bohrköpfe 928
Bohrtec Vertical VB 10 931
Bohrtechnik 76, 129, 131, 278, 738, 740, 884, 940, 941
Bohrungen 56, 87, 114, 741, 746, 755, 757, 879, 881, 884, 905, 920, 924, 925, 926, 929, 944, 957
Bohrungen auf Erdöl und Erdgas 132
Bohrungen für Bergbau, Kalk- und Zementindustrie 134
Bohrungen für die Wasserversorgung, Brunnenbau 136
Bohrungen im Bergbau, Tunnel- und Stollenbau 133
Bohrverfahren 55, 115, 136, 246, 256, 578, 582, 844, 850, 865, 925, 926, 943, 974

7541014/10787806875Biblio

Böschungsbaggerung 786
Brauneisenerz 99
Braunkohlenbergbau in Mitteldeutschland 18
Braunkohlen-Bergbaurevier Meuselwitz 19
Braunkohlenplan 618
Braunkohlenreviere in Deutschland 13
Brennereinbruch 176
Brisante Gesteinssprengstoffe 142
Bruchbau 514
Brückenzünder 154

C

Carbonate 90
CCS – Was ist das? 903
Celle als Sitz Erdöl-Service-Unternehmen 858
Chemische Schichtgesteine 74
Chrom 510
Chromate 90
CO2 – Speicherung 905
Continuous Miner 317, 456, 457, 460

D

Das Bentec Pipe-Handling System 816
Das Grundwasser 85
Das Rheinische Braukohlkenrevier 13
Das Sprengen im Kohlenabbbau 186
Das Zünden aus dem Starkstromnetz 166
Datentabelle der Hobelsysteme Typ BUCYRUS 329
Datenübertragung mittels Schlamm 863
Definitionen der Tagebautechnik 550
Deflagration und Detonation 140
Degasser 838
Deponie 455
Der Bentec Top Drive 817
Der Torf 725
Der Wasserkreislauf 84
Derzeitige wirtschaftliche Bedeutung des Erzbergbaus 534
Desander und Desilter 836
Detonationsrichtung im Bohrloch 201
Deutsche Tiefbohrgeräteindustrie 813
Deutsche Tübbing-Bauweise 249
Deutsche Verfahren 264
Diabas Abbau in Garching b. München 749
Diamant 94, 106
Dichte 91
Dichtungswände 585
Dichtwandverfahren mit Abdichtungsfrästechnik 675
Die Bentec Spülpumpe (Mud Pump) 816
Die Böden (Lockergesteine) 81
Die deutschen Lagerstätten 400
Die Erdkruste 62
Die Festgesteine 65
Die Kraftwerke 682
Die Mohrsche Härteskala 92
Die Quellen 86
Die Schichtgesteine 69
Die Sohlenbildung 256
Die Wettersprengstoffe der Klasse III 145
Dieselkatzen, das wichtigste Transportsystem im Vororttransport 352
Diesellokomotiven 347, 570
Diorit 68
Direkt-Versturz-System 551, 560
drahtgebunden 668
Drehbohrwerkzeuge 865
Drehschlagbohren 278
Drehtisch 821, 826, 830, 831, 843, 845, 846, 854, 855, 956
Dreiarmiger Bohrwagen System SANDVIK 271
Dreieckseinbruch 175
Drückende Belüftung 293
Drucksondierungen 120
Druckspülbohrverfahren 578
Dumper A 25 D 440
DVS-System 551
Dynamit 1 142
dynamoelektrische Zündmaschinen 163

E

Edelmetalle 509
Eigenschaften der Sprengstoffe 289

7541014/10787806875Biblio

Eimerkettenbagger 549, 550, 551, 558, 562, 573, 624, 629, 630, 636, 637, 638, 639, 642, 644, 647, 648, 649, 658, 660, 661, 662, 663, 665, 666, 700, 704, 705, 708, 710, 786, 788, 791, 792, 793, 794
Ein Schacht wird abgeteuft 461
Ein überdimensionaler Kühlschank 374
Ein weiteres neues System in der Tiefbohrtechnik 862
Einbau der Produktionstour und Produktionsstrang 878
Einbau der Sondenrohre 926
Einbau der Tübbinge 250
Einbringen des Standrohres 804
Einbruch der Deckschicht (C) 395
Einbrucharten 291
Einbruchbohrung 133
Einbrüche auf Lösen 179
Einfaches Beispiel für eine Einreihensprengung 197
Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit 258
Einfluss der Kohlenfrontlänge 258
Einfluss von Störungen auf den Querschlagabstand 306
Einflussfaktoren auf die Größe des Absch 291
Einige Beispiele von Hartgestein- und Tonabbau 748
Einige Bentec-Rig's im Einsatz 819
Einige Erläuterungen zu den Edelsteinen 105
Einpressbohrungen 135
Einreihensprengung 202
Einrichtungen in Schachtnähe 418
Einsatz einer Einschienen-H 355
Einsatzerfahrung im Kaliwerk Sigmundshall 439
Einsatztechnologie der Großgeräte 623
Einschienen-Hängebahnen mit Eigenantrieb 352, 353
Einschubmörtelanker 276
Einsohlenbau 257
Einspeicherung 890
Einspeisung der Tagebaue 667
Einteilung der Lagerstätten 210
Einteilung der Schachtscheibe 230
Einteilung der Sprengstoffe 141
Einzelankern 274
Eisen 94, 509
Eisenerzgewinnung am Erzberg/Steiermark 523
Elektrische Eigenschaften 93
Elektrische Zündanlagen 157
Elektrische Zünder 153
Elektrolokomotiven 348, 533, 570
Elektronische Steuerung 332
Elektrotechnik und Elektronik 666
Elevatoren 826
Empfindlichkeit von Sprengstoffen 140
Endogene (innere) Kräfte 64
Energie aus dem Grundwasser 944
Energie von Zündmaschinen 162
Energiepfähle 935
Energie-Spriralkörbe 938
Energieversorgung 530
Entstehung der Steinkohle 217
Entstehung des Grubengases 361
Entstehung des Lauenburger Tons 39
Entstehung und Folgen der Bergschäden 394
Entstehung und Vorrat der Erdwärme 946
Entstehung von Erzlagerstätten 507
Entstehung von Kali und Salz 399
Entstehungsursachen der Schlagwetterexplosionen 363
Entwässerungsverfahren 674
Entwicklung 809
Entwicklung der Gurtförderer und der Komponenten 342
Entwicklung der Salzgewinnung 22
Entwicklung des Umsiedlungsstandortes 607
Entwicklungen in der schneidenden Gewinnung 332
Erdaltertum 58
Erdberührte Bauteile 935
Erdgas 210, 215, 216, 501, 801, 802, 879, 880, 881, 882, 883, 887, 888, 892, 893, 895, 896, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909
Erdgeschichtliche Untergliederung 58, 59, 60, 61

7541014/10787806875Biblio

Erdmagnetische Messungen 125
Erdöl 801
Erdöl- und Erdgasförderung in Deutschland 881, 884
Erdölspeicherung im Kavernenfeld Epe 899
Erdwärmekollektoren 939
Erdwärmekörbe 938
Erdwärmesonden 921, 924
Erfahrungen, Vor- und Nachteile der vorgestellten Bunker 423
Ergänzendes zum Besatz (Verdämmung) 202
ERG-Pilotprojekt Altmark 907
Ergussgesteine oder Vulkanite 67
Erläuterungen technischer Fachbegriffe im Tagebau 558
Erlebnis-Bergwerk Merkers 433
Ermittlung des Ausbruchsvolumen 197
Errichtung einer Schachtanlage 225
Erweiterungsarbeiten 437
Erweiterungsbohrung 122, 132
Erzgewinnung im Tagebau 519
ESTA®-Verfahren 424, 425, 426, 428
Exogene (äußere) Kräfte 62
Exploration 107, 121, 122, 128, 129

F

F Gewinnung der Rohstoffe 207
Facharbeiterausbildung 514
Fachbegriffe für den Bergbau 989
Fahrlader System GHH LF 17/21 485
Fahrwerkstechnologie 649
Faltentektonik 57
Farbtafel 92
Federzugmaschinen 164
Fehlerquellen 974
Feldbunker für Hartsalz in Neuhof-Ellers (NE) 423
Feldentwicklungsbohrung 122
Feldspat 75
Feldspatabbau 41
Fernzündung über Funk 745
Festenbau 514
Festgesteine 65
Festlegung des Anfangsdurchmessers 878
Filterpresse 842
Firstanker setzen 417
Firstenstoßbau 517, 537
Flotationsverfahren 424
Flözwellenseismik 130
Fluss- und Schwerspatförderung 514
Folgerungen bezüglich der Gasart 127
Förderbohrungen 134
Förderbrückenbetrieb 629
Fördergefäße 238
Förderrohrtour 806
Förderung 453, 880, 881
Förderung und Rückstandsmengen 436
Förderung, Bewetterung und Rohsalzaufbereitung 494
Förderwagen mit Seitenen 298, 349
Forschung in der Tiefe 859
Forstliche Rekultivierungen 603
Führung der Kübel 240
Füllmörtelanker 276
Füllort 263
Funkfernbares CSM-Gerät 318
Funktion einer erdgekoppelten Wärmepumpe 922

G

Gangartige Lagerstätten 212
Gaslösungsbohrungen 132
Gebirgsmechanische Bedingungen für den Steinsalzabbau 490
Gebirgsschonendes Sprengen 292
Gefährdung durch Steinflug 741
Gefrier- und Fallrohre 247
Gefrierbohrungen 133
Genehmigung einer marinen Kiessandgewinnung 785
Genehmigungsrechtliche Grundlagen 618
Genehmigungsverfahren 429, 519, 577, 593, 717, 733, 777, 920, 957, 969, 970
Generalüberholung von Großgeräten 695
Geologie 447
Geologie der Salzlagerstätte Epe 502, 897
Geologische Auswertung 126
Geologische Karten 109

7541014/10787806875Biblio

Geothermie 915, 916, 918, 919, 920, 922, 929, 945, 957, 975
Geothermische Bohrungen 136
Geothermische Potenziale in Deutschland 918
Geowissenschaftliche Untersuchungen 123
Geräte der Fa. Bauer AG 819
Geräte der Nordmeyer GmbH 929
Geräte der Spülungstechnik 833
Geräte für Geothermie-Tiefbohrungen 951
Gerätebeispiele 738
Geräteeinsatz 660, 663, 666
Geräteentwicklungen 552, 813
Gerätesystematik der Abraumförderbrücken 653
Gerätetechnik 216, 267, 437, 549, 642, 694, 808, 832, 835, 842
Gerätewartung und -ertüchtigung 609
Gesamtwirkungsgrad 558
Geschlossene Rohstoffkreisläufe 444
Gesetzliche Grundlagen 669
Gesetzliche Regelungen 601
Gestänge und Werkzeuge 844
Gestängelager + PipeHandler 957
Gesteine 55, 63, 65, 67, 69, 73, 74, 75, 77, 82, 84, 89, 94, 103, 209, 210, 735, 881
Gesteinsbildende Mineralien 75
Gesteinssprengstoffe 141
Gesteinszerstörung durch Rollenmeißel 870
Gewinnung 1, 3, 7, 8, 13, 14, 18, 21, 22, 25, 37, 40, 42, 43, 45, 46, 51, 52, 114, 131, 134, 136, 186, 189, 190, 191, 193, 207, 226, 313, 318, 321, 323, 327, 332, 334, 340, 358, 368, 403, 407, 409, 410, 411, 438, 444, 445, 449, 451, 460, 474, 481, 487, 490, 493, 501, 502, 508, 509, 511, 515, 516, 519, 523, 524, 526, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 551, 552, 554, 555, 558, 561, 563, 564, 565, 576, 578, 590, 595, 623, 637, 638, 642, 655, 660, 666, 672, 686, 727, 728, 729, 733, 734, 736, 740, 749, 752, 756, 757, 759, 760, 761, 763, 764, 767, 768, 769, 770, 773, 777, 778, 783, 785, 786, 787, 789, 795, 897, 898, 911, 916, 919, 920, 935, 940, 951, 961, 969, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 985, 986
Gewinnungs- und Fördertechnik 691
Gewinnungsarbeit in festem Gebirge 232
Gewinnungsarten 920
Gewinnungsbohrungen 134
Gewinnungsgeräte 563, 653, 761, 795
Gewinnungsmethoden 760
Gewinnungsseite 552, 561, 562, 568, 572, 701, 702
Gewinnungstechnik 403, 408, 510, 550, 734, 786, 802
Gewinnungsverfahren 332, 337, 456, 496, 514, 561, 562, 727, 738, 759, 762, 778, 791, 980
GHH Schiebekastenfahrzeug Typ SKA 458
Glanze 97
Gleisgebundene Streckenfördertechnik 346
Gleitkeilanker 276
Glimmer 75, 76
Gold 93, 509
Gräben 81
Granitabbau 755
Graphit 95
Grauwacke 71
Gravimetrische Verfahren 125
Großbohrlochsprengungen 198
Größe der Abbaukammern 408
Größe des Schachtquerschnitts bei Wetterschächten 230
Größe des Schachtquerschnitts von Förderschächten 229
Großgeräte 19, 263, 403, 445, 521, 552, 554, 574, 576, 592, 596, 600, 608, 609, 610, 622, 647, 695, 696, 703, 704
Großlochbohrungen 412
Großlochbohrwagen 403, 412, 413, 450, 451
Grubenbetrieb 636
Grubenfeld- und Betriebsgröße 228
Grubenlokomotiven 347
Grubenrettungswesen 389, 390

7541014/10787806875Biblio

Grubenunglück in Zwickau 12
Grundabtretung und Baubeschränkung 982
Grunderwerb 556, 557, 577
Grundformen der Einbrüche 175
Grundlagen der Geologie 55
Grundlagen der Mineralogie 89
Grundlagen der Sprengtechnik 139
Grundlagen der Tagebauführung 620
Grundlagen der Tagebautechnik 549
Grundsätzliches zum Abbau 560
Grundsätzliches zur Planung von Tagebauen 548
Grundwasser und Quellen 84
Grundwasserabsenkung 107, 559, 577, 585, 587, 672, 674, 682, 691, 703, 785
Grundwasserabsenkungsbohrungen 135
Grundzüge der Untertage-Gasspeicherung 888
Gurtförderer 325, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 643, 645, 646

H

Haftanker 275, 276, 277
Haftwasser 86
Halbsekundenzünder 155
Halde 443
Haldenbegrünung durch Baustoffrecycling 431
Haldenerweiterungen und Naturschutz 432
Halogenide 90
Haloidsalze 103
Handbohrer und Schlitzsonden 113
Handhabungssicherheit der Sprengkapseln 148
Härte 73, 76, 92, 96, 103, 105
Harte Formationen 871
Hartmetallstifte (Warzen) 869
Hartsalzbunker Neuhof-Ellers 422
Haufwerkslage 195
Haufwerksstückigkeit 194
Haupt-Antriebsstation des Strebförderers 326
Hauptbetriebsplan 619
Hauptlagerstätten in Deutschland 546
Hauptverfahrensgänge 558
Heavy-Weight-Drill-Pipe 848
Hebeeinrichtungen 824
Heißverlösung 424
Helmstedter Revier 548
Herrenknecht VERTICAL GmbH 820
Herstellen Ausrichtungsbaue 261
Herstellen der Schächte 227
Herstellen von Auf- und Abhauen 314
Herstellen von Schächten im Gefrierverfahren 245
Hilfsbohrung 123
Hilfsgerätetechnik 641
Hintereinanderschaltung 162
Hinweise zu API 849
Historische Bedeutung des Erzbergbaus 505
Historische Bohrgerüste 809
Historische Entwicklung 1, 4, 26, 43
Historischer Rückblick 724
Hochmoore 721
Hochschnittbaggerung 633
Hochstufenbaggerung mit Verladegerät 626
Hochtemperatur-Geothermiequellen 919
Hohlraumsprengen 173
Hölzerne Bohrtürme 809
Horizontalbohrtechnik 130, 879
Horizontalbrunnen und Horizontalbohrungen 584
Horste 81
Huff-Puff-Konzept 960
Humus 82
Hydraulik-Raupenbagger 522
Hydraulikzangen 830
Hydraulisches Lösen 787
Hydromechanisches Lösen 787
Hydrozyklone 836
Hygroskopisches Wasser 86

I

Immissionsschutz 553, 576, 709
Industrialisierung und Blütezeit 2
Instrumentierung von Bohranlagen 843

7541014/10787806875Biblio

J

Jahresplanung 620

K

Kali Lagerstätten in Deutschland 401
Kali und Salz Aktiengesellschaft (K+S) 405
Kali- und Steinsalzbergbau 190
Kaliwerk Sigmundshall 435
Kalkstein 74
Kalksteinbrüche im Bereich Wülfrath 748
Kältemaschinen 368
Kaltwassermaschine 372
Känozoikum 59
Kaolinabbau 754, 755
Kapillarwasser 86
Kavernenspeicher Bremen-Lesum 895
Kernbohrungen 114
Kesselsprengungen 741
Kettenkratzförderer 299
Kettenstegförderer (Panzerförderer) 324
Kies- und Sandgewinnung 46, 52
Kiese 96
Kieselerde 43
Klassifikation der Erdöl- und Erdgasbohrungen 122
Klassifizierung von Rollenbohrwerkzeugen 871
Knäppersprengung 741
Kohlebunker 252, 562, 569, 571, 573, 574, 701
Kohlenhobel 33, 186, 207, 259, 327, 331, 334, 340
Kohlereviere Zwickau/Lugau/Ölsnitz 12
Kollodiumwolle 142
Kombinierte Belüftung 294
Kombiniertes Sprengen 174
Kompakt-Kaltwassermaschine 373
Kondensatorzündmaschine 165
Konstruktion der Ladesäule 201
Konstruktionselemente 643
Kontinuierliche Tagebautechnik 558
Korund 101
Kostenvergleiche 312
Kraftwerk BOA 2&3 615
Kraftwerk Boxberg 682
Kraftwerk Frimmersdorf 614
Kraftwerk Jänschwalde 683
Kraftwerk Lippendorf 685
Kraftwerk Neurath 612
Kraftwerk Niederaußem 611
Kraftwerk Schwarze Pumpe 684
Kraftwerk Weisweiler 613
Kraftwerke der RWEPower 611
Kreislauf – Kältemittel, Kühlwasser u. Kälteträger 248
Kultursubstrat 730
Künstliche Wetterbewegung mit Hilfe von Lüftern 379
Kupfer und Zinn 511
Kurzfristig — Wiedervernässung 726

L

Ladearbeit 236
Laden und Transportieren 295, 416, 746
Laden, Besetzen, Sprengen 289
Laderaum 196
Ladungsanordnung und Zündfolge 290
Lage der Brunnen 945
Lage der Querschläge auf der Förder- und Wettersohle 307
Lagern und bewirtschaften von Sprengmitteln 168
Lagerstätten 209, 212, 506, 547
Lagerstättenbedingungen 690
Lagerungsformen der Erstarrungsgesteine 77
Lagerungsformen der Schichtgesteine (Sedimente) 77
Landgestützte Geräte 788
Langfristig — Regeneration 727
Lassensprengungen 741
Lastgrad 558
Lausitzer Braunkohlenrevier 617, 618
Lehm 82
Leichtmetalle 511
Leistung und Personal 443
Leistungstabelle der Bentec-Mudpumpe Typ T-1600-AC 816
Leit- und Ankerrohr 805
Leitungsprüfer und Ohmmeter 167

7541014/10787806875Biblio

Linsen 213
Löseverfahren 787
Löß 82
Luftbedarf für die Atmung 360
Lüften 292
Lufthebebohrverfahren 581
Luttenlüfter 388

M

Magmatischer Entstehungsprozess 89
Magnesium 511
Magneteisenstein (Magnetit) 98
Magnetische Eigenschaften 93
Mangan 510
Manganerze 100
Marine Lagerstätten 212
Marmor 768
Marmorgewinnung 736
Marmor-Vorkommen 769
MARSH-Trichter 841
Maschinen mit Handantrieb 165
Massenverteilung und Fahrweise am Strossenende 632
Massige Lagerstätten 212
Maßnahmen zur Führung der Wetterströme 384
Maßnahmen zur Beschleunigung der Sprengarbeit 186
Materialwagen 349
Materieller Inhalt des Bundesberggesetzes 978
Mechanische Schichtgesteine 69
Mechanisches Lösen 787
Mehrreihensprengung 203
Mehrsohlenbau 257
Mehrzweckgerät Deilmann-Haniel 295
Mergel 82
Messen 864
Metalle 93
Metalloide 94
Metamorpher Entstehungsprozess 89
MIBRAG-Reviere 685
Millisekundenzünder 155
Minerale 63, 68, 72, 76, 93, 99, 209, 210, 213, 215, 733, 893
Minette 99
Mischladetechnologie 741
Mischsalzbunker im Werk Werra Grube Hattorf (HA) 423
Mitnehmerstange 845
Mittel und Geräte zur Erkennung von Grubengas 363
Mitteldeutsches Braunkohlenrevier 685
Mittelfristig — Renaturierung 727
Mittelharte Formationen 871
Mittelloch 134
Mitteltemperatur-Geothermiequellen 919
Mobile Brechanlagen 298
Mobile Tiefbohranlagen Fa. SATVIA, Gommern 822
Moderner Leitstand 336
Modernes Verfahren 761
Monte Kaolino bei Hirschau 783
MS-System 551

N

Nachgeführte Abbaustrecken 311
Nachreißen 311
Nähere Beschreibung der Gewinnungszyklen 412
Näheres zu den Forschungsarbeiten in Australien 913
Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Katzenberg 763
Näheres zum Moselschiefer-Bergwerk Margareta 765
Näheres zum Salzbergwerk Epe 896
Nassabbau 777, 797, 798
Nassgewinnung Kies und Sand 785, 795
Nassspritzverfahren 300
Natursolevorkommen Bad Reichenhall 500
Nebenschlüsse und Streuströme 157
Nester 213
Neu entwickelte Gewinnungsverfahren 482
Neue Downhole-Systeme aus Celle 857
Neue Entwicklungen bei Tiefbohrgeräten 819
Neue Förderband-Rückraupe 694
Neue Zündsysteme 743

7541014/10787806875Biblio

Neuere Entwicklungen von Sprengstoffen im Tunnelbau 290
Neues Onshore-Tiefbohrgerät 885
Neueste Entwicklungen 334, 940
Neuzeitliche Herstellung eines Aufhauens 316
nichtbindige (rollige) Böden 82
Nichteisen-(NE-)Metalle 511
Nichtmetalle 94
Nichtscharfe Zünder 153, 154
Nickel und Kobalt 510
Niedermoore 721
Nitrate 90
Noch tätige Bergbaubetriebe 219
Nutzung der Lagerstätten des Lauenburger 40

O

Oberharzer Bergbau 3
Öffnen und Schließen von Wettertüren 386
Offshore – Förderung in der Nordsee 883
Ohne manuelle Steuerungseingriffe 334
Ökologie 602, 603, 723, 777
Öl- und Gasreserven 801
Opal 97
Optimierter Kraftwerksprozess 615
Organisation des Auf- und Abbaus 812
Organische Böden 82
Organische Schichtgesteine 74
Organische Verbindungen 90
Örterbau und Kammerbau 515
Österreichischen Verfahren 264
Oxide und Hydroxide 90
Oxyfuel-Verfahren 911

P

Paralleleinbrüche 291
Parallelschaltung 162
Patrone 169
Personal- und Geräteeinsatz 409
Personal und Leistungen 688
Personaltransport mit mobilen Gelenk-Fahrzeugen 351
Personenbeförderungen 350
Personenfahrt auf einem Zwei-Etagen-Förderband 346
Personenfahrung auf Gurtförderern 345
Petrothermale Systeme 949
Pflanzen, die Bodenarten anzeigen 111
Phosphate 90
Pilotbohrung 133
Pipe-Handling Systeme 827, 954
Planung von Braunkohlentagebauen 554
Planungsschritte 548, 551
Platin 509
Plattenförmige Lagerstätten 211
Plauescher Grund 10
Porphyr 68
Postcombustion 910, 911
Prinzip des Rotarybohrens 580
Produktions- oder Förderbohrungen 132
Produktionsbohrung 123
Produktionsleistung 478
Produktionsrohrtour 806
Projektbeschreibung 958
Prozess-, Steuer- und Leitsystem 667
Prüfgeräte für elektrische Zündanlagen 167
Pulverförmige Ammonsalpetersprengstoffe mit und ohne Nitroglyzerin 143
Pulversprengstoffe 141
Pumpen 586
Putzen 213

Q

Quarz 42, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 83, 89, 90, 91, 92, 93, 97, 780
Quarzit 44
Quarzsandgewinnung 780
Quarzsand-Trockenabbau im Raum Frechen 781
Quarzvorkommen 782, 783
Quecksilber 94, 512
Querschläge 259
Querschnittsbemessung und -aufteilung 314

7541014/10787806875Biblio

R

Radlader 422, 441, 523
Rahmenbetriebsplan 481, 488, 556, 619, 778, 797, 981, 982
Ramminjektionsanker 277
Rammsondierungen 119
Rangier- und Steigkatzen 353
Raseneisenerze 99
Raupenfahrwerke 116, 299, 643, 645, 649, 656
Raupen-Hydraulikbagger 789
Raupenschubvorrichtung 299
Raupenschubwagen und Brechanlage 298
Reibungsanker 277
Reihenanzahl 200
Reißzünder 151
Rekultivierung 52, 207, 548, 549, 554, 561, 572, 590, 594, 598, 600, 602, 603, 604, 605, 612, 621, 622, 623, 628, 629, 641, 660, 661, 669, 670, 671, 687, 691, 711, 712, 713, 726, 733, 753, 771, 773, 798, 799, 803, 986
Renaturierung 52, 207, 548, 549, 554, 595, 598, 600, 601, 605, 669, 670, 672, 691, 713, 714, 726, 727, 733, 771, 773, 798, 799, 986
Resümee 986
Rettungsbohrung 134
Rheinisches Braunkohlenrevier 13, 559, 662, 682
Richtstrecken 259
Risikobewertung von Geothermiebohrungen 970
Rohkohlengewinnung und Förderung 660, 662
Rohrnetzbau 586
Rolle der Politik 912
Rollenmeißel-Komponenten 867
Rollenmeißel-Lager 867
Rolllochbohrungen 133
Room-and-pillar-Verfahren 516
Rotarybohrverfahren 578
Rotationseinrichtungen 830
Rotationsviskosimeters 840
Roteisenerz 98
Rotkupfererz 100
Rubin 102
Rückkühler 371
Rückraupe 694
Rückstandsbeseitigung 426
Ruhrgebiet 28
Rundholzsprengungen 205
Rutengänger 111
RWE Power AG 559, 613

S

Saarbergbau 33
Saisonale Wärmespeicher 945
Salz- und Kalireviere 21
Salzbergbau schon 500 Jahre v. Chr. 23
Salzbergbau unter einem Naturschutzgebiet 486
Salzbergwerk Berchtesgaden 496
Salzbergwerk Epe 501
Salze der sauerstoffhaltigen Säuren 104
Salzgewinnung aus salzhaltigen Wässern 22
Salzgewinnung durch Solung 496
Salzgewinnungen in Berchtesgaden 25
Salzstandorten 405
Salzstraßen – die ältesten Handelswege 24
Sande 76, 210, 217, 218, 658, 662, 664, 780, 782, 783, 797
Sandfallen 836
Sandschiefer 73
Sandstein 46, 71, 73, 751
Saphir 102
Sauberladen 417
Saugende Belüftung 294
Saugende und blasende Bewetterung 375
Schachtanlagen 408
Schachtansatzpunkt 228
Schachtbohrungen 135
Schachtvorbohrlöcher 134
Schälende Gewinnung mit dem Kohlenhobel 327
Schaltungsweisen 158
Scharfe Momentzünder 155

7541014/10787806875Biblio

Scharfe Zünder (mit Sprengkapsel) 153
Schaufelradbagger 435, 520, 545, 549, 551, 558, 559, 561, 562, 563, 564, 574, 575, 576, 577, 587, 589, 593, 608, 609, 610, 611, 623, 625, 636, 637, 638, 639, 642, 647, 650, 651, 652, 658, 660, 662, 663, 664, 665, 666, 693, 697, 698, 699, 701, 704, 705, 708, 710, 779, 781,782, 783, 986
Scheelit-Vorkommen 536
Schichtenbiegungen (Falten) 78
Schichtenzerreißungen (Verwerfungen) 79
Schieferbergbau 46
Schieferbergbau im Sauerland 766
Schieferbergwerke 759
Schieferton 69, 70, 71, 72, 73
Schiefertonvorkommen 46
Schienenfahrwerke 639, 645, 649
Schienenflurbahnen 354
Schildausbau System BUCYRUS 340
Schildvortriebsysteme 337
Schlagbohren 278
Schlagpatrone 169
Schlagschere 854
Schlagwalzenbrecher 300
Schlagwetterexplosionen 30, 362, 366
Schleuderlüfter 381
Schlitzkeilanker 276
Schluck- und Sickerbrunnen 583
Schluckbohrungen 135
Schneidende Gewinnung mit dem Walzenschrämlader 332
Schnüren 741
Schrägeinbrüche 291
Schrapperanlagen 790
Schraubbohrgestänge 846
Schraubenlüfter 379
Schubraupe bei den Versatzarbeiten 420
Schürfgruben 112
Schürfkübelbagger 789
Schüttelsieb 836
Schwach zersetzter Hochmoortorf 727
Schwefel 96
Schwefelerze 512
Schwere Rammsonden 119
Schwerer Unfall beim Abteufen eines neuen Schachtes 31
Schwerspat und Flussspat 45
Schwerstangen 847
Schwimmbagger 791
Schwimmgreiferbagger 794
Sedimentärer Entstehungsprozess 89
Seifen 213
Seilkernbohrtechnik 114
Seilwindwerke 644
Seismik 130
Seismische Untersuchungen 123
Sekundär- und Tertiärverfahren 883
Selbstbohrende Anker 277
Selbstretter 390
Seltene Erden 537
Senden 864
Setzen der Ankerrohrtour 876
Sichelschnitt 625
Sicherheitseinrichtungen 891, 892
Sicherheitsrelevante Hinweise 147
Sicherung bei Spritzbetonweise 273
Silber 94, 509
Silikate 90
Smirgel 102
Sohlenabstand 258
Sommerwärme im Winter – Winterkälte im Sommer 936
Sonderbetriebsplan 620
Sonderbewetterung 386
Sonderentwässerungsverfahren 583
Sondersprengungen 205
Sondervermessungen 129
Sondierungen 119
Sonstige Nebenanlagen 807
Sonstige Zuschlagstoffe 839
Sonstiger Schachtausbau 252
Spangeometrie 625
Speicher aus der Solegewinnung 893
Speicherbohrungen 135
Speicherungsforschung in Deutschland 906
Spezial-Bohrwagen 277, 402
Spindelwindwerke 644
Spreizanker 275, 277
Spreizhülsenanker 276
Sprengarbeit beim Auffahren von Strecken 174, 185

7541014/10787806875Biblio

Sprengarbeit im Kali- und Steinsalzabbau 189
Sprengarbeiten 235
Sprengen ohne Einbruch nach dem Parallelbohrloch-Verfahren 180
Sprengerfolg 196
Sprengkapseln 147
Sprengleitungen 160
Sprenglochbohrungen 133, 136
Sprenglochbohrwagen 451
Sprengmittellagerung 187
Sprengöl 142
Sprengstoffe 141
Sprengstoffladewagen 452
Sprengstofftransport 187
Sprengtabelle 182
Sprengtechniken 740, 741
Sprengtechnische Begriffe 140, 200
Sprengverfahren 190, 192, 193
Spritzbeton 300
Spritzbetonzusätze 302
Spritzmanipulator 303
Spülbohrungen 114
Spülpumpen 842
Spülungsbestandteile 838
Spülungskreislauf und die Geräte 833
Spülungsuntersuchungen 840
Spülungswaage 840
Stabilisatoren 850
Stabilisierungsbohrungen 136
Stahl- und Eisenveredler 510
Stahlbohrgerüste 809
Stahlfaserspritzbeton 302
Stahlsprengungen 206
Stand der Verfahrenstechnik 282
Standortfindung 607
Steinkohle 10, 32, 74, 210, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 773
Steinkohlenvorräte 219
Steinsalz 90, 91, 93, 103, 104, 399
Steinsalzbergwerk Bernburg 489
Steinsalzbergwerk Borth 480
Steinsalzbergwerk Heilbronn 446
Steinsalzbergwerk Stetten 470
Steinsalzlager im Heilbronner Raum 25
Stereo Photogrammetrie 129
Steuern 864
Stockwerke 212
Störungs- oder Bruchtektonik 57
Stoßdämpfer 852
Streb 322
Strebausbau mit Panzerförderer und Walzenschrämlader 340
Strebkühler 370
Streckenauffahrung 459
Streckenvortriebsmaschine ASVA 309
Stromquellen 162
Strossenabbau 735
Strossenbohrungen 133
Südwestdeutsche Salzwerke 496
Sulfate 90
Sulfide 90, 96
Syenit 66, 68, 69
Sylvinitbunker in Zielitz (ZI) 422
Systemankerung 274
Systembeschreibungen 922
Systemmaße der Panzerförderer Typ BUCYRUS 326

T

Tabelle der üblichen Sprengstoffe 146
Tabelle der wichtigsten Erze nach ihrem Metallinhalt 509
Tagebau 209
Tagebau Garzweiler 588
Tagebau Hambach 590
Tagebau Inden 596
Tagebau Nochten 661, 662
Tagebau Profen 704
Tagebau Vereinigtes Schleenhain 707
Tagebau Wetzlow-Süd 657
Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord 663
Tagebausysteme 551
Tagebautechnologie 618
Tagesplanung 622
Technik über Tage 424
Technische Daten und Leistungsparameter 438
Technische Rohrtouren 805
Technologische Grundlagen 629
Teilschnittmaschine 254, 268, 269, 270, 271, 309, 310, 313, 420, 459, 497
Teilsohlenbruchbau 517

7541014/10787806875Biblio

Tektonik 57
Temperaturmessloch 134
Tiefbohranlage 820, 821, 951
Tiefe Erdwärmesonde 947
Tiefen- und Ganggesteine 66
Tiefendränagen 585
Tiefengeothermie 926, 946
Tiefenzirkulationskonzept 959
Tiefschnittbaggerung 634
Tiefstufenbaggerung mit Verladegerät 627
Tiere > Korallen, Erdöl, Ölschiefer 74
Tonabbau im Westerwald 752
Tonbergbau 37, 39
Tonschiefer 72
Top Drive 832, 854, 954
Torf 50
Torfstechen 721
Tragverhalten von Ankern 274
Transport von Großgeräten 641
Transportgeräte 566, 764
Transportsysteme im Steinkohlenbergbau 341
Transportsysteme von der Gewinnung zu Tage 358
Trockengewinnung 778

U

Übergänge und Passstücke 849
Überlagerungen 80
Überschiebungen 80
Überschiebungstektonik 57
Übersicht über die Kavernenspeicher in Epe 901
Übertagelagerung 187
Überwindung ungünstiger geol. Verhältnisse 801
Umfang der Bodenuntersuchungen 108
Umkehrbare Belüftung 294
Umsiedlung 557, 559, 605, 606, 607, 716, 717, 718
Umwandlungsgesteine 75
Umweltschutz und Renaturierung 428
Umzug der Emmaus-Kirche von Heuersdorf nach Borna 718
Untersberger Marmor 770
Untertage-Abfalldeponie 466
Untertage-Archiv 468
Untertagebau 209, 514
Untertagedeponierung 455
Untertage-Kavernen-Speicheranlage Epe 896
Untertagelagerung 188
Untertagespeicherung von Erdöl und Erdgas 887
Uran 512
Uranabbau im Westerzgebirge 7
Uranpecherz 103
Ursachen der Schlagwetter- und Kohlenstaubzündung 144

V

Vakuumentwässerung 584
Vanadium 510
Verbindung der Leitungen 160
Verbindung mit der Sprengkapsel 150
vereinigten Keil- und Dreieckseinbruch 179
Verfestigte Trümmergesteine 70
Vergleich zwischen Kupfer- und Aluminiumkapseln 148
Verhältnisse über Tage 228
Vorhandene Bunker in der K+S Gruppe 421
Verhiebsrichtung 200, 558, 786
Verhütung bzw. Bekämpfung von Schlagwetterexplosionen 366
Verkippung 628
Verkippungsseite 561, 571, 572
Verlorene Rohrtour 806
Verpressung der Sondenbohrung 926
verrohrten Bohrungen 133
Versatz 531
Versatzbau 514
Verschiebung 80
Verschiedene Trümmergesteine 71
Verschleißbeurteilung von Rollenbohrwerkzeugen 872
Verschraubeinrichtung 829
Versenkung der Rückstände 426
Verspannung 146, 198, 199
Verteilung der Wetter in den Grubenbauen 382
Vertikalbohrsystem 861
Vertikalbohrtechnik 130

7541014/10787806875Biblio

Verwahrung 419, 433
Verwendung des Sümpfungswassers 587
Verwendung heute 729
Verwendung von Spritzbeton im Streckenvortrieb 273
Viskosität 840
Visualisierung 668
VOLVO-knickgelenkter Dumper 297
Vom Sprengen zur schneidenden Gewinnung 456
Vorbereitung und Durchführung von Großbohrlochsprengen 198
Vorgabe und Lademenge 171
Vorgesetzte Abbaustrecke 312
Vorkommen der Erze 509
Vorkommen in der Lagerstätte Spremberg 513
Vorkommen und Förderung 546
Vorkommen und Gewinnung 505
Vorkommen von Grubengas 362
Vorläufiger Ausbau 241
Vorräte 724
Vorschnitt 621, 622, 623, 632, 637, 647, 650, 655, 658, 660, 662, 664, 673, 700
Vorschubkräfte 299
Vortriebsverfahren in Gesteinstrecken 267

W

Waldflächen und Agrarland 669
Walzenschrämlader System BUCYRUS 336
Wanddrehkran 237
Wandhöhe 199
Warum sind Umsiedlungen erforderlich? 605
Was ist Geothermie? 915
Was passiert nach dem Ende der Sümpfung? 588
Wasser oberhalb des Grundwasserspiegels 86
Wasser- und Laugenlösungsbohrungen 132
Wasser und Ökologie 595
Wasserabgabezeit 842
Wasseranzeigende Pflanzen 110
Wasserbohrungen 134
Wasserdichter Tübbing-Schachtausbau 249
Wasserhaltung 389
Wege des Salzes 23
Weiche bis mittelharte Formationen 871
Weiche Formationen 871
Weitere Forschungen und Entwicklungen 910
Weitere NE-Metalle 511
Weiterer Verlauf der Bohrung 878
Weiterführende Verfahren 114
Weiterverarbeitung 424
Weiterverarbeitung und Verladung 780
Wenn sich die Tagesoberfläche senkt 394
Werra-Fulda Kalirevier 405
Wesentliche Gerätekomponenten 824
Wetterbedarf 361
Wetterbewegung und Wetterführung 375
Wetterbohrlöcher 133
Wetterkühlung 367, 369, 373
Wetterlampe 364
Wettersprengstoffe 141, 143, 145
Wetterstrom 375
Wettertechnik und Wasserhaltung 534
Wettertüren 384
Wichte 93
Wichtige Vorgaben für die Sprengarbeit 146
Wichtige Vulkangesteine 68
Wie Gefährlich ist CO2? 904
Wiederaufnahme des Bergbaus im Erzgebirge 512
Wiedererschließungsbohrung 122
Wiedernutzbarmachung 713
Windwerke 644
Wired Drill Pipe 864
Wirtschaftliche Bedeutung 729
Wismut 95
Wochenplanung 621
Wolfram 510

Z

Zähne 869
Zeitgrad 558

7541014/10787806875Biblio

Zentrifugen 580, 835, 837, 838
Zielbohrung 133
Zinnstein 100
Zugang und Abbau 534
Zugänge zum Untertagebetrieb 471
Zugförderung 533, 655
Zünderdrähte 156
Zündfolge 184
Zündmittel 147, 290
Zündsatz 154
Zündschnur und Sprengschnur 149
Zusammensetzung des Bohrstranges 844
Zusatzlüfter 381
Zwangsgeführte Streckenfördertechnik 351
Zweck der Grubenbewetterung 360
Zweiarmiger Bohrwagen Deilmann-Haniel 288
Zweireihensprengung 203

7541014/10787806875Biblio

Vorteils-Code inklusive:

Dieser Titel steht auch als praktisches E-Book für Sie bereit. Sie sparen 70 % gegenüber dem Normalpreis.

Download-Code und weitere Informationen finden Sie vorne im Buch auf der gelben Seite!

Ingenieurhandbuch Bergbautechnik

In diesem kompakten Werk der gesamten bergtechnischen Tätigkeiten wird die Erschließung (Prospektion) und Gewinnung (Förderung) von Rohstoffen aus den Lagerstätten des Bergbaus und der Bergbau nahen Betriebe sowie die Aufbereitung bestimmter Rohstoffe dargestellt.

Aus dem Inhalt:
- Historische Entwicklung der Bergbauregionen
- Grundlagen der Geologie und Mineralogie
- Exploration
- Grundlagen der Sprengtechnik
- Gewinnung der Rohstoffe
- Bergbau und Steinkohle
- Bergbau auf Salz, Erz, Braunkohle, Torf, Erdöl und Erdgas
- Untertagespeicherung von Erdöl, Erdgas und CO_2
- Geothermie
- Bergrecht

Interessenten:
Ingenieurbüros und Unternehmen des Bergbaus, der Bergbaubehörden, der Bergbauzulieferindustrie, Grund- und Tiefbauunternehmen, Gerätehersteller der Bergbautechnik, Studierende der Fachbereiche Bergbau und Grundbau, Tunnelbau, Industrietechnik und Geotechnik.

Autor:
Dipl.-Berg-Ing. Heinrich Otto Buja ist Fachingenieur für Grund- und Felsbau sowie Fachbuchautor von Standardwerken des Spezialtiefbaus.

ISBN 978-3-410-22618-5
9 783410 226185

www.beuth.de

7541014/10787806875Biblio