



Erfassung und radiologische Bewertung von Hinterlassenschaften mit NORM – Materialien aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten einschließlich der modellhaften Untersuchung branchentypischer Rückstände

(Teil 3a)

BMU - 2007 - 695



BMU – 2007-695

**„Erfassung und radiologische Bewertung von
Hinterlassenschaften mit NORM – Materialien aus
früheren Tätigkeiten und Arbeiten einschließlich der
modellhaften Untersuchung branchentypischer
Rückstände“**

TÜV-Süddeutschland
Bau und Betrieb GmbH
80684 München

IMPRESSUM

Dieser Band enthält einen Abschlussbericht über ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördertes Vorhaben. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BMU übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Eigentümer behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichts vor.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BMU übereinstimmen.

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat RS I 2
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Erscheinungsjahr: 2007

Forschungsvorhaben StSch 4386

ERFASSUNG UND RADIOLOGISCHE BEWERTUNG VON HINTERLASSENSCHAFTEN MIT NORM-MATERIALIEN AUS FRÜHEREN TÄTIGKEITEN UND ARBEITEN EINSCHLIEßLICH DER MODELLHAFTEN UNTERSUCHUNG BRANCHENTYPISCHER RÜCKSTÄNDE

Teil 3a

Bergbauliche Hinterlassenschaften der Steinkohle-Gewinnung

Juli 2004

**Erstellt von der TÜV Industrie Service GmbH, TÜV SÜD Gruppe
Abteilung Umweltradioaktivität und radiologische Altlasten, München**

**Andreas Reichelt
Beate Sitte**

 089-5791-1288

 Andreas.Reichelt@tuev-sued.de
 Westendstr. 199 / 80686 München

Forschungsvorhaben StSch 4386

Fachbegleitung: Bundesamt für Strahlenschutz

Dieser Bericht ist vom TÜV Süd im Auftrag des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Vorhabens StSch4386 erstellt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Dieser Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des auftraggebenden Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit übereinstimmen.

Teil 3a

Bergbauliche Hinterlassenschaften der Steinkohle-Gewinnung

INHALT

1	EINFÜHRUNG	14
2	ALLGEMEINES	15
2.1	Aufbau und Zusammensetzung von Steinkohle	15
2.2	Einteilung	16
2.3	Eigenschaften	16
2.4	Verarbeitung und Verwendung	17
2.5	Steinkohleeinheit	18
3	LAGERSTÄTTEN	19
4	BERGTECHNIK	21
4.1	Lagerstättenerschließung	21
4.2	Abbautechnik	22
4.3	Fördertechnik	23
4.4	Grubensicherheit	24
5	AUFBEREITUNGSTECHNIK	25
6	RÜCKSTÄNDE BEI ABBAU, FÖRDERUNG UND AUFBEREITUNG	29
7	NORM-MATERIAL	44
7.1	Entstehung und Klassifizierung der NORM-Rückstände	44
7.2	Bergehalden und Absetzteiche	49
7.3	Vorfluter, Gewässer und Sedimente	57
7.3.1	Übersicht	57
7.3.2	Entstehung hoher Radiumkonzentrationen in Verbindung mit Grubenwässern	60

7.3.2.1	Prozess der Ionenlösung im Wasser	60
7.3.2.2	Ausfällungsprozess	61
7.3.2.3	Radiologische Konsequenzen	62
7.4	Aktivitäten	63
7.4.1	Stein- und Pechkohle	63
7.4.2	Bergehalden Steinkohle-Bergbau	65
7.4.3	Bergehalden Pechkohle-Bergbau	65
7.4.4	Grubenwasser, Gewässer, Sedimente	67
7.4.5	Absetzteiche	69
7.4.6	Oberirdische Gebäude	70
7.4.7	Schlussfolgerungen	70
8	STEINKOHLENFÖRDERUNG	72
8.1	Historischer Überblick	72
8.2	Die Förderung von Rohkohle auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland	74
8.2.1	Vorgehen bei der Datenerhebung	74
8.2.2	Die Förderung von Rohkohle im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003	78
8.2.3	Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1792 bis 1850	79
8.2.4	Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1850 bis 1914	81
8.2.5	Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1915 bis 1944	82
8.2.6	Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1945 bis 2003	84
9	ANFALL VON BERGE UND GRUBENWASSER BEI FÖRDERUNG UND AUFBEREITUNG	86
9.1	Anfall von Berge auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland	86
9.1.1	Vorgehen bei der Mengenermittlung	86
9.1.2	Anfall von Berge im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003	86
9.1.3	Anfall von Berge in den Jahren 1792 bis 1850	87
9.1.4	Anfall von Berge in den Jahren 1850 bis 1914	87
9.1.5	Anfall von Berge in den Jahren 1915 bis 1944	88
9.1.6	Anfall von Berge in den Jahren 1945 bis 2003	88
9.1.7	Integraler Anfall von Berge nach Gebieten und Zeiträumen	89
9.2	Anfall von Grubenwasser auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland	90
9.2.1	Vorgehen bei der Mengenermittlung	90
9.2.2	Anfall von Grubenwasser im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003	90
10	IDENTIFIZIERUNG DER NORM-HINTERLASSSENSCHAFTEN	91
10.1	Methodik	91
10.2	Standorte von Förderbetrieben	92
10.2.1	Ruhrgebiet	92
10.2.2	Saarland	94
10.2.3	Aachener Revier	94
10.2.4	Bayern	96
10.2.5	Baden-Württemberg	97
10.3	Halden-Standorte	98
10.3.1	Ruhrgebiet	98

10.3.2	Saarland	99
10.3.3	Aachener Revier	100
10.3.4	Bayern	101
10.3.5	Baden-Württemberg	102

11 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE 103

12 LITERATUR 104

ANHANG (auf beiliegender CD)

Dateiname	Kurzbeschreibung	Verknüpfung im Text
Die Steinkohlenzechen im Ruhrrevier.doc	Steinkohlenzechen im Ruhrrevier von den Anfängen bis 1997, Lage der Bergwerke nach heutigen Orten	Kapitel 10.2.1 Ruhrgebiet
Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Standorte.xls	Standorte von Förderbetrieben 1913-1914; Bergwerke, Hütten- und Walzwerke Deutschlands mit Angaben zu den Betriebsarten, zur Anzahl der Förderschächte und zur Fördermenge	Kapitel 10.2.1 Ruhrgebiet
Bergbauliches Altlasten-Kataster NRW NICHT ÖFFENTLICH.xls	Verdachtsflächen und Bergehalden aus dem Steinkohlebergbau (Datei NICHT ÖFFENTLICH!)	Kapitel 10.2.1 Ruhrgebiet
Übersichtskarte Halden im Saarland.TIF	topographische Übersichtskarte über den Steinkohlebergbau im heutigen Saarland	Kapitel 10.2.2 Saarland
01 Saarland Haldenatlas Titelseite.tif bis 10 Saarland Haldenatlas Legende.tif	Rückstandshalden aus dem Steinkohlenbergbau im Saarland, Haldenatlas	Kapitel 10.3.2 Saarland
Saarland 01 Kraftwerk St. Barbara.tif bis Saarland 83 Schacht Lauterbach.tif	topographische Karten von Rückstandshalden aus dem Steinkohlenbergbau im Saarland, 1:5000	Kapitel 10.3.2 Saarland
BW 01 Bergaupten Lfd. Nr. 57 Beschreibung.tif bis BW 04 Diersburg Lfd. Nr. 60 Topographische Karte.tif	topographische Karten über die Haldenstandorte in Baden-Württemberg	Kapitel 10.3.5 Baden-Württemberg
Aachener Revier Karte 01 Laurweg.tif bis Aachener Revier Karte 14 Carolus Magnus.tif	topographische Karten über die Bergbau- und Haldenflächen im Aachener Revier	Kapitel 10.3.3 Aachener Revier
Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte.xls	Rückstandshalden aus dem Steinkohlenbergbau im Aachener Revier, in Baden-Württemberg, in Bayern und im Saarland	Kapitel 10.3.3 Aachener Revier, Kapitel 10.3.4 Bayern, Kapitel 10.3.5 Baden-Württemberg, Kapitel 10.3.2 Saarland
Historische Fördermengen	Historische Fördermengen in Deutschland, 18. und 19. Jahrhundert	Kapitel 8 Steinkohlenförderung

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Elementarzusammensetzung verschiedener Steinkohlen /Winnacker und Küchler, 1982/	15
Tabelle 2:	Steinkohlearten sowie Abgrenzung nach flüchtigen Bestandteilen (Angaben in %, waf)	16
Tabelle 3:	Verwendung von Steinkohle in Deutschland (alte Länder); Angaben in 10^6 t/a, Koks in Kohle umgerechnet /Winnacker und Küchler, 1982/	18
Tabelle 4:	Steinkohlereserven und Förderung weltweit, 1978 /Winnacker und Küchler, 1982/	20
Tabelle 5:	Art der anfallenden Rückstände bei Sonderverfahren der Steinkohle-Aufbereitung	28
Tabelle 6:	Wesentliche Rückstände, die bei den Prozessen im Bergwerksbetrieb anfallen	29
Tabelle 7:	Anteil der Flotation an der Steinkohlenaufbereitung /Winnacker und Küchler, 1982/	31
Tabelle 8:	Anteil der Flotation an der Steinkohlenaufbereitung /Ullmann, 1979/	32
Tabelle 9:	Rückstands- und Einsatzmengen zur Erzeugung von 1 t _{SKE} Handelskohle - Bundesrepublik Deutschland 1994: bezogen auf Förderung von 51,2 Mio. t _{SKE} = 96,6 % der Steinkohlenproduktion in Deutschland = 1,9 % der Steinkohle-Weltproduktion - Bundesrepublik Deutschland 1994: bezogen auf 72,4 Mio. t _{SKE} (Eigenproduktion + Import) - Welt = 11 Länder: bezogen auf 2503,9 Mio. t _{SKE} = 91 % der Steinkohle-Weltproduktion (nach /Hinrichs et al., 1999/)	34
Tabelle 10:	Bergeanteil und -Feinstkorngehalt geförderter Rohkohle (/Ullmann, 1979/)	34
Tabelle 11:	Bergeanteil geförderter Rohkohle für Deutschland; berechnet aus Angaben nach /BMWT, 1999/, /BMWT, 2003/, /Kohlenwirtschaft,	

2004/ (benutzter Umrechnungsfaktor für verwertbare Förderung: 1,08 t/t _{SKE})	35
Tabelle 12: Anteile der Berge nach ihrer Herkunft /Wiggering und Kerth, 1991/	38
Tabelle 13: Anteile der einzelnen Berge-Verwendungsarten; Ruhrgebiet 1989 /Wiggering und Kerth, 1991/	39
Tabelle 14: Fremdabsatz von Berge im Ruhrgebiet in den Jahren 1987 – 1989 /Wiggering und Kerth, 1991/	40
Tabelle 15: Massenanteile von Waschbergen in Deutschland /Wiggering und Kerth, 1991/	41
Tabelle 16: Petrographische Zusammensetzung des Bergematerials /Wiggering und Kerth, 1991/	41
Tabelle 17: Durchschnittliche Mineralogische /Düngelhoff et al, 1983/ und chemische /Wiggering und Kerth, 1991/ Zusammensetzung der Berge im Ruhrrevier	42
Tabelle 18: Auswirkungen der Bergehalde auf die verschiedenen Natur- und Lebensbereiche /Wiggering und Kerth, 1991/	53
Tabelle 19: Verwitterungsphasen der Steinkohle-Bergehalde /Wiggering und Kerth, 1991/	54
Tabelle 20: Konzentrationen verschiedener Ionen in Grubenwässern (Auswahl) /Wiegand und Sebastian, 2002/	60
Tabelle 21: Aktivitäten verschiedener deutscher Steinkohlen sowie von Pechkohle	64
Tabelle 22: Weitere Aktivitäten verschiedener deutscher Steinkohlen	64
Tabelle 23: Aktivitäten von Bergematerial und Bergehalde	65
Tabelle 24: Aktivität entnommener Bodenproben einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus sowie des Haldenumfeldes, jeweils Mischproben von mehreren Probeentnahmestellen, Proben unge trocknet; jeweils Mittelwert aus mehreren Radionukliden einer Zerfallsreihe	66

Tabelle 25:	Gemessene Gamma-Dosisleistung auf einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus (gleiche Halde wie in Tabelle 24); Messhöhe: 1 m über der Oberfläche	66
Tabelle 26:	Gemessene Gamma-Dosisleistung auf einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus (unmittelbar benachbarte Halde gemäß Tabelle 24); Messhöhe: 1 m über der Oberfläche	66
Tabelle 27:	Untersuchungsergebnisse von einem am Rand einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus gelegenen Grundstückes (gleiche Halde wie in Tabelle 24)	67
Tabelle 28:	Aktivitäten von Grubenwasser, Flusswasser, Sedimenten, Ablagerungen, Klärschlamm und landwirtschaftlichen Produkten	67
Tabelle 29:	Aktivitäten von Grubenwasser und Flusswasser in Polen	68
Tabelle 30:	Aktivitäten von Grubenwasser, Sedimenten, Schlämmen, Ablagerungen	68
Tabelle 31:	Aktivitäten von Grubenwasser, Vorflutern, Boden, Sedimenten	69
Tabelle 32:	Aktivitäten von Sedimenten in Absetzteichen	69
Tabelle 33:	Radonkonzentrationen in Wohnungen eines Steinkohlebergbaugebietes /Lehmann und Czarwinski, 1993/	70
Tabelle 34:	Steinkohlenbilanz (Förderung, Import, Verwendung) für das Jahr 1994 /Hinrichs et al., 1999/	74
Tabelle 35:	Verwendete Beziehungen zwischen Rohförderung und verwertbarer Förderung	75
Tabelle 36:	Erläuterungen zu den Hochrechnungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik	76
Tabelle 37:	Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik bis 1850	76
Tabelle 38:	Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik 1850 bis 1914	77

Tabelle 39:	Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik nach 1861	78
Tabelle 40:	Bergeanfall innerhalb verschiedener Zeiträume, differenziert nach verschiedene Gebieten (in t)	89
Tabelle 41:	Die Förderung von Steinkohle in Bayern /BayStWV, 1978/	96
Tabelle 42:	Die Förderung von Pechkohle in Bayern /BayStWV, 1978/	97
Tabelle 43:	Gesamtflächenbilanz über die Flugaschen- und Steinkohlenbergehalden im Saarland /Saarbergwerke AG, 1984/	99
Tabelle 44:	Zusammenfassende Übersicht über die Halden im Aachener Revier /Ortmanns, 1988/	101

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Chemischer Aufbau von Steinkohle /Winnacker und Kühler, 1982/	15
Abbildung 2:	Flussbild der Steinkohleverarbeitung, nach /Ullmann, 1979/	17
Abbildung 3:	Kohlesorten,	19
Abbildung 4:	Hauptstollen-Zugang in Peißenberg	21
Abbildung 5:	Mechanisierung beim Steinkohle-Abbau: Kohlenhobel (links) – bereits seit 1943 auf Ruhrzechen im Einsatz - und Walzenschrämlader rechts); zur Staubstromlenkung und Staubbiederschlagung ist der Schneidkopf des Walzenschrämladers mit Wasserdüsen ausgerüstet (mitte) /DSK, 04/	22
Abbildung 6:	Schächte werden nach Tages- und Blindschächten unterschieden, nach dem Verwendungszweck wird unterschieden in Wetter-, Förder-, Seilfahrt- und Materialschacht /DSK, 04/	23
Abbildung 7:	Klimatisierung unterteage (links: Sonderbewetterung rechts: Strebkühler)	24
Abbildung 8:	Flussbild der Vorbehandlung und Aufbereitung von Steinkohle (nach /Ullmann, 1979/)	26
Abbildung 9:	aufbereitete Kohlestücke /DSK, 04/	27
Abbildung 10:	Stoffmengenflüsse bei der Steinkohlenförderung und –aufbereitung in Deutschland, 1994, bezogen auf 2,01 t Rohkohle = 1 t _{SKE} (Zahlenangaben nach /Hinrichs et al., 1999/)	33
Abbildung 11:	Bergeanteil geförderter Rohkohle für Deutschland (nach /Winnacker und Kühler, 1982/ und für das Ruhrgebiet /Wiggering und Kerth., 1991/)	35

Abbildung 12: Bergeanteil geförderter Rohkohle für Deutschland (rote Kurve unter Verwendung aller vorhandenen Daten erstellt) für den Zeitraum 1940 bis 2004	36
Abbildung 13: Berechnete Bergeanteile geförderter Rohkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004	37
Abbildung 14: Berechnete Grob-, Fein- und Feinstbergeanteile geförderter Rohkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004 (die Kurven für den Feinstbergeanteil im Absetzteich und auf der Halde sind deckungsgleich)	37
Abbildung 15: Berechnete nach Übertage geförderte Grubenwassermenge pro Tone Rohförderkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004	43
Abbildung 16: Zusammenstellung verschiedener Pressemeldungen über radiologische Auswirkungen von Hinterlassenschaften des Steinkohlebergbaus	44
Abbildung 17: Grundflussbild der Entstehung von NORM-Rückständen beim Steinkohle-Bergbau	45
Abbildung 18: Bildtafel Steinkohlenbergwerk	47
Abbildung 19: Typischer Grundriss einer Zeche aus den 60er Jahren, der auch heute, bis auf die Kokereianlage, noch repräsentativ ist /DSK, 2004/	48
Abbildung 20: Kohlenhalde /DSK, 2004/	49
Abbildung 21: Bergehalde der 2. Generation im Aachener Revier; 110 m hohe Halde des Tagesbetriebes „Anna“ /DSK, 2004/	50
Abbildung 22: Grafische Darstellung der Haldentypen entsprechend der historischen Haldenentwicklung (3 Generationen)	52
Abbildung 23: Halde mit Biotop	53
Abbildung 24: Mit Bergematerial nachträglich aufgefüllter Absinkweiher (Netzbachtal, Saarland) /ASV, 2004/	57

Abbildung 25: Stillgelegter und teilrekultivierter Flotationsabsinkweiher Brönnchesthal der Tiefbaugrube Reden (Saarland) /NABU-Saar, 2004/	57
Abbildung 26: Einleitung von Gruben- und Abwässern: zum Kanal ausgebauter Fluss als Vorfluter (Emscher), modernes Klärwerk zur Aufnahme der Abwässer (Bottrop), naturnaher Rückbau eines vormals zum Abwasserkanal ausgebauten Baches (Mühlenbach, Zufluss zur Emscher) /DSK, 2004/	58
Abbildung 27: Hinweisschild über die Einleitung von Grubenwasser in die Ruhr	59
Abbildung 28: Frühe Kohlegräberei (links) wurde durch Stollenbau abgelöst (rechts) /DSK, 2004/	72
Abbildung 29: Kohlebergbau Anfang des 19. Jahrhunderts /Walker, 1814/	72
Abbildung 30: Gesamtübersicht: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands von 1792 bis 2003	79
Abbildung 31: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands von 1792 bis 1850	80
Abbildung 32: Rohkohleförderung in den preußischen Hauptbergdistrikten von 1792 bis 1850	80
Abbildung 33: Rohkohleförderung: Vergleich zweier preußischer Distrikte mit restlichem Deutschland von 1792 bis 1850	80
Abbildung 34: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1850 bis 1914	81
Abbildung 35: Vergleich der Rohkohleförderung in den zwei wichtigsten Provinzen mit dem restlichen Deutschland von 1850 bis 1914	81
Abbildung 36: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschland (ohne Westfalen und Rheinland) von 1792 bis 1850	82
Abbildung 37: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1915 bis 1944	83

Abbildung 38: Vergleich der Rohkohleförderung in den zwei wichtigsten Bezirken mit dem restlichen Deutschland von 1915 bis 1944	83
Abbildung 39: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschland (ohne OBA Dortmund und OBA Bonn) von 1915 bis 1944	84
Abbildung 40: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1945 bis 2003	84
Abbildung 41: Vergleich der Rohkohleförderung in den zwei wichtigsten Bundesländern mit dem restlichen Deutschland von 1945 bis 2003	85
Abbildung 42: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschlands (ohne Nordrhein-Westfalen und Saarland) von 1945 bis 2003	85
Abbildung 43: Gesamtübersicht: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 2003	86
Abbildung 44: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 1850	87
Abbildung 45: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1850 bis 1914	87
Abbildung 46: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1915 bis 1944	88
Abbildung 47: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1945 bis 2003	88
Abbildung 48: Gesamtübersicht: gefördertes Grubenwasser auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 2003	90

Teil 3a

Bergbauliche Hinterlassenschaften der Steinkohle-Gewinnung

1 EINFÜHRUNG

Ausschlaggebend für die **Auswahl der Steinkohle-Gewinnung** zur näheren Betrachtung im vorliegenden Projektteil 3a waren vor allem die **großen Mengen** der über die Jahrhunderte in Deutschland angefallenen **Rückstände**. Kein anderer Rohstoff führte zur Anhäufung derartiger Rückstandsmengen.

Obwohl die im Rahmen von Projektteil 1 aus Literaturquellen ermittelten Aktivitäten von in Deutschland gewonnener Steinkohle nuklidspezifische Werte von 200 Bq/kg nicht überschritten (Ausnahme Freitaler Bergbaurevier), wurde die während der Bearbeitung des Projektes reifende Kenntnis, dass viele **Bergehalden**, **Absetzteiche** und durch **Grubenwassereinleitungen** beeinträchtigte Gewässer in Deutschland nur teilweise oder noch gar **nicht messtechnisch untersucht** sind, zu einem weiteren Aspekt für die getroffene Auswahl. Einige der Halden- und Gewässerstandorte, die im Rahmen der Arbeiten zu vorliegendem Teil 3a ermittelt werden, sollen dann später in einer umfassenden **Messkampagne** orientierend untersucht werden. Diese Ergebnisse werden im **Teil 4a** dokumentiert.

Zur genauen Erfassung und Quantifizierung von Rückstandsentstehung und –ablagerung war die Beschäftigung mit den technologischen Abläufen der Steinkohlegewinnung und –aufbereitung unumgänglich. Deshalb wurden an den Anfang der Darstellung die Kapitel „**Allgemeines**“, „**Lagerstätten**“, „**Bergtechnik**“ und „**Aufbereitungstechnik**“ gestellt. Die anfallenden Rückstände werden qualitativ und quantitativ im Kapitel „**Rückstände bei Abbau, Förderung und Aufbereitung**“ betrachtet. Auf die radiologischen Aspekte beim Rückstandsanfall wird im Kapitel „**NORM-Material**“ näher eingegangen. Eine detaillierte Ermittlung der Fördermengen auf dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland von den Anfängen des Steinkohlebergbaus bis heute erfolgt im Kapitel „**Steinkohlenförderung**“. Daran schließt sich, basierend auf den Ergebnissen der Vorkapitel, eine Mengenbetrachtung der radiologisch relevanten Rückstände „**Berge**“ und „**Grubenwasser**“ an. Die „**Identifizierung der NORM-Hinterlassenschaften**“ mit Nennung der Standorte von Förderbetrieben, Halden und Absetzteichen schließt Projektteil 3a ab.

Als **Quellen** für den Inhalt des vorliegenden Kapitels wurden allgemeine Nachschlagewerke, fachspezifische Literatur sowie gezielte Nachfragen bei Universitäten, Bergbehörden und Bergwerksbetrieben verwendet. Da diese Quellen textlich eng miteinander verwoben wurden, wäre es für den Textfluss störend gewesen, die Quellen in jedem Falle im entsprechenden Textstück jeweils mit anzugeben. Bezuglich der Technologie des Steinkohlebergbaus basieren viele der dargestellten Zusammenhänge und Daten auf „Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 14“ sowie „Winnacker · Kühler: Chemische Technologie, Band 5“. Viele der zur Text-Illustration verwendeten Fotos wurden dankenswerterweise von der Deutschen Steinkohle AG zur Verfügung gestellt.

2 ALLGEMEINES

2.1 Aufbau und Zusammensetzung von Steinkohle

Steinkohle ist ein schwarzes, pechartig oder fettig glänzendes **Sedimentgestein pflanzlicher Herkunft**. Bereits vor über 2000 Jahren erwähnt (Theophrast 215 v. Chr.), fand sie eine frühe Verwendung zum Schmieden und Gießen sowie zum Heizen (im römisch besetzten kohlereichen Britannien, in China ab 280 n. Chr., in England im 9. Jh.). Steinkohle besteht aus einem komplizierten Gemisch kohlenstoffhaltiger Verbindungen mit mineralischen Einschlüssen. In Abbildung 1 ist ein möglicher vereinfachter **Molekülaufbau** der Steinkohle dargestellt. Mehrkernige Aromaten mit 3 bis 5 Ringen sind mittels Brückenbindungen verknüpft. In Abhängigkeit von der Art der Kohle und der Maceralgruppe (s. unten) sind neben den *Aromaten* auch *Hydroaromate* und *Aliphaten* enthalten.

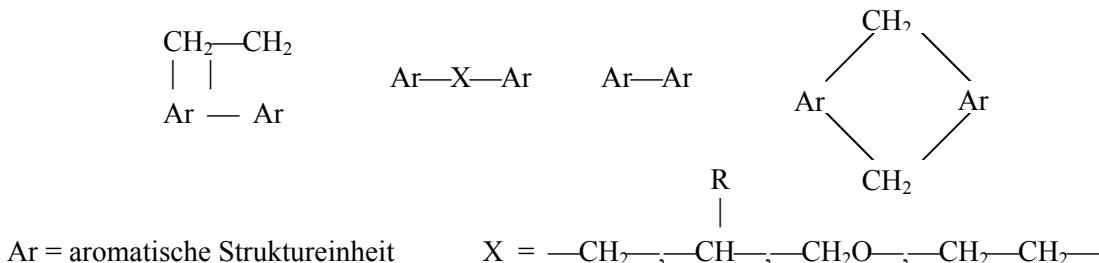


Abbildung 1: *Chemischer Aufbau von Steinkohle /Winnacker und Küchler, 1982/*

Neben Kohlenstoff und Wasserstoff enthält Steinkohle Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel sowie Radikale (hauptsächlich Kohlenstoffradikale). Tabelle 1 zeigt die elementare Zusammensetzung verschiedener Steinkohlearten.

Steinkohlenart	Elementaranalyse [%], waf ¹				
	C	H	O	N	S
Gasflammkohle	82,7	5,04	9,4	1,59	0,95
Fettkohle	87,6	4,94	4,6	1,82	0,86
Esskohle	89,7	4,54	2,7	1,59	1,20
Magerkohle	91,0	3,88	2,2	1,74	1,03
Anthrazitkohle	92,0	3,79	1,3	1,95	0,87

¹ waf: wasser- und aschefrei; der Aschegehalt ist ein Maß für den Mineralstoffgehalt

Tabelle 1: *Elementarzusammensetzung verschiedener Steinkohlen /Winnacker und Küchler, 1982/*

Die kleinsten mikroskopisch erfassbaren Einzelbestandteile der Steinkohle werden als **Maceralle** bezeichnet. Sie werden nach ihrem unterschiedlichen Reflexionsvermögen, welches mit dem Kohlenstoffgehalt sowie dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen gut korreliert, in drei Maceralgruppen gegliedert: *Vitrinit*, *Exinit*, *Inertinit*. Das Mengenverhältnis der einzelnen Maceralgruppen bestimmt die chemischen, physikalischen und technologischen

Kohleeigenschaften. Außerdem enthalten alle Steinkohlen **Minerale**, die während der Inkohlung in den Kohlenbildungsraum eingelagert wurden. Die häufigsten Mineralgruppen sind: Tonminerale, Carbonatpäte, sulfidische und oxidische Erzminerale, Quarz, Phosphorminerale (Apatit und Phosphorit), Schwerminerale und Akzessorien (Zirkon, Turmalin, Rutil, Biotit, Orthoklas).

2.2 Einteilung

Nach Beschaffenheit, Zusammensetzung, Verhalten beim Erhitzen etc. und davon abgeleitet entsprechend der Verwendung unterscheidet man eine Reihe verschiedener Steinkohlearten. In Deutschland erfolgt die Abgrenzung der einzelnen Arten nach ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen entsprechend Tabelle 2.

Flammkohle	Gasflammkohle	Gaskohle	Fettkohle	Esskohle	Magerkohle	Anthrazitkohle
40	35-40	28-35	19-28	14-19	10-14	<10

Tabelle 2: Steinkohlearten sowie Abgrenzung nach flüchtigen Bestandteilen (Angaben in %, waf)

2.3 Eigenschaften

Die Dichte der Steinkohle liegt zwischen $1,15$ und $1,5 \text{ gcm}^{-3}$, die Härte beträgt 2-2,5. Bei längerer Lagerung an offener Luft findet eine oberflächliche Oxidbildung statt, die in seltenen Fällen zur Selbstentzündung führen kann. Steinkohle (StK) unterscheidet sich in folgenden Punkten von Braunkohle (BK):

- Bitumengehalt der StK nur wenige Prozent (BK 10 – 30 %)
- Beim Kochen mit HNO_3 (1:10) bleibt StK unverändert (BK färbt sich rot)
- Beim Schmelzen mit Ätznatron (200°C) bleibt StK unverändert (BK baut sich ab)
- Beim Kochen mit Kalilauge bleibt StK unverändert bis schwach braun (BK färbt sich tief braun)
- Das Destillat von StK reagiert alkalisch - Ammoniak-Gehalt (das Destillat von BK reagiert sauer – essigsäurehaltig)

2.4 Verarbeitung und Verwendung

Steinkohle wird größtenteils zur **Energie- und Wärmeerzeugung** verwendet. Neben der energetischen Verwendung ist sie eine Rohstoffquelle für Kohlenstoff und hat als solche ihre größte Anwendung als **Reduktionsmittel** für die Roheisen- und Nichteisenmetallgewinnung. Voraussetzung hierfür ist die Verkokung. Koks wird auch u. a. in der chemischen Industrie für die Carbid- und Phosphorerzeugung (vgl. Projektteil 3b) benötigt. Sie ist aber auch ein unentbehrlicher Rohstoff, aus welchem z. B. Ammoniak, Leuchtgas, Schwefel, Teer, Aktivkohle oder neuartige Werkstoffe (z. B. Baustoffe) industriell gewonnen werden. Alle Verfahren, bei denen aus der Kohle höherwertige Produkte gewonnen werden, bezeichnet man als **Kohleveredlung**.

Geförderte Rohkohle kann direkt nicht verwendet werden und wird daher aufbereitet (zerkleinert, entwässert, von mineralischen Bestandteilen befreit usw. – vgl. Kapitel 5). Das Schema aus Abbildung 2 gibt einen groben Überblick über die weitere Verarbeitung der Kohle und die entstehenden Kohlenprodukte.

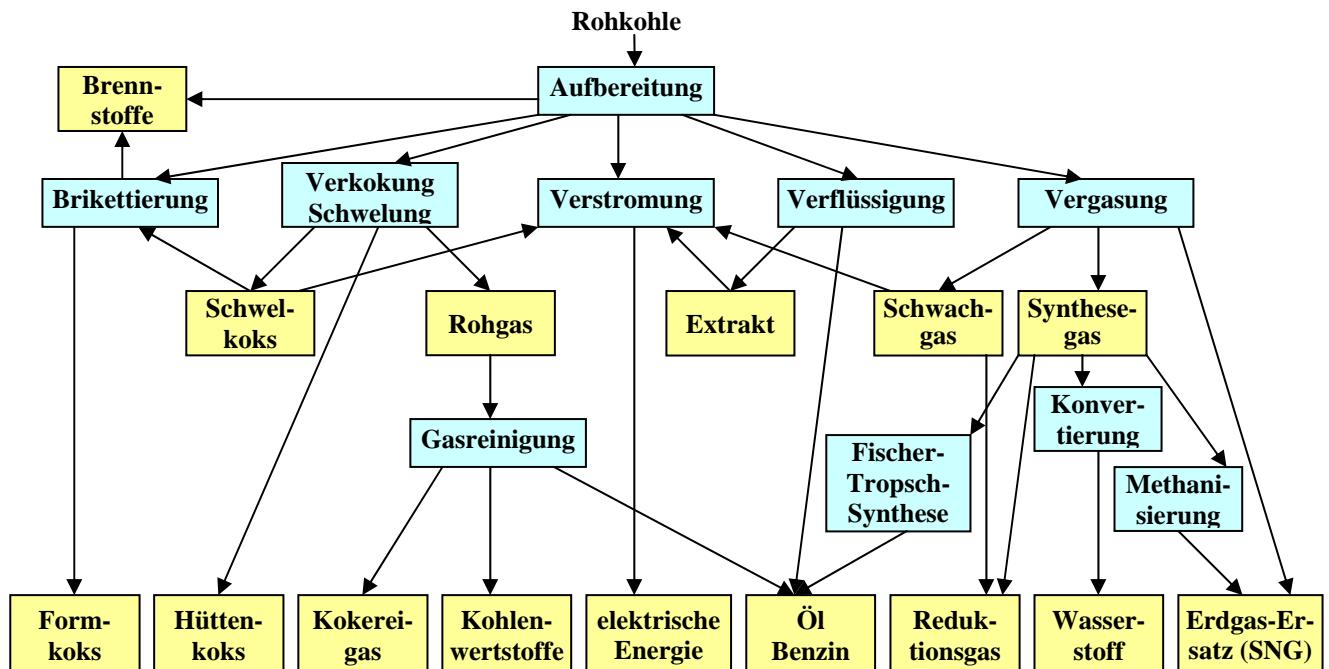


Abbildung 2: Flussbild der Steinkohleverarbeitung, nach Ullmann, 1979/

Über die Verarbeitungsart der aufbereiteten Kohle entscheiden ihre Qualitätsmerkmale (Korngröße, Flüchtigkeit, Verkokbarkeit usw.).

Neben dem Koks, als dem Hauptprodukt der Verkokung, haben die **Kohlenwertstoffe** wirtschaftliche Bedeutung. So werden beispielsweise die aus dem Kokereigas ausgewaschenen Bestandteile Ammoniak und Schwefelwasserstoff über das Zwischenprodukt Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat für die Düngmittelindustrie umgewandelt (vgl. Pro-

jetztteil 3b). Blausäure wird zu einem Insektizidgrundstoff weiterverarbeitet. Weitere aus der Rohgasaufbereitung gewonnene Kohlewertstoffe sind: Rohteer, Phenol, Schwefel, Rohbenzol, Naphtalin, Pyridinbasen, Anthracen. Der Rest des Koksofengases wird nach Abzug des Unterfeuerungsbedarfes als Ferngas abgegeben. Teerinhaltstoffe werden als hochwertige Produkte in der chemischen und pharmazeutischen Industrie verwendet.

Die einzelnen Absatzgebiete unterlagen in den Zeiträumen der Steinkohleverarbeitung bestimmten Entwicklungstendenzen. Generell nahm mit fortschreitender Industrialisierung die unmittelbare Steinkohle-Verwertung ab, die Verwendung zur Stromerzeugung (Kraftwerkssektor) stieg hingegen an. Der Absatz verschiedener Steinkohle-Produkte unterlag speziellen technischen Entwicklungen. So nahm beispielsweise ab Ende der sechziger Jahre des 20. Jh. mit der Bereitstellung von Erdgas und Erdölderivaten die Verarbeitung von Kokereigas ab. Erdöl und Erdgas verdrängten Steinkohle auch aus dem Wärmemarkt. Neben allgemeinen Entwicklungen gibt es auch nationale Besonderheiten. So weist Deutschland aufgrund der besonders guten verkokungstechnischen Eigenschaften der Ruhrkohle einen hohen Anteil an **Hüttenkoks** (metallurgischem Koks) zur Metall- (vor allem Stahlerzeugung) auf, der nach dem Montanunion-Vertrag auch die Koksversorgung der westeuropäischen Hüttenwerke sicherstellt. Tabelle 3 zeigt die Änderungen der Verwendung von gewonnener Steinkohle in der Bundesrepublik Deutschland (alte Länder) im Verlauf von zwanzig Jahren.

Art der Verwendung	1958	1968	1978
Kraftwerke	19,8	28,7	36,8
Stahlindustrie	29,1	26,7	20,8
Hausbrand, Kleinverbrauch	18,9	14,9	3,3
Sonstiges	39,8	20,1	5,6
Ausfuhr in EG (überwiegend für Stahlindustrie)	23,3	27,6	20,0
weitere Ausfuhr	4,2	5,2	9,2
gesamt	135,1	123,2	95,7

Tabelle 3: Verwendung von Steinkohle in Deutschland (alte Länder); Angaben in 10^6 t/a, Koks in Kohle umgerechnet /Winnacker und Küchler, 1982/

2.5 Steinkohleeinheit

Der **Steinkohleeinheit (SKE)** begegnet man häufig in der technischen Literatur sowie in der Rohstoff-Statistik. Es ist eine, nicht SI-konforme Energie-Einheit, die dem mittleren Energieinhalt von 1 kg wasser- und aschefreier Steinkohle entspricht:

$$1 \text{ SKE} = 7000 \text{ kcal} = 29,3076 \text{ MJ} = 8,141 \text{ kWh}$$

$$10^3 \text{ SKE} = 1 \text{ t SKE}$$

$$1 \text{ SKE} = 1 \text{ kg Steinkohle}$$

$$1 \text{ SKE} = 1,9 \text{ kg Braunkohle od. Holz} = 0,7 \text{ kg Heizöl} = 0,8 \text{ m}^3 \text{ Erdgas} = 1,8 \text{ m}^3 \text{ Stadtgas} = 0,3 \text{ m}^3 \text{ Propangas} = 370 \mu\text{g U-235}$$

3 LAGERSTÄTTE

Kohle bildete sich vorwiegend aus abgestorbenen Land- und Sumpfpflanzen unter der Voraussetzung der baldigen Abgeschlossenheit von Luftsauerstoff (Anaerobie). Entstanden sind die großen Lagerstätten der Welt im Karbon, Perm, Jura, Kreide und Tertiär. Die **wichtigsten deutschen Vorkommen im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken, im Revier Aachen-Erklenz, im Ibbenbürener Revier sowie die saar-lothringischen Lagerstätte** sind dem Oberkarbon zuzuordnen und bis auf die Kohlen des Saar-Nahe Gebietes unter Meerwassereinfluss entstanden (höherer Schwefelgehalt).

In der **ersten Inkohlungsphase** (biochemische Phase) bildet sich in aeroben und anaeroben Zersetzungssphasen aus den abgestorbenen Pflanzen über **Torf** und **Weichbraunkohle** die **Mattbraunkohle**. Dauer und Intensität der Zersetzungsvorgänge bestimmen die sich bildenden Zersetzungssprodukte (Macerale, vgl. Kapitel 2.1).

In der **zweiten Inkohlungsphase** (geochemische Phase) bewirken höhere Temperaturen chemische Veränderungen der in der ersten Phase gebildeten Macerale, wobei sich die Mattbraunkohle über **Hartbraunkohle** und **Glanzbraunkohle** in **Steinkohle** verwandelt.

Pechkohle ist eine junge tertiäre stark inkohlte Hartbraunkohle mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von etwa 40 % und einem Heizwert von 21 bis 23 MJ/kg. Sie kommt in ihren Eigenschaften der Steinkohle nahe.

Die Fotos von Abbildung 3 zeigen Beispiele von Steinkohle (links) und Pechkohle (rechts).



*Abbildung 3:
Kohlesorten,
links oben: Steinkohle Ruhrgebiet (Essen)
links unten: Steinkohle Ruhrgebiet (Gelsenkirchen)
rechts oben: Pechkohle Oberbayern (Hausham)*

Die sich in Flachwasser- oder Sumpfbereichen großer Binnenseen und in Randbereichen großer Lagunen der Ozeane befindlichen Ablagerungen wurden des Öfteren überschwemmt und dabei von Meeressedimenten bedeckt. Diese Bedeckungen von wenigen Zentimetern bis mehreren Metern stellen die späteren **Bergezwischenmittel** dar. Nichtbrennbare Minerale wurden in Spalten und Rissen der Kohlen abgesetzt und sind mit diesen verwachsen (**Verwachsenes**). Die in der Regel deutlich vom hangenden und liegenden Nebengestein abgegrenzten **Steinkohleflöze** mit Mächtigkeiten bis zu 130 m und Ausdehnungen bis zu mehreren tausend km², beherbergen keine oder unterschiedliche Bergezwischenmittel. Durch tektonische Einwirkungen sind die Flöze teilweise aus ihrer flachen Lagerung aufgewölbt, überkippt oder versetzt.

Weltweit werden 19 große Steinkohleprovinzen unterschieden, die sich überwiegend nördlich des Äquators befinden. Tabelle 4 enthält Angaben zu den Steinkohle-Reserven der verschiedenen Steinkohle-Regionen in der Welt sowie Förderzahlen aus dem Jahre 1978.

Region	Geologische Reserven [10 ⁶ t]	[%]	Gewinnbare Reserven [10 ⁶ t]	[%]	Förderung [10 ⁶ t]	[%]
Osteuropa/UdSSR/VR China	5566915	71,6	242354	45,6	1389,5	52,8
Nordamerika	1299606	16,7	122229	23,0	599,7	22,8
Westeuropa	428293	5,5	71379	13,5	250,8	9,5
davon BR Deutschland	230300	3,0	23919	4,5	90,1	3,4
Ferner Osten/Australien	288559	3,7	56952	10,7	277,3	10,5
Afrika	172892	2,2	32448	6,1	96,4	3,7
Mittel- und Südamerika	19938	0,3	5454	1,0	14,2	0,5
Mittlerer Osten	2291	0	327	0,1	4,3	0,2
Welt	7778494	100	531143	100	2632,2	100

Tabelle 4: Steinkohlereserven und Förderung weltweit, 1978 /Winnacker und Küchler, 1982/

Die Steinkohlen der Bundesrepublik Deutschland sind im Karbon bis Perm, vor 320 – 280 Mio. Jahren entstanden. Es handelt sich um Gasflammkohle bis Anthrazitkohle (vgl. Tabelle 2). Es gibt **derzeit 4 Förderreviere: Ruhr, Saar, Aachen, Ibbenbüren**. Im Süden des Ruhrreviers liegen die Kohlen oberflächennah und fallen nach Norden ein, so dass im Bereich der Nordsee die Bedeckung bis zu 5000 m beträgt.

4 BERGTECHNIK

4.1 Lagerstätteneröffnung

Steinkohle befindet sich in **Flözen**, die ab 50 cm Mächtigkeit als abbauwürdig befunden werden. Im Ruhrrevier werden unter dieser Voraussetzung $24 \cdot 10^9$ t Vorräte angetroffen, die sich bis 1500 m Tiefe erstrecken. In tektonisch wenig beanspruchten Gebieten sind diese Flöze flach und ungestört. In Gebieten mit Gebirgsbildung im Anschluss an die Steinkohlenentstehung, trifft man Flöze auch steil gelagert und gestört an.

Im **Tagebau** gewinnt man Steinkohlen mit geringer Sedimentüberdeckung (< 180 m). Zunächst werden die überdeckenden Schichten abgeräumt. Nach evtl. Auflockerung durch Sprengungen wird die Kohle mit Fahrzeugen oder Bandförderanlagen abtransportiert.

Im **Tiefbau** wird die sich weit unter der Oberfläche befindliche Steinkohle abgebaut (ca. 75 % der weltweiten Steinkohlen). Mittels Schächten und Blindschächten, Querschlägen und Richtstrecken wird der Zugang zu den Flözen ermöglicht (Ausrichtung der Lagerstätte). Nach der Ausrichtung erfolgt die Vorrichtung der Flöze für den Abbau mittels Vorrichtungsstrecken, Abbaustrecken, Auf- und Abhauen. 1975 wurden in Deutschland (alte Länder) z. B. 550 km Grubenbaue im Flöz aufgefahrt (49 % Vorrichtungsstrecken, 12 % Auf- und Abhau, 39 % stiegbegleitende Abbaustrecken). Sprengvortrieb mit voll mechanisierter Ladearbeit dominiert, der Anteil an Streckenvortriebsmaschinen bei den Vorrichtungsstrecken lag in den 70er Jahren des 20. Jh. bei ca. 20 %.

Daneben gibt es noch den meist im Gebirge betriebenen **Stollenbergbau**, wo der Zugang zur Lagerstätte über waagerechte Strecken, die Stollen, erfolgt.



In den USA, Australien und China werden ca. 50 % der Steinkohle im Tagbau gefördert. **Deutsche Steinkohle** wird ausschließlich im **Tiefbau** gewonnen.

*Abbildung 4:
Hauptstollen-Zugang in
Peißenberg*

4.2 Abbautechnik

Die früheste mittelalterliche **Abbautechnik** bestand im Ausheben von trichterförmigen Gruben (bis heute Synonym für Bergwerk) an zutage tretenden Flözen, wobei der Grundwasserstand die Abbautiefe bestimmte. Vor ca. 250 Jahren brachten dann aus alten Erzbergbaugebieten angesiedelte Bergleute eine modernere Bergtechnik in die Kohlenreviere.

Schlägel, Eisen und Keilhaue wurden, seit 1908 beginnend, durch druckluftbetriebene Abbauhämmer ersetzt. Abbauhammer- und die bereits seit ca. 1700 betriebene Sprengarbeit blieben bis in die frühen 50er Jahre das vorherrschende Gewinnungsverfahren, obwohl bereits 1875 auf der Zeche *Ruhr & Rhein* erste Versuche mit Schrämmaschinen durchgeführt wurden. Heute ist in Deutschland die Steinkohlegewinnung zu 100 % mechanisiert.

1808 erreichte man im Ruhrgebiet eine **Abbautiefe** von 46 m, 1837 bereits 130 m. Die mittlere Gewinnungsteufe in den 70er Jahren des 20. Jh. lag bei ca. 800 m und liegt heute bei durchschnittlich 950 m. Neben Russland werden in Deutschland mit 1600 m die größten Teufen erreicht (Max.: Nordschacht des Steinkohlebergwerkes Ensdorf: 1712 m). Die abgebaute Flözmächtigkeit liegt zwischen 0,5 und 12 m (im Mittel 2 m). Flachgelagerte Flöze ab 1,5 m Mächtigkeit werden im *Örterbau* (Abbauverluste 30 – 55 %) abgebaut, flach gelagerte Flöze ab 0,7 m Mächtigkeit im *Strebbau* (Abbauverluste 10 %) und stark geneigte und steile Flöze im *Schrägbau* (z. B. Schrämkililverfahren). Den schachbrettartigen Vortrieb zwischen notwendigen Kohlenfesten (Pfeiler) nennt man *Kammerpfeilerbau* (mit Hereingewinnung der Kohlenpfeiler *Kammerpfeilerbruchbau*).

Das in Deutschland vorwiegend angewandte Abbauverfahren ist der **Strebbau**. Der Streb als geradlinige Verbindung zwischen zwei im Abstand von ca. 200 m aufgefahrenen Abbaustrecken bildet quasi die Abbaufront. In vollmechanischen Streben schälen **Kohlenhobel** (Ramm-, Schwert-, Gleit-, Gleitschwerthobel) oder schneiden **Walzenschrämlader** (früher Schrämmaschinen, Bohrschrämlader, Gewinnungsbohrer) die Kohle aus der Abbaufront, bevor sie mittels Strebförderern (z. B. **Kettenkratzförderer**) abtransportiert wird. Der hinter dem Streb ausgehöhlte Versatzraum (Alter Mann) wird entweder durch nachbrechendes Gestein verfüllt oder mit **Bergematerial** versetzt.

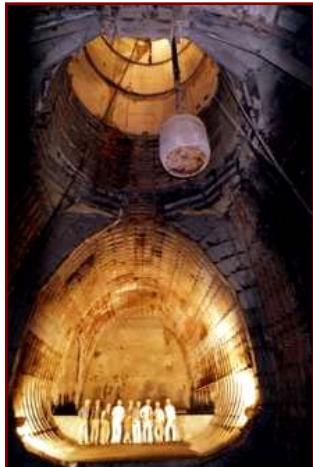


Abbildung 5: Mechanisierung beim Steinkohle-Abbau:
Kohlenhobel (links) – bereits seit 1943 auf Ruhrzechen im Einsatz - und Walzenschrämlader rechts); zur Staubstromlenkung und Staubniederschlagung ist der Schneidkopf des Walzenschrämladers mit Wasserdüsen ausgerüstet (mitte) /DSK, 04/

4.3 Fördertechnik

Vom Strebförderer (früher waren zur Förderung im Streb lediglich Rutschen im Einsatz) wird die Kohle den **Bandförderanlagen** der Abbaustrecken (**Streckenförderer**) übergeben. In den Blindschächten wird sie in Wendelrutschen zur Fördersohle transportiert und von dort mittels **Förderwagen oder Großbandanlagen in den Querschlägen und Richtstrecken** zum Schacht gefördert. **Im Schacht** wird sie **in großen Gefäßen** zu Tage gehoben.

Anfangs besorgte die Streckenförderung der Bergmann (**Schlepper** genannt), bis er seit 1850 allmählich durch die **Pferdeförderung** abgelöst wurde. 1862 fand im Saarrevier die **Seilförderung** Eingang. Später folgte das Ruhrrevier, wo allein zwischen 1889 und 1898 71 Seilbahnen in Förderstrecken eingebaut wurden. Nahezu zeitgleich nahm auf der Zeche *Nordstern* in Gelsenkirchen der erste **Kettenförderer** an der Ruhr den Betrieb auf und wenig später folgte Übertage die erste Lokomotive. 1914 gab es allein im Ruhrgebiet bereits 374 Seilbahnen, 36 Kettenbahnen sowie 1164 Fahrdräht- und Druckluftlokomotiven. Die gleisgebundene Wagenförderung als unstetige Förderung fand weite Verbreitung. Als **Grubenlokomotiven** übernahmen bald Diesellokomotiven und bereits seit den 30er Jahren des 20. Jh. Elektrolokomotiven den Antrieb. Heute hält der Wunsch nach Schnellfahrstrecken für die Personenbeförderung moderne Batterielokomotiven im Einsatz. Das letzte Grubenpferd hatte 1966 seinen abschließenden Schichteinsatz.



Für die Bewegung der Förderseile und Förderkörbe im Schacht sorgt die neben dem **Fördergerüst** zu ebener Erde stehende Flurfördermaschine, oder die im **Förderturm** angebrachte Turmfördermaschine. Die zwischen 1850 und 1897 errichteten wuchtigen Schachttürme bezeichnete man als *Malakofftürme* oder kurz *Malakow* (nach einem Festungsturm des Forts Malakow der Festung Sewastopol auf der Krim).

Abbildung 6:
Schächte werden nach Tages- und Blindschächten unterschieden, nach dem Verwendungszweck wird unterschieden in Wetter-, Förder-, Seilfahrt- und Materialschacht /DSK, 04/

Die Anwendung modernster Technik im Steinkohlebergbau ließ den **Bergegehalt** in der Rohkohle auf **50 %** ansteigen, d. h. dass bei der Förderung von **1 t Kohle 1 t Gestein (Berge)** mitgefördert wird. Die Trennung der Kohle von der Berge wird in der Aufbereitungsanlage vollzogen. Die Berge wird entweder aufgehaldet (**Bergehalde**) oder in die Grube zurücktransportiert und als **Versatzmaterial** verwendet (vgl. Kapitel 4.2).

Aus dem Grundwasserreservoir strömt den Gruben kontinuierlich **Grundwasser** zu. Dieses Wasser sammelt sich am tiefsten Punkt der Grube und wird als **Grubenwasser** von dort im Schacht durch Steigleitungen nach oben gepumpt. Der mittelalterliche Abbau aus

Gruben, Gräben und Löchern bis zur Grundwassergrenze wurden im 18. Jh. allmählich durch sanft ansteigend in den Berg getriebene Stollen abgelöst, durch welche das Grundwasser abließ. Zur Entwässerung und Wetterführung angelegte *Erbstollen* entwässerten größere Gebiete. Sie waren besonders ausgemauert und hatten meist eine mittig gemauerte Rinne zur Wasserführung. Zur Ableitung der unterirdischen Wasserzuflüsse hatten die Stollen bis in die neuere Zeit hinein Bedeutung. Als man ab ca. 1850 zum Tiefbau überging wuchsen die Wassermassen mit zunehmender Tiefe. Zunächst wurde das Wasser in Eimern und Tonnen nach Übertage gefördert, später benutzte man Pumpen als manuell oder mit Pferden betriebene Holzkolben u. Steigrohre. Ab ca. 1800 war man durch den Einsatz von Wasserhaltungs-Dampfmaschinen in der Lage, große Wassermengen zu bewältigen. 1869 kam auf der Zeche *Neu-Iserlohn* bei Bochum eine unterirdische Wasserhaltungsmaschine zum Einsatz. Heute werden diese Maschinen elektrisch betrieben (die Tauchmotorpumpe der Zeche *Carolinenglück* fördert pro Minute 7,5 m³ aus einer Tiefe von 1000 m).

Für den **Abtransport** der Kohle **aus den Revieren** zu den in- und ausländischen Verbrauchern (bereits im 18. Jh. z. B. in die Niederlande und Schweiz) war die **Ruhrschiffahrt** seit Mitte des 18. Jh. maßgeblich beteiligt. Noch im Jahre 1850 sind 45 % der Ruhr-Kohleförderung über die Ruhr verschifft worden.

4.4 Grubensicherheit

Pro 100 m Tiefe steigt die Gebirgstemperatur um ca. 3 °C an. Zusätzlich wird im Zuge einer erhöhten Mechanisierung durch abbaubedingte Wärmequellen und Wärmesenken der Klimazustand beeinflusst. Nebengestein und vor allem Kohle enthalten aufgrund der organischen Umwandlung **Grubengas**, das zu 90 bis 95 % aus Methan und zu 2 bis 4 % aus Kohlendioxid besteht. Pro Tonne gewonnener Kohle werden im Durchschnitt ca. 20 m³ Methan frei. Es besteht die Gefahr von Kohlestaub- und Methangasexplosionen (Schlagwetter). Bei den Abbautätigkeiten entstehen außerdem Stäube und die Radonaktivitätskonzentration ist in den Gruben deutlich erhöht.

Diesen gesundheitsschädigenden Einflüssen wird wie folgt begegnet: die Frischluftzuführung von außen (**Bewetterung**) wird durch Kühlanlagen ergänzt (Abbildung 7), Grubengas wird aus Bohrlöchern im Flöz und im Nebengestein abgesaugt (höchstzulässiger Methan-Gehalt in den Grubenwettern: 1 %), Staubbekämpfungsmaßnahmen werden durchgeführt (z. B. Staubbiederschlag durch Wasser), persönlicher Atemschutz wird von den Bergleuten getragen, schlagwettergeschützte Betriebsmittel werden eingesetzt.



Abbildung 7:
Klimatisierung unterte
(links: *Sonderbewetterung*
rechts: *Strebkühler*)

5 AUFBEREITUNGSTECHNIK

Die Ausweitung der Steinkohle-Absatzgebiete führte zu Qualitätsanforderungen, die eine **Aufbereitung der Kohle** unumgänglich machte.

Die von der Grube zu Tage geförderte Rohkohle wird in der **Steinkohlenaufbereitungsanlage** zerkleinert, von Begleitmineralien und Verwachsungen befreit sowie entwässert. Bei den die Anlage verlassenden Fertigprodukten kann die Korngröße sowie der Asche- und Wassergehalt gesteuert und somit die unterschiedlichen Mengen-, Sorten- und Qualitätsanforderungen des Marktes erfüllt werden.

Die **Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlage** befindet sich übertage und ist **Teil des Bergwerkbetriebes**. Seit der letzten Hälfte des vorigen Jh. ist es zur Einhaltung einer gleichmäßigen Qualität erforderlich geworden, sog. Vergleichsmäßigseinrichtungen (Mischbunker, Mischlager) in den Förderfluss zwischen Schacht und Aufbereitungsanlage zu integrieren.

Die Aufbereitung kann in folgende Verfahrensstufen unterteilt werden:
Vorbehandlung der Rohkohle (Zerkleinern, Bergevorabscheidung, Vergleichsmäßigung der Rohwaschkohle) - Klassieren (Trennung nach Korngrößen) – Sortieren (Trennung nach Dichte) – Entwässern, Klären, Eindicken – Bunkern, Dosieren, Mischen (Vergleichsmäßigung der Fertigprodukte).

Zur **Klassierung** werden i. a. Siebmaschinen (mit Lochblenden od. Draht-, Kunststoff-, Gummigeweben) eingesetzt. **Feinstkornabtrennungen** erfolgen trocken mittels Windsichtung (Kreiselsichter, Vibrosichter) unter Anfall von **Sichterstaub** oder nass auf Entschlämmungssieben.

Die **Auftrennung** der Rohkohle in **Kohle, Verwachsenes und Berge** erfolgt nahezu ausschließlich mit nassmechanischen Verfahren, die eine **Sortierung** aufgrund von Dichteunterschieden (Setzmaschinen, Schwertrübescheider, Rinnen, Schüttelherde, Aufstromverfahren – Schwimmgut ist die Kohle, Sinkgut sind die Abgänge) oder unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften (**Flotation** – auch Schaumschwimmverfahren) ermöglichen.

In Abbildung 8 sind die wichtigsten Verfahrensschritte einer modernen Steinkohle-Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlage dargestellt und die jeweils anfallenden **Rückstände (Grobberge, Feinberge, Flotations-Berge)** angegeben. Der anfallende Sichterstaub wird in der Regel den Fertigprodukten zugemischt.

Die in den einzelnen Verfahrensstufen aussortierte oder abgeschiedene **Berge wird untertage rückverfüllt oder deponiert (Bergehalde)**.

Bei der Aufbereitung von Koks- und Kraftwerkskohle wird vereinzelt das Verfahren der thermischen Trocknung angewendet. In Abbildung 9 sind aufbereitete Kohlestücke zu sehen.

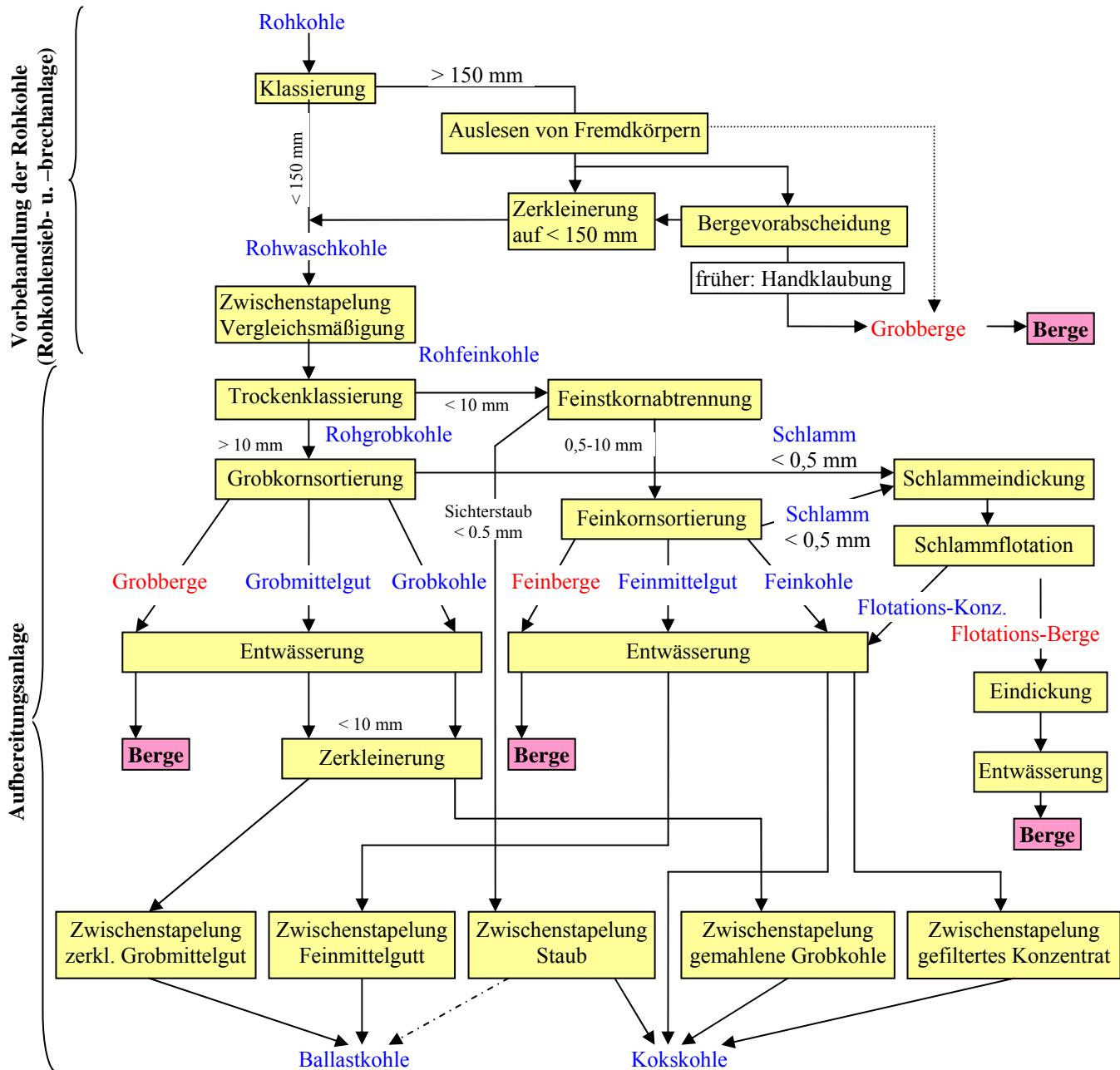


Abbildung 8: Flussbild der Vorbehandlung und Aufbereitung von Steinkohle (nach /Ullmann, 1979/)

In den Aufbereitungsanlagen mit Nassverfahren bestehen Feststoff-Wasserkreisläufe mit bis zu 6000 m³/h Trübe. Zur Feststoffabscheidung sind **Kläreinrichtungen** mit Eindickern in die Kreisläufe eingeschaltet, wobei die Feststoff-Flüssigkeitstrennung unter Zugabe von Flockungsmitteln erfolgt. Das aus betriebseigenen Absetzbecken wieder gewonnene Wasser wird als **rezykliertes Wasser** bezeichnet.

Der **Prozesswasserumlauf** kann bis zu 6 m³/t Rohwaschkohle betragen. Der Wasser-Verbrauch liegt bei etwa 0,2 m³/t Aufgabe, er kann bis zu 1 m³/t ansteigen, wenn ein Ablei-

ten der Flotationsberge in Außendeponien erforderlich ist (z. B. wegen zu hohen Salzgehaltes). Ein Teil muss als **Abwasser** abgegeben werden.



Abbildung 9: aufbereitete Kohlestücke /DSK, 04/

Zur **Sortierung und Entwässerung von Feinstschlämmen < 0,1 mm** wurde das *O-lifloc-Verfahren* entwickelt, welches auf der selektiven Benetzung von feinsten Kohleteilchen mit flüssigen Kohlenwasserstoffen (z. B. Öl) beruht, welche selektiv Agglomerate bilden und mit geeigneten Einrichtungen abgetrennt werden können. Die Bergeteilchen werden nicht benetzt und verbleiben in Suspension. Als Rückstände entstehen **Feinstberge** und ein **Feinstschlammsumpf mit Wasserableitung**.

Ein weiteres Sonderverfahren stellt die **Entschwefelung der Steinkohle** dar. Sie hat das Ziel, den Schwefeldioxidausstoß bei der Kohleverbrennung zu senken. Schwefel liegt in der Steinkohle elementar, organisch gebunden, als Sulfat- oder Sulfidschwefel (Pyrit) vor.

Elementarer Schwefel wurde zumindest in der Steinkohle der alten Länder noch nicht gefunden. Der organische Schwefel ist Bestandteil der Kohlesubstanz (in Deutschland 0,6 – 1 %) und kann aufbereitungstechnisch nicht entfernt werden.

Die **Teilentschwefelung** der Steinkohle beruht daher weitestgehend auf der Entfernung von Pyrit (FeS_2), wofür es verschiedene mechanische (nass- u. trocken arbeitende) und chemische Verfahren (*SRC-Prozess, Meyers-Verfahren*) gibt. Die trockene Entschwefelung wird in kohlestaubgefueerten Kraftwerken durch Aufbereitung des Rücklaufes aus dem Klassierer der Kraftwerksmühlen durchgeführt.

Auf die einzelnen Verfahrensschritte soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. In der Literatur (z. B. /Ullmann, 1979/ und /Winnacker und Küchler, 1982/ finden sich zahlreiche Detailbeschreibungen sowie Grundfließbilder zu den Entschwefelungsverfahren. Tabelle 5 gibt Rückstände und Ableitungen an, die entstehen können.

Verfahren	Rückstand, Ableitung	Entschwefelung/ Entaschung
Olifloc-Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> eingedickte Feinstberge nach Flotation Abwasser aus Feinstschlamm-Sumpf Sumpfungs-Rückstände (Fein- u. Feinstschlamm-Sumpf) 	aus Rohschlamm mit 35 % Asche wird Konzentrat mit 10 %
Teilentschwefelung von Rohfeinkohlen (Pyritschwefelentfernung im Nass-Verfahren)	<ul style="list-style-type: none"> Berge-Pyrit* aus Flotationsmaschine Berge-Pyrit* aus Nassschüttelherd Berge-Pyrit* aus Trockensorierung von Sichterstaub Waschberge aus Feinkornsortierung Eindickung aus Sammelsumpf Sumpfungs-Rückstände (Pumpensumpf) Abwasser 	Entfernung von 60-75 % des in der Rohfeinkohle enthaltenen Schwefels; Senkung des S-Gehaltes auf < 1 %
SRC-Prozess (solvent refined coal) Vorläufer: deutsches Pott-Broche-Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> Asche und Rückstände KW-Gase H_2S Gasreinigungsrückstände Asche Gemisch aus Pyrit, Mineralbestandteilen, ungelöster Kohle Leichtdestillat (Gemisch verschiedener Stoffe der Ausgangskohle) 	Reduktion von Pyritschwefel und organischem Schwefel auf 0,4 – 0,9 %
Meyers-Prozess	<ul style="list-style-type: none"> Asche Gips ($CaSO_4$) elementarer Schwefel Eisensulfat Dampf 	Entfernung von 95 % Pyritschwefel

* Berge-Pyrit = pyritreiche Berge

Tabelle 5: Art der anfallenden Rückstände bei Sonderverfahren der Steinkohle-Aufbereitung

Die Anfänge der Steinkohle-Aufbereitung sind ungefähr in das Jahr 1850 zu datieren. Nach Literaturangaben wurde 1849 die erste Kohlensieberei und Wäsche auf der Zeche *Victoria Mathias* (Essen) betrieben.

6 RÜCKSTÄNDE BEI ABBAU, FÖRDERUNG UND AUFBEREITUNG

Beim Steinkohle-Bergbau in Deutschland entstehen Rückstände (Reststoffe) bei folgenden Prozessen:

- **Abbau und Förderung der Rohkohle aus der Grube**
- **Vorbehandlung der Rohkohle**
- **Aufbereitung der Rohwaschkohle**

Wie aus den Kapiteln 4.3, 4.4 und 5 hervorgeht, entstehen dabei folgende wesentliche Rückstände (Tabelle 6):

Bergwerk-Prozess	Rückstandsart
Abbau und Förderung	Grubenwasser Grubengas (Methan, CO ₂) Grubenberge
Vorbehandlung	Grobberge
Aufbereitung	Waschberge (Grobberge, Feinberge, Flotationsberge*) Abwasser, Prozesswasser-Rückstände

* Flotationsberge = Feinstberge

Tabelle 6: Wesentliche Rückstände, die bei den Prozessen im Bergwerksbetrieb anfallen

Berge ist der bergmännische Ausdruck für das bei der **Grubenbauherstellung** anfallende Gestein und das bei der **Gewinnung** mitgeförderte Gestein, welches bei der **Aufbereitung** abgetrennt wird. Nebengestein, das abbautechnisch bedingt aus dem Gebirgsverband gelöst wurde, nennt man **Grubenberge** (auch Ausrichtungsberge), wohingegen die in der Aufbereitung als Aufbereitungsabgänge entstehende Berge als **Waschberge** (auch Aufbereitungsberge) bezeichnet wird. Bei der Vorbehandlung anfallende Berge wird in der **Bergevorabscheidung** als Grobberge abgeschieden.

Die Berge wird aufgeschüttet (**Bergehalde**) oder als Versatzmaterial im Tiefbau verwendet (vgl. Kapitel 4.3). Dabei kann es vermieden werden, Grubenberge nach Übertage zu transportieren und aufzuhalden. Auch im **Damm- und Deichbau** ist eine begrenzte Nutzungsmöglichkeit gegeben, ebenso im **Straßenbau**. In Betrieben mit Tagebau werden die Abgänge zur Rekultivierung der Abbaufelder eingesetzt.

Da das Einbringen von Versatz sehr kostenintensiv ist, wird heutigentags lediglich ein geringer Bergeanteil in die Gruben zurücktransportiert (ca. 3 % gemäß Abbildung 10), vornehmlich bei Flözmächtigkeiten > 5 m sowie in der steilen und halbsteilen Lagerung und bei Sondermaßnahmen zum Schutz der Oberfläche.

Bergeanteile (Fein- und Flotationsberge) werden außer auf Halden in **Absetzteichen**, (auch Absink-Weiher, Flotations-Weiher, Klärteiche genannt) akkumuliert. Meist

werden dafür natürliche Vertiefungen genutzt. Dem Vollwerden der Teiche wird mit Neu-anlage begegnet oder mit Aushub, wobei das Aushubmaterial wiederum aufgehaldet wird.

Der größte Teil des **Grubenwassers** wird in die Vorfluter eingeleitet. Die im Grubenwasser gelösten oder suspendierten Bestandteile können Kontaminationen der nachliegenden Gewässer verursachen und sich in den Sedimenten dieser Gewässer ablagern. Durch Klärung und Filterung kann eine Schadstoffreduktion erreicht werden.

Aus der Grube unkontrolliert austretendes und über die Abwetter in die freie Atmosphäre abgeleitetes **Grubengas** trägt zum Treibhauseffekt bei. In Deutschland ist es üblich, einen möglichst großen Anteil abzusaugen und nach Übertage zu leiten (vgl. Kapitel 4.4), jedoch blieb bislang der wirtschaftliche Einsatz des abgesaugten Gases beschränkt.¹

Das **Abwasser** wird meist in kommunalen Kläranlagen verarbeitet, wobei sich die Schadstoffe im Klärschlamm wieder finden können.

Prozesswasser-Rückstände werden heute eingedickt und flotiert, um den Kohleanteil rückzugewinnen. Früher wurden sie in die Absetzteiche und –becken gegeben oder in die Vorflut eingeleitet. Nur eine der recherchierten Quellen gibt die Aufhaltung bzw. Beseitigung auf eine geordnete Deponie (evtl. Sondermülldeponie) bei Vorliegen von Schadstoffen an.

Eine weitere wesentliche Beeinflussung der Umwelt besteht in der Verursachung von **Bergschäden**. Dies sind Störungen des Gebirgsverbandes, die sich besonders durch Oberflächenabsenkungen äußern. Besondere Bedeutung erhalten diese Absenkungen beim Abbau unter bebauten Gebieten, Straßen, Gewässern, Kanälen und Hochspannungsleitungen. Grundwasserbeeinträchtigungen können durch Störung der wasserführenden und –abdichtenden Schichten erfolgen. Zur Vermeidung oder zumindest Verminderung der Schäden kann die vorlaufende Ablaufplanung optimiert werden (z. B. durch Berechnungsverfahren im Markscheidewesen/Bergschadenskunde, digitale Geländemodelle).

Während der Anteil der in die Aufbereitung gehenden Rohkohle in manchen Ländern eher als gering (z. B. China: 18 %; Indien: 9 %) einzustufen ist, liegt er in Deutschland bei 100 %; zum weiteren Vergleich: USA: 50 %, Australien: 70 %, GB: 85 %, Polen: 100 %.

In der **Rohkohleisieb- und Brechanlage** erfolgt eine Vorkalibrierung auf 120 – 150 mm unter gleichzeitiger Befreiung des Siebüberlaufes von Fremdkörpern (Holz- und Eisenteile). Die im Rahmen der **Rohkohlenvorbehandlung** durchgeführte lohnintensive **Handklaubung** von großen Bergen (schwere Steine) wird heute nicht mehr angewendet. Nur im Einzelfall erfolgt eine **Bergevorabscheidung** von groben Bergen mittels Schwertrübeanlagen (in Einzelfällen mittels Setzmaschinen), im Normalfall werden die groben

¹ In /Ullmann, 1979/ wird hingegen angegeben, dass das abgesaugte Gas verwertet wird. 1974 betrug nach dieser Quelle das abgesaugte Gas 300 Mio. m³.

Berge mit zerkleinert (vgl. Abbildung 8). Von 1975 insgesamt 52 betriebenen Aufbereitungsanlagen waren 13 Anlagen mit Schwertrübe-Bergevorabscheidungen ausgerüstet.

Der bei der trockenen **Klassierung** der Rohfeinkohle durch Windsichtung (Feinstkornabtrennung) anfallende **Sichterstaub** wird in zunehmendem Maße nicht den Fertigprodukten zugemischt werden, sondern sortiert (vgl. Abbildung 8).

Die gravimetrische **Sortierung von Grobkorn** (150 (120) - 10 mm) wird in Deutschland hauptsächlich mittels Setzmaschinen (Dichtetrennung durch pulsierendes Wasser) und Schwertrübescheidern ausgeführt. Für die **Sortierung von Feinkorn** (10 – 0,5 mm) sind ausschließlich Setzmaschinen im Gebrauch. Die **Feinstkornsortierung** kann mittels Schüttelherden erfolgen (bis 0,063 mm), in Deutschland zunehmend mittels **Flotation** (vgl. Kapitel 5). Rinnensortierung und Herdaufbereitung haben sich hierzulande nicht durchgesetzt, letzteres gewinnt durch den Zwang zur Pyritschwefelabscheidung an Bedeutung.

Die Sortierung von hauptsächlich stark verwachsenen und hochwertigen Steinkohlen (z. B. Anthrazitaufbereitungen) in Stoffsuspensionen (Schwertrüben) mittels **Schwertrübescheidern** (Kasten-, Trommel-, Trog-, Band-, Heberabscheider) erfolgt unter Zugabe von **Schwerstoffen** (vgl. Kapitel 5). Auswahl und Körnung des Schwerstoffs werden vom angewandten Regenerierverfahren (Magnetscheider, Schwerkraft) mitbestimmt. Während man anfangs **Ton, feinste Berge, Schwerspat, Löß** und **Schwefelkies** benutzt hat, verwendet man heute fast ausschließlich fein gemahlenen **Magnetit** und **Ilmenit**. Der Verbrauch dieser Stoffe liegt für die Grobkornsortierung bei 100 g/t und für die Feinkornaufbereitung bei 350 g/t und mehr.

Obwohl die erzielbare Trennschärfe bei der Schwertrübesortierung relativ hoch ist, hat die Verbesserung der Setzmaschinentechnik (z. B. Stromsetzmaschinen) dazu geführt, dass in Deutschland die **Setzmaschinensortierung** die Schwertrübesortierung in den Hintergrund gerückt hat. 1975 wurde die damals größte Grobkornsetzmaschine der Welt in einer Aufbereitungsanlage des Ruhrgebietes installiert (Durchsatz: 835 t/h).

Vor, während oder nach der **Flotation** werden der Flotationstrübe **Flotationsmittel** zugeführt; als Sammler: Dieselöl, als Schäumer: Kiefernöl, Kresol oder Alkohole (z. B. Methylisobutylcarbinol). Der Flotationsmittelzusatz liegt bei 0,5 – 0,6 kg/t Rohkohle (Sammeler < 500 g/t, Schäumer: 120 – 250 g/t).

Der Anteil der zu flotierenden Rohkohle liegt in Deutschland heute bei ca. 10 bis 15 % (Hinrichs et al., 1999). Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen die Flotationsanteile in der Vergangenheit.

	1939	1950	1975	1978
Anteil der flotierten Rohwaschkohlen [%]	1,1	9,0	10,5	14,0
Kapazität der Flotationsanlagen [t/h]	300	1100	2000	2700

Tabelle 7: Anteil der Flotation an der Steinkohlenaufbereitung /Winnacker und Küchler, 1982/

	1950	1957	1960	1970	1975*	1977
Anteil der flotierten Rohkohlenförderung [%]	1,65	.	3,80	6,80	8,8	.
Anteil der flotierten verwertbaren Förderung [%]	2,46	.	5,50	10,57	14,7	.
Anteil des flotierten Schlammanfalls [%]	24,4	.	43,5	68,0	84,0	.
Durchsatz Mt/a	2,73	6	7,82	11,66	14,0	14,0
Kapazität der Flotationsanlagen [t/h]	650	.	1880	2740	3000	.

* geschätzt

Tabelle 8: Anteil der Flotation an der Steinkohlenaufbereitung /Ullmann, 1979/

Die Zahlenangaben der verschiedenen Quellen entnommenen Tabellen konvergieren nicht vollständig. Aus beiden Tabellen kann man jedoch folgendes ablesen: obwohl die Flotation bei der Steinkohleaufbereitung bereits seit den zwanziger Jahren des 20. Jh. gebräuchlich war, kann sie erst seit den fünfziger Jahren als eine nennenswerte Aufbereitungsmethode angesehen werden.

Die **Flockungsmittelzugabe** bei der **Prozesswasserklärung** beträgt 25 – 500 g/t Feststoff. Bei der Waschwasserklärung werden etwa 1g/m³ synthetische Sedimentationsbeschleuniger zugegeben.

Die Standard-Unterbringung der Flotationsberge (Bergetrübe mit Feststoffgehalt von 30 bis 40 g/l) sind natürliche **Teiche** oder künstlich angelegte **Becken**. Wenn die Becken und Teiche verfüllt sind, werden, wie bereits oben erwähnt, neue angelegt oder es wird der Inhalt nach genügender Entwässerung ausgebaggert und aufgehaldet. Das geklärte Wasser wird in die **Vorflut** gegeben oder in die Wäsche zurückgenommen (Prozesswasserkreislauf) /Becker, 1967/.

Bezüglich einer **quantitativen Bewertung des Bergeanfalls** in deutschen Steinkohle-Zechen konnten für das Jahr 1994 konkrete Zahlen der Literatur entnommen werden /Hinrichs et al., 1999/: Zur **Förderung einer Tonne Steinkohleneinheit** (= 1,1 t Handelskohle) aus den Gruben fielen an wesentlichen Rückständen/Reststoffen an:

Grubenwasser: 3,175 m³
Methan: 22,13 m³

In der nachfolgenden **Aufbereitung** fielen an:

Waschberge: 0,926 t
Abwasser: 0,652 m³

In Abbildung 10 wurde ein entsprechendes Flussbild nach den Angaben aus /Hinrichs et al., 1999/ erstellt.

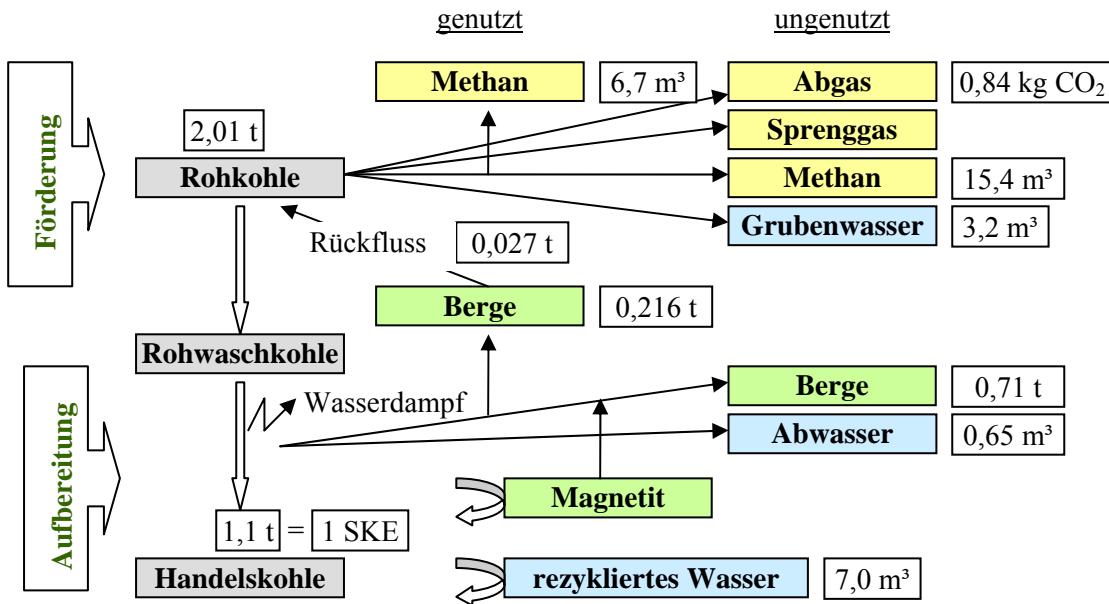


Abbildung 10: Stoffmengenflüsse bei der Steinkohlenförderung und -aufbereitung in Deutschland, 1994, bezogen auf 2,01 t Rohkohle = 1 t_{SKE} (Zahlenangaben nach Hinrichs et al., 1999/)

Tabelle 9 enthält alle für die Fragestellungen des vorliegenden Kapitels relevanten Angaben. Zum Vergleich wurden in diese Tabelle auch die entsprechenden Angaben der in Deutschland eingesetzten Kohle (Eigenproduktion + Import) sowie der Weltförderung aufgenommen.

Bezug	Rückstände, BRD für 1 t SKE produzierte Kohle	Rückstände, BRD für 1 t SKE eingesetzte Kohle	Rückstände, Weltförderung für 1 t SKE
Rohkohle [Mio. t/a]	103,2	.	3931,1
Handelskohle [Mio. t _{SKE} /a]	51,2	72,4	2503,9
Handelskohle [Mio. t/a]	55,5	.	3154,9
Rohkohle [t/t _{SKE}]	2,01	.	1,57
Anteil an jährlicher Gesamtproduktion [%]	96,6	.	91,0
Förderung u. Vorbehandlung			
Abraum [t/t _{SKE}]	-	1,05	4,718
Grubenberge [t/t _{SKE}]	-	0,01	0,054
Grubenwasser genutzt [m ³ /t _{SKE}]	-	3,20	0,727
Grubenwasser ungenutzt [m ³ /t _{SKE}]	3,175		1,615
Methan genutzt [t/t _{SKE}]	6,7	20,60	8,850
Methan ungenutzt [t/t _{SKE}]	15,4		12,650
Abgase [kg CO ₂ /t _{SKE}]	0,84		3,69
Chlorid [kg/t _{SKE}] (in Grubenwasser)	29,4		.
rezykliertes Wasser [m ³]	7,0		3,2
Einsatz Frisch-/Brauchwasser [m ³ /t _{SKE}]	0,979	0,88	0,229
Einsatz Grubenwasser [m ³ /t _{SKE}]	-	0,06	0,173
Einsatz Bergversatz (Waschberge) [t/t _{SKE}]	0,027	0,04	0,078
Einsatz Abraum [t/t _{SKE}]	-	1,05	.

Aufbereitung			
Anteil der aufbereiteten Rohförderung [%]	100	.	46,6
Mengenausbringen [%]	55	.	60,1*
Waschberge genutzt [t/t _{SKE}]	0,216	0,62	0,110
Waschberge ungenutzt [t/t _{SKE}]	0,71		0,208
Abwasser [m ³ /t _{SKE}]	0,65	0,65	0,268
Magnetit [kg/t _{SKE}]	.	0,11	0,091
Hilfsstoffe [kg/t _{SKE}]	.	.	0,065
Einsatz Frischwasser [m ³ /t _{SKE}]	.	.	0,229
Einsatz Grubenwasser [m ³ /t _{SKE}]	-	.	0,106

* bezogen auf den Teil der Rohförderung, der aufbereitet wird

Tabelle 9: Rückstands- und Einsatzmengen zur Erzeugung von 1 t_{SKE} Handelskohle

- Bundesrepublik Deutschland 1994: bezogen auf Förderung von 51,2 Mio. t_{SKE} = 96,6 % der Steinkohlenproduktion in Deutschland = 1,9 % der Steinkohle-Weltproduktion
- Bundesrepublik Deutschland 1994: bezogen auf 72,4 Mio. t_{SKE} (Eigenproduktion + Import)
- Welt = 11 Länder: bezogen auf 2503,9 Mio. t_{SKE} = 91 % der Steinkohle-Weltproduktion (nach Hinrichs et al., 1999/)

Der **Bergeanteil der Rohförderkohle** ist keine konstante Größe. Infolge der Mechanisierungsmaßnahmen ist er im Laufe der Förderjahre stetig gewachsen.

Nach /Ullmann, 1979/ stieg der Bergegehalt der Rohförderkohle in den Jahren 1956 bis 1975 von 27,2 % auf 43,7 % (Tabelle 10).

Die Prozentangaben in Tabelle 10 stimmen sehr gut mit Zahlen aus /Winnacker und Küchler, 1982/ überein, wo der Bergeanteil der geförderten Rohkohle von 1950 bis 1980 wiedergegeben ist. Die Kurve aus Abbildung 11 wurde nach diesen Angaben erstellt.

Auch der Feinstkorngehalt der Rohkohle stieg an (Tabelle 10). Diese Verschlechterungen der Rohkohleeigenschaften sind das Ergebnis von Bemühungen, die wirtschaftliche Lage des deutschen Steinkohle-Bergbaus durch Rationalisierungsmaßnahmen im Untertagebereich zu verbessern.

	1956	1975
Bergegehalt der Rohförderkohle [%]	27,2	43,7
Feinstkorngehalt (< 0,5 mm) der Rohförderkohle [%]	10	15

Tabelle 10: Bergeanteil und -Feinstkorngehalt geförderter Rohkohle (/Ullmann, 1979/)

Die angegebenen Feinstkorngehalte (< 0,5 mm) in /Becker, 1967/ stimmen gut mit denen aus Tabelle 10 überein: 1950: 8 %, 1960: 16 %.

Aus Tabelle 9 folgt für 1994 ein Bergegehalt der Rohförderkohle von 46 % (0,926/2,01), so dass sich von 1980 (ca. 44 %) bis 1994 der Bergeanteil nur geringfügig erhöht hat.

Abbildung 11 zeigt eine grafische Darstellung von Rohkohle-Bergeanteilen für Deutschland /Winnacker und Küchler, 1982/ und für das Ruhrgebiet /Wiggering und Kerth., 1991/.

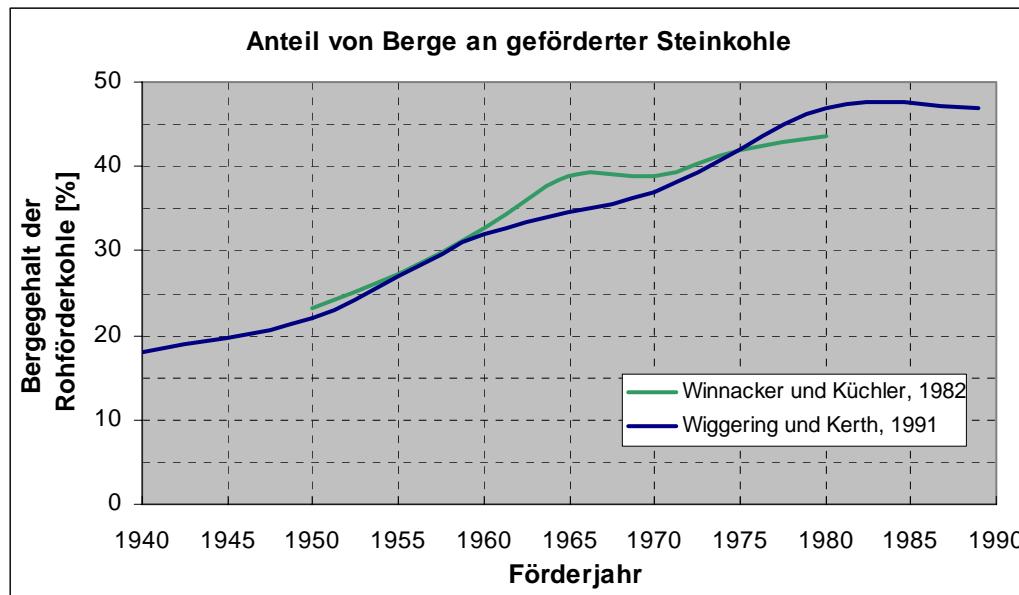


Abbildung 11: Bergeanteil gefördeter Rohkohle für Deutschland (nach /Winnacker und Küchler, 1982/ und für das Ruhrgebiet /Wiggering und Kerth., 1991/)

In /Becker, 1967/ wird der Bergeanteil für das Aachener Revier und das Ruhrgebiet für das Jahr 1960 mit 35 % beziffert.

Aus Angaben zur Rohkohleförderung /BMWT, 1999/, /BMWT, 2003/ und zur verwertbaren Förderung /Kohlenwirtschaft, 2004/ wurde der Bergeanteil entsprechend Tabelle 11 ermittelt.

Jahr	Rohförderung [Mio. t]	Verwertbare Förderung [Mio. t]	Berge [Mio. t]	Bergeanteil [%]
1988	139	79	60	43
1989	135	77	58	43
1990	133	75	58	43
1991	128	71	56	44
1992	128	71	58	45
1993	112	63	49	44
1994	101	56	45	45
1995	106	57	48	46
1996	95	52	43	45
1997	91	49	42	46
1998	82	44	38	47
1999	79	42	36	46
2000	66	36	30	46
2001	57	29	28	49
2002	55	28	26	48

Tabelle 11: Bergeanteil gefördeter Rohkohle für Deutschland; berechnet aus Angaben nach /BMWT, 1999/, /BMWT, 2003/, /Kohlenwirtschaft, 2004/ (benutzter Umrechnungsfaktor für verwertbare Förderung: 1,08 t/t_{SKE})

Für die oberbayerische Pechkohle konnten folgende Angaben ermittelt werden /Fischer, 2004/:

Über die Gesamtförderzeit in Peißenberg (Ende am 31.03.1971) wurden ca. 40 Mio. t verwertbare Kohle gefördert und 40 Mio. t Berge aufgehaldet. Daraus ergibt sich ein **durchschnittlicher Bergeanteil von 50 %**.

Unter Verwendung sämtlicher oben angeführter Datenquellen wurde die in Abbildung 12 rot gezeichnete Kurve ermittelt, die den Bergeanteil von 1940 bis 2003 wiedergibt.

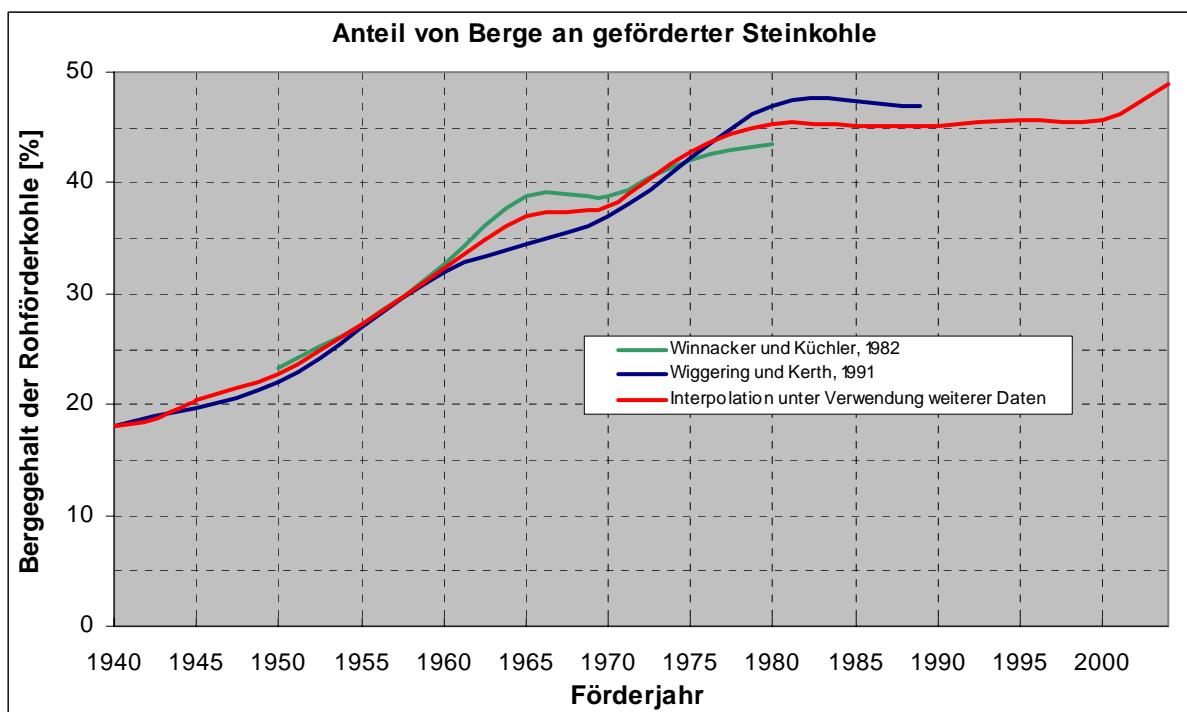


Abbildung 12: Bergeanteil gefördelter Rohkohle für Deutschland (rote Kurve unter Verwendung aller vorhandenen Daten erstellt) für den Zeitraum 1940 bis 2004

Unter Verwendung der Kurve aus Abbildung 12 sowie aller historischen Informationen, die in vorliegendem Projektteil 3a angeben sind, wurden die Kurven von Abbildung 13 sowie Abbildung 16 erstellt.

Die in Abbildung 16 dargestellte Aufteilung der Bergeanteile in Grob-, Fein- und Feinstberge entspricht dem Bergezustand nach Verlassen der Grubengebäude und Aufbereitungsanlagen. Während der späteren Lagerung der Berge verändern sich die Korngrößenverhältnisse infolge der Bergezersetzung durch die verschiedenen physikalischen Verwitterungsprozesse. Es bildet sich ein typisches zeitabhängiges und tiefenabhängiges Gefüge aus. Dabei zeigt sich bei älteren Halden eine deutliche Abstufung des Feinkornanteils von oben nach unten. Während im oberen Verwitterungshorizont (ca. 20 cm) die Feinstkornanteile bis zu 50 % betragen können, erreichen sie in tieferen Schichten Werte bis ca. 5 % /Wigginger und Kerth, 1991/.

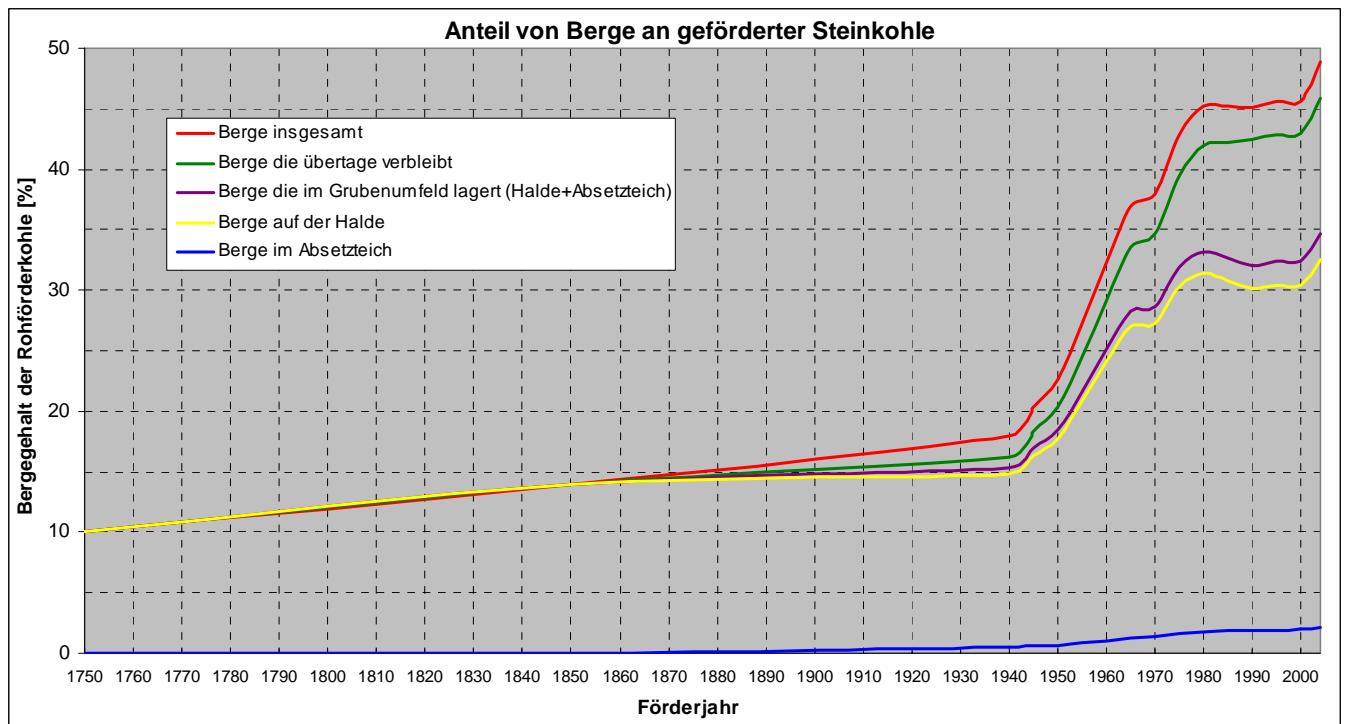


Abbildung 13: Berechnete Bergeanteile gefördelter Rohkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004

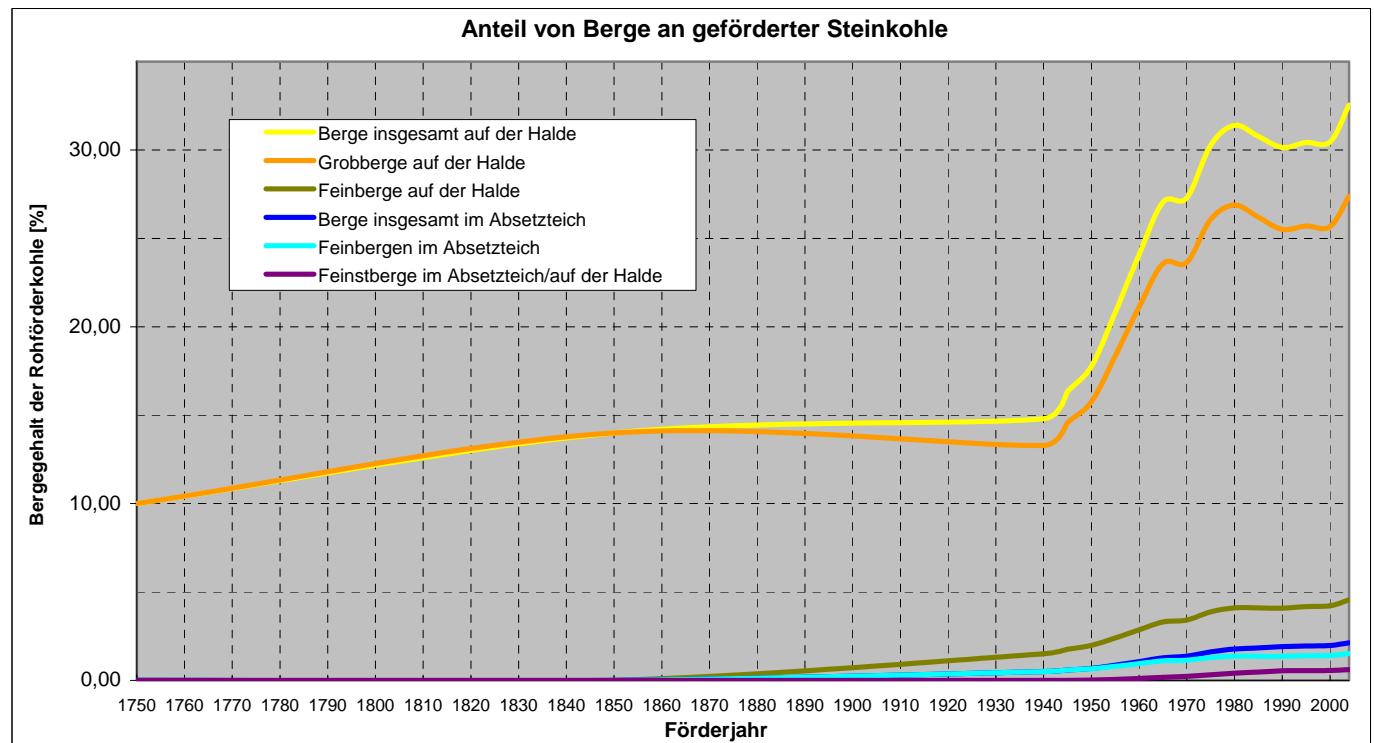


Abbildung 14: Berechnete Grob-, Fein- und Feinstbergeanteile gefördelter Rohkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004
(die Kurven für den Feinstbergeanteil im Absetzteich und auf der Halde sind deckungsgleich)

Früher versuchte man das Bergematerial vor Ort möglichst aus der Förderung herauszuhalten. Nachdem man durch die Mechanisierung der Kohlegewinnungs- und Ausbauverfahren leistungsfähige Abbaubetriebe geschaffen hatte, nahm der Bergeanfall drastisch zu. Hinzu kommt, dass durch die Verlagerung des Abbaus in größere Teufen aus klimatischen Gründen und zur Beherrschung des Gebirgsdrucks größere Streckenquerschnitte mit mehr Gesteinsausbruch erforderlich sind. Die Folge ist ein Anstieg des Bergeanteils an der Rohförderung.

Die bei der Grubenbauherstellung und Grubenbauunterhaltung anfallende **Grubenberge** wird entsprechend ihrer Herkunft nach **Teuf-, Vorrichtungs-, Querschlag und Senkberge** unterschieden. Die Teufberge entstehen beim Teufen von Schächten. Ihre petrographische Zusammensetzung ist sehr wechselhaft entsprechend der Zusammensetzung des Deckgebirges (Kalkstein, Mergelstein, Ton, Tonstein, Sandstein, Dolomit, Anhydrit u. a.) /Düngelhoff et al., 1983/. Vorrichtungs- und Querschlagsberge fallen beim Auffahren von Strecken und Querschlägen an und enthalten einen hohen Anteil an Sandstein.

Der größte Bergeanteil entfällt auf die bei der Aufbereitung abgetrennte **Waschberge** (s. oben). Ihre Herkunft ist der Nachfall aus dem Hangenden (**Hangendnachfall**), Verunreinigung oder **Bergemittel aus dem Flöz** (Gesteinsbänke – vgl. Kapitel 3) sowie Mitnahme aus dem Liegenden (**Liegendmitschnitt**) infolge des mechanisierten Abbaus (Strebausbau auf standfeste Schichten setzen). In Waschberge ist ein höherer Anteil an Tonstein als in den Vorrichtungsbergen enthalten.

Tabelle 12 enthält prozentuale Anteile von Berge verschiedener Herkunft.

Herkunft der Berge	Anteil [%]	Bergeart
Unterhalten der Grubenbaue	8	Grubenberge
Ausrichtung	7	
Flözstreckenvortrieb	17	
Liegendmitschnitt	14	
Hangendnachfall	17	Waschberge
Störungsdurchörterung	2	
Bergemittel im Flöz	35	

Tabelle 12: Anteile der Berge nach ihrer Herkunft /Wiggering und Kerth, 1991/

Der **Bergegehalt von Rohförderkohle** unterscheidet sich in den einzelnen Fördergebieten (z. B. im Aachener Revier größer als im Ruhrgebiet) und **differiert** auch von Betrieb zu Betrieb. Im Ruhrgebiet liegt er z. B. bei ca. 40 – 48 %, in Einzelfällen sogar bei über 55 %. Mehr als 60 % entfallen auf die Gewinnung im Streb und etwa 40 % fallen bei der Streckenauffahrung und Nebenarbeiten an /Hinrichs et al., 1999/. Nach Tabelle 12 lauten die entsprechenden Zahlen und 68 % und 32 %.

Verringerungspotentiale für den Bergeanfall sind: profilgenauer Streckenvortrieb, Doppelnutzung von Abbaustrecken, Verhinderung von Hangendausbrüchen und Verringerung von Senkarbeiten. Hangendnachfall wird durch Strebausbau mit Anstellschiebekappen und Gleichlaufsteuerung verhindert, Hangend- und Liegendmitschnitt wird durch au-

tomatische Höhensteuerung sowie Sensoren an den Gewinnungsmaschinen (Hobel, Walzenlader) reduziert, welche die Grenzschicht zwischen Kohle und Nebengestein erfassen.

Mit fortschreitender Abbautiefe werden die Verringerungspotentiale jedoch eingeschränkt. Die Temperaturerhöhung (vgl. Kapitel 4.4), die Zunahme der Abbaukonzentration und der Betriebspunktfördermenge erfordern eine erhöhte Wettermenge, was wiederum eine Vergrößerung der Streckenquerschnitte zur Folge hat. Ansteigende Gebirgs- und Zusatzdruckeinwirkungen führen ebenfalls zu höherem Bergeanfall (stärkere Konvergenzen).

Falls die Reduktion des Bergeanfalls ein betriebliches Ziel ist, kommt auch ein kostenintensiver selektiver Abbau von Ober- und Unterbank bei Doppelflözen mit Bergmittel $> 0,5$ m in Betracht.

Wie bereits mehrmals geschildert, wird nicht der gesamte Bergeanfall aufgehaldet. Ein Teil geht in den Bergversatz und/oder in den Fremdabsatz. Für das Ruhrgebiet konnten aus dem Jahr 1989 entsprechende Anteile in der Literatur gefunden werden (Tabelle 13).

Art der Verwendung	Aufkommen [Mio. t]	Anteile [%]
Verwertbare Kohle	55,7	.
Berge insgesamt	50,3	.
Versatz	2,8	6
Fremdabsatz	11,6	23
Halde	35,9	71

Tabelle 13: Anteile der einzelnen Berge-Verwendungsarten; Ruhrgebiet 1989 /Wiggering und Kerth, 1991/

Aus den Zahlenangaben von Tabelle 13 folgt ein Bergeanteil von 47,5 %.

Infolge der in den 60er Jahren beginnenden Mechanisierung und der damit einhergehenden Abbauminderung in der steilen Lagerung der Kohlenflöze hat sich der Bergversatz zunehmend verringert. Durch die Weiterentwicklung der Versatztechnik und der Erfordernis eines vermehrten Bergversatzes (begrenzte Ablagerungsflächen für Berge, vor allem vor dem Hintergrund der Nordwanderung des Ruhrbergbaus, Vermeidung von Bergschäden an Vorflutern, Wasserstraßen, Eisenbahnen, Autobahnen, Rohrleitungen, Gebäuden) konnten den Versatz stabilisieren.

Für den Fremdabsatz kommen folgende Möglichkeiten in Betracht /Wiggering und Kerth, 1991/:

- Deichbau (Wasserverbände, Schifffahrtsämter)
- Dammbau (Bahn, Straßenbau)
- Tiefbau (Straßenbauämter, Privatbauherren)
- Baustoffindustrie (Sand-, Splitt-, Schotter-, Mineralgemische für Kalksandsteine, Pflastersteine, Beton)

- Auffüllen von Braunkohletagebauen
- Geländeauflägungen an der Nordseeküste
- Bau von Außenhäfen
- Verfüllung von Kalksteingruben/Kiesgruben/Sandgruben
- Verschiffungen (z. B. Holland, für Aufschüttungen Rheinohle, Rheindeich)

Tabelle 14 enthält Quantitäten für den Fremdabsatz von Bergematerial im Ruhrgebiet von 1987 bis 1989.

Art der Verwendung	1987 [Mio. t]	1988 [Mio. t]	1989 [Mio. t]
Deichbau	1,2	0,8	1,0
Dammbau	0,1	0,1	0,1
Verschiffungen	2,4	2,8	2,8
Verfüllungen	2,4	1,5	1,4
Erdbaumaßnahmen	4,9	5,0	5,2
gesamt:	11,0	10,2	10,5

Tabelle 14: Fremdabsatz von Berge im Ruhrgebiet in den Jahren 1987 – 1989 /Wiggering und Kerth, 1991/

Speziell für Flotationsbergen werden in /Becker, 1967/ die folgenden Unterbringungs- und Verwertungsmöglichkeiten genannt: Stapelung in Tagebauen (z. B. Kiesgruben), Ablagerung in eingedeichertem Küstenvorland der Nordsee oder in zu verfüllenden Binnengewässern, Verspülen in Untertagebaue, Verpressen in untertägige Gesteinsschichten, Aufhalden der mit Waschbergen vermischten Dicktrüben, gemeinsame Ablagerung von eingedickten Flotationsbergen mit Müll, Verfeuerung, Verarbeitung zu Mauerziegeln, Herstellung von Leichtbeton-Zuschlagstoffen, Blähtonherstellung, Portlandzementherstellung.

Fremdabsatz bedeutet, dass die Berge außerhalb des Bergwerkbetriebes verwertet wird. Damit werden große Materialmengen an Orte verfrachtet, die sich weitab vom Bergwerk befinden können oder es erfolgt eine großflächige Verteilung (z. B. bei der Baustoffsubstitution).

Die bei der Aufbereitung anfallende **Berge** besteht überwiegend aus **Schiefern, Sand-schiefern, Brandschiefern, Sandsteinen, Ton, Kalkstein, Gips, Kohle und Schwefelverbindungen (hauptsächlich Pyrit)**.

Das Kohlенаusbringen liegt z. Zt. weltweit zwischen 85 bis 97 %, im Mittel bei 94 %. Das heißt, dass heute durchschnittlich **6 % der Kohle** nicht gewonnen werden und sich **in der Berge** wieder finden. In früheren Zeiten war dieser Wert aufgrund der geringeren Wertstoffausbringung erheblich größer. Grubenberge, insbesondere Ausrichtungsberge, kann punktuell größere Kohleanteile aus Flözdurchtritten besitzen. Waschberge enthält Kohle infolge von Fehlausträgen im Aufbereitungsprozess sowie durch Verwachsungen feinster Kohle mit Nebengestein. Die Kohleverluste treten hauptsächlich **im Feinstkorn-**

bereich (< 0,5 mm) auf (vgl. Abbildung 8). Bei der herkömmlichen Flotation in Rührwerkszellen liegen die Kohleverluste im Kornbereich < 0,04 mm. Der Einsatz pneumatischer Flotationszellen (Erzeugung kleinerer Luftblasen) kann die Verluste in diesem Kornbereich reduzieren. Auch durch selektive Agglomeration (vgl. *Olifloc-Verfahren*, Kapitel 5) können Kohleverluste erheblich verringert werden (90 % Wertstoffausbringen).

Die Schwertrübesortierung erfolgt bei Trenndichten von 1,35 bis 1,50 gcm⁻³ und 1,70 bis 2,00 gcm⁻³. Bei fein verwachsener Rohkohle kann es dabei zu nicht unerheblichen Kohleverlusten kommen, wodurch der Kohleanteil in den Bergen zunimmt.

Massenanteile der nach Korngrößen klassifizierten Bergearten wurden in /Wiggering und Kerth, 1991/ angegeben. Aus Tabelle 15 geht hervor, dass mehr als zwei Drittel der Berge aus Grobberge besteht. Da Anteile von Fein- und Feinstberge auch in den Absink-Weiichern lagern, wird in den Halden der Grobbergeanteil vermutlich noch höher sein.

Bergeart	Korngröße [mm]	Massenanteil [%]
Grobwaschberge	> 10	70
Feinwaschberge	10 – 0,75	25
Feinstwaschberge	< 0,75	4 - 5

Tabelle 15: Massenanteile von Waschbergen in Deutschland /Wiggering und Kerth, 1991/

Bergeart	Massenanteil [%]
Schiefertone	50 - 70
Sandschiefer u. Sandsteine	20 – 40
Brandschiefer u. Kohle	5 - 15

Tabelle 16: Petrographische Zusammensetzung des Bergematerials /Wiggering und Kerth, 1991/

Der Mineralbestand von Bergen aus dem Steinkohlebergbau innerhalb eines Reviers ist sehr einheitlich. In Tabelle 16 ist die durchschnittliche **mineralogische Zusammensetzung** der Grob- und Feinberge aller Reviere des Ruhrkarbons dargestellt. Die Angaben wurden röntgenographisch ermittelt. Ergänzend ist in Tabelle 17 die durchschnittliche **chemische Zusammensetzung** frischer Grob-, Fein- und Flotationsberge von Schachtanlagen im Ruhrgebiet dargestellt. Chemische Analysen von bereits verwitterten Bergehalden haben gezeigt, dass sich die chemische Zusammensetzung trotz längerer Zeiträume der Verwitterung im Mittel nicht wesentlich verändert, die Schwankungsbreite ist jedoch deutlich höher.

Mineralogische Zusammensetzung		Chemische Zusammensetzung			
Mineral	[%]	Hauptbestandteile	Grobberge [%]	Feinberge [%]	Flotationsberge [%]
Illit	41 – 66	SiO ₂	51,8	47,5	35,5
Kaolinit	1 – 25	TiO ₂	1,0	0,9	0,7
Chlorit	1 – 5	Al ₂ O ₃	20,7	20,7	16,5
Summe Tonminerale	59 – 73	Fe ₂ O ₃	6,1	6,8	6,0
Feldspat	1 – 4	MnO	n.b.	n.b.	n.b.
Quarz	11 – 27	MgO	1,6	1,4	1,2
Siderit	1 – 4	CaO	0,4	0,8	1,4
Dolomit	0 – 5	Na ₂ O	0,8	0,7	0,6
Calcit	0 – 1	K ₂ O	3,6	3,6	2,8
Pyrit	<1 – 9	Glühverlust	13,4	16,7	33,4

Tabelle 17: Durchschnittliche Mineralogische /Düngelhoff et al, 1983/ und chemische /Wiggering und Kerth, 1991/ Zusammensetzung der Berge im Ruhrrevier

Nach /Winnacker und Kühler, 1982/ beträgt die geförderte Grubenwassermenge ca. **1 m³ Grubenwasser pro 1 t Rohförderkohle**. Der Bezugszeitraum für diese Zahl ist nicht mit angegeben, aus dem Kontext ist anzunehmen, dass es sich entweder um die siebziger Jahre des 20. Jh. handelt, oder – falls diese Größe keiner großen zeitlichen Änderung obliegt – eine größere Zeitspanne von den siebziger Jahren an rückwärts gemeint sein könnte. In jüngster Zeit scheint sich entsprechend der Angaben aus Tabelle 9 die Grubenwassermenge vergrößert zu haben (**1994: 1,58 m³/t Rohkohle**). Ein Grund dafür könnten aus fördertechnischen Gründen neu geschaffene Verbindungen zu bereits stillgelegten Gruben sein. Durch diese Zusammenlegungen muss in den noch aktiven Gruben auch das Wasser der bereits stillgelegten Grubenbaue mit abgepumpt werden. Eine Verringerung der Grubenwässer ist beim heutigen Stand der Technologie wahrscheinlich nicht möglich.

An vielen Stellen der Bergbauregionen sind die Wasserverhältnisse an der Oberfläche und das Grundwassergefüge so nachhaltig gestört, dass zur Vermeidung von Überschwemmungen auf sehr lange Zeiträume hin das Grubenwasser abgepumpt werden muss. Selbst dann, wenn keine Kohle mehr gefördert wird.

Nach /Fischer, 2004/ betrug der durchschnittliche Grubenwasseranfall bei der Förderung von Pechkohle $2,5 \text{ m}^3$ pro m^3 Rohkohle. Bei einer Dichte der Pechkohle von $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ folgen daraus ca. **2 m³ Grubenwasser pro 1 t Rohförderpechkohle**.

Unter Verwendung aller Informationen zu geförderten Grubenwassermengen sowie aller historischen Informationen, die in vorliegendem Teil 3a des Projektes angegeben sind, wurden die Kurve aus Abbildung 15 erstellt.

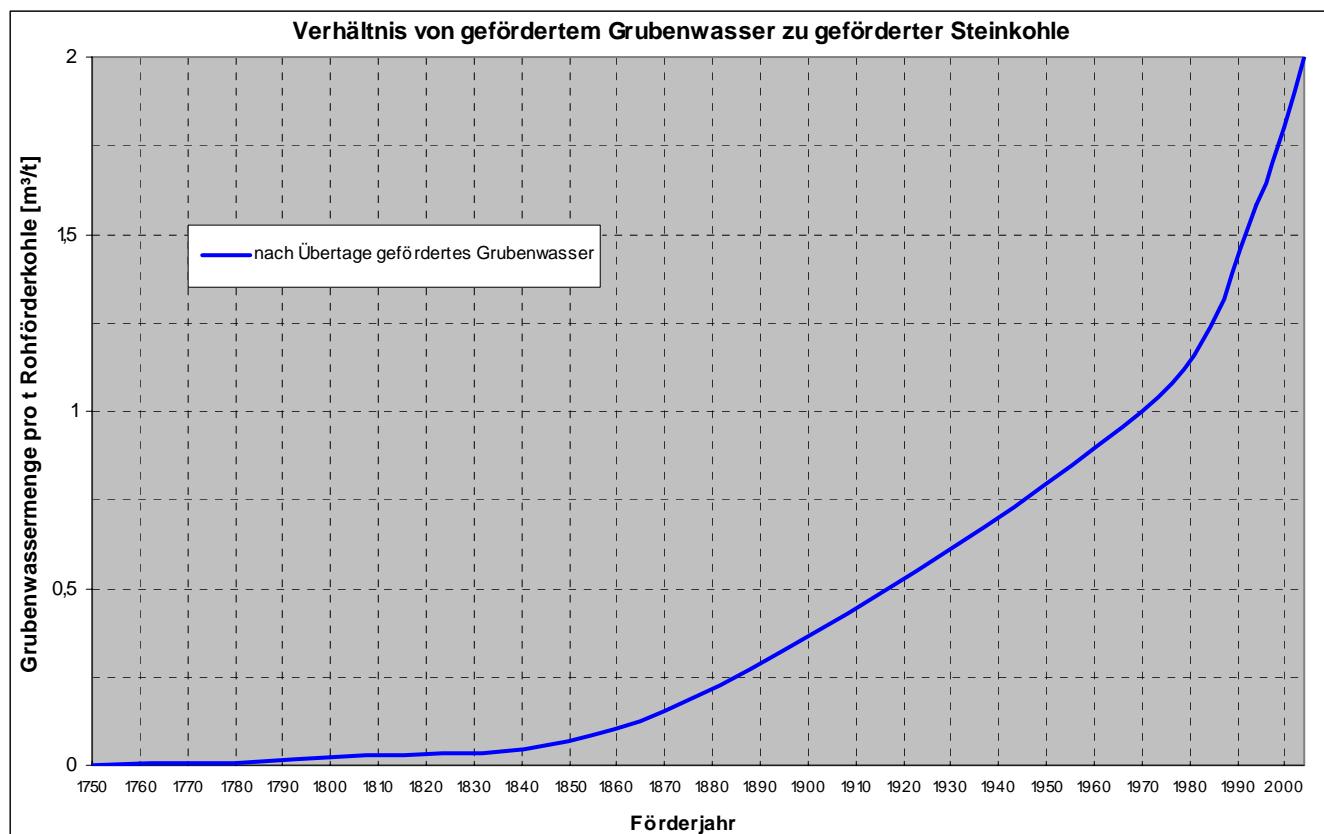


Abbildung 15: Berechnete nach Übertage geförderte Grubenwassermenge pro Tonne Rohförderkohle für Deutschland im Zeitraum 1750 bis 2004

7 NORM-MATERIAL

Aus Abbildung 16 geht hervor, dass die **radiologischen Auswirkungen der Hinterlassenschaften des Steinkohle-Bergbaus** nicht nur in Fachkreisen diskutiert und publiziert werden, sondern auch das Interesse der Öffentlichkeit auf sich ziehen können, zumal dann, wenn auf kommunaler Ebene öffentliche, private oder wirtschaftliche Interessen berührt sind.



Abbildung 16: Zusammenstellung verschiedener Pressemeldungen über radiologische Auswirkungen von Hinterlassenschaften des Steinkohlebergbaus

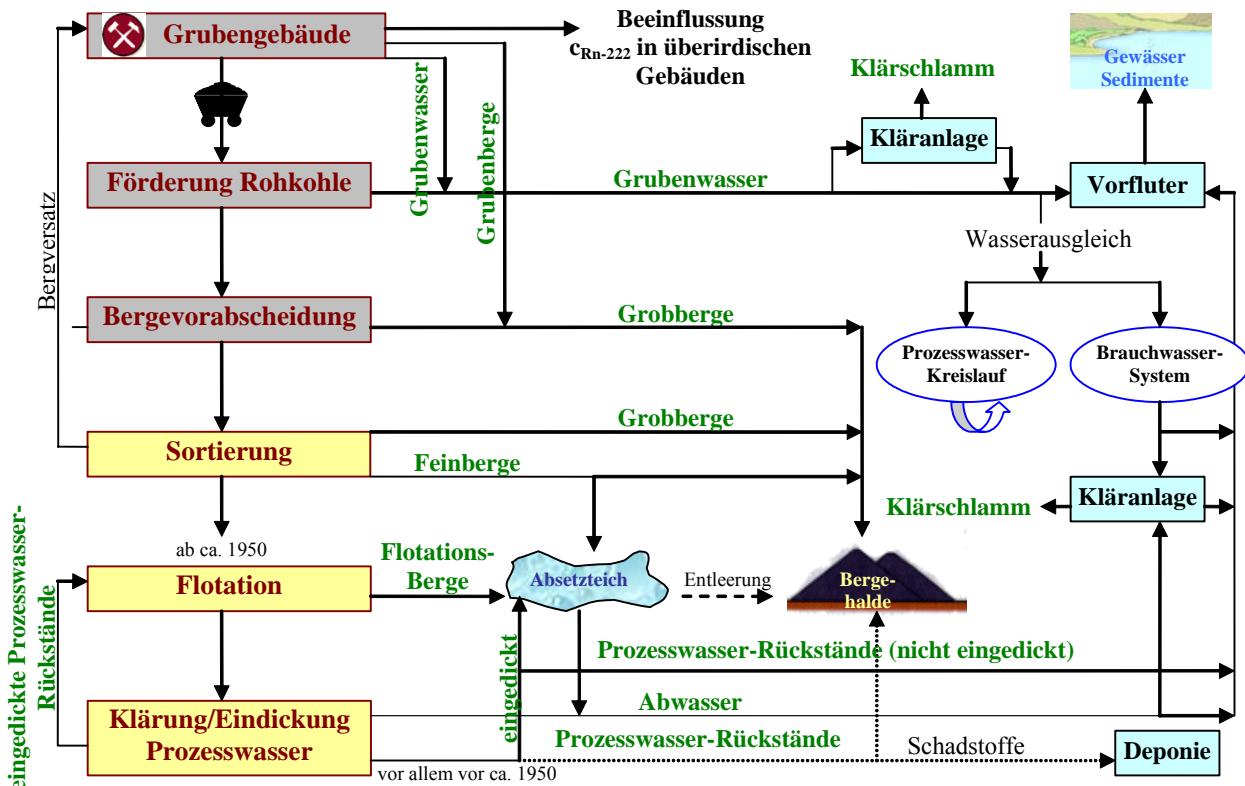
7.1 Entstehung und Klassifizierung der NORM-Rückstände

Der **Anfall von NORM-Rückständen** infolge des Abbaus, der Förderung und der Aufbereitung der Steinkohle sowie der diesbezügliche **Stofffluss** weisen zeitliche sowie förderrevier- und betriebsbezogene Unterschiede und Besonderheiten auf. Das in Abbildung 17 dargestellte Grundflussbild stellt die Stoffflüsse der NORM-relevanten Rückstände in ihrer allgemeinsten Form dar. Es entstand anhand von Literaturstudien über die Technologie der Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren und durch zahlreiche Gespräche mit Fachleuten /Bergverwaltung Saarland, 2004/, /Wotruba, 2004/, /DMT, 2004/,

/Kuschel_1, 2004/. Das Flussbild sollte aus dem bisherigen Textinhalt heraus verständlich sein. An dieser Stelle noch einige ergänzende Bemerkungen:

Wenn das Fassungsvermögen der **Absetzteiche** erschöpft ist, werden diese ausgekoffert oder es wird ein neuer Teich gesucht (vgl. Kapitel 6). Nach unseren Recherchen tendierte man im Saarland eher zur Neuanlage, wohingegen im Ruhrgebiet die Wiederbenutzung der Teiche bevorzugt wurde. Die Strichlinie deutet an, dass die „Entleerung“ der Teiche eine Alternative ist.

Da die Deponierung der **Prozesswasser-Rückstände** (Synonym: Waschwasser) eher die Ausnahme ist, wurde dieser Entsorgungsweg mit gestrichelten Pfeilen gekennzeichnet. Im Normalfall werden diese Rückstände eingedickt und flotiert, um den Kohleanteil rückzu gewinnen (vgl. Kapitel 6). Vor der Einführung der Flotation um ca. 1950 wurden die Prozesswasser-Rückstände eingedickt und als Schlämme deponiert (Absetzbecken) oder ganz einfach in den nächsten Vorfluter geleitet /Wotruba, 2004/.



Anmerkung zur Feinberge:

bis ca. 1950: 0 ... 10 mm mit hohen Feinstkohleanteilen

ab ca. 1950: 0,5 ... 10 mm mit geringen Feinstkohleanteilen, da Feinstkohle durch Flotation und Feinstkornabtrennung (Sichterstaub) separiert wird und entsprechende Verwendungsmöglichkeiten vorhanden sind (Wirbelschichtfeuerung, Verkokung)

Anmerkung zur Bezeichnung Absetzteich:

Synonym: Klärteich, bes. im Saarland gebräuchlich: Flotationsweiher, Absinkweiher, Flotationsabsinkweiher, Schlammweiher; in Beckenausführung: Absetz- oder Klärbecken

Abbildung 17: Grundflussbild der Entstehung von NORM-Rückständen beim Steinkohle-Bergbau

NORM-relevante Rückstände sind demnach **in den Vorflutern** und allen nachgeordneten **Gewässern** einschließlich ihrer **Sedimente** zu finden, auf den **Bergehalden** sowie den **Absetzteichen und -becken**.

Im Flussbild von Abbildung 17 wurden Hauptstoffströme dargestellt. Auf die Darstellung sehr seltener Stoffflüsse, wie z. B. der Bergversatz von Flotationsberge oder Vorflutersedimenten, wurde absichtlich verzichtet.

Der Fremdabsatz von Bergematerial wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit ebenfalls nicht dargestellt. Er ist im Kapitel 6 beschrieben.

Um von den örtlichen Gegebenheiten eines Steinkohle-Bergwerkes, insbesondere der lokalen Zuordnung der Rückstands-Lagerorte, ein anschauliches Bild zu erhalten, wurden Abbildung 18 und Abbildung 19 mit in den Text aufgenommen.

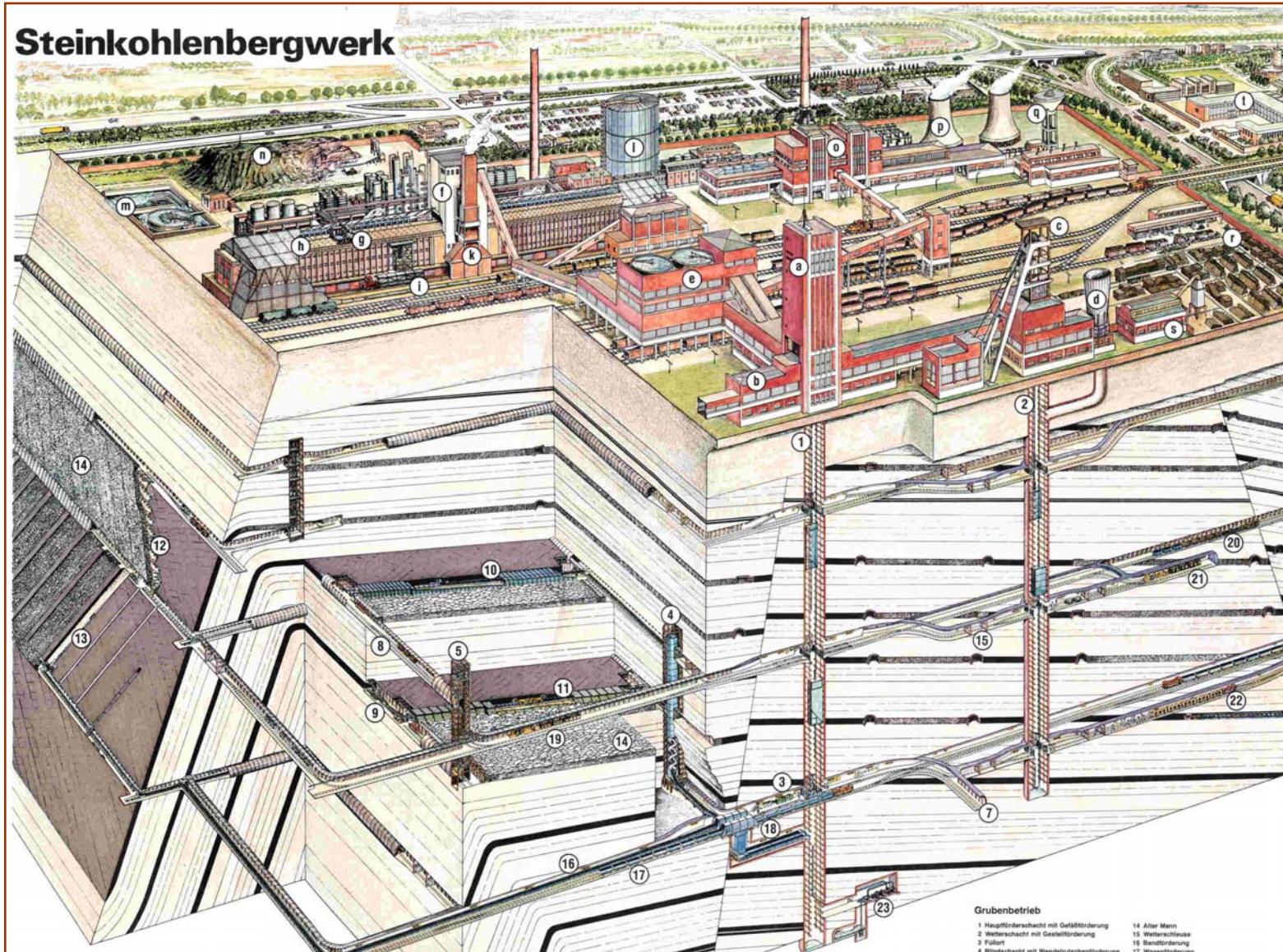


Abbildung 18:
Bildtafel Steinkohlenbergwerk
/VGE, 2001/

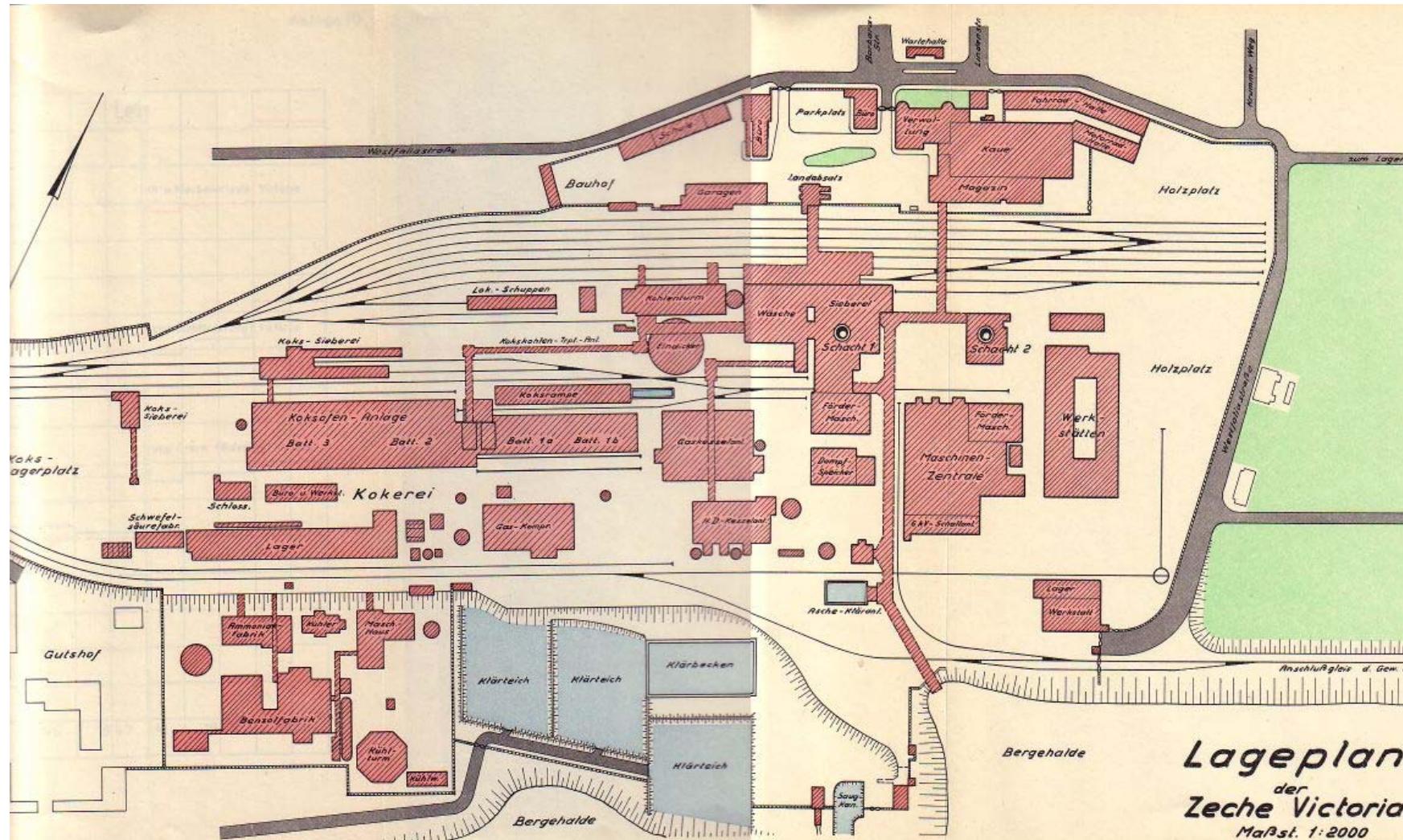


Abbildung 19: Typischer Grundriss einer Zeche aus den 60er Jahren, der auch heute, bis auf die Kokereianlage, noch repräsentativ ist /DSK, 2004/

In Abbildung 18 und Abbildung 19 ist die Lage der Bergehalden, Kläranlagen und Absetzteiche/Absetzbecken (als Klärteiche/Klärbecken bezeichnet) zu sehen. Abbildung 18 zeigt auch die Wasserhaltung am untersten Punkt des Grubenbaues, von wo aus das Grubenwasser nach Über Tage gepumpt wird.

Nach den Ausführungen in Kapitel 6 liegt heute der Kohleanteil in der Berge bei ca. 6 %. Aufgrund der niedrigeren Wirkungsgrade bei der Kohlewäsche, muss er früher deutlich höher gewesen sein.

Im Durchschnitt enthält deutsche Steinkohle ca. 4 g Natururan pro t /Kohlenwirtschaft, 2004/. Bei einer jährlichen verwertbaren Förderung von 150 Mio. t pro Jahr, wie es im Spitzenjahr 1956 der Fall war, bedeutet dies, dass in diesem Jahr allein ca. 600 t Natururan an die Erdoberfläche gelangten.

Der Steinkohlebergbau führt infolge der untertägigen Hohlraumbildungen, der Aufhaltung und Ableitung bergbaulicher Rückstände, der Eingriffe in den Grundwasserhaushalt, den Eingriffen in geochemische Prozesse und exogen-geodynamische Kreisläufe zu massiven **Eingriffen in die Natur** im Bereich der Abbaugebiete. Aufgrund der Tiefe und des Umfangs der Eingriffe sind fast alle Naturraum- und Nutzungspotentiale betroffen. Dabei sind die **radioaktiven Bestandteile der Rückstände** nur einer der wesentlichen Umweltfaktoren. Voraussetzung für die Abschätzung der Folgen für Mensch und Umwelt ist die Bilanzierung aller über die Zeit erfolgter anthropogen verursachter Veränderungen. Erst nach gründlicher **Analyse der Gesamtsituation** lassen sich Folgewirkungen minimieren, Gefährdungspotentiale abschätzen und Langzeitwirkungsprognosen erstellen.

7.2 Bergehalden und Absetzteiche



Eine **Halde** ist die bergmännische Bezeichnung für Bestände bergmännisch gewonnener Erzeugnisse wie Erz, Kohle, Koks, Berge, die im Freien gelagert werden und in der Regel nicht für den sofortigen Verbrauch/Verwertung vorgesehen sind.

Abbildung 20: Kohlenhalde /DSK, 2004/

Steinkohle-Bergehalden sind Aufschüttungen von Bergematerial, das bei der Errichtung der Grubenbaue, der Kohlengewinnung sowie der Kohle-Aufbereitung anfällt. Sie stellen **anthropogene geologische Sedimentkörper** dar, die durch das Zusammenwirken geologisch-lagerstättenkundlicher, technischer und ökonomischer Faktoren während ihrer Entstehung gekennzeichnet sind (Sedimentmerkmale = Fazies).

Zu Beginn des Bergbaus bereitete das Unterbringen der Berge keine Schwierigkeiten, da das Material, das nicht untertage belassen wurde, in den kupierten Landschaften direkt am Stollen- oder Schachtmund aufgeschlagen werden konnte. Mit zunehmender Förderung und regionalen Ausdehnung nahm die Problematik der Bergeaufhaldung in den letzten 150 Jahren zu. Im Ruhrrevier gab es Anfang der 70er Jahre rund 170 Halden, von denen ein Drittel noch betrieben wurde. Die Halden waren unmittelbar dem Bergwerksgelände zugeordnet und nahmen durchschnittlich 5-7 ha in Anspruch. Ein beachtlicher Teil dieser Halden wurde inzwischen wieder abgetragen, da das zum Teil ausgebrannte Bergematerial als Baustoff Verwendung fand /Wiggeling und Kerth, 1991/.

Bergehalde sind ein **Eingriff in die natürliche Umwelt**. Sie führen zu einer zusätzlichen Flächeninanspruchnahme. Kontaminationen der Umwelt durch Schadstofffreisetzung sind möglich. Das Ausmaß der Umwelteinwirkungen auf den Boden und das Grundwasser werden von den anthropogenen induzierten Prozesse auf der Haldenoberfläche und im Haldenkörper bestimmt, welche wiederum durch die **Haldenfazies**, als Summe aller Eigenschaften der Halde, geprägt werden. Konkret haben neben den Lagerungsverhältnissen und den Gesteinsmerkmalen die bei Gewinnung, Förderung Aufbereitung und Haldenanlage angewandten Technologien (Abbau-, Förderungs- Aufbereitungsverfahren, Schüttverfahren, Meliorations- und Begrünungsverfahren, Grundwasserschutz) Einfluss auf die Haldenfazies. Diese wiederum bestimmen das Kleinklima der Halde, die Verwitterung sowie Erosion und nehmen damit zusammen mit den am Standort vorliegenden Geo- und Biofaktoren, dem vorherrschenden Klima und dem Stoffeintrag von außen **Einfluss auf Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser und Luft**.

Die Bergehalde weist in der Regel eine gute Wasserdurchlässigkeit auf, wodurch der



Foto: HERMANN SCHMALDIENST

Haldenkörper und seine Oberfläche sehr trocken sind, hingegen sich am Haldenfuß das Wasser staut. Man findet dort oft künstlich angelegte Teiche, die das schadstoffangereicherte Sickerwasser abfangen.

Abbildung 21: Bergehalde der 2. Generation im Aachener Revier; 110 m hohe Halde des Tagesbetriebes „Anna“ /DSK, 2004/

Die **physikalische Verwitterung** führt zur verstärkten **Staubemission** der Halden sowie zur Erosion durch Wasser, Wind und schwerkraftbedingte Vorgänge.

Die **chemische Verwitterung** ist eng mit dem Halden-Sickerwasser verknüpft. Das **Sickerwasser der Bergehalde** hat Einfluss auf Gewässer und Vegetation im Haldenumfeld. Verwitterung führt zu chemischen Veränderungen, die die Inhaltsstoffe des Sickerwassers verändern. In der ersten Verwitterungsphase werden Salze und Sulfate gelöst, wobei der Sulfat- und Chloridgehalt im Sickerwasser zunimmt. Im Laufe der weiteren Verwitterung kommt es zur Oxidation des durch die Aufbereitung angereicherten **Pyrits**, was zur Schwefelsäurebildung sowie zur Mobilisierung von Sulfaten, Aluminium und Schwerme-

tallen führt. Die entstandene Schwefelsäure löst weitere Minerale (z. B. Tone, Karbonate). Der pH-Wert des Sickerwassers wird erheblich reduziert und es bildet sich als weitere Folge der Pyritverwitterung ein versauerter anthropogener Boden. Der Pyritgehalt ist daher ein für die Haldenfazies wesentlicher Faktor.

Die aufgrund der Forderungen zur Luftreinhaltung vermehrte Schwefelabtrennung (vgl. Kapitel 5) führt zu einem höheren **Pyritgehalt** im Bergematerial und damit zu einer erheblich höheren Beeinträchtigung der Umweltmedien Boden und Luft. Der Gesamtschwefelgehalt nimmt mit sinkender Korngröße zu (Anreicherungsfaktor ca. 5) /Wiggeling und Kerth, 1991/.

Veränderungen des Reliefs infolge der Haldenaufschüttung, Veränderungen von Bodensubstrat, Wasserhaushalt und Vegetation verändern nicht nur das **Klima** im unmittelbaren Bereich der Halde, sondern auch das örtliche Klima in der näheren Umgebung. Im Durchschnitt weisen Haldenoberflächen leicht erniedrigte Tagestemperaturen und deutlich erhöhte Nachttemperaturen auf, so dass die Mitteltemperatur erhöht ist. Abfließende Kaltluft in der Nacht erhöht die Luftfeuchte am Fuß, während ansonsten die Luftfeuchte sich nur wenig von der Umgebung unterscheidet. Die Verdunstung erreicht im Bereich der Halden vergleichsweise hohe Werte. Die Windgeschwindigkeiten verstärken sich an den Haldenflanken und verringern sich am Haldenfuß. Haldeneinflüsse auf das Windfeld sind bis zu einer Entfernung von 700 m nachweisbar, die Reichweite der Kaltluftabflüsse beträgt maximal 300 m. Mit den klimatischen Veränderungen kann eine **höhere Immission** von Schadstoffen auf der Halde gegenüber dem Umland einhergehen.

Bei nicht begrünten Halden heizt sich durch Sonneneinstrahlung das schwarze Bergematerial auf. Vor allem an den Südhängen sind 60 °C keine Seltenheit. Durch die Wärmespeicherung der Halde erfolgt in der unmittelbaren Haldenumgebung ein tageszeitlicher und jahreszeitlicher **Temperaturausgleich**.

Durch Oxidation der in der Berge enthaltenen Kohle (Luftsauerstoff dringt bei lockerer Bergeanschüttung in das Haldeninnere) und der einhergehenden Wärmeentwicklung kann es unter ungünstigen Bedingungen zur **Selbstentzündung** kommen; bevorzugt bei ältern Halden, da diese kohlehaltiger sind (s. Kapitel 7.1) und häufig als Müllkippen verwendet wurden (Müll, Bauschutt, Holz, Gummi und sonstige Grubenabfälle). Neben der direkten Brandgefährdung kommt es zu massiven Schadstofffreisetzungen während des Brandes sowie beim Abtrag brennender und durchgebrannter Halden.

Die Entwicklung von Bergehalden wird historisch in **drei** Generationen (Spitzkegelhalden, Tafelberge und Landschaftsbauwerke) eingeteilt (vgl. Abbildung 22).

Die Halden der so genannten **ersten Generation**, die **Spitzkegelhalden**, entstanden durch ständiges Abkippen des Schüttgutes mittels Förderband oder ähnlicher Einrichtungen über dem Haldenmittelpunkt (Schüttkegel). Die lockere Schüttung des Gesteins bedingte eine Entmischung des Schüttgutes, so dass sich das grob gekörnte Material am Haldenfuß ansammelte.

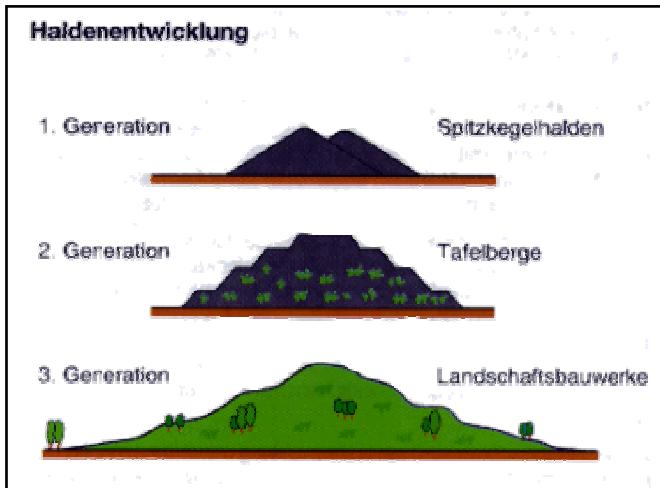


Abbildung 22:
Grafische Darstellung der Haldentypen entsprechend der historischen Haldenentwicklung (3 Generationen)

Ältere Bergeablagerungen und Bergehalden sind inzwischen häufig durch natürliche Vegetationsentwicklung oder Bepflanzungen landschaftlich integriert und haben als Sonderstandorte lokale Biotope entwickelt. Durch die lokale Reliefform, den ungeordneten Schüttvorgang und spätere Überformungen, zum Beispiel durch Teilabtrag, zusätzliche Anschüttungen und Erweiterungen, ergaben sich **vielfältige Haldenformen**. Sie erreichten in der Regel eine relativ geringe Ausdehnung und Höhenentwicklung. Im zentralen Ruhrgebiet beispielsweise betrug die durchschnittliche Höhe 19 m, die Flächenbeanspruchung lag meist bei weniger als 10 ha. Die Haldengrundrisse ergaben sich vorwiegend aus den Grundstücksgrenzen, der Morphologie, der technischen Infrastruktur und Erschließung des Areals.

Die Gefahr der Selbstentzündung, die Belästigung des umliegenden Siedlungsgebietes durch Rauchentwicklung, die fehlende Integration des Haldenkörpers in die Landschaft und die Schwierigkeit der Begrünung führten zum Erlass der „**Richtlinien für die Zulassung von Bergehalden im Bereich der Bergaufsicht**“ vom 04.09.1967.

Die Richtlinien beendeten die erste Generation der Spitzkegelaufhaldung oder reglosen Verkippung und definierten die Halden als terrassierte **Tafelberge** mit strengen Linien und harten Konturen. Die Gestaltungsvorgaben war primär darauf ausgerichtet, Rutschungen und Fließbewegungen von Bergemassen auszuschließen. Der Flächenbedarf dieser Halden erhöhte sich auf 40-60 ha. Als Faustregel für eine akzeptable Einbindung einer Tafelbergehalde in das Landschaftsbild und für einen guten Begrünungserfolg galt im Ruhrrevier eine Schütt Höhe bis zur „doppelten Baumhöhe“, das sind ca. 40 m über dem Gelände. Einzelne Halden überschritten dieses Maß jedoch erheblich.

Die Forderung nach einer landschaftsgerechten Gestaltung und Begrünung der Haldenkörper sowie der Mangel an Freiflächen im Ballungsraum Ruhrgebiet in den 80er Jahren, führte zum Konzept der **Großhalden der dritten Generation**, die in Abstimmung mit den Gemeinden und unter Einschaltung von Fachleuten nach den Vorstellungen der Land-

schaftsarchitekten als **Landschaftsbauwerke** entwickelt werden. Der Flächenbedarf dieser Halden erhöhte sich auf mehr als 100 ha /Wiggering und Kerth, 1991/.

Lange Zeit wird das Haldenbild durch offene unbewachsene Flächen bestimmt. Mit der Zeit aber bildet sich eine Humusschicht und es beginnt eine allmähliche Besiedlung mit Pflanzen und Tieren. Die Vielfalt der Bodenfaktoren, des Mikroklimas etc. führt zu einer eigenständigen und spezifischen **Biotopbildung** (Sekundär- und Refugialbiotope – s. Abbildung 23). Durch die ausgeglichenen Temperaturen z. B. siedeln sich viele wärmeliebenden Arten an. So trägt z. B. die *Bergehalde I der Grube Maria* (Jasperberg) im Aachener Revier, die von 1890 bis 1926 aufgeschüttet wurde, eine Humusschicht von 20 cm. 8 Hektar Haldenfläche sind mittlerweile bewaldet, es kommen 242 Pflanzenarten und 46 Brutvogelarten vor. Aus diesem Gesichtspunkt heraus und noch weiter verstärkt durch Biotopvernetzungsmaßnahmen, eröffnen sich Möglichkeiten, Halden als Naturbereiche zu nutzen. Allerdings wurden die Vorteile einer langsamen natürlichen **Renaturierung** der Halden bisher wenig beachtet, da die Verantwortlichen eine schnelle flächendeckende Begrünung anstreben.



Abbildung 23: Halle mit Biotop

Am Haldenfuß befinden sich oft künstlich angelegte **Teiche**. Sie nehmen das Sickerwasser auf (s. oben) oder hatten bei im Spülbetrieb angelegten Halden ursprünglich den Zweck, die Filtrate der hierbei anfallenden Wässer zu sammeln. Auch in und an diesen Gewässern haben sich im Laufe der Zeit artenreiche Biotope gebildet.

Die **Auswirkungen einer Haldenerrichtung** (Haldenkörper, Haldenbetrieb) auf die Natur, auf Siedlungsräume, Freizeitgestaltung und Gewerbenutzung sind sehr komplex. Sie sollen an dieser Stelle nur benannt werden, ohne Erhebung eines Anspruches auf Vollständigkeit (Tabelle 18).

Naturhaushalt	Wohngebiete	Gewerbegebiete	Sonstige
Bodenhaushalt	<u>indirekt</u> : über Haldenauswirkungen auf Naturhaushalt (z. B. Änderung v. Makro-, Meso- u. Mikroklima)	Betriebe: (z. B. Flächenbeanspruchung der Halle Wasserwirtschaft Landwirtschaft Forstwirtschaft Rohstoffgewinnung (z. B. Kiesabbau)	Freizeit- u. Erholungsanlagen militärische Einrichtungen
Wasserhaushalt			
Luftqualität			
Natürliche Ruhe			
Klimahaushalt			
Biotopvorkommen	<u>direkt</u> : Wohnnutzung (Staub, Lärm) Infrastruktursysteme		
Elemente der Ökosysteme			
Kulturräumliche Struktur			

Tabelle 18: Auswirkungen der Bergehalde auf die verschiedenen Natur- und Lebensbereiche /Wiggering und Kerth, 1991/

Von den zahlreichen Aspekten und Auswirkungen der Bergehalde errichtungen sollen an dieser Stelle, mit Blick auf die NORM-Materialien der Halden, der **Stoffaustausch** durch Sickerwasser und Verwitterungsprozesse sowie die damit eng verbundene **Grundwasser-**

beeinträchtigung etwas näher betrachtet werden. Für eingehendere Informationen sei auf die Fachliteratur verwiesen (z. B. /Wiggering und Kerth, 1991/, /Düngelhoff et al., 1983/).

Die **Inhaltsstoffe der Halden** (Sulfidminerale, besonders Pyrit, vor allem bei großen Abbautiefen leichtlösliche Salze, besonders Steinsalz) und die bei der Verwitterung ablaufenden **geochemischen Reaktionsprozesse** (Lösung, Ionenaustausch, Oxidation, Pufferreaktion) führen zu veränderten **Sickerwasserzusammensetzungen**.

Die verschiedenen Stoffmobilisierungsphasen bedingen **unterschiedliche Sickerwasserzusammensetzungen im zeitlichen Verlauf**. In Tabelle 19 sind die wichtigsten Aspekte des in drei Phasen aufgeteilten Verwitterungsprozesses angegeben.

1. Phase	<u>Salzauswaschung</u> Mobilisierung von NaCl u. wasserlöslichen Sulfaten	rascher Natrium- u. Chloridaustrag (innerhalb von Wochen u. Monaten) pH anfangs 4, später 7,5 – 9 geringe Mobilisierung von <u>Schwermetallen</u> (z. B. Pb, Zn) in der sauren Anfangsphase
2. Phase	<u>Pyrit-Oxidation und Kationenaustausch</u> Oxidation von Pyrit u. Markasit $FeS_2 + 7/2 O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2 SO_4^{2-} + 2 H^+$ Abpufferung von H^+ durch Ionenaustausch mit verschiedenen Mineralien als Puffersysteme Mobilisierung von Sulfat, Hydrogencarbonat sowie zugehörigen Alkalien u. Erdalkalien	<u>Sickerwasser</u> (in zeitl. Reihenfolge): Na-Hydrogen-Carbonat- u. Na-Sulfat-Wasser Ca-Hydrogen-Carbonat- u. Ca-Sulfat-Wasser Mg-Sulfat-Wasser langsame Änderung der Sickerwasserzusammensetzung (Jahre bis Jahrzehnte) geringe Mobilisierung von <u>Schwermetallen</u> (Zn, Ni, As) pH neutral bis schwach basisch
3. Phase	<u>Erschöpfung der Puffersysteme</u> Durchlaufen weiterer Puffersysteme mit deutlich niedrigerem Potential Zerstörung der Silicate (Tonminerale, Feldspäte) durch Hydrolyse unter Mg^{2+} Freisetzung	<u>Sickerwasser</u> : Mg-Hydrogen-Carbonat- u. Mg-Sulfat-Wasser starke Mobilisierung von <u>Schwermetallen</u> (in zeitl. Reihenfolge): Mn, Fe, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, As pH Werte niedrig (sauer)

Tabelle 19: Verwitterungsphasen der Steinkohle-Bergehalden /Wiggering und Kerth, 1991/

Die dritte Verwitterungsphase gemäß Tabelle 19 (und damit der vermehrte Schwermetallaustrag) wird nur von Bergen mit hohem Säureproduktionspotential (Gehalt an oxidierbaren Sulfiden - vor allem Pyrit) und gleichzeitig niedrigem Säurepuffervermögen erreicht. Entsprechend den Ergebnissen von Grundwasseruntersuchungen befindet sich der überwiegende Teil von Bergehalden des Ruhrgebietes in der 2. Verwitterungsphase.

Obige Tabelle wurde vor allem erstellt, weil es sich bei den **Radionukliden** der natürlichen Zerfallsreihen um Schwermetalle handelt (Ra befindet sich zu dem in der Erdalkaligruppe des PSE) und parallele Auslaugungsvorgänge ablaufen könnten.

Der absolute **Schadstoffaustausch** wird zum einen von der Sickerwasserkonzentration und zum anderen durch die von der physikalischen Verwitterung dominierte Sickerwassermenge bestimmt. Die physikalische Verwitterung führt zur Bodenbildung und Porenzementation und damit allmählich zur Abnahme des Sickerwassers. Je feinkörniger die Berge ist, um so höher ist die Haldenverdichtung und um so geringer der Sickerwasseranfall. Reine Flotationsberge ist weitgehend wasserundurchlässig. Bei Grobbergen finden sich in der Regel rasche intensive Auswaschvorgänge, in feinkörnigen Bergen (geringe Sickerwassermenge) eher schwache aber dafür lang andauernde Auswaschungen mit über die Gesamtzeit betrachtet insgesamt niedrigeren Auswaschmengen.

Ein Stoffaustausch ins Grundwasser erfolgt bevorzugt aus den wenig verdichteten Außenbereichen, die in engem Kontakt mit Niederschlagswasser und Luftsauerstoff stehen. Die im Laufe der Verwitterung ausgelaugten Inhaltsstoffe können im Haldenumfeld die **Grundwasserqualität** erheblich beeinflussen. Bergbaubedingte Einflüsse auf die Grundwasserstände, -fließrichtungen und -geschwindigkeiten ermöglichen zudem eine erhöhte Abdrift von Schadstoffen.

Bis Mitte der 70er Jahre gab es kaum exakte Daten über die Auswirkungen von oberirdisch aufgeschütteten Halden aus dem Steinkohlenbergbau auf das unter ihnen fließende Grundwasser. Aus diesem Grund bildete sich eine Arbeitsgruppe um durch Messungen und Untersuchungen an einem Haldenlysimeter (Bergehalde Pattberg in Moers-Repelen) bessere Kenntnisse über den Stoffaustausch im Sickerwasser von Bergehalden zu erzielen / Dünghoff et al., 1983/. Zusammenfassend ergaben sich dabei folgende Punkte:

- **Quantität:** Die „Bodenbildung“ während der physikalischen Verwitterung (Kornzerkleinerung, Quellung von Tonmineralen) führt zu einer allmählichen Abnahme der mittleren Jahresmengen von Sickerwasser. Der größte Teil des Niederschlagswassers verdunstet dann auf der Haldenoberfläche oder fließt auf den Scheibenoberflächen nach außen ab und dient der dort befindlichen Bepflanzung; nur ein sehr geringer Anteil gelangt ins Grundwasser.
- **Qualität:**
Chlorid: aus Schüttungen grobkörniger Berge, insbesondere Waschberge kommt es zu einer raschen und intensiven Chloridauswaschung, deren Stärke und Dauer ausschließlich vom Chloridgehalt der Berge abhängt; aus Schüttungen feinkörniger Berge (z. B. Flotationsberge) kommt es aufgrund der nur in geringem Maße anfallenden Sickerwassermenge zu geringen, dafür aber lange andauernden Auswaschungen.
Sulfate: Die Sulfatmobilisierung aus der Pyritoxidation zeigt keine einheitliche Abhängigkeit von der Primärzusammensetzung sowie der Lagerungsdichte und Korngrößenverteilung.
Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium: Die Kationen zeigen keine einheitliche Abhängigkeit von der Primärzusammensetzung sowie der Lagerungsdichte und Korngrößenverteilung.
Eisen, Mangan: Die Eisen- und Mangankonzentrationen sind vernachlässigbar

klein.

pH-Wert: Die festgestellten Werte lagen zwischen 7,4 und 7,9 (neutral).

Schwermetalle: Das Sickerwasser ist praktisch frei von Schwermetallen.

Für die **Errichtung einer Bergehalde** ist heute eine **bergrechtliche Zulassung** erforderlich. Nach § 51 Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1980 (BGBl. S. 1310) stellt der Bergbauunternehmer im Anschluss an eine **Standortvorplanung** hierzu einen **Betriebsplan** auf. Die zuständige Behörde, im Ruhrgebiet beispielsweise die Bergverwaltung, führt das Zulassungsverfahren durch (**Betriebsplanverfahren**, Betriebsplanzulassung gemäß §§ 54, 55, 56 BBergG /Düngelhoffe et al., 1983/). Landes-, Regional- und Kommunalplanung benutzen das Instrument der **Raumordnung** zur Regulierung (Raumordnungsgesetz (ROG) v. 19.7.1989, Landesplanungsgesetze der Länder – z. B.: NRW: LPIG v. 5.10.1989). Die Haldenstandorte werden in **Gebietsentwicklungspläne (GEP)** integriert. Weitere Genehmigungen betreffen wasserrechtliche und landschaftsrechtliche Fragen. Außer der Bergbehörde sind eine Reihe weiterer Behörden, Gemeinden und Verbände in die Verfahren involviert (Regierungspräsidium, Kreis/Gemeinde, Landschafts-Behörde, Wasser-Behörde, Forst-Behörde, etc.). Für neu zu errichtende Halden oder für **Änderungsvorhaben** an bestehenden Halden ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung (**UVP**) durchzuführen. Die DSK hält für diese Prüfungen moderne Werkzeuge, wie Kartierschlüssel für die Felderhebung ökologischer Daten, Ablaufschemata für die Bestandserfassung, Bewertung und Prognose der einzelnen Schutzgüter, digitale Karten, bereit. Für die Haldengestaltung, an der verschiedene Behörden sowie die Gemeinden als Planungsträger beteiligt sind, gibt es Grundsätze und Richtlinien (z. B. Haldenrichtlinien, Gestaltungsrichtlinien, Gestaltungsgrundsätze). Zum Zwecke der Haldenüberwachung werden **Haldenkataster** geführt.

Im Sinne der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung werden die Bergehalde den **Altlasten** oder allgemein den **Deponien** zugeordnet. Dementsprechend sind **Sanierungsmaßnahmen** für eine umweltgerechte Einbindung der Bergehalde nicht ausgeschlossen. Vorrang hat dabei der **Grundwasserschutz** durch Auffangen von Oberflächen- und Sickerwasser, Abdichtung, Einkapselung bis hin zur Auskofferung.

Die einst aufgeschütteten **Halden** können im Verlauf der Zeit teilweise oder vollständig **abgetragen** werden. So wurden z. B. bis Ende der 60er Jahre die in den 50er Jahren noch häufig vorkommenden Spitzkegelhalden größtenteils abgetragen. Der Abtrag kann durch **Materialverlagerung** an einen anderen Ort oder durch einfaches **Einebnen** an Ort und Stelle der Halde erfolgt sein. Abgetragenes Material kann vielfältig eingesetzt werden sein: Kohlerückgewinnung, Straßenbau, Verfüllung von Kiesgruben, Flächen die eingeebnet worden sind, können als begrünte Freiflächen oder Brachflächen existieren oder bebaut worden sein (in der Regel Industriebebauung).

Im Normalfall wurden während der Abbauphasen eine oder mehrere Halden pro Bergwerk aufgeschüttet. Es gibt aber auch so genannte Zentralhalden, die von mehreren Zechen genutzt worden sind bzw. benutzt werden (Beispiel: Zentralhalde Schurenbach bei Essen).

Wie bereits in Kapitel 6 ausgeführt, nutzte man für **Absetzteiche und -becken** vorrangig bereits vorhandene Gegebenheiten. So z. B. natürliche Bodenvertiefungen bzw. bergbaubedingte Absenkflächen für Teiche oder die Grube einer stillgelegten zecheneigenen Ziegelei für ein Becken.



Nach der Stilllegung verlanden die Teiche; oftmals nur teilweise, so dass eine Wasserfläche zurückbleibt, die im Laufe der Zeit einen naturnahen Eindruck vermittelt. Falls noch Raum vorhanden ist, bzw. durch bergbaubedingte Absenkungen nachträglich entsteht, wird in einigen Fällen auch Bergematerial nachgefüllt (Abbildung 24).

Abbildung 24: Mit Bergematerial nachträglich aufgefüllter Absinkweiher (Netzbachtal, Saarland) /ASV, 2004/

Vegetationslose **Absetzteiche** können sich durch Rekultivierungsmaßnahmen ebenso wie die Halden zu Lebensräumen und Refugien für Tiere und Pflanzen entwickeln. So sind beispielsweise auf dem Absinkweiher der Bergehalde Luisenthal (Saar) bereits 130 verschiedenen Vogelarten beobachtet worden, ein ähnliches Biotop stellt der 31 ha große Flotationsabsinkweiher Brönnesthal dar (Abbildung 25).



*Abbildung 25:
Stillgelegter und teilrekultivierter Flotationsabsinkweiher Brönnesthal der Tiefbaugrube Reden (Saarland) /NABU-Saar, 2004/*

7.3 Vorfluter, Gewässer und Sedimente

7.3.1 Übersicht

Gemäß Abbildung 17 werden **abgepumptes Grubenwasser und entstehendes Abwasser** in die so genannte **Vorflut** geleitet. Über alle Zeiten hinweg wurden diese Wässer **ungeklärt** eingeleitet, bis zu Beginn des 20. Jh. allmählich **Kläranlagen** (zunächst mit niedrigem Wirkungsgrad) entlang der Abwasserkäne und Wasserwege errichtet wurden. So wurde beispielsweise 1899 in Bochum die *Emschergenossenschaft* gegründet, der erste Wasserwirtschaftsverband Deutschlands. Da die Wasserverunreinigung unerträgliche wurde (Ruhr, Typhus, Cholera grassierten) kam es zur Verabschiedung des Sondergesetzes „betreffend Bildung einer Genossenschaft zur Regelung der Vorflut und zur Abwasserreinigung im Emschergebiet“.

Im Ruhrgebiet verlagerte sich mit der Nordwanderung des Abbaus seit der Mitte des 19. Jh. der Bergbau von der Ruhr zur Emscher und schließlich zur Lippe. Die 81,5 km lange Emscher gilt als eine der schlimmsten Altlasten Deutschlands. Gespeist durch verunreinigte und immer mehr ausgebauten Bach- und Flusszuläufe sowie zahlreiche Abwasserkanäle ergoss sich ein Strom von Fäkalien und Fabrikabfällen, von **Schlämmen und Grubenwässern** in diesen bis zur Mitte des 19. Jh. noch intakten Fluss.

In Abbildung 26 ist neben der zum Kanal ausgebauten Emscher ein modernes Klärwerk und ein renaturierter Bachlauf zu sehen, dessen Abwasser früher ebenfalls in einem Kanalbett floss. Jetzt wird die Vorflut durch unterirdische Kanäle geleitet.



Abbildung 26: Einleitung von Gruben- und Abwässern:

zum Kanal ausgebauter Fluss als Vorfluter (Emscher), modernes Klärwerk zur Aufnahme der Abwässer (Bottrop), naturnaher Rückbau eines vormals zum Abwasserkanal ausgebauten Baches (Mühlenbach, Zufluss zur Emscher) /DSK, 2004/

In neueren Zeiten wurden effektiv arbeitende Kläranlagen mit hoher Kapazität gebaut. So wurde z. B. die 1928 errichtete Emscher-Flusskläranlage in Bottrop durch eine moderne Anlage ersetzt, welche einen Durchsatz von 8500 Liter pro Sekunde besitzt. Die integrierte Faulbehälteranlage ist mit einem Gesamtvolumen von 60.000 m³ die größte der Welt.

Grubenwasser wird auch heute noch direkt in Flüsse und andere Gewässer eingeleitet (siehe hierzu Abbildung 27). Die Einleitungsstellen sind oft gut sichtbar, da das Grubenwasser wegen seines hohen Eisengehaltes rostrot gefärbt ist.

Auch Sohlebäder werden mit Grubenwasser beliefert (z. B. Raffelberg, Wanne-Eickel, Gysenberg in Herne), da sich auf dem Versickerungsweg durch den Gebirgskörper Minerale und Salze lösen und anreichern. Ebenso sind Beheizungen mit Grubenwasser möglich (Hermann und Hermann, 1990/).



Abbildung 27: Hinweisschild über die Einleitung von Grubenwasser in die Ruhr

Wie bereits in Kapitel 6 erläutert, wird heutigen Tags das **Grubenwasser aus bereits stillgelegten Gruben** nach Übertage gefördert. So werden z. B. im Ruhrgebiet Wasserhaltungsanlagen auf zwölf stillgelegten Bergwerken (Amalie, Glück, Nachbar, Heinrich, Concordia, Gneisenau, Hansa, Müser, Zollverein, Stinnes, Ewald-Hugo) betrieben. Man unterhält unterteg ein Streckennetz von 31 Kilometer Länge, mehr als neun Kilometer allein unter der Stadt Essen. Hinzu kommen 130 km Rohrleitungen und unzähligen Pumpen (ca. 44 Hauptpumpen, 36 Vorpumpen und 15 Tauchmotor-Pumpen), wobei die Tauchmotor-Pumpen bis zu 20 Kubikmeter pro Minute fördern und heben können.

Durch die infolge des Bergbaus erfolgte Absenkung des Ruhrgebietes um ca. 40 Meter würde im Falle des Nichtabpumpens das Wasser nach oben steigen und zu Überschwemmungen führen. Zusätzlich ist die Wasserhaltung in den stillgelegten Bergwerken notwendig um die noch im Betrieb befindlichen Zechen im Norden des Reviers zu schützen. Die Zeche Heinrich in Essen Überruhr leitet direkt in die Ruhr ab, dort ist die größte Wasserhaltungs-Anlage mit einer Leistung von 18 Mio. m³ pro Jahr. Die Wasserhaltung der alten Zeche Heinrich hat besondere Bedeutung. Denn sie sichert zugleich die Trinkwasser-Notversorgung der Stadt Essen (vgl. Abbildung 27).

Wie weiter unten, speziell im Kapitel 7.4.4 zu sehen sein wird, treten im Zusammenhang mit Grubenwasser zum Teil sehr hohe Radium-Aktivitätswerte auf. Deshalb werden im folgenden Unterkapitel 7.3.2 die Entstehungsmechanismen erhöhter Radiumkonzentrationen näher betrachtet.

7.3.2 Entstehung hoher Radiumkonzentrationen in Verbindung mit Grubenwässern

Im Fall des Steinkohlebergbaus im Rhein-Ruhr-Gebiet stellen die **Grubenwässer** eine Mischung von meteorischem und Formationswasser /Wedewardt, 1995/ dar. Unter meteorischem Wasser ist dabei Niederschlagswasser zu verstehen /Michaelis, 2002/, das im Rhein-Ruhr-Gebiet ein Alter von mehr als 20 Millionen Jahren besitzt /Wedewardt, 1995/, unter Formationswasser sehr viel älteres fossiles Wasser /Michaelis, 2002/, im Rhein-Ruhr-Gebiet vermutlich aus der Kreidezeit /Wedewardt, 1995/.

Bei den **Grubenwässern** handelt es sich in der Regel um **Wasser mit sehr hohem Mineralanteil** /Wiegand und Sebastian, 2002/. Dies ist nahe liegend, da das Wasser sich bis zur Förderung Jahrtausende lang in direktem dichten Kontakt mit dem Gestein befand. Durch diesen engen Kontakt ist auch der Anteil von Ionen im Wasser sehr hoch. Für Grubenwässer aus dem Rhein-Ruhr-Gebiet ergeben sich gemäß /Wiegand und Sebastian, 2002/ die in Tabelle 20 aufgelisteten Konzentrationen.

Ion	Konzentration [mg/l]
Na	70.000
K	1.200
Cl	124.000
Sr	700
Ba	1.500
HCO ₃	120
SO ₄	< 5

Tabelle 20: Konzentrationen verschiedener Ionen in Grubenwässern (Auswahl) /Wiegand und Sebastian, 2002/

Während Grubenwässer des Braunkohlebergbaus gering mineralisiert sind, weisen Wässer aus Steinkohle-Gruben Salzgehalte bis zu 250 g/l aus /Wiegand und Sebastian, 2002/. /Klös, 1979/ verweist auf Radiumgehalte von 60 Bq/l für Ra-226 und 30 Bq/l für Ra-228.

Messungen in polnischen Kohleförderrevieren zeigen, dass in Bezug auf die radiologische Bewertung zwischen Grubenwässern zweierlei Typs zu unterscheiden ist /Michalik et al., 2002/: **Typ A** weist **Radium- sowie Barium-Gehalte** auf, **Typ B** enthält zwar Radiumionen, ggf. auch Sulfationen, zeigt aber **keinen Anteil an Barium**.

7.3.2.1 Prozess der Ionenlösung im Wasser

Die Beantwortung der Frage nach den Prozessen, durch welche die Ionen im Grubenwasser gelöst werden, hängt zunächst von den betrachteten Ionen ab: Die Lösung von Ionen wie Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻ wird durch Auflösung von Trocknungsablagerungen aus dem Perm erklärt /Wiegand und Sebastian, 2002/. Das für die radiologische Betrach-

tung wichtigere Ba^{2+} wird im **Grubenwasser** durch Bakterien angereichert, die Sulfat reduzieren und so im Gestein vorliegenden Baryt (BaSO_4) zerstören /Wiegand und Sebastian, 2002/. Zur Erklärung des **Radiumanteils im Grubenwasser** sind schließlich vier Prozesse denkbar:

- Auflösen von Mineralen
- Diffusion
- Auswaschen
- Alpha-Rückstoß

Davon dürften die ersten beiden eine untergeordnete Rolle spielen, da Radium im Gestein nur als Zerfallsprodukt der Uran- oder Thoriumreihe auftritt und somit einerseits selbst keine Minerale bildet, andererseits Uran- oder Thorium-beinhaltende Minerale wie z. B. Pechblende eine geringe Löslichkeit besitzen (zumal solange Uran vierwertig vorliegt, was unter stark reduzierenden Bedingungen in der Regel der Fall ist) /Merkel, 2004/. Für die Diffusion hat Radium eine viel zu geringe Diffusionslänge ($< 1,8 \cdot 10^{-14}$ cm/Jahr), als dass dadurch nennenswerte Konzentrationen von Radium in Grubenwässern erklärt werden könnten /Bloch und Key, 1981/. Der **Transfer von Radiumionen ins Wasser** ergibt sich somit wahrscheinlich als ein Zusammenspiel von **Auswasch- und Alpha-Rückstoß-Prozessen** /Kraemer und Reid, 1984/.

7.3.2.2 Ausfällungsprozess

Das für radiologische Betrachtungen entscheidende Radionuklid in Grubenwässern ist **Radium**. Dieses liegt in den Wässern **als Ion** vor. Bei Betrachtung der Löslichkeitsprodukte zeigt sich, dass der bevorzugte Prozess der Salzbildung für Radium die Reaktion mit Sulfationen ist. **Radiumsulfat fällt** in der Folge **als Salz aus** und findet sich **im Schlamm der Absetzteiche, im Klärschlamm oder in den Sedimenten der nachgeschalteten Flussläufe**.

Allerdings ist auch für diese Reaktion das Löslichkeitsprodukt von Radiumsulfat mit $4,2 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^2/\text{l}^2$ zu hoch, als dass für realistische Radiumkonzentrationen in Grubenwässern in natürlich vorkommenden Gewässern genügend Sulfationen zur Verfügung stehen könnten, um das Radium auszufällen /Wiegand und Sebastian, 2002/. Aus diesem Grund tritt der Prozess nur dann quantitativ auf, wenn das wasserführende System zudem noch Bariumionen trägt. Falls diese vorhanden sind, treten sie in deutlich größeren Konzentrationen als Radium auf (Tabelle 20) und besitzen ein gering größeres Löslichkeitsprodukt. Aufgrund der chemischen Ähnlichkeit von Radium und Barium **fällt bei Vorhandensein von Barium Radium in Form von Radiobaryt (Ra,BaSO_4 mit dem Barium aus.**

Für die radiologische Betrachtung ist somit von entscheidender Bedeutung, welchen Typs die zu betrachtenden Grubenwässer sind:

- **Grubenwässer des Typs A**, die **Radium- sowie Barium-Gehalte** aufweisen, besitzen entweder selbst einen Anteil an Sulfationen oder werden im Rahmen der technischen Prozesse, bei denen sie Verwendung finden, mit Frischwasser vermischt (Änderung pH-Wert), das evtl. den nötigen Anteil an Sulfat beinhaltet. In diesen Fällen **fällt das Radiobaryt rasch**, z. T. noch **in den Wasserleitungen untertage**, z. T. **in den Absetzteichen aus** und führt zu einer Anreicherung von natürlicher Radioaktivität in den dort auftretenden Rückständen /Michalik et al., 2002/, /Wotruba, 2004/.
- **Grubenwässer des Typs B**, die **keinen Anteil an Barium** besitzen, haben – unabhängig davon, ob sie einen Anteil an Sulfationen tragen oder nicht, oder ob sie durch Vermischung mit Frischwasser mit Sulfationen in Kontakt kommen oder nicht – nicht die Möglichkeit Radium auszufällen. In diesem Fall kann das Radium nur über Sorption in dem Bodensatz der Absetzteiche bzw. in den Sedimenten der nachgeschalteten Flussläufe ausgeschieden werden. Dieser **Prozess ist erheblich langsamer**, was eine viel weitere **Verschleppung des Radiums** und eine **Beaufschlagung der Sedimente** der Flussläufe z. T. erst **einige Kilometer von der Einlaufstelle in den Fluss entfernt** mit sich bringt /Michalik et al., 2002/.

Die Ausfällung des Radiums zusammen mit Barium zu Radiobaryt wird gelegentlich bei Grubenwässern des Typs B gezielt angewandt. Dazu werden den Grubenwässern bereits untertage dosiert Bariumsalze zugegeben, sodass das Radiobaryt noch im Berg ausfällt und Anlagen und Absetzteiche sowie nachgeschaltete Flussläufe nicht belastet /Chalupnik, 2002/, /Kunze et al., 2002/.

7.3.2.3 Radiologische Konsequenzen

Im technischen Prozess der Kohlengewinnung und –aufbereitung werden Grubenwässer u. a. über den Wasserausgleich im Prozesswasserkreislauf für die Sortierung und Flotation verwendet oder in die Vorfluter geleitet (siehe Abbildung 17).

Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften enthalten Grubenwässer keine nennenswerten U-238, U-234, U-235 und Th-232 Aktivitäten /Michalik et al., 2002/.

Um die radiologischen Konsequenzen abschätzen zu können, müssen die aus den geschilderten Prozessen sich ergebenden Aktivitäten untersucht werden. Wiegand und Sebastian (2002) haben z. B. durch einen Vergleich von geeigneten Literaturwerten (/Feige, 1997/, /Klös, 1979/, /Schweer, 1995/, /Klös und Schoch, 1993/) Abschätzungen getroffen. Sie sind in Tabelle 28, welche sich im Kapitel 7.4.4 befindet, zusammengestellt.

7.4 Aktivitäten

7.4.1 Stein- und Pechkohle

Steinkohle enthält Minerale (vgl. Kapitel 2.1) und damit auch die **Radionuklide der drei natürlichen Zerfallsreihen sowie K-40**, die von ihrem Massenanteil her als Spuren-elemente eingeordnet werden können. C-14 und H-3 sind aufgrund der langen Lagerung nicht mehr vorhanden.

Aktivitätsangaben bezüglich der in vielen Ländern der Erde geförderten Steinkohle findet man reichlich in der einschlägigen Strahlenschutz-Literatur. Die Aktivitätsangaben überschreiten dabei einen großen Wertebereich, der bei **< 10 Bq/kg** beginnt und nach /IAEA, 2003/ bei **> 1000 Bq/kg** endet. In /UNSCEAR, 1988/ sind viele nuklidspezifische Aktivitätswerte ausländischer Kohlen angegeben. Sie erreichen massenbezogene Aktivitäten bis zu ca. 500 Bq/kg U-238, 300 Bq/kg Th-232 und 800 Bq/kg K-40. In Deutschland wurden die höchsten Aktivitäten in einigen Steinkohlearten des Freitaler Bergbaureviers (südlich von Dresden) gemessen. Während des Bildungsprozesses haben diese Kohlen Schwermetalle aufgenommen, darunter auch hohe Urananteile. Einige dieser Kohletypen wurden nach dem 2. Weltkrieg zur Urangewinnung gefördert.

Meist liegen die Aktivitäten in der Th-Reihe unterhalb derer in der U-Reihe. Die Unterschiede können bis zu einer Größenordnung betragen. So werden beispielsweise in /Fernandes et al, 2002/ folgende Aktivitäten für brasilianische Steinkohle angegeben (in Bq/kg): 359^{U-238} , 457^{Ra-226} , 754^{Pb-210} , 33^{Th-232} , 68^{Ra-228} . Gleichzeitig lassen diese Messergebnisse ein relativ hohes radioaktives Ungleichgewicht in der U-Reihe, als auch in der Th-Reihe erkennen.

Da in vorliegender Studie primär die Rückstände des Steinkohle-Bergbaus betrachtet werden, beschränken sich die nachfolgenden Literaturzitate auf die deutsche Steinkohle der verschiedenen Förderreviere.

Nach /Kohlenwirtschaft, 2004/ enthält deutsche Steinkohle ca. 4 ppm Natururan, das entspricht ungefähr 50 Bq/kg U-238. In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind Aktivitätsangaben zur Steinkohle aus verschiedenen Förderrevieren enthalten.

Herkunft	massenbezogene Aktivität [Bq/kg]				Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	Ac-Reihe	K-40	
Oberbayern <i>Peißenberg</i> (Pechkohle)	145 ^{U-238} 140 ^{Ra-226} 135 ^{Bi-214}	2,5 ^{Ac-228} 3 ^{Pb-212}	11 ^{U-235}	17	Becker et al., 1992
Oberbayern <i>Penzberg</i> (Pechkohle)	155 ^{U-238} 145 ^{Ra-226} 140 ^{Bi-214}	2,5 ^{Pb-212}	10 ^{U-235}	7	
Oberfranken <i>Stockheim</i>	46 ^{U-238} 47 ^{Ra-226} 45 ^{Bi-214}	13 ^{Ac-228} 13 ^{Pb-212}	2 ^{U-235}	130	
Ibbenbüren <i>Veltheim</i>	12 ^{U-238} 11 ^{Ra-226} 11 ^{Bi-214}	7 ^{Ac-228} 9 ^{Pb-212}	0,8 ^{U-235}	70	
Saar	12 ^{U-238} 7 ^{Ra-226} 6,5 ^{Bi-214}	6,5 ^{Ac-228} 7,5 ^{Pb-212}	0,5 ^{U-235}	60	

Tabelle 21: Aktivitäten verschiedener deutscher Steinkohlen sowie von Pechkohle

Herkunft	massenbezogene Aktivität [Bq/kg]			Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	K-40	
Ruhr	37 ^{U-238} 19 ^{Ra-226} 26 ^{Pb-210} 30 ^{Po-210}	19 ^{Th-232}	130	Jockel, 1980
Ruhr	10 ^{U-238} 11 ^{Ra-226} 7 ^{Pb-2100}	6 ^{Th-232} 5 ^{Th-228}	.	Kolb, 1979
Ruhr	18 ^{U-238} 19 ^{Ra-226} 14 ^{Pb-210}	9 ^{Th-232} 8 ^{Th-228}	.	
Ruhr	21 ^{Ra-226}	<19 ^{Th-232}	84	BStMLU, 1978
Ruhr <i>Voerde</i>	22 ^{Ra-226} 20 ^{Pb-210}	16 ^{Ac-228}	121	Muth, 1981
Saar	24 ^{Ra-226} 33 ^{Pb-210}	9 ^{Th-232}	167	
Saar	<19 ^{Ra-226} <19 ^{Pb-210}	.	111	BStMLU, 1978
Freitaler Revier	120-2200 ^{U-238} 180-5600 ^{Ra-226}	.	.	Hüttig, 1995
Freitaler Revier <i>Erzkohle</i>	max. 255.000 ^{U-238} 200.000 ^{Ra-226}	.	.	
Freitaler Revier	15.000 ^{U-238}	.	.	

Tabelle 22: Weitere Aktivitäten verschiedener deutscher Steinkohlen

7.4.2 Bergehalden Steinkohle-Bergbau

Probenahmestandort Probenahmetiefe	massenbezogene Aktivität [Bq/kg]				Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	Ac-Reihe	K-40	
Berge	44-69 ^{Ra-226}	41-63 ^{Ra-228}	.	339-609	IAEA, 2003
Grubenberge, China ¹	53 ^{Ra-226}	61 ^{Th-232}	.	530	
Waschberge, China ²	51 ^{Ra-226}	55 ^{Th-232}	.	344	
Bergehalde, Polen	42-64 ^{Ra-226}	43-59 ^{Ra-228}	.	590-840	Waligórski et al., 1996
Bergehalde, Deutschland (NI)	<6-32 ^{U-238} 38-56 ^{Ra-226} <15-56 ^{Pb-210}	.	.	352-385	Schmitz et al., 1985-2/
Bergehalde, Deutschland (BW)	207 ^{RA-226}	.	.	.	Schmitz et al., 1983
Bergehalde, Deutschland (SN) (bei Freital)	400-4000 ^{Ra-226}	.	.	.	BfS, 1992
Bergehalde, Deutschland (SN) (Döhlener Becken)	0-5 cm 25-30 cm	870 ^{U-238} 2500 ^{Ra-226} 1115 ^{U-238} 2550 ^{Ra-226}	.	.	Mende, 1993

¹ Mittelwert aus 526 Proben; ² Mittelwert aus 117 Proben, ³ Mittelwert aus 2 Proben

Tabelle 23: Aktivitäten von Bergematerial und Bergehalden

In /Schmitz et al., 1985-2/ wird für Bergehalden in Niedersachsen die Ortsdosis der Gammastrahlung auf der Haldenoberfläche mit 0-0,25 mSv pro Jahr für 50 % der untersuchten Halden und 0,25-0,50 mSv pro Jahr für die restlichen 50 % der untersuchten Halden angegeben.

Für eine Halde des ehemaligen Steinkohlebergbaus im Döhlener Becken (bei Dresden) mit deutlich über dem Grundniveau liegenden Urangehalten des Lagerstättenmaterials werden in /Mende 1993/ folgende Angaben zur Gamma-Ortsdosisleistung getroffen: Mittelwert aus 255 Einzelmessungen im 10 x 10 m Raster: 0,51 μ Sv/h, höchster Einzelmesswert: 1,6 μ Sv/h, Vergleichswert Umfeld: 0,1 μ Sv/h. Die Radon-Quellstärke der Halde betrug $4 \cdot 10^7$ Bq/h bei Exhalationsraten von 54 - 22.800 Bq/m²h.

7.4.3 Bergehalden Pechkohle-Bergbau

Tabelle 24 zeigt gammaspektrometrische Messergebnisse von Proben, die der Oberfläche einer **Bergehalde des Pechkohlenbergbaus** in Südbayern entnommen wurden (Aufschüttzeitraum ca. 1900 – 1920). Auf der Halde wurden Freizeitanlagen errichtet. Bereits an Hand dieser wenigen Messpunkte ist die Inhomogenität des Aktivitätsinventars erkennbar (Süd-Nord-Gefälle, was sich auch durch Gamma-Dosisleistungs-Messungen verifizieren lässt – Tabelle 25).

Probenahmeort Probenahmetiefe	massenbezogene Aktivität [Bq/kg]				Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	Ac-Reihe	K-40	
Fußballfeld Nordteil, 0-5 cm	100	12	7	163	Reichelt, 1992
Fußballfeld Nordteil, 5-20 cm	220	16	16	154	
Fußballfeld Südteil, 0-5 cm	168	9	16	81	
Fußballfeld Südteil, 5-20 cm	332	12	20	54	
BMX-Bahn, Senke, 0-5 cm	77	9	6	98	
BMX-Bahn, Hügel, 0-5 cm	72	9	2	101	
Haldenumfeld, 0-30 cm	18	15	1	130	
Haldenumfeld, 0-30 cm	23	12	1	145	

Tabelle 24: Aktivität entnommener Bodenproben einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus sowie des Haldenumfeldes, jeweils Mischproben von mehreren Probeentnahmestellen, Proben ungetrocknet; jeweils Mittelwert aus mehreren Radionukliden einer Zerfallsreihe

Die niedrigeren Messwerte an der Oberfläche sind auf Humusbildung zurückzuführen. Das durch Neubildungen unbeeinflusste Haldenmaterial zeigt Werte größer 200 Bq/kg für die mittlere Aktivität bzgl. der Radionuklide der Uran-Reihe. Bei Auswertung getrockneter Proben (Trockenmasse) würden höhere Aktivitätswerte resultieren.

In Tabelle 25 ist die nach Haldenregionen sortierte **Dosisleistung** von insgesamt 88 Messpunkten **auf dieser Halde** angegeben. Die Werte sind deutlich gegenüber dem natürlichen Untergrund (siehe Haldenumfeld) erhöht. Auch hier ist das Süd-Nord-Gefälle erkennbar. Die niedrigen Werte im Südteil der Halde resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Abschirmwirkungen der dort befindlichen Gebäude.

Haldenbereich	Gamma-Dosisleistung [$\mu\text{Sv/h}$]	Quelle
Nordteil	0,09 - 0,11	Reichelt, 1992
Mittlerer Teil	0,10 - 0,15	
Südteil	0,04 - 0,20	
Randbereiche	0,06 - 0,15	
Haldenumfeld	0,06 - 0,08	

Tabelle 25: Gemessene Gamma-Dosisleistung auf einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus (gleiche Halde wie in Tabelle 24); Messhöhe: 1 m über der Oberfläche

Die **Dosisleistung** auf einer unmittelbar **benachbarten Halde** jüngeren Datums zeigt ähnliche Werte (Tabelle 26).

Haldenbereich	Gamma-Dosisleistung [$\mu\text{Sv/h}$]	Quelle
Westteil	0,07 - 0,20	Reichelt, 1992

Tabelle 26: Gemessene Gamma-Dosisleistung auf einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus (unmittelbar benachbarte Halde gemäß Tabelle 24); Messhöhe: 1 m über der Oberfläche

Untersuchungsergebnisse bezüglich eines am nördlichen **Haldenrand** gelegenen Grundstückes, dessen **Haus- und Gartenbereich** sich auf Haldenmaterial gründet, sind in Tabelle 27 dargestellt.

Messgröße/Messgegenstand	Messwert	Quelle
Gamma-Dosisleistung Gartenbereich [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]	0,07 - 0,10	Reichelt, 1992
Massenbezogene Aktivität Gartenerde 0 – 10 cm U-Reihe [Bq/kg]	35 - 40	
Rn-222 Aktivitätskonzentration im Wohnhaus [Bq/m ³]	52 - 170	

Tabelle 27: Untersuchungsergebnisse von einem am Rand einer Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus gelegenen Grundstückes (gleiche Halde wie in Tabelle 24)

Die etwas über dem oberbayerischen Durchschnitt liegenden Radonmesswerte lassen sich durch Messungen in einem Gebäude, das auf einer weiteren Bergehalde des Pechkohlen-Bergbaus gegründet ist, bestätigen: 110 – 250 Bq/m³ (Reichelt, 92/).

7.4.4 Grubenwasser, Gewässer, Sedimente

Tabelle 28 enthält Aktivitätsangaben von **Grubenwasser** und den nachgeordneten Gewässern: dem **Flusswasser**, den **Fluss-Sedimenten** (nahe der Einleitungsstelle u. flussabwärts), **Bodenablagerungen** in der Nähe der Flussufer (infolge von Überschwemmungen) sowie **Klärschlamm** aus der Flusswasserklärung.

Die Sedimente zeigen an den Stellen, wo die Grubenwässer in die Vorflut eingeleitet werden, sehr hohe Aktivitätswerte. Da die Aktivität flussabwärts sich immer mehr verringert, nimmt auch die Sedimentaktivität ab. Die Abnahme hängt sehr stark von der Radiumkonzentration des Grubenwassers und der Wassereinleitungsrate ab, die von Tag zu Tag differiert. Infolge von Überschwemmungen können die Radiumaktivitäten auch in Ablagerungen jenseits der Flussufer festgestellt werden. Wird das Flusswasser in Kläranlagen gereinigt, so lassen sich die Aktivitäten auch im Klärschlamm deutlich nachweisen.

Messgegenstand/Probenahmestelle Maßeinheit	Aktivitätskonzentration massenbezogene Aktivität		Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	
Grubenwasser [Bq/l]	max. 63 ^{Ra-226}	max. 28 ^{Ra-228}	Wiegand und Sebastian, 2002
Flusswasser [Bq/l]	0,01 – 0,1 ^{Ra-226}	0,01 – 0,05 ^{Ra-228}	
Sedimente an Einleitungsstelle [Bq/kg]	max. 32.000 ^{Ra-226}	max. 15.000 ^{Ra-228}	
Sedimente flussabwärts [Bq/kg]	max. 5.000 ^{Ra-226}	max. 2.000 ^{Ra-228}	
Ablagerungen neben Flussufer [Bq/kg]	max. 1.400 ^{Ra-226}	max. 500 ^{Ra-228}	
Klärschlamm [Bq/kg]	500 – 1.400 ^{Ra-226}	max. 600 ^{Ra-228}	
landwirtschaftliche Produkte (Weide- gras, Milch) [mBq/l]	37 ^{Ra-226} 90 ^{Pb-210}	.	Gans et al., 1984

Tabelle 28: Aktivitäten von Grubenwasser, Flusswasser, Sedimenten, Ablagerungen, Klärschlamm und landwirtschaftlichen Produkten

In Grubenwässern und Vorflutern (Fluss) gemessene Aktivitätswerte aus polnischen Bergwerken zeigt Tabelle 29. In Deutschland gemessene Aktivitäten von Grubenwasser,

Sedimenten, Schlämme, Überschwemmungsflächen und Ablagerungen (Inkrustierungen) sind in Tabelle 30 sowie Tabelle 31 zu sehen.

Messgegenstand/Probenahmeort Maßeinheit	Aktivitätskonzentration massenbezogene Aktivität		Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	
Grubenwasser, Zuleitung Absetzteich Rontok [Bq/l]	max. 14,2 ^{Ra-226}	max. 3,38 ^{Ra-228}	Michalik et al., 2002
Grubenwasser, Ableitung Absetzteich Rontok [Bq/l]	max. 10,54 ^{Ra-226}	max. 5,01 ^{Ra-228}	
Absetzteich Rontok: Radiumkonzentration in nachgeschalteten Fluss Vistula: flussaufwärts[Bq/l]	max. 0,05 ^{Ra-226}	max. 0,05 ^{Ra-228}	
Absetzteich Rontok: Radiumkonzentration in nachgeschalteten Fluss Vistula: flussabwärts[Bq/l]	max. 0,787 ^{Ra-226}	max. 0,6 ^{Ra-228}	
Grubenwasser, Krupinski Grube, Polen [Bq/l]	max. 100 ^{Ra-226}	.	Chalupnik, 2002
Grubenwasser, Piast Grube, Polen [Bq/l]	max. 12 ^{Ra-226}	.	
Grubenwasser, versch. Gruben, Polen ¹ [Bq/l]	max. 92 ^{Ra-226}	max. 72 ^{Ra-228}	Skowronek, 1999
Grubenwasser, versch. Gruben, Oberschlesien Polen ² [Bq/l]	max. 260 ^{Ra-226}	max. 30 ^{Ra-228}	Tomza und Lebecka, 1981
Ablagerungen in Rohren, versch. Gruben, Oberschlesien Polen [Bq/kg]	1.100.000 ^{Ra-226}	.	

¹ 622 untersuchte Proben; ² über 800 untersuchte Proben

Tabelle 29: Aktivitäten von Grubenwasser und Flusswasser in Polen

Messgegenstand/Probenahmeort Maßeinheit	Aktivitätskonzentration massenbezogene Aktivität		Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	
Austretendes Grubenwasser, Ruhrgebiet ¹ [Bq/l]	0,57 – 12,0 ^{Ra-226}	.	Leopold et al., 2002
Sedimente, Inkrustierungen [Bq/kg]	6.000-56.000 ^{Ra-226}	.	
Grubenwasser [Bq/l]	max. 12.000 ^{Ra-226}	.	Leopold, 2003
Sedimente, Inkrustierungen [Bq/kg]	max. 56.000 ^{Ra-226}	.	
Überschwemmungsflächen [Bq/kg]	max. 32.000 ^{Ra-226}	6.500 ^{Ra-228}	/Barthel et al., 2000/
Sedimente [Bq/kg]	6.000 ^{Summe Nuklidgemisch_2}	.	
Inkrustierungen [Bq/kg]	23.000 ^{Summe Nuklidgemisch_3}	.	
Sedimente+Inkrustierungen [Bq/kg]	max. 56.000 ^{Summe Nuklidgemisch}	.	Gellermann et al., 2003
Schlämme [Bq/kg]	max. 28.600 ^{Ra-226}	max. 15.600 ^{Ra-228}	
Ablagerungen (Anlagen) [Bq/kg]	max. 400.000 ^{Ra-226}	.	

¹ 7 untersuchte Gruben; ² 110 Messunge; ³ 4 Messungen

Tabelle 30: Aktivitäten von Grubenwasser, Sedimenten, Schlämmen, Ablagerungen²

² Die Aktivitätsangaben in /Leopold et al., 2002/, /Leopold, 2003/ und /Barthel et al., 2000/ gehen allesamt auf die Quelle: Streffer und Müller: „Bewertung von natürlichen Radionukliden an Arbeitsplätzen im Bergbau“, Uni-

Messgegenstand/Probenahmeort Maßeinheit	Aktivitätskonzentration massenbezogene Aktivität		Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	
Boden [Bq/kg]	1600 ^{Ra-226}	.	Feige und Wiegand, 1998
Sedimente [Bq/kg]	3.500-32.310 ^{Ra-226}	.	
Grubenwasser [Bq/l]	max. 13 ^{Ra-226}	.	
Vorfluter [Bq/l]	max. 1 ^{Ra-226}	.	
Jahresfracht durch Grubenwassereinleitungen im Ruhr-Revier [GBq]	ca. 200 - 300 ^{Ra-226}	.	
Boden [Bq/kg]	287 ^{Ra-226} 219 ^{Pb-210}	59 ^{Ra-228} 63 ^{Th-228}	Vahlbruch et al., 2002
	max. 545 ^{Ra-226} max. 372 ^{Pb-210}	max. 146 ^{Ra-228} max. 115 ^{Th-228}	

Tabelle 31: Aktivitäten von Grubenwasser, Vorflutern, Boden, Sedimenten

7.4.5 Absetzteiche

Ein Teil der Grubenwässer wird als Prozesswasser für die Sortierung und Flotation verwendet (Ausgleich von Wasserverlusten im Prozesswasserkreislauf) und auf diese Weise auch den Absetzteichen zugeführt (vgl. Kapitel 5 und 6 sowie Abbildung 17). Damit wird in den Absetzteichen, insbesondere in ihren Bergebestandteilen und Sedimenten, aber auch in den nachgeschalteten Flussläufen, Aktivität angereichert. In der Literatur finden sich z. B. detaillierte Studien zu den Gegebenheiten polnischer Kohlebergwerke (/Michalik et al., 2002/, /Wysocka et al., 2002/). In diesen Studien sind nicht nur quantitative Angaben zu den Aktivitäten enthalten, sondern zudem verschiedene Untersuchungen entsprechend der Qualität des den jeweiligen Absetzteich speisenden Grubenwassers (Typ A oder Typ B vgl. Kapitel 7.3.2) vorgelegt.

Tabelle 32 enthält Aktivitätsangaben von **Sedimenten in Absetzteichen**.

Messgegenstand/Probenahmeort Maßeinheit	massenbezogene Aktivität [Bq/kg]		Quelle
	U-Reihe	Th-Reihe	
Sediment des Absetzteiches Rontok (Grubenwässer Typ A)	max. 49.151 ^{Ra-226}	max. 6.388 ^{Ra-228}	Michalik et al., 2002
Sedimente nahe der Einleitungsstelle (Absetzteich Rontok)		55.000 ^{Ra-226 + Ra228}	
Sediment des Absetzteiches Bojszowy Reservoir (Grubenwässer Typ B)	max. 950 ^{Ra-226}	max. 1.705 ^{Ra-228}	
Sediment des Absetzteiches Jankowice	350 – 4.400 ^{Ra-226}	215 – 2.400 ^{Ra-228}	

Tabelle 32: Aktivitäten von Sedimenten in Absetzteichen

versitätsklinikum Essen, 1998 zurück. Leopold bezieht die Aktivität auf Ra-226 und Barthel auf die Gesamtaktivität. Der Widerspruch konnte nicht geklärt werden, da die Originalquelle nicht zugänglich ist /Müller, 2004/.

7.4.6 Oberirdische Gebäude

Aus Abbildung 17 geht hervor, dass in Steinkohlebergbaugebieten durch das Anlegen der Grubenbaue die Radonkonzentrationen in oberirdischen Gebäuden beeinflusst werden können. Untersuchungen zur Radonkonzentration in einem ehemaligen Steinkohleabbaugebiet (Freitaler Bergbaugebiet in Sachsen, seit 1946 auch Uranerzabbau) ergab in Häusern die in Tabelle 33 aufgeführten Radonkonzentrationen.

Stockwerk	Rn-222 Median [Bq/m ³]	Rn-222 Maximalwert [Bq/m ³]
Keller	250	72.000
Erdgeschoß	104	15.000
1. Etage	69	3.300
Höhere Etagen	57	1.500

Tabelle 33: Radonkonzentrationen in Wohnungen eines Steinkohlebergbaugebietes /Lehmann und Czarwinski, 1993/

7.4.7 Schlussfolgerungen

Anhand der Auswertung von Messwerten aus der Literatur, von denen eine breite Auswahl in den vorhergehenden Unterkapiteln zitiert wurde, ergibt sich folgendes Bild:

Abgesehen von einigen Ausnahmen im Freitaler Revier liegen die Aktivitäten der Steinkohle selbst unterhalb von 200 Bq/kg pro Radionuklid. Somit ist auch im Material von **Kohlehalden** im Allgemeinen nicht mit einer Aktivität > 200 Bq/kg zu rechnen.

Bergehalden mit einem Aktivitätsinventar > 200 Bq/kg pro Radionuklid wurden erwartungsgemäß im Freitaler Bergbaurevier identifiziert und darüber hinaus in Oberbayern bei der Pechkohlegewinnung sowie in Baden Württemberg. Für das Ruhrgebiet kann anhand der Datenlage angenommen werden, dass die durchschnittlichen Aktivitäten des Haldenmaterials < 200 Bq/kg betragen. Dies konnte auch durch bisher nicht veröffentlichte Messdaten bestätigt werden /Müller, 2004/.

Da eine flächendeckende Bewertung von Bergehalden nicht vorliegt, besteht die Möglichkeit, weitere Gebiete oder einzelne Halden- bzw. Haldenbereiche mit Aktivitätswerten > 200 Bq/kg vorzufinden.

Messdaten, die bezüglich der Korngrößenverteilung der Berge (Grob-, Fein-, Feinstberge) differenzieren, liegen uns nicht vor. Bei Anlagerungsprozessen, die z. B. bei der Ein-

speisung von Grubenwasser in den Prozesswasserkreislauf wahrscheinlich sind, kann die massenbezogenen Aktivitäten in Richtung feineres Material ansteigen.

Da entsprechend Abbildung 17 Feinberge aus der Sortierung und höheraktives Material aus den Absetzteichen (vgl. Tabelle 32) aufgehaldet wird, müsste für alle Halden eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben sein, in mehr oder weniger großen Teilbereichen Aktivitätswerte $> 200 \text{ Bq/kg}$ aufzuweisen.

In **Absetzteichen** können auf Grund der beschriebenen Grubenwasserproblematik sehr hohe Radiumaktivitäten vorkommen.

Im Zusammenhang mit der Einleitung und der Verwendung von Grubenwässern in der Aufbereitung können **Vorfluter** und nachrangige **Gewässer**, **Sedimentablagerungen** dieser Gewässer, **Prozesswasser-Rückstände**, **Abwässer**, **Klärschlämme** und **Anlagenteile** **hohe Radiumaktivitätswerte besitzen**.

Infolge der Bergbautätigkeiten, insbesondere der Errichtung der Grubenbaue, können sich Radonkonzentrationen in **oberirdischen Gebäuden** erhöhen.

8 STEINKOHLENFÖRDERUNG

8.1 Historischer Überblick

Die **Anfänge des Steinkohlenbergbaus in Deutschland** liegen im frühen Mittelalter. Die ältesten Nachrichten hierüber sind **ca. 900 Jahre alt** und berichten über den Kohlenabbau im *Wurm-Revier* bei Aachen. Die ältesten überlieferten Erwähnungen über den Abbau an der Ruhr stammen aus dem Jahr 1129, 1302 sowie 1317. Aus der Folgezeit gibt es auch Überlieferungen vom Kohlebergbau an der Saar.

Im Ruhrgebiet begann der Abbau an den zu Tage streichenden oberflächlich gelagerten Flözen des *Ruhrtals* und verlagerte sich dann immer mehr in nördlicher Richtung. Im 16. Jh. dehnten sich die Abbaufelder in den Westen der Region aus.

Das Graben von *Pingen* (**Kohlengräberei** – Abbildung 28, links) wurde bereits vor dem Jahre 1600 durch die Etablierung von Stollenbetrieben allmählich abgelöst (Abbildung 28, rechts). Durch die Möglichkeit des Sprengens mit Schwarzpulver ist der **Stollenbau** gegen Ende des 17. Jh. deutlich verbessert worden.



Abbildung 28: Frühe Kohlegräberei (links) wurde durch Stollenbau abgelöst (rechts) /DSK, 2004/

1738 wurde mit der Gründung des Bergamtes in Bochum der Bergbau an der Ruhr zum Nutzen der preußischen Staatswirtschaft organisiert. Es gab zu dieser Zeit einen hohen Anteil an Klein- und Kleinstzechen.

Durch das Anlegen von **Tiefbauschächten** im 19. Jh. konnte man zusätzlich zu der geförderten Magerkohle auch Fettkohle fördern, die sich für die Verkokung als geeigneter erwies. Mit der dadurch beginnenden Verbindung von Steinkohle und Eisen begann an der Ruhr eine Entwicklung zum Montanrevier, so dass ab den 40er Jahren des 19. Jh. die Kohleförderung explosionsartig zu wachsen begann. 1839 überschritt die Förderung im Ruhrgebiet erstmalig die Millionen-Tonnen-Grenze.



Abbildung 29: Kohlebergbau Anfang des 19. Jahrhunderts /Walker, 1814/

Von Mitte des 19. Jh. bis zum ersten Weltkrieg gab es ein auf und ab der konjunkturellen Entwicklung. Insgesamt jedoch stieg die **Förderung** ständig. Sie erreichte 1913 im deutschen Zollgebiet nahezu 140 Mio. t Rohkohle (vgl. Abbildung 30). Mit einem Auf und Ab stieg die Förderung auch über den 1. Weltkrieg hinweg insgesamt weiter an, um im Jahre 1943 ca. 190 Mio. t Rohkohle zu erreichen. Einen erneuten Aufschwung gab es nach der Währungsreform im Jahre 1948. Die fünfziger Jahre des 20. Jh. wurden zur zweiten Blütezeit der Steinkohle, bis 1958, ausgelöst durch Verschiebungen in der Energieversorgung (Importkohle, Erdöl), der unerwartete Einbruch kam. Wurden Ende der 50er Jahre noch ca. 150 Mio. t_{SKE} Kohle gefördert, so waren es zu Beginn der 70er Jahre nur noch ca. 100 Mio. t_{SKE} (die Rohkohleförderung erreichte ihr Maximum 1964 mit ca. 245 Mio. t – Abbildung 30). Die Produktion verringerte sich in den darauf folgenden Jahren kontinuierlich und betrug um die Jahrtausendwende noch ca. 30 Mio. t_{SKE}. 1968 wurde politisch zugunsten der Steinkohle eingegriffen, es kam im darauf folgenden Jahr zur Gründung der Ruhrkohle AG, die 1998 durch Zusammenschluss mit den Saarbergwerken zur Deutschen Steinkohle AG (DSK) firmierte³.

Ausgelöst durch den Brennstoffmangel wurden nach **dem 2. Weltkrieg** viele **Kleinstzechen** eröffnet. Von insgesamt 220 solcher Zechen des Ruhrgebietes im Jahre 1950 (Förderung: 81.000 t) blieben 1964 noch 24 übrig (Förderung: 208.000 t). Die letzte Kleinzeche wurde dort 1976 stillgelegt.

1994 wurden in den Revieren Ruhr, Saar, Aachen, Ibbenbüren Steinkohlen in **19 Großbetrieben** mit einer durchschnittlichen Förderung von 2,9 Mio. t/a und **2 Kleinzechen** gefördert. Eine Gesamtbilanz der Förderung, des Imports und der Verwendung wird für das Jahr 1994 in Tabelle 34 gegeben.

³ Die DSK ist im Jahr 1998 durch den Zusammenschluss der Bergbauunternehmen Ruhrkohle Bergbau AG, Herne und Saarbergwerke AG, Saarbrücken entstanden. Als Betriebsführungsgesellschaft arbeitet die DSK im Namen und für Rechnung der RAG Aktiengesellschaft, Essen. Nach der Integration der Preussag Anthrazit GmbH als "DSK Anthrazit Ibbenbüren GmbH" in den RAG-Konzern zum 1. Januar 1999 ist der inländische Steinkohlenbergbau unter einem Dach zusammengefasst.

Rohkohleförderung	103,2 Mio. t
Handelskohle	55,6 Mio. t = 52,3 Mio. t _{SKE}
Anteil Tiefbaubetriebe	100 %
Anteil Vollmechanisierung	100 %
Anteil schneidende Gewinnung	51,2 %
Anteil schälende Gewinnung	48,5 %
Förderung aus Streben mit Flözmächtigkeiten von 0,7 – 1,4 m	20,7 %
Förderung aus Streben mit Flözmächtigkeiten von 1,4 – 2,2 m	48,7 %
Förderung aus Streben mit Flözmächtigkeiten von > 2,2 m	30,6 %
Anteil Förderung Ruhrrevier	78 %
Anteil Förderung Saarrevier	15 %
Anteil Förderung Aachener Revier	3 %
Anteil Förderung Ibbenbürener Revier	4 %
Import Steinkohlen u. Steinkohlenbriketts	15,485 Mio. t
Import Steinkohlenkoks	2,118 Mio. t
Hauptlieferländer: Südafrika	5,202 Mio. t
Polen	3,732 Mio. t
Australien	1,592 Mio. t
Niederlande	0,784 Mio. t
CSFR	0,771 Mio. t
USA	0,577 Mio. t
Verwendung inländische Produktion:	70,1 %
Kraftwerke	27 % der nationalen Stromerzeugung
Stahlindustrie	26,0 %
Kleinverbraucher, Militär, Hausbrand, Deputat	1,8 %
Übrige	2,1 %
Kokserzeugung in Zechenkokereien	4,49 Mio. t Koks 493,7 m ³ Gas/t _{Koks} , 2216,9 Mio. m ³
Verwendung Import: Kraftwerke	10,5 Mio. t
Kokereien	1,3 Mio. t
produzierendes Gewerbe (incl. eisenschaffender Industrie)	4,0 Mio. t

Tabelle 34: Steinkohlenbilanz (Förderung, Import, Verwendung) für das Jahr 1994 /Hinrichs et al., 1999/

8.2 Die Förderung von Rohkohle auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

8.2.1 Vorgehen bei der Datenerhebung

Bei der Ermittlung der bei der Steinkohlenförderung und Steinkohlenaufbereitung anfallenden Rückstände wurde von der **Rohkohlenförderung** ausgegangen. Zur Ermittlung der

Rohförderung wurden folgende Quellen ausgewertet: /Kaufhold und Sachse, 1993/, /Fischer, 1994/, /Fischer, 1995/, /Fischer, Prof., 2004/, /Kohlenwirtschaft, 2004/.

Die Daten zu den obigen Quellen finden sich in der Anlage. Mit Hilfe gebietsgeschichtlicher Recherchen wurden die in den Quellen angegebenen Fördermengen der einzelnen Zeiträume **auf das Gebiet in den Grenzen der Bundesrepublik Deutschland** von 2004 bezogen.

Angaben in verwertbarer Förderung (t oder t_{SKE}) wurden **in Rohförderung umgerechnet**.

Zur Erhebung der Daten in den Quellen selbst (z. B. Datenaufbereitung, Gebietsaufteilungen, Umrechnung von Volumenmaßen) muss auf die zahlreichen Anmerkungen in den selbigen verwiesen werden.

In einigen Zeiträumen fehlende Daten mussten durch Hochrechnungen, Inter- sowie Extrapolationen ergänzt werden. Die Fehler dieser Ergänzungen sind bezogen auf die Gesamtfördermengen vernachlässigbar.

In den folgenden beiden Tabellen (Tabelle 36, Tabelle 39, Tabelle 38, Tabelle 39, Tabelle 35) sind einige Angaben zu unserem Vorgehen bei Hochrechnungen und Gebietsaufteilungen enthalten.

RF = Rohförderung [t]

VF = verwertbare Förderung [t]

VF_{SKE} = verwertbare Förderung [t_{SKE}]

BA = Bergeanteil [%]

B = Berge [t]

$VF_{SKE} = 0,92 \cdot VF$

$VF = 1,08 \cdot VF_{SKE}$

$RF = VF / (1-BA) = 1,08 \cdot VF_{SKE} / (1-BA)$

$B = RF \cdot BA = VF \cdot BA / (1 - BA)$

Tabelle 35: Verwendete Beziehungen zwischen Rohförderung und verwertbarer Förderung

Die Festlegung der Zeiträume für die in den folgenden Kapiteln dargestellten Fördermengen wurde aus praktischen Erwägungen heraus an die Darstellungen in den oben angeführten Quellen angelehnt. Daraus ergab sich die folgende Zeitabschnittsaufteilung:

- 1792 – 1850
- 1850 – 1914
- 1915 – 1944
- 1945 – 2003

Hochrechnung für den Rheinischen und Niedersächsisch-thüringischen Hauptbergdistrikt (HBD)

Im Rheinischen und im Niedersächsisch-thüringischen Hauptbergdistrikt enthält die Quelle nur Daten zur Steinkohleförderung ab 1816. Für die Hochrechnung für den Zeitraum von 1792 bis 1816 wurden die Daten mithilfe der Werte der Förderung des Westfälischen HBD bzw. des Oberschlesischen Bergamtes ermittelt, da hier Daten zur Steinkohleförderung schon ab 1792 vorlagen. Hierzu wurde zuerst der Mittelwert der Förderung der ersten drei Jahre (1816-1818) in allen Bezirken gebildet. Der entsprechende Mittelwert sei im Folgenden mit einer Überstreichung gekennzeichnet.

Daraus wurden folgende Quotienten gebildet:

$$Q_1 = \frac{\text{Rheinland}}{\text{Oberschlesien}}$$

$$Q_2 = \frac{\text{Rheinland}}{\text{Westfalen}}$$

$$Q_3 = \frac{\text{Nieders.Thür.}}{\text{Oberschlesien}}$$

$$Q_4 = \frac{\text{Nieders.Thür.}}{\text{Westfalen}}$$

Unter der Annahme, dass die Quotienten für den früheren Verlauf konstant bleiben, wurden daraus für Rheinland und Niedersachsen-Thüringen je zwei Datenreihen für den Zeitraum vor 1816 gewonnen, indem die Werte der Förderung in Westfalen bzw. Oberschlesien mit den entsprechenden Quotienten multipliziert wurden. Da dies zu jeweils unterschiedlichen Datenreihen geführt hat, wurden die endgültigen Werte durch abschließende Mittelwertbildung ermittelt.

Hochrechnung für Restdeutschland

Für den Zeitraum vor 1850 lagen in den Quellen nur Angaben für Preußen vor. Hier wurde analog verfahren wie im obigen Abschnitt. Auch hier wurde die Annahme getroffen, dass das Verhältnis der Förderungen zueinander konstant bleibt:

$$Q_5 = \frac{\text{Restdeutschland}}{\text{Oberschlesien}}$$

$$Q_6 = \frac{\text{Restdeutschland}}{\text{Westfalen}}$$

Auch hier wurden die Daten der Hochrechnung für den Zeitraum vor 1850 aus der Bildung des Mittelwertes der beiden Datenreihen gewonnen.

Tabelle 36: Erläuterungen zu den Hochrechnungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik

Gebietsaufteilungen bis 1850	
Einteilung in Hauptbergdistrikte:	
Der schlesische Hauptbergdistrikt geht 1850 in die Provinz Schlesien über.	
Der sächsisch-thüringische Hauptbergdistrikt geht 1850 in die Provinz Sachsen über.	
Der westfälische Hauptbergdistrikt teilt sich 1850 in die Provinz Westfalen und in den Regierungsbezirk Düsseldorf (Provinz Rheinland) auf.	
Der rheinische Hauptbergdistrikt ging 1850 komplett in die Rheinische Provinz über.	
Folglich entsprechen die Provinzen folgenden Hauptbergdistrikten:	
Provinz Schlesien:	Schlesischen HBD
Provinz Sachsen:	Niedersächsisch-thüringischer HBD
Provinz Westfalen:	Westfälischen HBD ohne Reg.Bez. Düsseldorf
Provinz Rheinland:	Rheinischen HBD mit Reg.Bez. Düsseldorf

Tabelle 37: Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik bis 1850

Gebietsaufteilungen 1850 bis 1914	
Einteilung der Bergämter von 1850 nach Regierungsbezirken:	
Kgr. Preußen: Die Steinkohlenförderung in Preußen setzt sich aus den unten genannten Provinzen zusammen. Die Provinzen Hannover und Hessen-Nassau wurden von Preußen 1866 annexiert, weswegen sie erst ab diesem Zeitpunkt in der preußischen Statistik laufen. Zuvor waren sie unter den Statistiken des Königreiches Hannover und des Kurfürstentums Hessen verzeichnet.	
Provinz Schlesien besteht aus: - Regierungsbezirk Breslau - Regierungsbezirk Liegnitz - Regierungsbezirk Oppeln	
Provinz Sachsen besteht aus: - Regierungsbezirk Magdeburg - Regierungsbezirk Merseburg - Regierungsbezirk Erfurt	
Provinz Hannover besteht aus: - Regierungsbezirk Hannover - Regierungsbezirk Hildesheim - Regierungsbezirk Osnabrück	
In der Quelle fehlen in der Tabelle für den Regierungsbezirk Osnabrück die Angaben für die Jahre 1876 und 1877. Diese wurden aus der Differenz der Förderung der Provinz Hannover zu der Summe der Förderung der einzelnen Bezirke gewonnen.	
Provinz Westfalen besteht aus: - Regierungsbezirk Münster - Regierungsbezirk Minden - Regierungsbezirk Arnsberg	
Provinz Hessen-Nassau besteht aus: - Regierungsbezirk Kassel	
Provinz Rheinland besteht aus: - Regierungsbezirk Koblenz - Regierungsbezirk Düsseldorf - Regierungsbezirk Trier - Regierungsbezirk Aachen	
Das Kgr. Bayern besteht aus dem rechtsrheinischen Bayern und der Bayrischen Pfalz	
Die Thüringische Staaten bestehen aus dem Ghtm. Sachsen-Weimar, dem Htm Sachsen-Meiningen und dem Htm Sachsen-Coburg-Gotha	
Hier ist die Abweichung der Gesamtangaben der thüringischen Staaten von der Summe der Einzelangaben in jedem Jahr sehr groß.	

Tabelle 38: Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik 1850 bis 1914

Gebietsaufteilungen nach 1861	
Einteilung der Bergämter nach 1861 nach Oberbergämtern:	
Nach der preußischen Bergrechtsreform 1861 wurden die Bergämter und Hauptbergdistrikte zu neuen Oberbergämtern zusammengefasst.	
Der OBA Bonn wurde aus folgenden Regierungsbezirken zusammengefasst: - Aachen (Rheinprovinz) - Koblenz (Rheinprovinz) - Trier (Rheinprovinz)	
Der OBA Dortmund wurde wie folgt zusammengefasst: - Provinz Westfalen - Regierungsbezirk Düsseldorf (Rheinprovinz) - Regierungsbezirk Osnabrück (Provinz Hannover)	
Ab 1875 gilt diese Zusammenfassung für die Oberbergämter Bonn und Dortmund nicht mehr genau, denn Teile der Förderung des OBA Dortmund wurden dem OBA Bonn unterstellt.	
Der OBA Breslau entspricht genau der Provinz Schlesien.	
Der OBA Halle entspricht der Provinz Sachsen	
Der OBA Clausthal wurde wie folgt zusammengefasst: - Regierungsbezirk Kassel (Provinz Hessen-Nassau) - Regierungsbezirk Hannover (Provinz Hannover) - Regierungsbezirk Hildesheim (Provinz Hannover)	
Von 1873 bis 1897 gilt jedoch die Zusammenfassung für die Oberbergämter Halle und Clausthal nicht mehr exakt, denn Teile der Förderung des OBA Clausthal wurden dem OBA Halle unterstellt.	

Tabelle 39: Erläuterungen zu den Gebietsaufteilungen bei der Quellenaufbereitung zur Förderstatistik nach 1861

8.2.2 Die Förderung von Rohkohle im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003

In Abbildung 30 ist die Förderung als Übersicht im gesamten betrachteten Zeitraum von 1792 bis 2003 dargestellt. Vor 1792 liegen uns keine Daten vor; die momentan aktuellsten Daten beziehen sich auf das Jahr 2003.

Wie dem Verlauf des Diagramms in Abbildung 30 zu entnehmen ist, sind die Fördermengen vor 1792 bezogen auf die integrale Fördermenge von den Anfängen bis jetzt vernachlässigbar, so dass der relativ hohe Aufwand für die Beschaffung von Datenmaterial jenseits des Jahres 1792 nicht gerechtfertigt wäre.

Der zeitliche Verlauf der Fördermengen wurden bereits im Kapitel 8.1 besprochen.

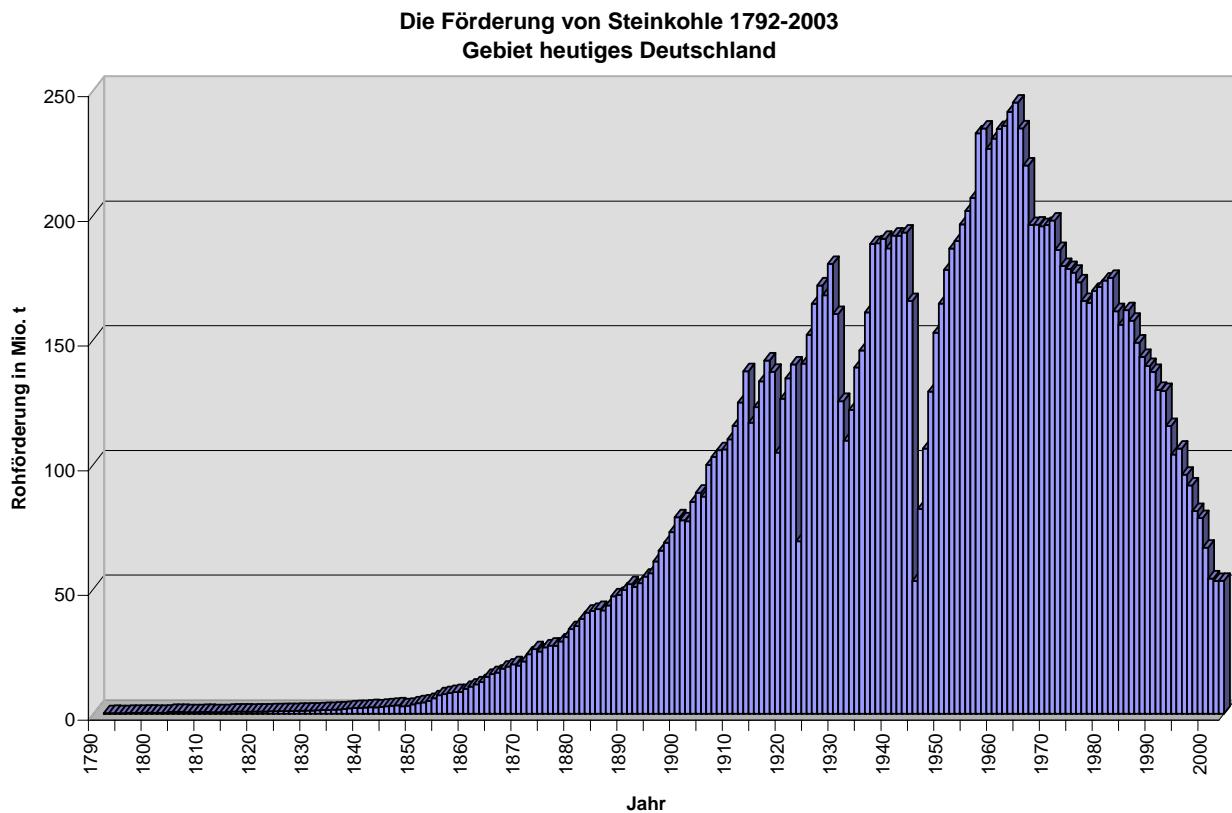


Abbildung 30: Gesamtübersicht: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands von 1792 bis 2003

8.2.3 Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1792 bis 1850

Zunächst wurde die gesamte Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands dargestellt (Abbildung 31). Diese Daten sind im Diagramm von Abbildung 30 für den entsprechenden Zeitabschnitt wieder zu finden.

Um die lokale Verteilung der Förderung sichtbar zu machen, wurden in Abbildung 32 die Förderung in Preußen (aufgegliedert in 3 Distrikte) dargestellt, welches das Ruhrgebiet einschließt.

Die übrigen deutschen Fördergebiete wurden unter restliches Deutschland zusammengefasst und im Vergleich zu Preußen dargestellt (Abbildung 33).

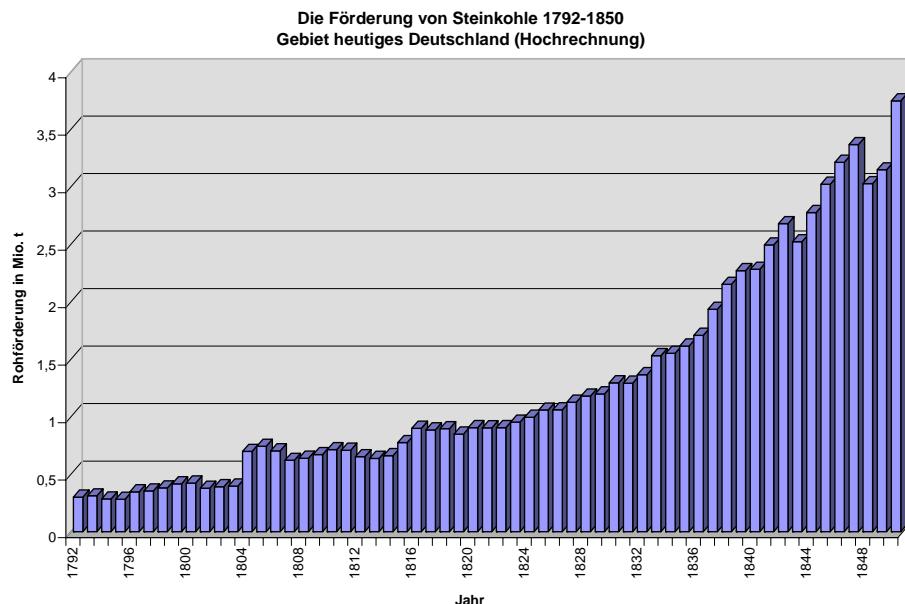


Abbildung 31:
Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands von 1792 bis 1850

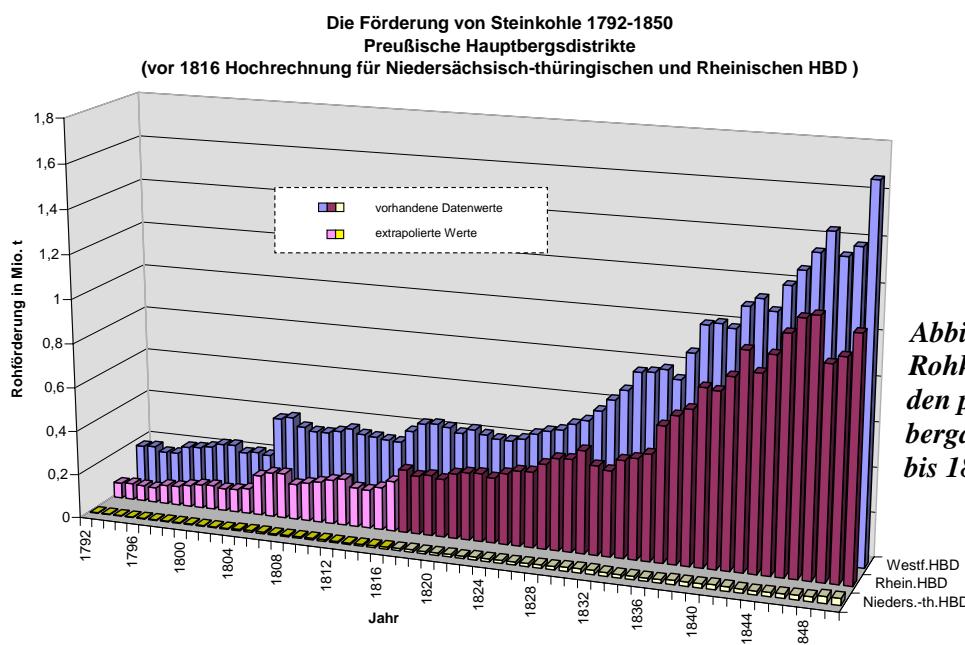


Abbildung 32:
Rohkohleförderung in den preußischen Hauptbergdistrikten von 1792 bis 1850

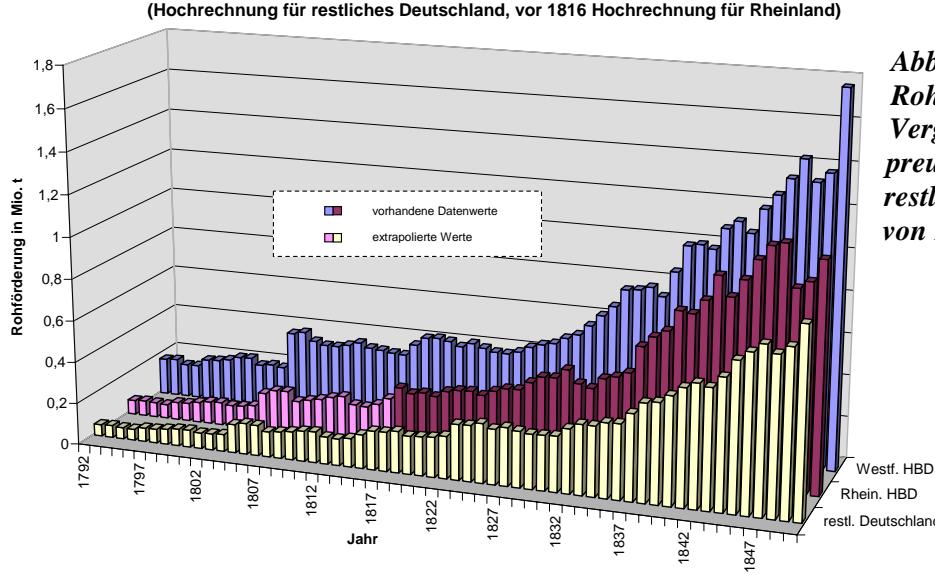


Abbildung 33:
Rohkohleförderung: Vergleich zweier preußischer Distrikte mit restlichem Deutschland von 1792 bis 1850

8.2.4 Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1850 bis 1914

Die gesamte Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland für den Zeitraum 1850 bis 1914 ist in Abbildung 34 dargestellt.

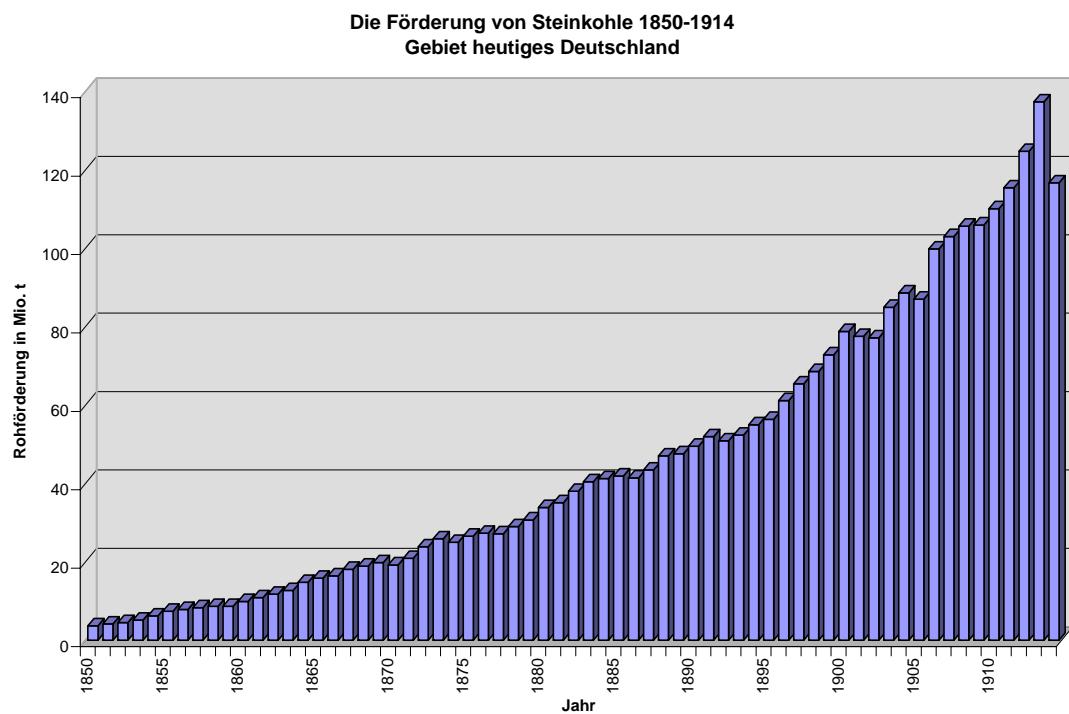
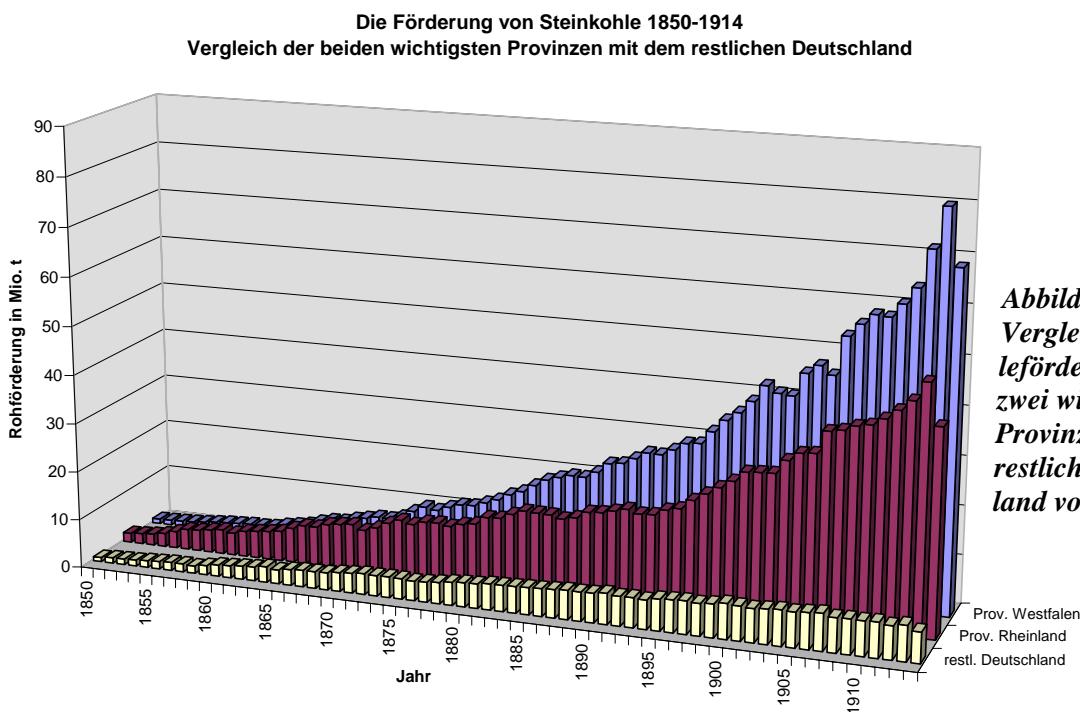


Abbildung 34: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1850 bis 1914



*Abbildung 35:
Vergleich der Rohkohleförderung in den
zwei wichtigsten
Provinzen mit dem
restlichen Deutschland
von 1850 bis 1914*

Abbildung 35 zeigt, dass sich das Übergewicht der beiden preußischen Provinzen Westfalen und Rheinland gegenüber dem restlichen deutschen Fördergebieten im Laufe des 19. Jh. und zu Beginn des 20. Jh. verstärkt hat.

Die Rohkohlegewinnung in diesen restlichen deutschen Fördergebieten ist separat in Abbildung 36 dargestellt. Hierunter besitzt Sachsen den Hauptanteil.

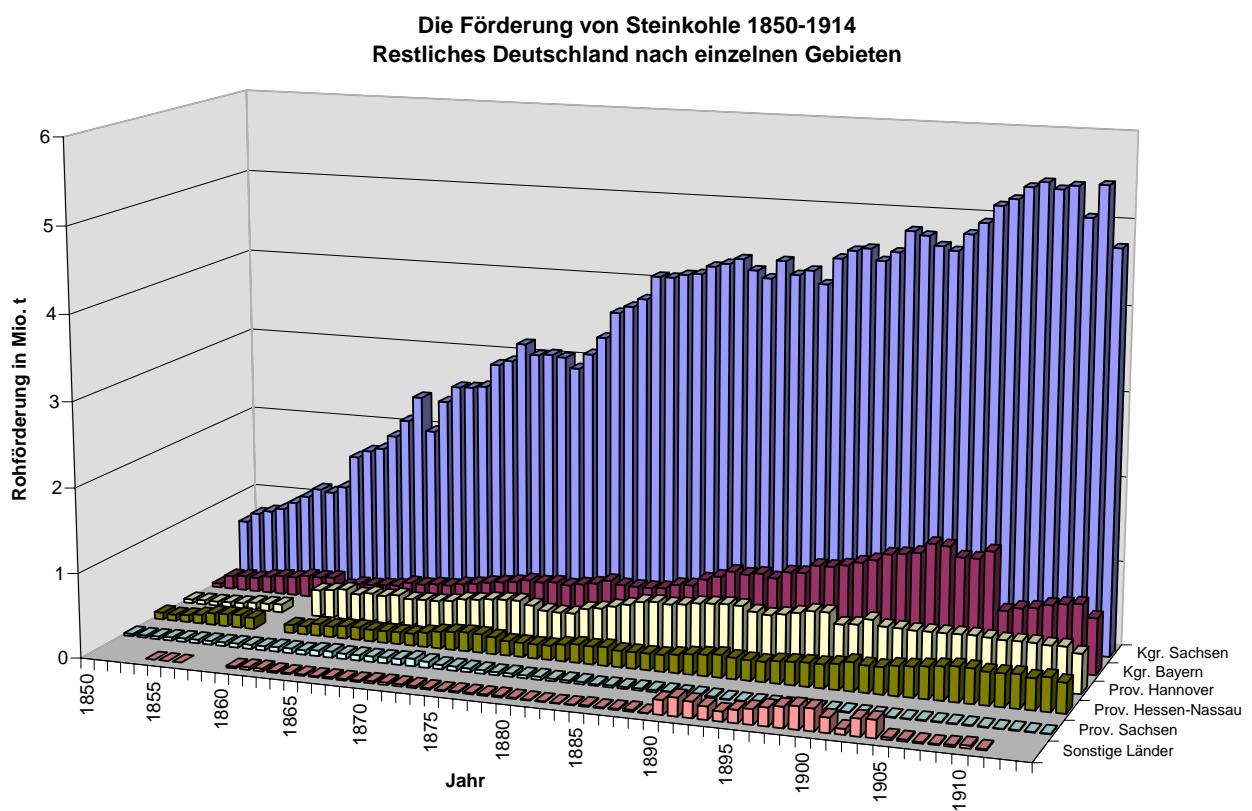


Abbildung 36: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschland (ohne Westfalen und Rheinland) von 1792 bis 1850

8.2.5 Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1915 bis 1944

Abbildung 37 zeigt die berechnete Rohkohleförderung auf dem heutigen Bundesgebiet in den Jahren von 1915 bis 1944.

Aus Abbildung 38 wird wiederum die Dominanz der Ruhrkohle deutlich.

Die Rohkohlegewinnung in den übrigen deutschen Fördergebieten ist separat in Abbildung 39 dargestellt. Hierunter nimmt wiederum Sachsen die Spitzenposition ein.

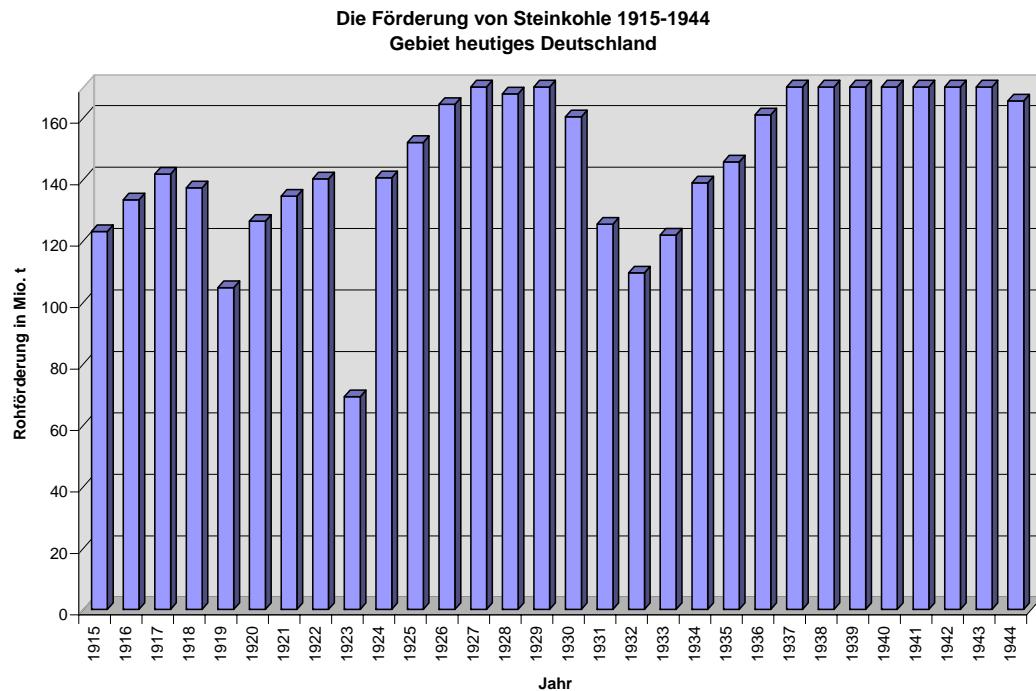


Abbildung 37: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1915 bis 1944

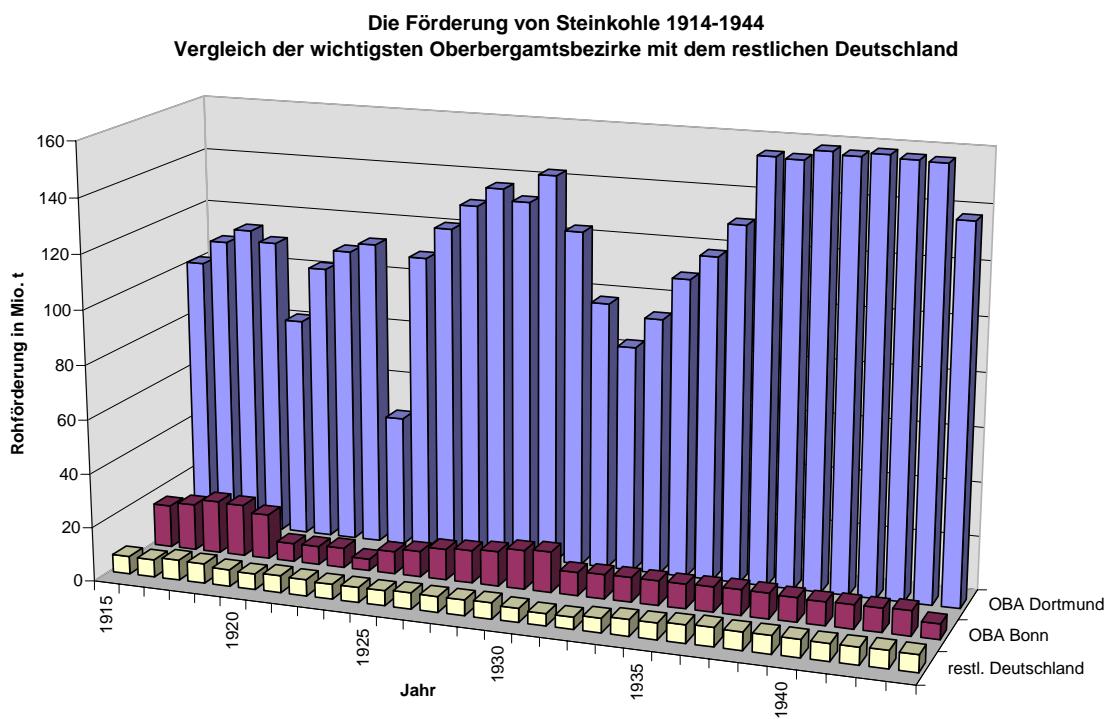


Abbildung 38: Vergleich der Rohkohleförderung in den zwei wichtigsten Bezirken mit dem restlichen Deutschland von 1915 bis 1944

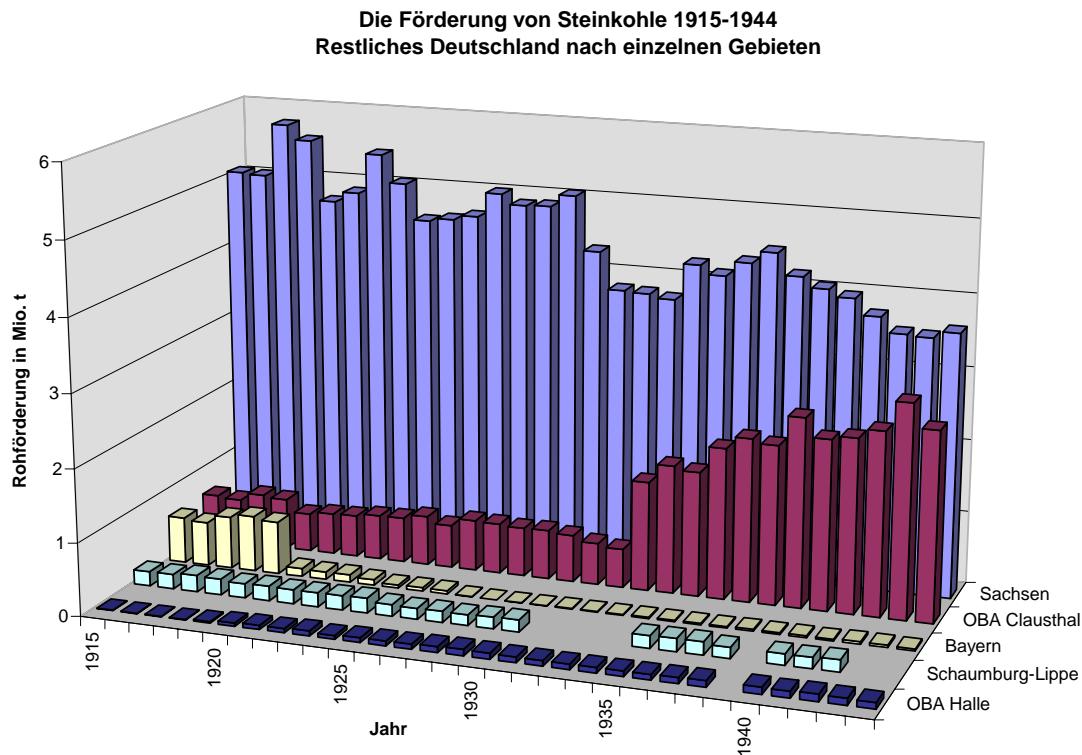


Abbildung 39: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschland (ohne OBA Dortmund und OBA Bonn) von 1915 bis 1944

8.2.6 Die Förderung von Rohkohle in den Jahren 1945 bis 2003

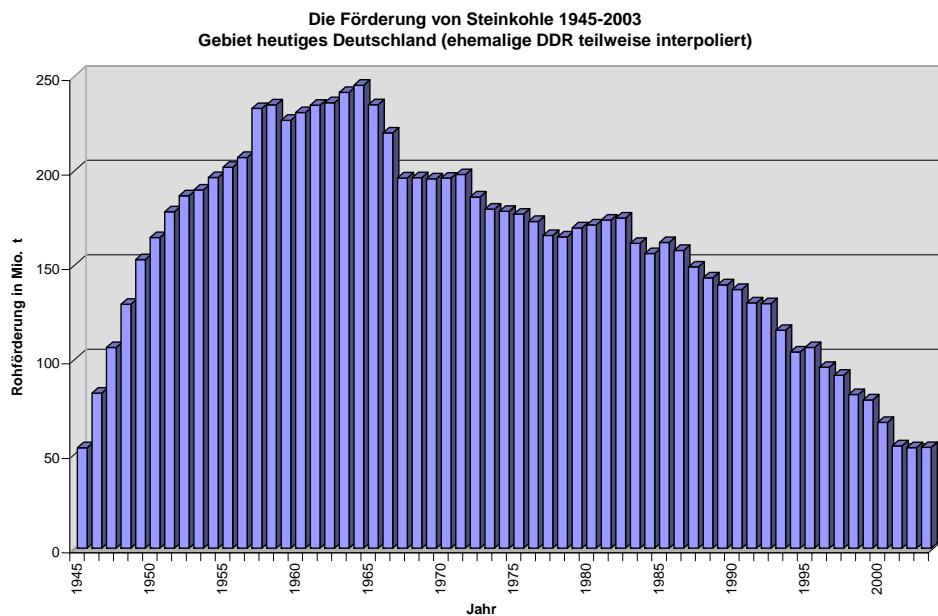


Abbildung 40: Rohkohleförderung auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1945 bis 2003

Abbildung 40 zeigt die berechnete Rohkohleförderung auf dem heutigen Bundesgebiet in den Jahren von 1945 bis 2003, Abbildung 41 diejenige von Nordrhein-Westfalen und dem Saarland und Abbildung 42 diejenige in den übrigen deutschen Fördergebieten.

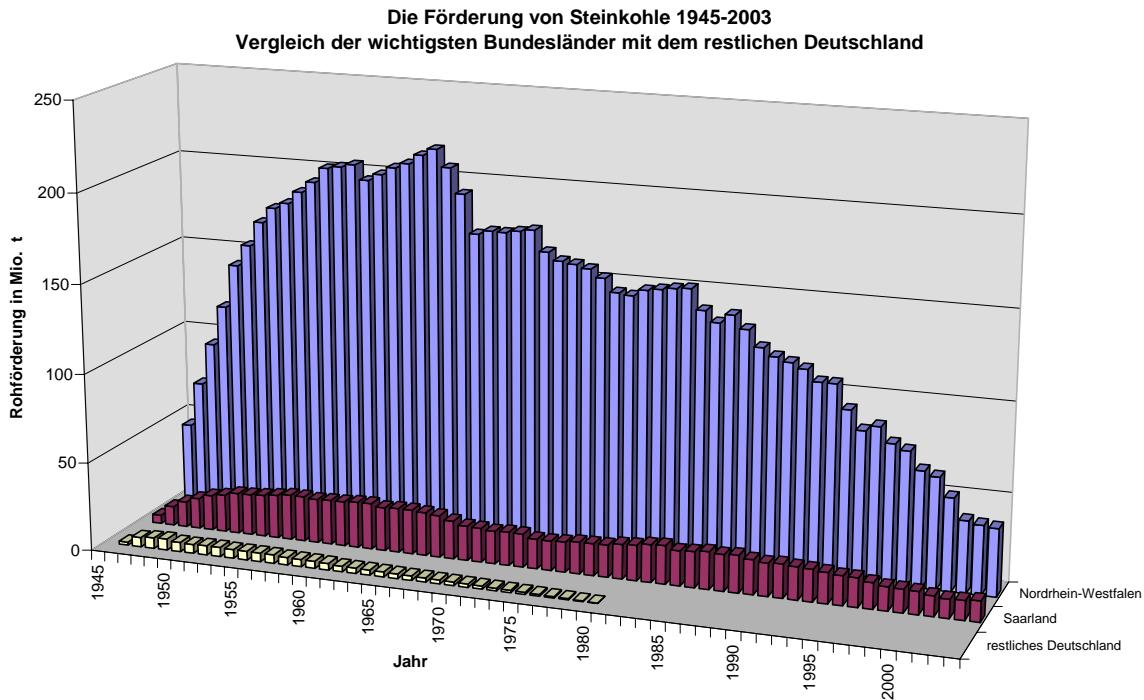


Abbildung 41: Vergleich der Rohkohleförderung in den zwei wichtigsten Bundesländern mit dem restlichen Deutschland von 1945 bis 2003

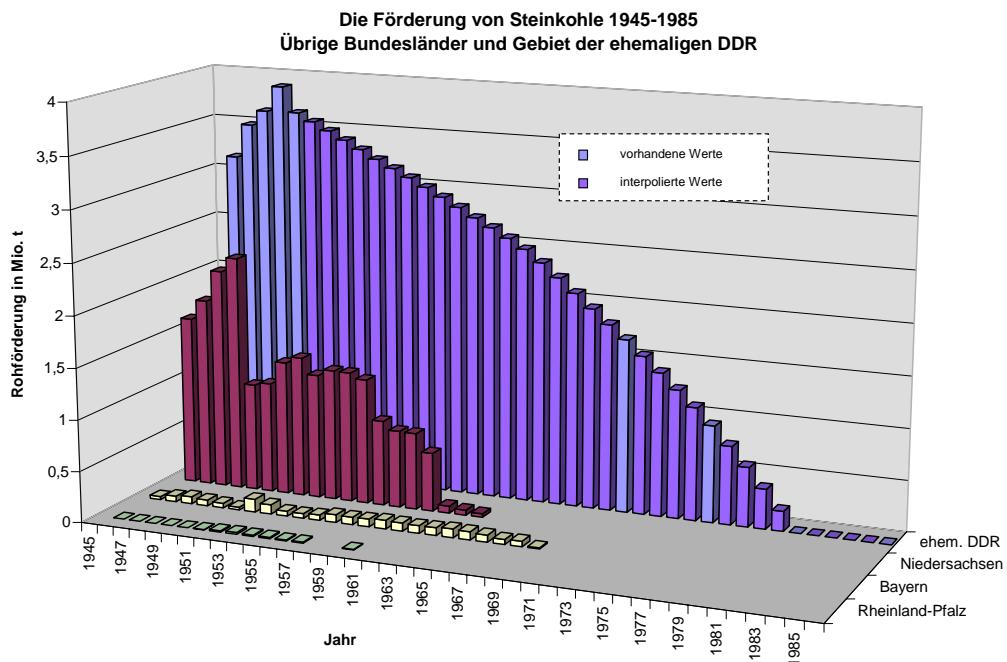


Abbildung 42: Rohkohleförderung in den einzelnen Gebieten Deutschlands (ohne Nordrhein-Westfalen und Saarland) von 1945 bis 2003

9 ANFALL VON BERGE UND GRUBENWASSER BEI FÖRDERUNG UND AUFBEREITUNG

9.1 Anfall von Berge auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

9.1.1 Vorgehen bei der Mengenermittlung

Wie bereits in Kapitel 8.2.1 erwähnt, wurde als Ausgangspunkt zur Ermittlung von Rückstandsmengen die Rohkohlenförderung gewählt. Durch Anwendung der in Abbildung 13 angegebenen Kurven auf die Rohkohlenförderungsdaten wurden neben dem Bergegesamtanfall die **Bergemengen an den relevanten Lagerorten** (Berge die Übertage verbleibt, Berge die im Grubenfeld lagert, Berge auf der Halde, Berge im Absetzteich) berechnet. In den folgenden Unterkapiteln wird der jeweils berechnete Bergeanfall in Diagrammform dargestellt.

9.1.2 Anfall von Berge im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003

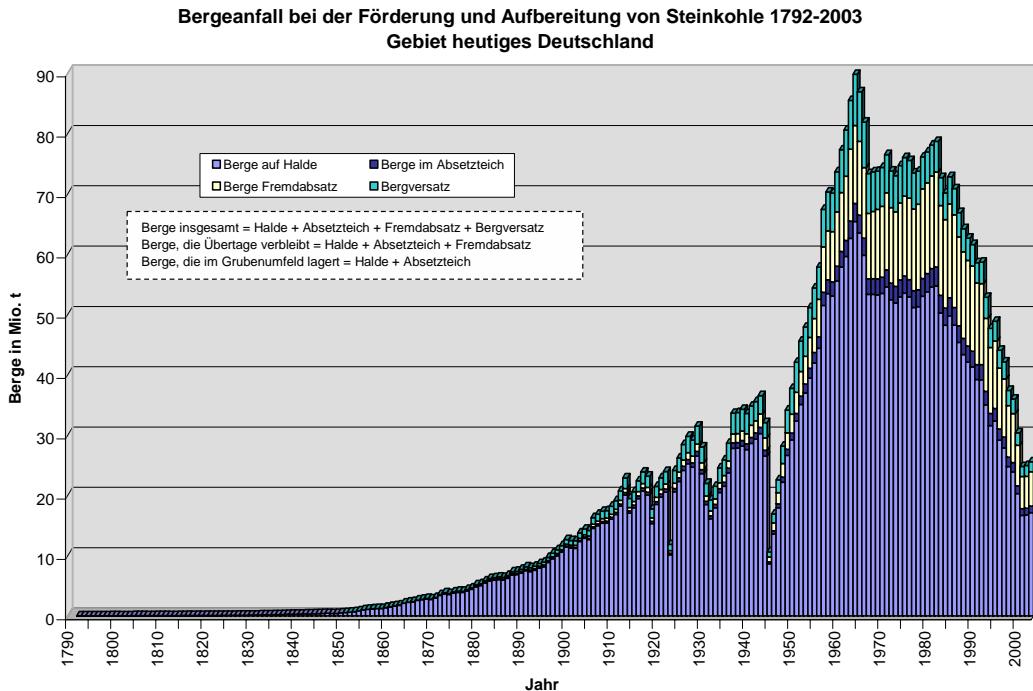


Abbildung 43: Gesamtübersicht: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 2003

9.1.3 Anfall von Berge in den Jahren 1792 bis 1850

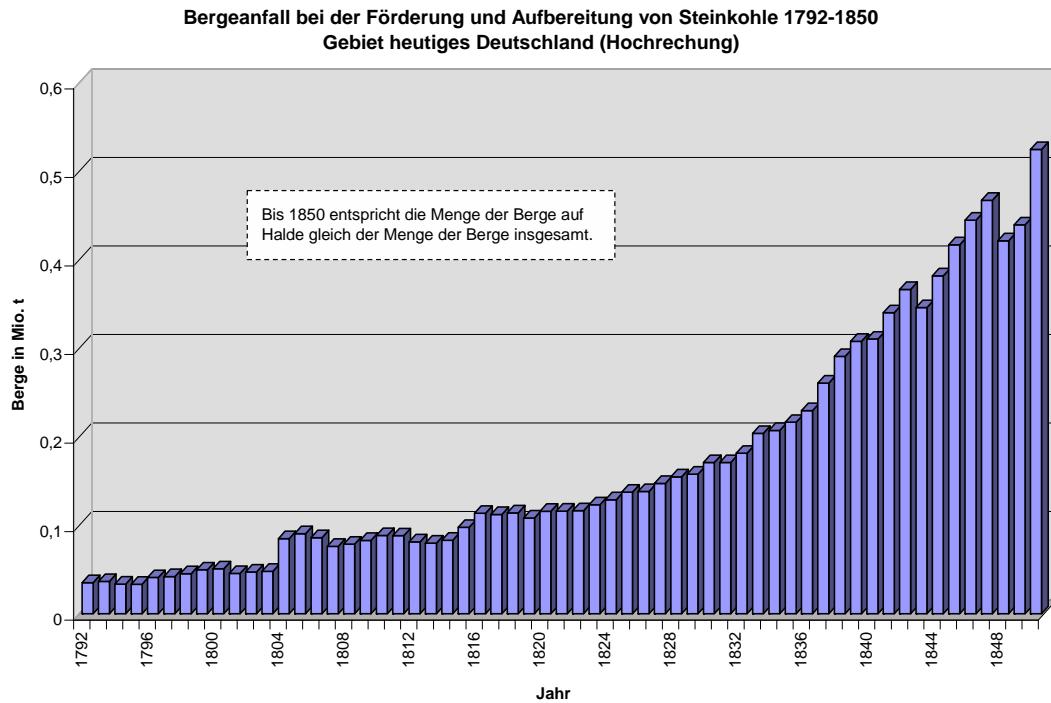


Abbildung 44: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 1850

9.1.4 Anfall von Berge in den Jahren 1850 bis 1914

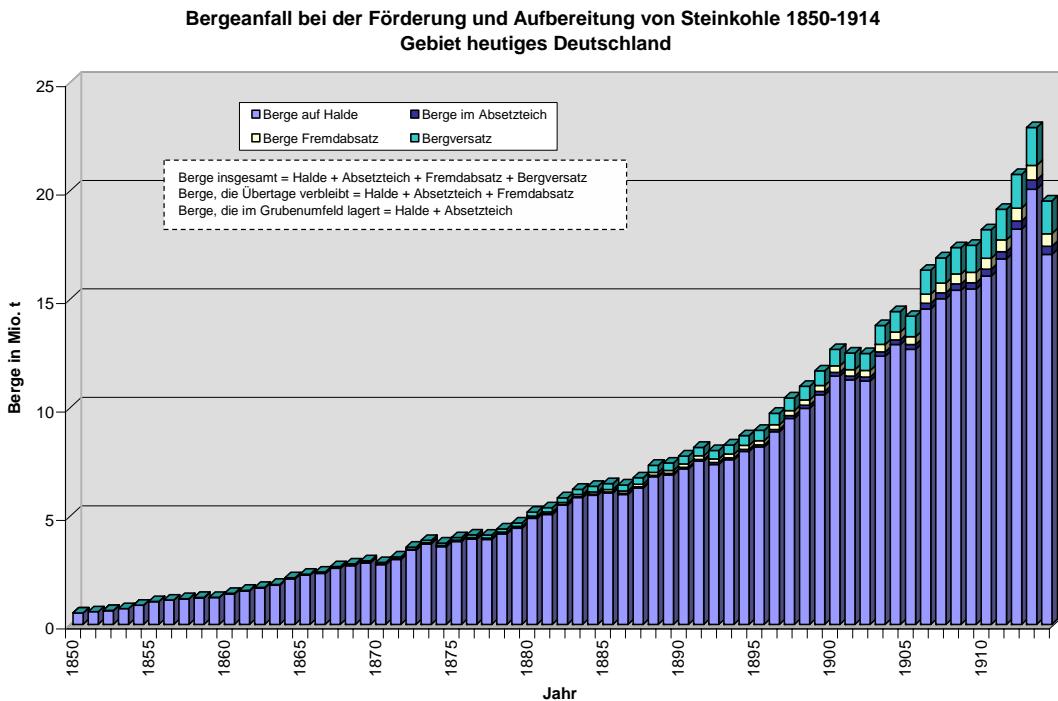


Abbildung 45: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1850 bis 1914

9.1.5 Anfall von Berge in den Jahren 1915 bis 1944

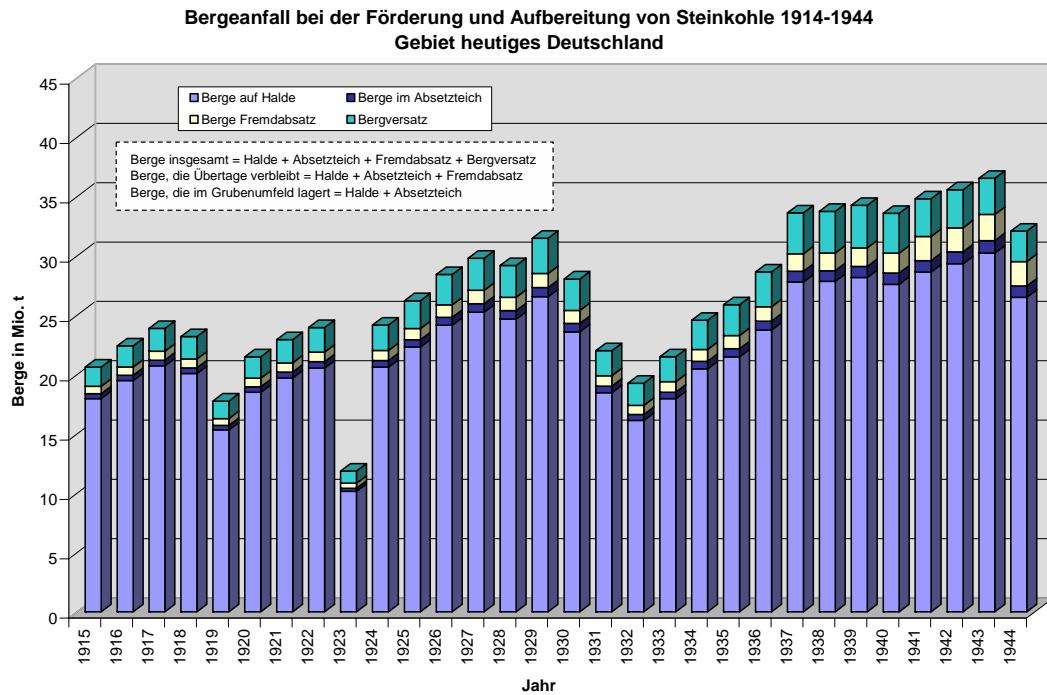


Abbildung 46: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1915 bis 1944

9.1.6 Anfall von Berge in den Jahren 1945 bis 2003

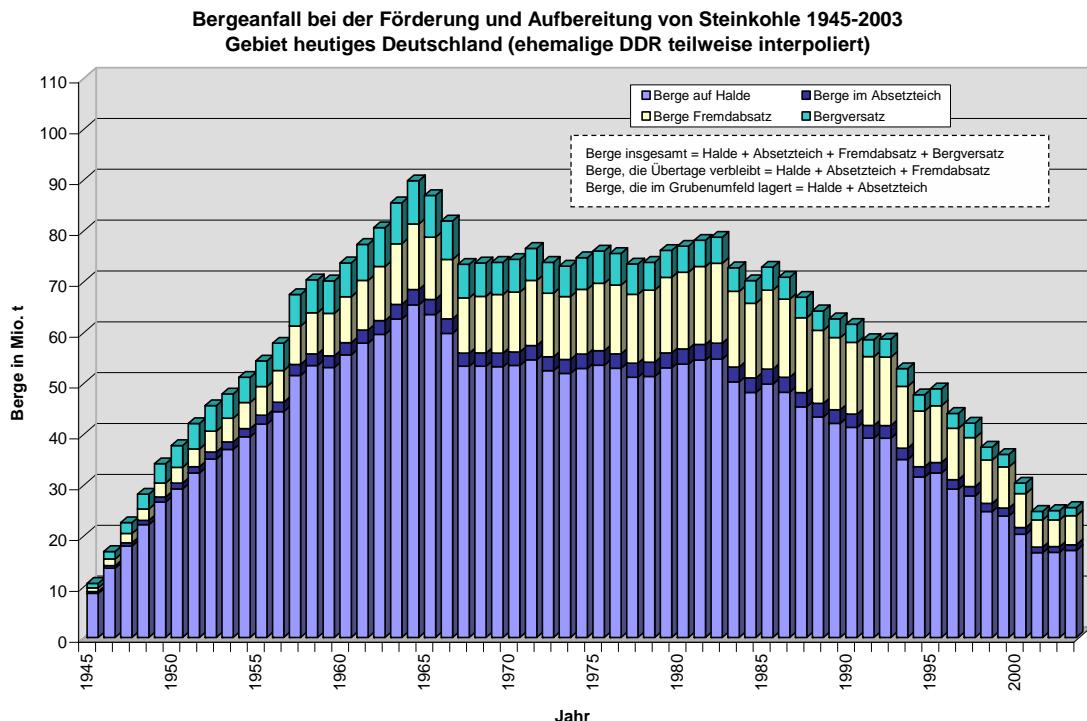


Abbildung 47: Bergeanfall auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1945 bis 2003

9.1.7 Integraler Anfall von Berge nach Gebieten und Zeiträumen

		Rohförderung	Berge insgesamt	Berge übertage	Berge im Grubenfeld	Berge auf Halde	Berge im Absetzteich	Bergversatz	Berge Fremdabsatz
Gesamt-deutschland	1792-2003	17.034.912.404	4.797.740.784	4.416.100.033	3.779.053.490	3.618.771.127	156.070.482	381.640.751	637.046.543
	1792-1849	71.522.261	9.482.335	9.482.335	9.482.335	9.482.335	0	0	0
	1850-1914	2.977.122.685	475.007.030	448.536.059	438.291.790	431.574.491	5.928.468	26.470.971	10.244.268
	1915-1944	4.544.528.575	801.169.642	727.609.166	693.654.555	674.189.669	19.959.653	73.560.476	33.954.611
	1945-2003	9.540.722.127	3.519.426.355	3.235.705.407	2.646.899.907	2.512.920.003	129.986.603	283.720.948	588.805.500
Westfalen/ OBA Dortmund	1792-1849	32.783.692	4.332.383	4.332.383	4.332.383	4.332.383	0	0	0
	1850-1914	1.506.047.789	241.692.165	227.623.654	222.156.045	218.579.283	3.184.776	14.068.511	5.467.610
	1915-1944	3.664.245.635	646.252.083	586.905.957	559.433.920	543.714.269	16.120.380	59.346.125	27.472.037
Rheinland/ OBA Bonn	1792-1849	22.903.638	3.046.318	3.046.318	3.046.318	3.046.318	0	0	0
	1850-1914	1.160.594.484	184.602.896	174.553.388	170.679.127	168.130.822	2.239.355	10.049.508	3.874.261
	1915-1944	321.098.920	122.721.632	111.441.197	106.290.657	103.317.939	3.049.043	11.280.435	5.150.540
Hess.- Hann./ OBA Clausthal	1792-1849	-	-	-	-	-	-	-	-
	1850-1914	41.634.506	6.525.317	6.213.130	6.093.644	6.015.106	66.643	312.186	119.486
	1915-1944	38.225.796	6.839.541	6.201.853	5.885.242	5.712.032	178.630	637.688	316.610
Restliches Deutschland	1792-1849	15.834.931	2.103.634	2.103.634	2.103.634	2.103.634	0	0	0
	1850-1914	268.845.906	42.186.652	40.145.886	39.362.975	38.849.280	437.694	2.040.766	782.912
	1915-1944	145.086.131	25.356.387	23.060.160	22.044.736	21.445.429	611.600	2.296.227	1.015.424
Saarland	1945-2003	1.128.625.232	423.347.200	389.970.432	316.780.290	300.397.546	15.873.331	33.376.768	73.190.142
Nordrh.Wf.	1945-2003	8.302.483.066	3.064.297.200	2.816.962.141	2.305.109.781	2.188.593.711	113.074.637	247.335.059	511.852.360
Rest	1945-2003	109.613.829	31.781.955	28.772.834	25.009.836	23.928.746	1.038.635	3.009.121	3.762.998

Tabelle 40: Bergeanfall innerhalb verschiedener Zeiträume, differenziert nach verschiedene Gebieten (in t)

Entsprechend Tabelle 40 sind im heutigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland insgesamt ca. **4,8 Mrd. t Berge** angefallen, welche zum größten Teil aufgehaldet oder über den Verwertungspfad in andere Gebiete transportiert wurde (Fremdabsatz). Gemäß den Ausführungen in Kapitel 7 kann das einst aufgehaldete Material durch Abtrag oder Einebnen verlagert worden sein.

9.2 Anfall von Grubenwasser auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

9.2.1 Vorgehen bei der Mengenermittlung

Die nach Übertage transportierte Grubenwassermenge wurde durch Anwendung der in Abbildung 15 angegebenen Kurve auf die Rohkohlenförderungsdaten berechnet. In Abbildung 48 ist die Grubenwassermenge im Zeitverlauf über die Jahrhunderte dargestellt. Es ergibt sich gefördertes Grubenwasser von insgesamt **ca. 14 Mrd. m³**.

9.2.2 Anfall von Grubenwasser im Gesamtbetrachtungszeitraum von 1792 bis 2003

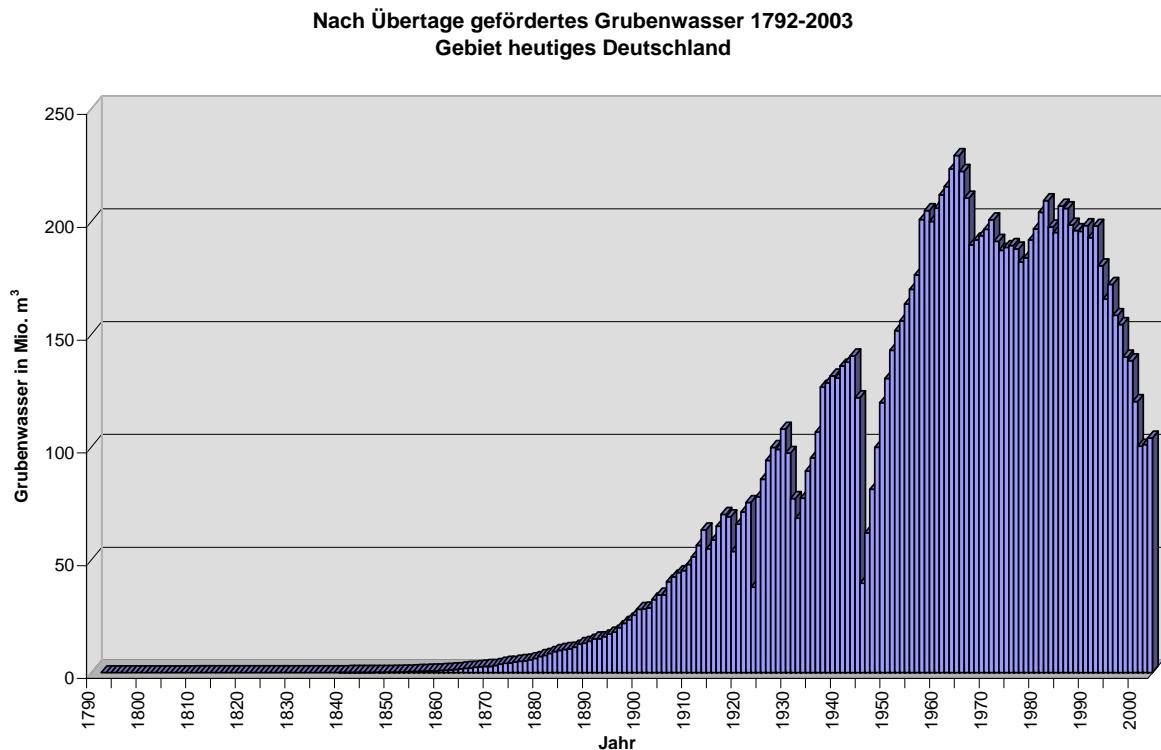


Abbildung 48: Gesamtübersicht: gefördertes Grubenwasser auf dem Gebiet des heutigen Deutschland von 1792 bis 2003

10 IDENTIFIZIERUNG DER NORM-HINTER-LASSENSCHAFTEN

10.1 Methodik

Im Rahmen von Teil 1 des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden **Konzepte und Methoden** entwickelt, **mit denen** möglichst lückenlos die in Deutschland existierenden **Hinterlassenschaften** für die relevanten Prozesse, Industrien und Stoffströme **identifiziert werden können**. Es ergab sich dass die wesentlichen Einrichtungen bzw. Instrumente für die Identifizierung bergbaulicher Hinterlassenschaften in der Bundesrepublik Deutschland

- die Archive der Oberbergämter bzw. Bergbaureferate der Länder,
- die Archive der Geologischen Landesämter,
- Landratsämter, Kreisämter, Städte und Gemeinden,
- das Bergbau-Archiv des Deutschen Bergbau-Museums in Bochum,
- diverse Literaturstellen und Fachzeitschriften,
- geowissenschaftliche Verbände und Organisationen,
- Hochschulen und Institute und
- die Auswertung von Luftbildern

sind. Die Einrichtungen und Instrumente sind im Projektteil 1 für die jeweiligen Bundesländer detailliert beschrieben.

Zur der Prüfung der entwickelten Untersuchungskonzepte für die bergbaulichen Hinterlassenschaften aus der Steinkohle-Gewinnung wurden Anfragen an die oben genannten Einrichtungen gestellt bzw. diverse Literaturstellen ausgewertet. Es wurden keine Luftbilder ausgewertet.

Die Identifizierung von in Betrieb befindlichen Halden gestaltet sich relativ einfach, da für die Errichtung einer Bergehalde eine bergrechtliche Zulassung erforderlich ist. Gemäß § 51 Bundesberggesetz (BBergG) vom 13.08.1980 (BGBl. S. 1310) stellt der Unternehmer hierzu einen Betriebsplan auf. Die zuständige Behörde führt das Zulassungsverfahren durch (Betriebsplanzulassung gemäß §§ 54, 55, 56 BBergG). Die in Betrieb befindlichen Halden sind jedoch nicht Gegenstand dieses Vorhabens.

Die Identifizierung von stillgelegten Halden bzw. Hinterlassenschaften aus dem Steinkohlebergbau stellt sich als schwieriger dar, da die historische Recherche sehr aufwändig ist, Bestandsaufnahmen von stillgelegten Halden in den verschiedenen Bundesländern nur zum Teil existieren und Hinterlassenschaften zum Teil durch Abtragen oder Überbauung

von Material nicht mehr auffindbar sind. Da sich im Rahmen der historischen Recherche über den Steinkohlebergbau gezeigt hat, dass die Halden und Absetzteiche in der näheren Umgebung von Förderbetrieben angelegt wurden, wurden im ersten Schritt die Standorte der Förderbetriebe aus der Steinkohlegewinnung zusammengestellt. Im zweiten Schritt wurden die Standorte der Halden aus dem Steinkohlenbergbau ermittelt. Die Ergebnisse, die sich bei diesen Recherchen ergaben, sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

10.2 Standorte von Förderbetrieben

In Deutschland gibt es drei große Steinkohlereviere: das **Ruhrgebiet**, das **Aachener Revier** und das **Saarrevier**. Diese drei Regionen haben historisch wechselnde Schicksale in ihrer räumlichen Ausdehnung bzw. ihrer staatlichen Zugehörigkeit erfahren. Das vierte große Steinkohlerevier vor dem Zweiten Weltkrieg war das Schlesische Revier. Neben den oben genannten Kohlereviere gab es aber auch andere Kohlefördergebiete, wie **Oberbayern**, **Oberpfalz** oder das Gebiet um **Stockheim** auf der Südseite des Thüringer Waldes.

In den folgenden Kapiteln werden die **Standorte von Förderbetrieben** für die Regionen **Ruhrgebiet**, **Saarland**, **Aachener Revier**, **Bayern** und **Baden-Württemberg** dargestellt. Es wird dabei jeweils ein kurzer historischer Abriss über die Steinkohleförderung in dem Gebiet gegeben.

10.2.1 Ruhrgebiet

Ausgangspunkt des Steinkohlenbergbaus im **Ruhrrevier** war das südliche Ruhrgebiet mit seinen an der Oberfläche zutage tretenden Kohlenflözen des Oberkarbons. Der Steinkohlenbergbau lässt sich dort bis in das 13. Jahrhundert zurückverfolgen. Die Steinkohlegewinnung im Stollenbau und die sich daraus ergebenden, größeren bergbaulichen Tätigkeiten, der Erlass von Bergordnungen und die ersten Erbstollenbelehnungen gehen in das 16. Jahrhundert zurück.

Am Anfang des 18. Jahrhunderts sind in der damaligen Grafschaft Mark bereits 101 fördernde Zechen mit rund 34.000 t Gesamtförderung, dazu 53 Zechen außer Betrieb verzeichnet. Eine weitere Ausdehnung erfuhr der Steinkohlenbergbau durch den Einsatz von Pferdegöpeln zur Schachtförderung und dann mit dem Übergang zum Stollentiefbau. Am Ende des 18. Jahrhunderts förderten 158 Zechen in der Grafschaft Mark 230.000 Tonnen Kohle.

Mit den Anfängen der künstlichen Bewetterung, der Inbetriebnahme der ersten Dampfmaschinen zur Wasserhaltung und vor allem mit dem ersten Einsatz der Dampfförderma-

schine erlebte der Steinkohlenbergbau Anfang des 19. Jahrhunderts einen weiteren Aufschwung. 1804 förderten 229 Zechen im Ruhrgebiet 380.000 t Steinkohle.

Der Steinkohlebergbau dehnte sich nach Norden aus und griff 1857 auf die linke Rheinseite über. Um 1880 drang der Bergbau in den Raum Recklinghausen und um 1900 in die Lippezone (Wesel-Dorsten-Hamm) vor.

Vom Ende des 18. Jahrhunderts bis Anfang des 20. Jahrhunderts stieg die Fördermenge bei wechselnder Zahl der fördernden Zechen trotz Konjunkturschwankungen und wirtschaftlicher Depressionen exponentiell an. Auf dem Höhepunkt der Weltwirtschaftskrise fiel 1932 die Förderung mit 73,7 Millionen Tonnen unter den Stand von 1906 zurück. 1939 erreichte sie mit 130,2 Millionen Tonnen den Höchststand in der Geschichte des Ruhrbergbaus.

In den 60er Jahren bahnte sich die „Kohlekrise“ an. Im Zusammenhang mit dem Kohlegesetz zur Neuordnung des Ruhrbergbaus wurde 1968 die Ruhrkohle AG gegründet, die 1969 52 Bergwerke, 29 Kokereien und 5 Brikettfabriken übernahm und eine Konzentration zu Großschachtanlagen einleitete. 1970 wurden in 56 Bergwerken mit 199.000 Beschäftigten 91 Millionen Tonnen Kohle gefördert. Bis 1973 ging die Förderung auf 80 Millionen Tonnen zurück. Der Rückgang des Energieverbrauchs und die äußerst bedrückende Situation der Stahlindustrie führten zu ständig sinkenden Fördermengen und zu Zechenstilllegungen. 1996 waren im Revier noch 14 Bergwerke und 3 Kokereien in Betrieb (38 Mio. t) und ca. 67.000 Menschen beschäftigt.

Detaillierte Angaben zur Geschichte der Zechen im Ruhrgebiet sind beispielsweise in /Hermann und Hermann, 1990/, /Huske, 1998/, /Pfläging, 1978/ und /Wiggeling, 1991/ nachzulesen.

Ein umfassender Überblick über alle nachweisbaren Steinkohlenbergwerke **im Ruhrrevier** und ihre Entwicklung ist in /Huske, 1998/ gegeben. Es handelt sich hierbei um mehr als **3300** über einen mehr oder weniger langen Zeitraum betriebene **Zechen**. Unbekannt sind diejenigen Bergwerke geblieben, deren Spuren verwischt und deren Existenz in Vergessenheit geraten ist. Hierzu zählen auch viele Kleinbetriebe aus den Jahren unmittelbar nach dem zweiten Weltkrieg, welche vielfach keinen Namen hatten, weder der Bergbehörde noch der Knappschaft gemeldet waren und häufig nur kurze Zeit bestanden. Die Zechen sind mit Angaben zur Aufnahme des Betriebs, Stilllegung, Betrieb, Förderzahlen etc. beschrieben. Die Daten reichen teilweise zurück bis in das 17. Jahrhundert, detaillierte Daten liegen insbesondere für das 19. und 20. Jahrhundert vor.

Um hier einen Überblick über die mehr als 3300 Zechen zu geben, sind auf der beiliegenden CD (Anlage) in der **Datei „Die Steinkohlezechen im Ruhrrevier“** (Word-Dokument) alle nachweisbaren Steinkohlebergwerke im Ruhrrevier nach der Lage der heutigen Orte aufgelistet.

Im Bundesarchiv der Bundesrepublik Deutschland sind verschiedene Adress- und Jahrbücher aus dem Anfang des 20. Jahrhunderts zu finden. Exemplarisch ist in der **Datei „Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Standorte“** (Excel-Datei auf beiliegender CD) ein Adressbuch aus den Jahren 1913 und 1914 über sämtliche Bergwerke, Hütten- und Walzwerke Deutschlands /BArch, 1914/ mit Angaben zu den Betriebsorten, zur Anzahl der Förderschächte und zur Fördermenge zusammengefasst. Es handelt sich hierbei um 276 verschiedene Betriebsorte im damaligen Deutschland (Ruhrgebiet, Aachener Revier, Saarland, Sachsen, Schlesien). Weitere historische Informationen über Standorte aus dem Steinkohlebergbau sind im Bundesarchiv in Form von Adressbüchern, Fragebögen u. ä. in /BArch, 1905_1/, /BArch, 1905_2/, /BArch, 1913/ und /BArch, 1939/ zu finden.

10.2.2 Saarland

Das **Saarland** ist eines der drei großen Steinkohlereviere des heutigen Deutschlands. Der Schwerpunkt bergbaulicher Tätigkeiten im Saarland lag und liegt immer noch bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung von Steinkohle.

Die relevanten Bergwerke für die Förderung von Steinkohle im Saarland waren **Camphausen, Ensdorf, Göttelborn, Luisenthal, Reden und Warndt**. Um eine Übersicht über die geographische Lage dieser Bergwerke zu erhalten, befindet sich auf der beiliegenden CD eine topographische Übersichtskarte über den Steinkohlebergbau im heutigen Saarland (**Übersichtskarte Halden im Saarland.tif**).

10.2.3 Aachener Revier

Das **Aachener Revier** gehört zum großen System des flözführenden Karbons, das sich am Fuße der Mittelgebirge vom Ruhrgebiet nach Westen über den Brüggener Horst bei Erkelenz bis nördlich Aachen erstreckt, um dann westlich Aachens durch das Barbanter Massiv in einen südlichen (Lütticher Revier, Sambre-Maas-Furche bis nach Nordfrankreich südlich Lille) und einen nördlichen Teil (Südlimburg, Kempenland, bis nach England) aufgespalten zu werden.

Die Bergwerksflächen im Aachener Revier können nach /Ortmanns, 1988/ im Überblick durch die technische Entwicklung im Bergwesen beeinflussten Größe in drei Gruppen unterteilt werden. Diese Einteilung entspricht einer **chronologischen Entwicklung**:

1. Oberflächennaher Bergbau: vom 12. bis ca. 18./ Anfang 19. Jh., betrieben durch Einzelpersonen, später durch Köhlergesellschaften, im und am Rande des Wurmtales konzentriert (Herzogenrath-Kohlscheid und Würselen), da je Grube nur kleine Flächen in Anspruch nehmend und schon mehrmals weitergenutzt.

2. Bergbau im 19. und Anfang des 20. Jh.: beginnende Industrialisierung, Verbesserung der Abbaumethoden, größere Teufen, aber noch SW des Feldbisses, daher Hausbrandkohle, Ausbreitung der Anlagen Übertage entweder durch Anbau an das Grubengebäude oder durch erste Funktionstrennung der Gebäude, Areale sind als aufgelassene Industrieflächen erkennbar.
3. Moderner Bergbau des 20. Jh.: Innovationen im Bergwesen, Vordringen in größere Teufen und zu anderen Kohlearten, Nordwanderung, Hohe Flächeninanspruchnahme durch Anforderungen der Abbaumethoden an Gebäuden und Anlagen, funktionsräumliche Trennung verschiedener Betriebsteile eines Bergwerks, Eisenbahnanschluss, Folgeindustrien und Nebenproduktgewinnungsanlagen, nach Stilllegung stark negative Beeinflussung des Stadtbildes durch Industrieruinen.

Die **aufgelassenen Bergbauflächen aus dem Steinkohlebergbau**, die als solche noch zu erkennen sind und von daher Stadtbild und -entwicklung beeinflussen sind:

1. Herzogenrath (Gruben Laurweg, Kämpchen, Langenberg, Voccart, Adolf, Nordstern),
2. Würselen (Grube Gouley),
3. Eschweiler (Grube Reserve),
4. Aachen (Grube Karl Friedrich),
5. Alsdorf (Grube Maria Hauptschacht, Maria I, Maschinenhauptwerkstatt, Anna),
6. Baesweiler (Grube Carl Alexander) und
7. Übach-Palenberg (Grube Carolus Magnus).

Noch fördernde Gruben wurden hierbei nicht berücksichtigt. Die ehemaligen Steinkohlenflächen weisen eine **Gesamtfläche von 608 ha** auf (Stand 1988). Von den 608 ha entfallen **181 ha** auf die **Betriebsgelände**, das entspricht einem Anteil von 29,8 % und **427 ha** auf die **Halden**, was einen Anteil von 70,2 % ausmacht. Die Haldenflächen nehmen somit den größten Teil der Bergbauflächen ein. Von den 181 ha Betriebsgeländefläche wurden 1988 70,4 % (127,5 ha) genutzt.

Eine detaillierte Beschreibung der genannten Standorte mit Angaben zur Historie, Flächennutzung, noch bestehenden Grubengebäuden, Nutzung von angrenzenden Flächen, Nutzungsvorschlägen etc. ist in /Ortmanns, 1988/ zu finden. Ein Auszug aus dieser Literaturstelle (Flächenangabe, Flächennutzungen u. ä.) ist auf der beiliegenden CD in der Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei) zu finden. Des weiteren sind auf der CD **topographische Karten** über die Bergbauflächen im Aachener Revier /Ortmanns, 1988/ zu finden.

10.2.4 Bayern

Bayern verfügt nur über einige kleine **Steinkohlevorkommen** von unterschiedlicher, meist lokaler Bedeutung. Die zwei wesentlichen Vorkommen sind bei Stockheim und Reitsch im Landkreis Kronach und bei Erbendorf in der Oberpfalz.

Die Stockheimer Steinkohle wurde mit mehreren Unterbrechungen über 200 Jahre lang abgebaut. Die Förderung erreichte in den Nachkriegsjahren bis 1964 durchschnittlich 50.000 t jährlich und hatte 1951 mit 89.000 t ihren höchsten Stand. Die Steinkohlengrube wurde am 31.03.1968 stillgelegt. Tabelle 41 gibt einen kurzen Überblick über die Förderzahlen der Steinkohlengrube Stockheim.

Jahr	Betriebe mit/ohne Förderung	Gewinnung in t
1936	1 --	5.330
1950	1 --	17.953
1960	1 --	49.934
1967	1 --	30.745
1968	1 --	6.780
1969	-- 1	-
1970	-- --	-

Tabelle 41: Die Förderung von Steinkohle in Bayern /BayStWV, 1978/

Die kurz vor der Stilllegung noch durchgeführten Aufsuchungsarbeiten auf Uranerz haben ergeben, dass die Kohle für die Urangewinnung zum Teil interessante Urangehalte aufweist.

Das Steinkohlevorkommen bei Erbendorf wurde in früheren Zeiten in geringem Umfang gewonnen, der letzte Abbau kam in den 20er Jahren aus wirtschaftlichen Gründen zum Erliegen. Es wurde auf einer Länge von 2 km und einer Tiefe von 120 m erschlossen /BayStWV, 1978/.

Eine größere Bedeutung in Bayern erlangte die Förderung von **Pechkohle**. Die Pechkohlenlagerstätten sind in ihren relativ oberflächennahen Bereichen durch die inzwischen stillgelegten Bergwerke Peißenberg/Peiting, Hausham, Penzberg, und Marienstein erschlossen worden.

Der Abbau der oberbayerischen Pechkohle wurde erstmals zu Ende des 16. Jahrhunderts nachweislich in Angriff genommen. Innerhalb des seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in großtechnischem Umfang betriebenen Kohlenabbaus wurden insgesamt fast 100 Mio. t gewonnen. Tabelle 42 gibt einen kurzen Überblick über die Förderzahlen von Pechkohle in Bayern.

Jahr	Betriebe mit Förderung	Gewinnung in ganzen t
1936	5	1.426.304
1950	5	1.543.143
1960	5	1.782.941
1969	1	762.670
1970	1	670.815
1971	1	67.598
1972	-	-

Tabelle 42: Die Förderung von Pechkohle in Bayern /BayStWV, 1978/

Im Jahr 1961 hat die Grube Marienstein, 1965 die Gruben Penzberg und Hausham und 1968 die Grube Peiting den Betrieb eingestellt. Die Förderung des Kohlenbergwerks Peißenberg wurde 1971 eingestellt.

Die stillgelegten Untertagebetriebe aus der Steinkohle- und Pechkohleförderung sind auf der beiliegenden CD in der Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei) mit detaillierteren Angaben (z. B. geographische Lage) zu finden.

10.2.5 Baden-Württemberg

Im Gegensatz zu anderen Bundesländern besitzen Steinkohlevorkommen in **Baden-Württemberg** eine geringe Verbreitung und haben zu keiner Zeit große Bedeutung erlangt.

Das bekannteste Steinkohlevorkommen in Baden-Württemberg liegt im Ausgang des Kinzigtals zwischen Offenburg und Lahr und erstreckt sich als schmaler Zug mit 2,5 km Länge von Diersburg über Hagenbach bis nach Berghaupten. In diesem Streifen aus oberkarbonischen Sedimenten sind mehrere Steinkohlenflöze und –schmitzen eingelagert, die seit Mitte des 18. Jahrhunderts bis etwa 1924 im Abbau standen. Nach der bis 1910 aufgeführten Produktionsstatistik betrug die Steinkohlenförderung seit Beginn des Bergbaus etwa 524 000 t /Schmitz et al., 1983/. In den Jahren nach dem ersten Weltkrieg wurde versucht die alten seit 1910 nicht mehr in Betrieb befindlichen Stollen wieder als Steinkohlelieferanten zu nutzen. Sobald der Kohlemarkt wieder funktionsfähig geworden war, musste diese unrentable Förderung wieder eingestellt werden /Fischer, 1995/. Ein zweites Steinkohlevorkommen befindet sich südlich von Baden-Baden, es konnte jedoch nur örtliche Bedeutung erlangen.

10.3 Halden-Standorte

10.3.1 Ruhrgebiet

Die Bezirksregierung Arnsberg (Abteilung 8 Bergbau und Energie in NRW) erstellt derzeit ein **Kataster** über **altlastverdächtige Flächen und Altlasten**, die durch **bergbauliche Tätigkeiten** entstanden sind. Für die Erhebung und Erfassung der bergbaulichen Altablagerungen und Altstandorte wurden zunächst vorliegende Karten und Betriebsakten vorrangig im Hinblick auf die historischen Gegebenheiten ausgewertet. Die vorgenannten Unterlagen reichen zurück bis in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts. Ein wesentliches **Ziel** war dabei eine möglichst **vollständige Ersterfassung** der in Nordrhein-Westfalen vorhandenen **Verdachtsflächen** mit potenziell hohem Kontaminationsgrad (Teerdestillationen, Kokereien, Brikettfabriken) sowie der **Bergehalden des Stein- und Braunkohlenbergbaus**. Seit Abschluss dieser Ersterfassung wurden und werden neben weiteren Unterlagenrecherchen zur Vervollständigung des Katasters auch die bei der Ersterfassung aufgenommenen Verdachtsflächen überarbeitet (Zweiterfassung).

Bisher sind in diesem Kataster ca. **1700 bergbauliche Altlast-Verdachtsflächen** verzeichnet. Diese Flächen sind im Wesentlichen auf die ehemaligen bergbaulichen Tätigkeiten im Steinkohlenbergbau in NRW zurückzuführen.

Für fast alle der bisher im Bergbau-Altlast-Verdachtsflächen-Kataster aufgenommenen Flächen ist die Bergaufsicht bereits seit längerer Zeit, teilweise seit über einem Jahrhundert (insb. ehemaliger Erzbergbau) nicht mehr gegeben. In diesen Fällen ist i. d. R. nicht bekannt, ob durch die nach der Bergaufsicht zuständigen Behörden oder durch andere Stellen bereits Maßnahmen zur Untersuchung und/oder Sanierung veranlasst worden sind. Außerdem ist in den meisten Fällen unbekannt, ob und ggf. welche weiteren gewerblichen oder industriellen Nutzungen mit neuen umweltgefährdenden Potenzialen im Anschluss an den bergbaulichen Betrieb auf den entsprechenden Flächen stattfanden. Aus diesem Grund werden durch die Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 „Bergbau und Energie in NRW“, je nach Fortschritt der o. g. Zweiterfassung zunächst Katasterabgleiche mit den Kreisordnungsbehörden in NRW, die heute die zuständigen „Unteren Bodenschutzbehörden“ in den nicht mehr unter Bergaufsicht stehenden Bereichen sind, durchgeführt. Hierbei soll neben einer konkreten Festlegung der Verdachtsflächen mit den jeweils erforderlichen Angaben insbesondere abgeklärt werden, in welchen Fällen weitere detailliertere Prüfungen durch die Bergbehörde erforderlich sind. Bei den bisher durchgeführten Katasterabgleichen hat sich so auch gezeigt, dass in verschiedenen ehemals bergbaulich genutzten Bereichen bereits Sanierungsmaßnahmen (Auskofferungen, Umlagerungen kontaminiertem Boden, Versiegelungen, etc.) durchgeführt worden sind. Konkrete Auskünfte insbesondere über die heute noch bestehenden Hinterlassenschaften des ehemaligen Bergbaus kön-

nen insofern nur die Kreisordnungsbehörden oder die jeweiligen Kommunen geben /Kuschel, 2003 und Kuschel_2, 2004/.

Die aktuellen Daten zu den Verdachtsflächen und Bergehalden aus dem Steinkohlebergbau wurden uns von der Bezirkregierung Arnsberg zur Verfügung gestellt und sind auf der beiliegenden CD in der Excel-Tabelle „**Bergbauliches Altlasten-Kataster NRW NICHT ÖFFENTLICH**“ zu finden. Es handelt sich hierbei um **1278 verschiedene Verdachtsflächen** (Halden, Betriebsflächen, Klärteiche, Flotationsbecken, Gleisanlagen, Aufschüttungen, Kläranlagen, Lagerplätze, Kokereien und Brikettfabriken, etc.) mit Angaben über die Art der Hinterlassenschaft, Gauß-Krüger-Koordinaten, das zuständige Bergamt u. ä. Die Daten schließen das Ruhrgebiet und das Aachener Revier mit ein. Im Rahmen der bisherigen Recherchen wurden noch keine Angaben oder Hinweise zu Rückständen mit radioaktivem Gehalt vorgefunden.

10.3.2 Saarland

Die **Rückstandshalden aus dem Steinkohlenbergbau im Saarland** sind beim Bergamt Saarbrücken in einem so genannten **Haldenatlas** /Saarbergwerke AG, 1984/ aufgeführt. Dieser Atlas umfasst mit Ausnahme der Privatgruben und der bereits vor 1964 in die Landschaft integrierten Aufschüttungen alle Flugaschen- und Steinkohlenbergehalden im Saarland. Es handelt sich hierbei um 83 Bergehalden, die 1984 zum größten Teil stillgelegt waren. Die Halden, die eine Grundfläche von rd. 540 ha besitzen, wurden nach den Kriterien Betrieb, Materialbeschaffenheit, Stand der Rekultivierung und Art der Nutzung analysiert und beschrieben. Radiologische Untersuchungen wurden im Rahmen der Erstellung des Haldenatlasses nicht durchgeführt.

In Tabelle 43 ist eine **Gesamtflächenbilanz** über die Rückstandshalden aus dem Steinkohlenbergbau im Saarland gegeben.

Betrieb	Anzahl Halden	Grundfläche [ha]	in Betrieb [ha]	begrünt	sonstige Nutzung
Reden	42	220,99	20,14	172,02	28,83
Camphausen	15	116,02	13,90	98,94	3,18
Luisenthal	8	52,56	-	38,66	13,90
Warndt	6	66,76	3,75	22,04	40,97
Ensdorf	5	38,59	13,20	20,68	4,71
Göttelborn	5	31,41	14,80	16,61	-
Kraftwerke	2	15,25	2,29	12,16	0,80
Gesamt	83	541,58	68,08	381,11	92,39

Tabelle 43: Gesamtflächenbilanz über die Flugaschen- und Steinkohlenbergehalden im Saarland /Saarbergwerke AG, 1984/

Die Flugaschen- und Steinkohlebergehalde sind in der Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei) auf der beiliegenden CD zu finden mit Angaben über

- den Betriebszustand (z. B. Halde stillgelegt, Halde ausgebrannt),
- die geographische Lage,
- die Größe der Grundfläche,
- den Stand der Rekultivierung (z. B. Halde bis zu 40 % bepflanzt),
- die Art der Nutzung (z. B. Forstflächen, gewerbliche Nutzung)
- und ähnlichem

detailliert beschrieben. Der **Kartenteil** des Haldenatlasses (1:5000, pro Halde ein Kartenausschnitt) befindet sich eingescannt auf der beiliegenden CD.

10.3.3 Aachener Revier

Die **Bergehalde im Aachener Revier** sind größer als im Ruhrgebiet, weil der Bergeanteil in der Rohkohle im Aachener Revier größer ist. Ein weiterer Grund ist, dass beim Abbau der Steinkohle viel mächtigere Gebirgsschichten durchfahren werden müssen und zudem die Flöze nicht sehr dicht aufeinander folgen.

Im Kapitel 10.2.3 wurde bereits dargestellt, dass die Halden im Aachener Revier eine Fläche von **427 ha** (Stand 1988) und somit den größten Teil der Bergbauflächen (70,2 %) einnehmen. Eine zusammenfassende Übersicht über die Halden im Aachener Revier und deren Zustand ist in Tabelle 44 dargestellt.

Halde	Kommune	Haldenfläche [ha]	Zustand der Begrünung	Besondere Eigenarten
Gouley	Würselen	23,5	teilweise begrünt	ins Wurmtal verkippt
Wilsberg	Herzogenrath	20	randlich begrünt (westlicher Rand)	
Adolf	Herzogenrath	45	teilweise begrünt	
Nordstern	Herzogenrath	12	begrünt (nur Gräser u. Stauden, keine Bäume)	
Kämpchen	Herzogenrath	6,5	zum Wurmtal hin begrünt (ansonsten Bebauung)	ins Wurmtal verkippt
Voccart	Herzogenrath	11,25	Begrünung abgeschlossen	ins Wurmtal verkippt
Langenberg	Herzogenrath	4,25	zum Wurmtal hin begrünt (ansonsten Bebauung)	ins Wurmtal verkippt
Noppenberg	Alsdorf	166,75 (inkl. Anna I+II)	sehr spärliche Begrünung	kontam. Stoffe bei Teichen

Halde	Kommune	Haldenfläche [ha]	Zustand der Begrünung	Besondere Eigenarten
Anna I	Alsdorf	-	teilweise randlich begrünt	Halde brennt
Anna II	Alsdorf	-	randlich nur ansatzweise begrünt	kontam. Stoffe bei Teichen
Maria Haupt-schacht	Alsdorf	22	randlich nur ansatzweise begrünt	
Maria I	Alsdorf	10,5	sehr schön be-grünt	
Carl Alexander	Baesweiler	48,25	teilweise begrünt	Teilweise aufgekippt, teilweise aufgefahren
Carolus Magnus	Übach-Palenberg	30,5	zur Zeit planmäßige Begrünung	Bergwerksunternehmen übernimmt Rekultivierung
Reserve	Eschweiler	17,5	zur Zeit planmäßige Begrünung	Bergwerksunternehmen übernimmt Rekultivierung
Karl Friedrich	Aachen	9	teilweise begrünt	
Gesamt	Aachener Revier	427		

Tabelle 44: Zusammenfassende Übersicht über die Halden im Aachener Revier /Ortmanns, 1988/

Eine detaillierte Beschreibung der genannten Haldenstandorte mit Angaben zur Historie, Flächennutzung etc. ist in /Ortmanns, 1988/ zu finden. Ein Auszug aus dieser Literaturstelle (Flächenangabe, Flächennutzungen u. ä.) ist in der beiliegenden Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei) zu finden. Des Weiteren sind auf der CD **topographische Karten** über die Bergbau- und Haldenflächen im Aachener Revier /Ortmanns, 1988/ zu finden.

Ergänzend zu den oben dargestellten Halden-Standorten sind in der beiliegenden Datei „Bergbauliches Altlasten-Kataster NRW NICHT ÖFFENTLICH“ Standorte von altlasten-verdächtigen Flächen aus dem Steinkohlebergbau im Aachener Revier aufgelistet (vgl. Kapitel 10.3.1, NRW). Das Bergbau-Altlasten-Verdachtsflächen-Kataster der Bezirksregierung Arnsberg schließt das Aachener Revier mit ein.

10.3.4 Bayern

Die Zuständigkeit für die stillgelegten Bergbaubetriebe in **Bayern** liegt beim Referat Bergbau, Mineralische Rohstoffe, Bergaufsicht des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie. Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie verfügt über ein umfangreiches Archiv, das ein sehr gutes Instrument für die Identifizierung von Hinterlassenschaften darstellt.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde uns der Zugang zu dem Archiv des Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (Referat Bergbau, Mineralische Rohstoffe) nicht gewährt. Aus diesem Grund sind in der Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei auf bei-

liegender CD) nur sehr wenige Haldenstandorte aus dem ehemaligen Steinkohlebergbau aufgelistet. Die Daten stammen aus mündlichen Aussagen des bayerischen geologischen Landesamtes.

Ein voraussichtlich zielführender Weg für die Identifizierung der Haldenstandorte in Bayern wäre die Nachfrage bei den Städten und Gemeinden, die in der Tabelle „Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte“ der Anlage aufgelistet sind (Peißenberg, Hohenpeißenberg, Penzberg, Tölz, Marienstein, Hausham, Au, Stockheim und Miesbach). Diese Recherche wurde im Rahmen des Vorhabens nicht durchgeführt.

10.3.5 Baden-Württemberg

Die wesentlichen Stellen für die Identifizierung der bergbaulichen Hinterlassenschaften aus dem Bereich des Steinkohle-Bergbaus in Baden-Württemberg sind Literaturstellen (Forschungszentrum Karlsruhe), das Archiv des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Freiburg) und die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Karlsruhe).

Die Recherchen bei den oben genannten Stellen ergaben, dass die Landesämter über diverse Unterlagen aus dem Steinkohle-Bergbau verfügen (rissliche Unterlagen, Publikationen, Kartenwerke, u. ä.), diese jedoch nicht hinsichtlich der Fragestellung des vorliegenden Vorhabens aufbereitet sind. Eine sehr umfangreiche Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus dem Bergbau und der Erzaufbereitung in Baden-Württemberg gibt /Fritsche et al., 1996/. Demnach existieren in der Region **vier Rückstandshalden** aus dem Steinkohle-Bergbau mit einer **Gesamtfläche von 11.300 m²** und **34.200 m³ Inhalt**.

Eine Auflistung der Haldenstandorte mit Angaben zur Historie, aktuellem Haldenzustand u. ä. ist in der beiliegenden Datei „**Steinkohle- und Pechkohle-Bergbau Haldenstandorte**“ (Excel-Datei) aufgelistet. Des Weiteren sind auf der CD **topographische Karten** über die Haldenstandorte in Baden-Württemberg /Fritsche et al., 1996/ zu finden.

11 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

Nach einer Darstellung der wichtigsten **technologischen Abläufe** der **Berg- und Aufbereitungstechnik der Steinkohle** wurden spezielle Aspekte der bei **Abbau, Förderung und Aufbereitung anfallenden Rückstände** erörtert. Aufbauend auf einer **Klassifizierung** und **stofflichen Rückstandsanalyse** wurde auf der Basis eines eingehenden Literaturstudiums der relative **Berge- und Grubenwasseranfall** (bei der Berge differenziert nach Verbleib und Bergeart), jeweils für den Zeitraum 1750 bis 2003, in seiner zeitlichen Abhängigkeit berechnet (aufsteigend bis zum Jahre 2003: ca. 10 % bis 50 % Bergeanteil an der Rohförderung und 0 bis 2 m³ gefördertes Grubenwasser pro Tonne Rohförderkohle). Diese Zeitfunktionen liefern die Basis für die später folgende Berechnung der in Deutschland absolut angefallenen Rückstandsmengen. Angaben zu der in Deutschland üblichen **Verbringung und Verwertung** der Rückstände runden die Darstellung ab.

Die **Entstehung, Klassifizierung** und der **Verbleib NORM-relevanter Rückstände** des Steinkohlebergbaus, im Besonderen der **Bergehalden, Absetzteiche, Vorfluter, Gewässer und Sedimente** wird in einem gesonderten Kapitel („NORM-Material“) besprochen. Die Entstehung hoher **Radiumkonzentrationen** in Verbindung mit **Grubenwässern** wird dabei besonders berücksichtigt. Da die **radiologischen Anforderungen** nicht losgelöst von einer Analyse der **Gesamtsituation** betrachtet werden können, werden auch geochemische und geophysikalische, ökologische und andere Aspekte beleuchtet. Schließlich werden die **Aktivitätsgehalte** der Kohle, der Rückstände und der durch den Bergbau beeinträchtigten Medien (Halden, Grubenwasser, Gewässer, Sedimente, Absetzteiche, überirdische Gebäude) anhand von Literaturstudien angegeben.

Auf der Basis von **historischen Recherchen** wird die **Förderung von Rohkohle** und davon abgeleitet der einzelnen **Rückstände** auf dem jetzigen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum von 1792 bis 2003 berechnet und dargestellt. Es ergibt sich ein **Bergeanfall** im Gesamtbetrachtungszeitraum von **ca. 5 Mrd. t** und ein Grubenwasserausstoß von **ca. 14 Mrd. m³**.

Mit den in Teil 1 des vorliegenden Projektes entwickelten Konzepten und Methoden zur Identifizierung von Hinterlassenschaften wurden, nach Bundesländern differenziert, **Standorte** von ehemaligen und bestehenden **Förderbetrieben** sowie **Bergehalden** zusammen mit einem kurzen historischen Abriss der Fördergebiete dargestellt. Weitere Hinterlassenschaften, wie **Absetzteiche**, wurden, soweit entsprechende Daten recherchiert werden konnten, in die in Tabellen- und Kartenform dargestellten Bestandsaufnahmen (im Anhang auf einer „CD“) aufgenommen.

12 LITERATUR

ASV, 2004: Angler-Sportverein Fischbach, www.asv-fischbach.de

BArch, 1905_1: Radeke, M.C., Deutschlands Bergwerke und Hütten (1904-1905), Ferdinand Rüttinger Verlag (Düsseldorf), Bundesarchiv

BArch, 1905_2: Jahrbuch der deutschen Braunkohlen- und Steinkohlenindustrie 1905, Deutscher Braunkohlenindustrie Verein, Verlag von Wilhelm Kuepp (Halle)

BArch, 1913: Jahrbuch Deutschlands, Bergwerke & Hütten 1912-1913, Verlag von Hermann Meusser, Berlin 1913, Bundesarchiv

BArch, 1914: Adressbuch sämtlicher Bergwerke, Hütten- und Walzwerke Deutschlands 1913-1914, Bundesarchiv, BA 21277

BArch, 1939: Produktionserhebung der gewerblichen Wirtschaft: Fragebögen für den Steinkohlenbergbau, Bundesarchiv, R31.02

Barthel et al., 2000: Barthel, R., Goldammer, W., Hake, E., Kugeler, Eingrenzung und Bewertung der von den vorgesehenen NORM-Regelungen der Novelle StrlSchV betroffenen Bereiche, Brenk Systemplanung, BS-Bearb. Nr. 9410/2, erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Aachen, Januar 2000

BayGLA, 1978: Bayerisches Geologisches Landesamt, Geologica Bavaria 77, Lagerstätten in Bayern, München 1978

BayGLA, 1984: Bayerisches Geologisches Landesamt, Geologica Bavaria 86, Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern, München 1984

BayGLA, 1987: Bayerisches Geologisches Landesamt, Geologica Bavaria 91, Der Bergbau in Bayern, München 1987

BayGLA, 2001: Bayerisches Geologisches Landesamt, Geologische Karte von Bayern 1:25000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6239 Neustadt a. d. Waldnaab, München 2001

BayStWV, 1978: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, Rohstoffprogramm für Bayern, München, 1978

BayStWVT, 2002: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, Rohstoffe in Bayern, Situation Prognosen Programm, München, 2002

Becker et al., 1992: D. E. Becker, O. Mugrauer, K.-H. Lehmann, Strahlenexposition durch den Umgang mit Reststoffen aus der Kohleverbrennung, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben des BMU StSch. 1132, TÜV Bayern Sachsen, München 1992 (Zweitveröffentlichung: Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1994-407, ISSN 0724-3316)

Becker, 1967: Becker, M., Unterbringung von Steinkohlen-Flotationsbergen, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs, Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der RWTH Aachen, 1967

Bergverwaltung Saarland, 2004: persönliche Mitteilungen von Herrn Neroth und Herrn Decker, Bergverwaltung des Saarlandes, Saarbrücken, 2004

Bloch und Key, 1981: Bloch, S., Key, R.M., Modes of formation of anomalously high radioactivity in oil-field brines, Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 65: 154 – 159

BMWT, 1999: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 1998, Bergwirtschaft und Statistik, 50. Jahrgang 1999

BMWT, 2003: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland 2002, Bergwirtschaft und Statistik, 54. Jahrgang 2003

BfS, 1992: Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten, Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt, Bundesamt für Strahlenschutz, BfS Schriften, 8/92

BfS, 1996: Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergaugebiet, Bundesamt für Strahlenschutz, BfS-ST-9/96

BGR, 2003: www.bgr.de/geol_la/geol_la.htm

BStMLU, 1978: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Bericht über die Messung des Gehaltes natürlicher radioaktiver Stoffe der in bayerischen Kraftwerken eingesetzten Kohlearten, Nr. 9020 – VI 3d – 29362, München, August 1978

Chalupnik, 2002: Chalupnik, S., Purification of mine water of radium – the implementation of the technology in a coal mine, Proceedings des internationalen Symposiums „Technologically enhanced natural radiation (TENR II)“ der IAEA, abgehalten in Rio de Janeiro, Brasilien, 12 – 17 September 1999

Decker, 2004: Persönliche Mitteilungen von Herrn Bergoberat Decker, Bergverwaltung Saarland, Saarbrücken

DSK, 04: Deutsche Steinkohle AG, 44623 Herne, Shamrockring 1, Bildarchiv

DMT, 2004: persönliche Mitteilungen von Herrn Querfuß, DMT-Geschäftsfeld Bergbau Service, Essen, 2004

Düngelhoff et al., 1983: Düngelhoff, J.-M., Lengemann, A., Plankert, M., Schlimm, W., Schmidt, W., Wilder, H., Bergehalde und Grundwasser, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1983

Feige, 1997: Feige, S., Radionuklid-Kontamination von Wässern, Sedimenten und Böden durch Steinkohle- und Braunkohleabbau, Diplomarbeit an der Universität Essen

Feige und Wiegand, 1998: Einfluss des Kohlebergbaus auf das Radon-Potential, Radioaktivität in Mensch und Umwelt, 30. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Lindau, 28. September – 2. Oktober 1998

Fernandes et al, 2002: Fernandes, H. M., Pires do Rio, M. A., Veiga, L. H. S., Amaral, E. C. S., Overview of the technological enhancement of natural radiation in the Brazilian non-uranium mining industry, Technologically enhanced natural radiation (TENR II), Proceedings of an International Symposium held in Rio de Janeiro, Brazil, 12 – 17 September 1999, IAEA-TECDOC-1271, February 2002

Fischer, 1994: Fischer W. (Hrsg.), Historische Staistik von Deutschland, Band VIII: Statistik der Bergbauproduktion Deutschlands 1850-1914, Scripta Mercature Verlag, St. Katharinen, 1994

Fischer, 1995: Fischer W. (Hrsg.), Historische Staistik von Deutschland, Band XVI: Statistik der Montanproduktion Deutschlands 1915 – 1985, Scripta Mercature Verlag, St. Katharinen, 1995

Fischer, Prof., 2004: persönliche Mitteilungen von Herrn Prof. W. Fischer, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsgeschichte der Freien Universität Berlin, 2004

Fischer, 2004: persönliche Mitteilungen von Herrn F. Fischer, Vorsitzender des Knappenvereins Peißenberg, 2004

Fritzsche et al., 1996-1: Fritzsche, R., Schmitz, J. Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg, Band I: Nördlicher Teil, Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, FZKA-Bericht 5768B, Karlsruhe, 1996

Fritzsche et al., 1996-2: Fritzsche, R., Schmitz, J. Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg, Band II: Mittlerer Teil, Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, FZKA-Bericht 5769B, Karlsruhe, 1996

Fritsche et al., 1996-3: Fritsche, R., Schmitz, J. Bestandsaufnahme von Rückstandshalden aus Bergbau und Erzaufbereitung in Baden-Württemberg, Band III: Südlicher Teil, Bericht des Forschungszentrums Karlsruhe im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, FZKA-Bericht 5770B, Karlsruhe, 1996

Gans et al., 1984: Gans, I., Fusban, H. U., Milde, K., Weller, E., Wollenhaupt, H., Technologically Enhanced Radiation Exposure of Population due to Radium 226 in Waste Water, 6th International Congress of the International Protection Association, Berlin (West), May 7-12, 1984

Gellermann et al., 2003: Gellermann, R. (HGN), Schulz, H. (IAF), Küppers, Ch. (Öko-Institut), Mengenaufkommen an NORM-Rückständen für das deutsche Entsorgungskonzept, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben des Bundesamtes für Strahlenschutz SR 2416, HGN Hydrogeologie GmbH, Magdeburg; IAF-Radioökologie GmbH, Dresden; Öko Institut e.V., Darmstadt; Abschlussbericht, 2003

GLA Sachsen-Anhalt, 1999: Geologisches Landesamt, Rohstoffbericht 1998 – Steine und Erden, Industriemineralien, Mitteilungen zur Geologie von Sachsen-Anhalt, Beiheft 2, Halle, 1999

Hermann und Hermann, 1990: Hermann, W., Hermann G., Die alten Zechen an der Ruhr, Karl Robert Langewiesche Nachfolger, Hans Köster Königstein im Taunus, 3. Auflage 1990

Hinrichs et al., 1999: Hinrichs, W., Atmaca, T., Neumann, W., Thormann, A., Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe, Teilstudie Steinkohle, Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Reihe H, Heft SH 4, Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover 1999

Hüttig, 1995: Hüttig, W., Radonbelastung durch Steinkohleschlacken in Freitaler Gebäuden, Fördervorhaben des SLUG, Radebeul, VKTA Rosendorf, 1995

Huske, 1998: Huske, J., Die Steinkohlezechen im Ruhrrevier, Daten und Fakten von den Anfängen bis 1997, Veröffentlichung aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Bochum, 1998

IAEA, 2003: Extend of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation, Technical Reports Series No. 419, IAEA, Vienna, 2003

Jockel, 1980: Jockel, W., Abschlußbericht des Forschungsvorhabens St.Sch.695, Radioaktive Emissionen aus konventionellen Kraftwerken, TÜV Rheinland, Institut für Umweltschutz, Köln, März 1980

Kaufhold und Sachse, 1993: Kaufhold, K. H., Sachse, W., Fischer W. (Hrsg.), Historische Staistik von Deutschland, Band V: Gewerbestatistik Preußens vor 1850, 1 Das Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Scripta Mercature Verlag, St. Katharinen, 1993

Klös, 1979: Klös, H., Untersuchung radiumhaltiger Grubenwässer im Lippeeinzungsbereich vor Inbetriebnahme des THTR-300-Kernkraftwerk Schmehausen, in: BMI [Hrgb.]: Fachgespäch – Überwachung der Umweltradioaktivität, 24 – 33, Karlsruhe

Klös und Schoch, 1993: Klös, H., Schoch, C., Einfache Methode zur Radiodatierung limnischer Sedimente, ecomed, 5 (1): 2-6

Kohlenwirtschaft, 2004 Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., Rellinghauser Str. 1, 45128 Essen, www.kohlenstatistik.de

Kolb, 1979: Kolb, W., Radioaktive Stoffe in Flugaschen aus Kohlekraftwerken, PTB-Mitteilungen 89, 1979

Kraemer und Reid, 1984: Kraemer, T.F., Reid, D.F., The occurrence and behaviour of radium in saline formation water of the U.S. Gulf coast region, Isotope Geoscience, 2: 153 – 174

Kroker, 2001: Kroker, E Das Bergbau-Archiv und seine Bestände, Bochum, 2001

Kunze et al., 2002: Kunze, C., Hermann, E., Griebel, I., Kiessig, G., Dullies, F., Schreiter, M., Entwicklung und Praxiseinsatz eines hocheffizienten selektiven Sorbens für Radium, Wasser Abwasser, 143, 7-8

Kuschel, 2003: Schreiben von Herrn H.-H. Kuschel vom Dezember 2003, Bezirksregierung Arnsberg, NRW

Kuschel, 2004_1: Persönliche Mitteilungen Herrn H.-H. Kuschel, Bezirksregierung Arnsberg, NRW

Kuschel, 2004_2: E-Mail von Herrn H.-H. Kuschel vom September 2004, Bezirksregierung Arnsberg, NRW

LAGB Sachsen-Anhalt, 2002: Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Rohstoffbericht 2002, Verbreitung, Gewinnung und Sicherung mineralischer Rohstoffe in Sachsen-Anhalt, Mitteilungen zur Geologie von Sachsen-Anhalt, Beiheft 5, Halle, 2002

Lehmann und Czarwinski, 1993: Lehmann, R., Czarwinski, R., Die Strahlenexposition in Häusern des Freitaler Bergaugebietes, in: Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1992, Salzgitter, August 1993

Leopold et al., 2002: Leopold, K., Peters, B., Weiß, D., Wiegand, J., Deliverable No. 1: German national report to levels and inventory of TENORM, EU-project TENORMHARM, Contract-No. FIGM-CT-2001-00174, Entwurf, Stand: 31.08.2002

Leopold, 2003: Leopold, K., Peters, B., Weiß, D., Wiegand, J., Deliverable No. 5: Compilation and ranking of exposure to workers and members of the public by type of industry German national report to levels and inventory of TENORM, EU-project TENORMHARM, Contract-No. FIGM-CT-2001-00174, Entwurf, Stand: 31.08.2003

LFUBW, 1992: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Handbuch Historische Erhebung altablagerungsfähiger Flächen; Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 9, Karlsruhe, 1992

LUA NRW, 2001: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Arbeitshilfe für flächendeckende Erhebungen über Altlastenstandorte und Altablagerungen, Band 15, Essen, 2001

Mende, 1993: Mende, A., Chemische und radiochemische Untersuchungen an einer Halde des Steinkohlenbergbaus im Döhlener Becken, in: Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen, Band 1, Fachverband für Strahlenschutz, 25 Jahrestagung, Binz auf Rügen, 28. - 30. September 1993, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1993

Merkel, 2004: Merkel, B.J., Uran in Trinkwasser (Leitungswasser, Mineralwasser, Tafelwasser, Heilwasser), Internetinformation von B.J. Merkel, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Gustav-Zeuner-Str. 12, 09596 Freiberg/Sa.

http://www.geo.tu-freiberg.de/~merkel/uran_index.htm

Michaelik et al., 2002: Michaelik, B., Chalupnik, S., Skubacz, K., Wysocka, M., Mielnikov, A., Contamination of settling ponds of coal mines caused by natural radionuclides, Proceedings des internationalen Symposiums „Technologically enhanced natural radiation (TENR II)“ der IAEA, abgehalten in Rio de Janeiro, Brasilien, 12 – 17 September 1999

Michaelis, 2002: Michaelis, G., Hydrothermale Erzlagerstätten,
http://www.geologie.uni-halle.de/igw/mingeo/Exkursion/hydroth_lag.htm

Müller, 2004: persönliche Mitteilungen von Prof. Müller, Institut für medizinische Strahlenbiologie, Universität Essen, 2004

Muth, 1981: Muth, H., Stellungnahme zur Frage der Strahlenexposition durch Steinkohlekraftwerke, Institut für Biophysik der Universität des Saarlandes, Homburg (Saar), April 1981

NABU-Saar, 2004: Naturschutz-Bund, Landeverein Saar, www.nabu-saar.de

Ortmanns, 1988: Ortmanns, A., Recycling aufgelassener Steinkohlenbergbauflächen das Beispiel des Aachener Reviers, Informationen und Materialien zur Geographie der Euregio Maas-Rhein, Beiheft Nr. 3, Aachen, 1988

Pfläging, 1978: Pfläging, K., Die Wiege des Ruhrkohlen-Bergbaus, Verlag Glückauf GmbH, Essen 1978, ISBN 3-7739-0235-2

Reichelt, 1992: Reichelt, A., Radiometrische Untersuchungen auf Bergehalden des Pechkohlen-Bergbaus und in deren unmittelbaren Umgebung, TÜV Bayern, 1992

Saarbergwerke AG, 1984: Saarbergwerke AG, Forstwirtschaft, Haldenatlas, Göttelborn und Saarbrücken, September 1984

Schmitz et al., 1983: Schmitz, J., Klein, H. Untersuchungen einer repräsentativen Zahl bergmännischer Abraumhalden in Baden-Württemberg auf eine mögliche Freisetzung radioaktiver Elemente, Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, KfK-Bericht 3577 B, Karlsruhe, Juli 1983

Schmitz et al., 1985-1: Schmitz, J., Olkis, A., Klenk, H., Bächmann, K. Radioökologische Untersuchungen im Raum Mähring/Poppenreuth (Opf.), Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK-Bericht 3940 B, Karlsruhe, Mai 1985

Schmitz et al., 1985-2: Schmitz, J., Klein, H. Untersuchungen bergmännischer und industrieller Rückstandshalden in Niedersachsen auf eine mögliche Freisetzung radioaktiver Elemente, Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, KfK-Bericht 3981 B, Karlsruhe, September 1985

Schweer, 1995: Schweer, G., Aktivitätsmessungen an Sedimenten des Ruhrgebietes in Hinblick auf deren Datierungen, Diplomarbeit an der Universität Aachen

Skowronek, 1999: Skowronek, J., Radiation Exposures to Miners in Polish Coal Mines, Radiat. Prot. Dosim., 82, No. 4, pp. 293-300, 1999

Tomza und Lebecka, 1981: Tomza, I., Lebecka, J., Radium-Bearing Waters in Coal Mines: Occurrence, Methods of Measurement and Radiation Hazard, International Conference: Radiation Hazards in Mining: Control, Measurement, and Medical Aspects, October 4-9, 1981, Colorado School of Mines, Golden, Co (USA), editor: Manuel Gomez, Published by Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, NY, 1981

Ullmann, 1979: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach, Basel, 4. Auflage, 1979

UNSCEAR, 1988: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexes, UN, New York, 1988

Vahlbruch et al., 2002: Vahlbruch, J.-W., Sachse, R., Harb, S., Jakob, D., Michel, R., Müller, W.-U., Schabronath, J., Düputell, D., Untersuchungen zur Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide aus dem Steinkohlebergbau in der Vorflut, 34. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., Kloster Seeon, 21. – 25. April 2002

Vandenbroucke, 2002: Vandenhove, H., European sites contaminated by residues from the ore-extracting and –processing industries, Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects, Held in Munich, Germany on September 4 to 7, 2000, Elsevier, International Congress Series 1225 (2002) 307-315

VGE, 2001: VGE Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2001, Bildtafel Steinkohlenbergwerk, ISBN 3-7739-0165-8

Voigt, 2001: Voigt, W., Die Bergehalde im Aachener Revier, 2001, www.wolfgang-voigt.de

Waligórski et al., 1996: Waligórski, M.P.R., Skarżyńska, K., Zawisza, E., Ryba, E., Jasińska, M., Kozak, K., Environmental radiometry around coal mining wastes using MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) detectors and gamma ray spectrometry, Radiat. Prot. Dosim., 66 (1-4): 161-164

Walker, 1814: G. Walker: Costumes of Yorkshire, London 1814

Wedewardt, 1995: Wedewardt, M., Hydrochemie und Genese der Tiefenwässer im Ruhr-Revier, Dissertation an der Universität Bonn

Wiegand und Sebastian, 2002: Wiegand, J. W., Sebastian, F., Origin of radium in high-mineralised waters, Technologically enhanced natural radiation (TENR II), Proceedings of an International Symposium held in Rio de Janeiro, Brazil, 12 – 17 September 1999, IAEA-TECDOC-1271, February 2002

Wiggering und Kerth, 1991: Wiggering, H., Kerth, M. (Hrsg.), Bergehalde des Steinkohlebergbaus, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1991, ISBN 3-528-06416-1

Winnacker und Kühler, 1982: Winnacker · Kühler, Chemische Technologie, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1982

Wotruba, 2004: persönliche Mitteilungen von Prof. Dr.-Ing. Hermann Wotruba, RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe, 2004

Wysocka et al., 2002: Wysocka, M., Chalupnik, S., Michalik, B., Skovronek, J., Skubacz, K., Environmental impact of coal mining on the natural environment in Poland, Proceedings des internationalen Symposiums „Technologically enhanced natural radiation (TENR II)“ der IAEA, abgehalten in Rio de Janeiro, Brasilien, 12 – 17 September 1999