

Hydrogeologische/Hydrologische Untersuchung einer Prä-Flutungssituation am Beispiel des Gessentals im ehemaligen ostthüringischen Uranbergbaugebiet

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)



vorgelegt dem Rat der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Dipl.-Geol. Jörn W. Geletneky
geboren am 26.10.68 in Bad Pyrmont

Gutachter:

1. Prof. Dr. G. Büchel
2. Prof. Dr. M. Sauter

Tag der öffentlichen Verteidigung: 26.06.02

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
1.1. <i>Halden als Stoffaustragsquellen</i>	2
1.2. <i>Senken- und Transferfunktion der Täler</i>	3
1.3. <i>Ziel der Untersuchungen</i>	4
2. GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN.....	8
2.1. <i>Historische Entwicklung des ostthüringischen Uranbergbaus</i>	8
2.2. <i>Lage und Morphologie.....</i>	14
2.3. <i>Regionalgeologische Position.....</i>	17
2.4. <i>Stratigrafische Gliederung</i>	20
2.4.1. Ordovizium.....	21
2.4.2. Silur.....	22
2.4.3. Devon	24
2.4.4. Karbon	27
2.4.5. Intrusivgesteine.....	27
2.4.6. Perm.....	28
2.4.7. Trias	29
2.4.8. Tertiär.....	29
2.4.9. Quartär.....	30
2.5. <i>Strukturgeologie und Lagerstättengenese.....</i>	35
2.5.1. Strukturgeologie.....	35
2.5.2. Lagerstättengenese und Ausbildung	37
3. METHODEN	42
3.1. <i>Hydrogeologische Kartierung</i>	42
3.2. <i>Vermessung des Gefälles des Gessenbaches/Badergrabens und der Bohrungen B1 bis B4</i>	42
3.3. <i>Abflussbestimmung</i>	43
3.4. <i>Einrichtung der Messstellen und Entnahme von Wasserproben im Oberflächenwasser.....</i>	44
3.5. <i>Entnahme von Wasserproben im Grundwasser.....</i>	49
3.6. <i>Ausfällungen im Gessenbach.....</i>	49
3.7. <i>Laboruntersuchung der Wasserproben</i>	50
3.7.1. Fehlerbetrachtung.....	52
3.8. <i>Thermodynamische Gleichgewichtsmodellierung</i>	53
3.9. <i>Deskriptive Statistik</i>	55
3.10. <i>Sondierungen und Schürfe in den Talsedimenten des E-Gessentals</i>	57
3.11. <i>Geoelektrische Erkundungen der Talsedimente des Gessentals.....</i>	58
4. HYDROLOGIE.....	66
4.1. <i>Der Gessenbach.....</i>	66
4.1.1. Orohydrografisches Einzugsgebiet des Gessenbaches	66
4.1.2. Historische Entwicklung des Gessentals vor dem Bergbau	67
4.1.3. Rezenter Verlauf des Gessenbaches	69
4.1.4. Gewässerprofil des Gessenbaches	71
4.2. <i>Wasserhaushalt im Einzugsgebiet des Gessenbaches.....</i>	72
4.2.1. Niederschlag	73
4.2.2. Evapotranspiration	74
4.2.3. Oberirdischer Abfluss.....	76
4.2.4. Grundwasserneubildung.....	78
4.3. <i>Abflussdynamik im Gessental.....</i>	79
4.3.1. Einzugsgebiet des E-Gessenbaches/Badergrabens (Oberlauf, Typ I).....	79
4.3.2. Hydraulische Klassifizierung des Vorflutertyps 1	88
4.3.3. Einzugsgebiet des westlich Gessenbaches (Unterlauf, Typ II).....	89
4.3.4. Einzugsgebiet des Lammsbaches (Typ II).....	95
4.3.5. Hydraulische Klassifikation des Vorflutertyps 2	98
4.4. <i>Hydrogeologische Kartierung</i>	99
5. HYDROGEOLOGIE.....	105
5.1. <i>Natürliche hydrogeologische Verhältnisse</i>	105
5.1.1. Alt- und Mittel-Paläozoikum.....	107
5.1.2. Jungpaläozoikum, Mesozoikum, Känozoikum.....	111
5.2. <i>Hydrogeologische Veränderungen durch den Bergbau.....</i>	113
5.2.1. Hohlräume durch den Bergbau	113

5.2.2.	Modifikation der unterirdischen Einzugsgebiete durch die Grubenwasserhaltung, Bildung eines Absenkungstrichters für Grundwasser.....	115
5.2.3.	Aufhaldung und Freilegung von Untergrundmaterial über der Tagesoberfläche	119
5.2.4.	Veränderung der Wasserchemie durch Oxidationsprozesse des entwässerten Gebietes.....	121
5.3.	Hydrogeologie des Gessentals.....	124
5.3.1.	Präbergbauliche Hydrogeologie	124
5.3.2.	Rezente Hydrogeologische Situation des Gessentals	125
6.	QUELLE NORDHALDE	132
6.1.	Lage	132
6.2.	Entstehungsgeschichte.....	133
6.3.	Geologie/Tektonik der Aufstandsfläche der Nordhalde	135
6.4.	Sanierungsrelevante Untersuchungen	136
6.4.1.	Festphase, Gasphase.....	136
6.4.2.	Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse der Nordhalde	138
7.	GEOLOGIE DES ÖSTLICHEN GESSENTALS	141
7.1.	Präquartär.....	141
7.2.	Geoelektrische Kartierung und Sondierung	148
7.3.	Quartärbasisfläche	153
7.4.	Quartäre Sedimente	155
7.4.1.	Ältere Bachsedimente	157
7.4.2.	Löss, Schwemmlöss, Lössderivate	158
7.4.3.	Hangsedimente (Hanglehm, Hangsand, Hangschutt).....	160
7.4.4.	Jüngere Bachsedimente.....	161
7.4.5.	Feinkörnige fluviatile Sedimente (Auesedimente, Auelehm)	164
7.4.6.	Anthropogene Aufschüttungen und Veränderungen	166
7.5.	Genese der Talsedimente.....	167
7.6.	Hydrogeologische Kennwerte der Talsedimente	169
8.	DIE BESCHAFFENHEIT DES GRUND- UND OBERFLÄCHENWASSERS IM GESSENTAL.....	171
8.1.	Haldensickerwasser.....	171
8.1.1.	Übersicht und Klassifikation.....	171
8.2.	Oberflächenwasser Typ I, Oberlauf Gessenbach, Badergraben	178
8.2.1.	Übersicht und Klassifikation, Oberlauf Gessenbach.....	179
8.2.2.	Übersicht und Klassifikation, Badergraben Typ 1b	195
8.3.	Oberflächenwasser Typ II, Unterlauf Gessenbach und Lammsbach.....	201
8.3.1.	Übersicht und Klassifikation, Unterlauf Gessenbach.....	202
8.3.2.	Übersicht und Klassifikation, Lammsbach.....	210
8.4.	Oberflächennahes Grundwasser im E-Gessental.....	214
8.4.1.	Übersicht und Klassifikation, Grundwasser Typ 1	215
8.4.2.	Übersicht und Klassifikation, Grundwasser Typ 2	219
8.5.	Chemische Klassifizierung	220
8.6.	Austrag aus dem Untersuchungsgebiet	222
8.6.1.	Gelöster Stoffaustrag während Trockenwetterabfluss im Gessental.....	223
8.6.2.	Gelöster Stoffaustrag während Normalabflusses im Gessental.....	223
8.6.3.	Gelöster Stoffaustrag während Hochwasser im Gessental	224
9.	DISKUSSION UND SYNTHESE DER UNTERSUCHUNGEN	231
9.1.	Gessental	231
9.2.	Bergbauhalden als Stoffquellen	232
9.3.	Bergbaubeeinflusstes Oberflächen- und Grundwasser	234
9.3.1.	Klassifizierung des Oberflächen- und Grundwassers	234
9.3.2.	Prozessorientierte Betrachtungen im Gessenbach	235
9.4.	Austrag aus dem Bergaugebiet.....	237
9.5.	Talsedimente im östlichen Gessental.....	239
10.	ZUSAMMENFASSUNG.....	242
11.	LITERATUR	245
11.1.	Unveröffentlichte Unterlagen	255

1. EINLEITUNG

Der zwischen 1948 und 1990 im Ronneburger Revier bzw. Ronneburger Uranbergbaurevier betriebene Uranbergbau führte zu tiefgreifenden Veränderungen im hydrogeologischen und hydrologischen System der Umgebung. In einem über 74 km² großen Areal wurden Uranerze sowohl oberirdisch als auch unter Tage abgebaut. Im südlichen gelegenen ca. 85 km² großen Seelingstädter Revier wurden Rückstandschlämme der Uranerzaufbereitung in ehemalige Urantagebaue eingelagert und Industrielle Absetzeranlagen (IAA bzw. Tailings) geschaffen (Abb. 1). Das Ronneburger Uranbergaugebiet bildet zusammen mit dem sich südlich anschließenden sog. Seelingstädter Revier das ehemalige ostthüringische Uranbergaugebiet. Der natürliche Zustand großer Gebiete wurde einschneidend anthropogen verändert. Seit 1990 führt die bundeseigene WISMUT GmbH die Sanierung der bergbaubürtigen Altlasten nach dem Stand der Technik durch.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das 30 km² große orohydrografische Einzugsgebiet des Gessenbaches (Gessental) zwischen Ronneburg und Gera als Teilbereich des ehemaligen Ronneburger Uranbergaugebietes bzw. des Ronneburger Reviers bearbeitet und als Untersuchungsgebiet bezeichnet. Fokussiert wird dabei auf das als (Haupt)-Arbeitsgebiet bezeichnete E-Gessental zwischen Ronneburg und Grobsdorf mit der Nordhalde als zentralem Element.

Der dominierende Verwitterungsprozess im Ronneburger Revier ist die Oxidation reduzierter sulfidischer Mineralphasen paläozoischer Schwarzpelite. Die Oxidation läuft seit Bergbaubeginn in dem durch die Sümpfung entstandenen ungesättigten Gebirge, in den Aufbereitungsrückständen der Tailings sowie in verstärktem Maße in den Uranbergbauhalden ab. Die bestimmenden reaktiven sulfidischen Minerale sind Pyrit (FeS₂) und Markasit (FeS₂), die mit bis zu 15 Gew.-% in den Schwarzpeliten vertreten sein können. Beide Minerale weisen unterschiedliche Bildungsbereiche jedoch ähnliche Verwitterungseigenschaften auf. Durch die mikrobiologisch katalysierte Oxidation der Eisensulfide kommt es zu Versauerung und/oder Erhöhung der Mineralisation von Sicker-, Grund- und Oberflächenwasser. Diese Umweltveränderungen führen zu sauren Bergbauabwässern, sog. „Acid Mine Drainage“ (AMD) bzw. „Acid Rock Drainage“ (ARD), über deren Ausbildung und Folgen innerhalb von Bergaugebieten inzwischen umfangreiche Untersuchungsergebnisse vorliegen (Abschnitt 5.2.4).

In ihrer Vielfalt und in ihrem Zusammenwirken sind die geochemischen Prozesse in Bergaugebieten mit reifen sedimentären Schwarzpeliten und hohen Pyrit- und org. Kohlenstoff-

gehalten bisher wenig untersucht (LEE et al. 1998). Zwar wurden im ostthüringischen Uranbergbaugebiet die hydrochemischen Auswirkungen von AMD auf regionale Grund- und Oberflächenwasserverhältnisse hauptsächlich im Rahmen der Sanierungsplanung und -ausführung sowie zur Langzeitprognose erkundet (z.B. VOGEL et al. 1996, KIEßIG & KUNZE 1996, LOWSON & BROWN 1995, BRENNK SYSTEMPLANUNG 1995, WISMUT 1994a, b). Zeitlich und räumlich detaillierte Betrachtungen eines sich verändernden dynamischen definierten Geländesystems fanden bisher wenig Beachtung.

1.1. Halden als Stoffaustragsquellen

Die Umlagerung von Untergrundmaterialien an die Erdoberfläche und deren Aufhaltung bewirkt eine Änderung der hydrogeologischen, der hydrologischen, der physikalischen und der chemischen Rahmenbedingungen innerhalb von Einzugsgebieten. Hauptsächliche Veränderungen sind die hydrogeochemische Beeinflussung von Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser durch Säuregeneration der pyrit-, schwermetall- und radionuklidhaltigen Substrate (vgl. Abschnitte 5.2.3, 5.2.4), die Überschüttung von Oberflächengewässern und Wasserscheiden sowie eine Veränderung der natürlichen Wasserhaushaltsbedingungen (vgl. Abschnitt 5.2.2). Der Stoffaustrag aus Halden ist von den hydrogeologischen Verhältnissen in der Halde und dem unterlagernden Gebirge, der Beschaffenheit und dem Störungsinventar der Haldenaufstandsfläche, den geochemischen Verhältnissen im unterlagernden und im seitlich anschließenden Gesteinsverband und im Haldeninnern sowie der Beschaffenheit der Haldenabdeckung abhängig (JAKUBICK et al. 1997, HÄHNE et al. 1998, HELLING & DUNGER 1998, KÖHLER & SÄNGER 1998, GATZWEILER & MARSKI 1996). Weiterhin findet ein Austrag von feinkörnigem Material über den Luftpfad statt, was sowohl eine erhöhte Aktivität an Radon und Radonfolgeprodukten bewirkt als auch eine Belastung für die Vegetation und Fauna darstellt (HEINZE & SÄNGER 1996, SÄNGER 1993, DREYER & RÖHLING 1993).

Die Sickerwasserströmung in Festgesteinshalden ist näherungsweise vergleichbar mit der Sickerwasserströmung in Festgesteinen. Nach Untersuchungen von Festgestein in Bergaugebieten (VAN BERK 1987, BENNER et al. 1992, BAACKE et al. 1997, DEGNER et al. 1998) und Festgestein in Halden im Uranerzbergbau in Sachsen (FLÖTGEN et al. 1995, GEIPEL et al. 1994, 1996) lässt sich der Schadstoffaustrag bzw. die Schadstofffixierung im Wesentlichen auf geochemische Prozesse bei der Pyritoxidation, Lösungs-, Fällungs- und Redoxprozesse, Adsorption, Desorption und Ionenaustausch sowie Komplexierungsprozesse und Kolloidbildung in der flüssigen Phase zurückführen. Dabei laufen diese Prozesse räumlich und zeitlich nebeneinander ab und bilden ein komplexes hydrogeochemisches System. Sorption von Schadstoffen an der festen Phase verzögert die Ausbreitung der

Schadstoffverbindungen. Die Kinetik und Reversibilität von Sorptionsprozessen für Hauptelemente, Schwermetalle und Radionuklide sind geschwindigkeitsbestimmend für die Ausbreitungsprozesse.

Im Rahmen des unter- und übertägigen Uranbergbaus in Ostthüringen wurden eine Vielzahl von Halden unterschiedlicher Geometrien aufgeschüttet. In den meisten Fällen fand während der Schüttung keine lithologische und geochemische Klassifizierung des Schüttgutes statt. Somit war das Haldeninventar nach der Schüttung bzw. zu Beginn der Sanierungen nicht genau bekannt. Es erfolgten zudem keine Sicherungsmaßnahmen während der Schüttungen, wie z.B. eine Zumischung von Kalk. Die Halden entstanden während des Abbaus durchweg in unmittelbarer Abbaunähe. Diese Gebiete wurden im Vorfeld der Haldenschüttung oft nicht auf ihre Eignung als Aufstandsfläche bezüglich Untergrundabdichtung und Standsicherheit untersucht. Für die Haldenaufstandsflächen wurden z.T. Altbergbauflächen (Tagebaue) genutzt. Die Aufhaldung fand z.T. ohne Beachtung des historischen hydrogeologischen Regimes statt, weshalb teilweise Quellen oder ehemalige Vorfluter überschüttet wurden. Ein Großteil der Halden in Ostthüringen befinden sich direkt über dem unterirdischen Grubengebäude, bzw. über dem Absenkungstrichter. Somit wurde das durch oxidative Vorgänge innerhalb der Halde modifizierte Sickerwasser passiv und aktiv in das unterirdische Grubengebäude geleitet und fließt dem Grubenwasser zu. Ein Teil des Haldensickerwassers migriert jedoch in die oberflächennahen Sedimente sowie in die angrenzende Vorflut.

1.2. Senken- und Transferfunktion der Täler

Sickerwasser aus Uranbergbauhalden sowie das zzt. noch ansteigende und 2003 bis 2005 austretende Flutungswasser des untertägigen Bergbaus bilden die rezenten bzw. zukünftigen Hauptbelastungsquellen für das Grund- und Oberflächenwasser. Schnittstelle für den rezenten und den zukünftigen Austrag bergbaubürtiger Stoffe sind die als Hauptentlastungsgebiete wirkenden topographisch prädestinierten Talbereiche innerhalb des Ronneburger Uranbergbaugebietes. Bedingt durch ihre geologische Ausbildung sowie ihre hydraulische und hydrogeologische Wirkung können diese Täler unterschiedliche komplexe Funktionen übernehmen. Sie können sowohl als Zwischenspeicher (Senke) Stoffe temporär oder dauerhaft zurückhalten als auch unverzögert transferieren. Ihre hydraulische Entlastungsfunktion führt zu einem gerichteten und erfassbaren Stoffaustrag (vgl. Abschnitt 8.6). Die in diesen Talbereichen existierenden Vorflutersysteme entwässern die Region und nehmen das zzt. noch bergbaubeeinflusste Sicker- und Abwasser auf. Es können Täler und Vorfluter im Bereich des noch existierenden Absenkungstrichters ohne hydraulische Ankopplung an das Grundwasserregime (Typ I) von Systemen mit hydraulischer

Ankopplung des Grundwassers (Typ II) unterschieden werden (Abschnitt 7.6).

Das seit Mitte 1997 untersuchte Vorflutersystem Gessenbach/Badergraben im Gessental ist ein Fallbeispiel eines bergbaubeeinflussten Talsystems. In seinem Oberlauf kann der Gessenbach/Badergraben als Fallbeispiel für Typ I gelten. Das östliche Gessental ist infolge der unterlagernden Grubenbaue entwässert und das Vorflutersystem Gessenbach/Badergraben durchfließt hier ehemalige bzw. zzt. in Umlagerung befindliche Haldenbereiche der Schwarzpelitlagerstätte (Gessenhalde, Nordhalde). Das Gessental wird nach Beendigung der Flutung des Ronneburger Uranbergbaus als Hauptaustrittsgebiet für Flutungswasser fungieren.

Im Unterlauf des Gessenbaches und im Lammsbachtal herrschen hydraulische Systeme des Typs II vor. Hier findet die Stoffausbreitung zusätzlich zum Oberflächenpfad großräumiger über den Grundwasserpfad statt. Bergbaubürige Stoffe weisen bei solchen Bedingungen ein anderes Ausbreitungsverhalten auf (Abschnitt 8.3).

1.3. Ziel der Untersuchungen

Infolge der in Abschnitt 1.1 und 1.2 genannten Prozesse wirken Festgesteinshalden aus Schwarzpeliten als Schadstoffquellen für das Grund- und Oberflächenwasser. Die räumliche Variabilität und Heterogenität von Schüttkörpern aus Festgesteinen macht eine detaillierte hydrogeologische und geochemische *in situ* Klassifizierung eines Haldenkörpers nahezu unmöglich. Die Auflösung von Einzelprozessen innerhalb der Halde sowie deren Wechselwirkungen ist nur durch erheblichen messtechnischen Aufwand z.B. während des Abtrags erfassbar. Eine direkte Bestimmung sowie die Prognose des Stoffaustauschs aus der Halde kann nur mit Hilfe von langzeitlichen Untersuchungen der Sickerwasserströme und deren Beschaffenheit unter Berücksichtigung der meteorologischen Ausgangsbedingungen erfolgen. Falls einzelne Sickerwege nicht bekannt, nur ungenau bestimmbar bzw. der Beobachtung entzogen sind, muss die Untersuchung der Sickerströme zusätzlich in ausreichender Distanz zur Halde im Abstrom erfolgen.

Nur ein Teil des Haldensickerwassers der Nordhalde fließt aufgrund des zzt. noch existierenden Absenkungstrichters in den Gessenbach sowie in die anthropogen veränderten Talsedimente des Gessentals. Die quartären Sedimente sind in ihrer Zusammensetzung, ihrer geologischen Ausbildung und Architektur durch geologische und geophysikalische Methoden in ein geologisches Geländemodell übertragbar. Das Oberflächen- und Grundwasser ist in seiner Beschaffenheit, Menge und Dynamik durch Messstellen gut zu untersuchen. Somit besteht im Gegensatz zu einer komplexen *in situ* Haldenklassifizierung die Möglichkeit, mit Hilfe der integrierenden hydrochemischen Zusammensetzung des Sickerwassers die

maßgeblichen Stoffreaktionen, Transportmechanismen und das Wirkungsgefüge im System Halde-Talsediment-Vorfluter zu erfassen.

Ziel dieser Arbeit ist die Aufnahme und Beschreibung der Prozesse und der Dynamik des bergbauinduzierten Stoffeintrags und Stoffaustauschs in ein System ohne hydraulische Ankopplung an das lokale Grundwasserregime (Prä-Flutungssituation) anhand eines ausgewählten Fallbeispiel (östliches Gessental). Es werden die rezenten Pfade für den bergbaubedingten Stoffeintrag durch einen Haldenkörper (Nordhalde) in das anthropogen veränderte Natursystem beschrieben und der dynamische Netto-Stoffaustausch für ausgewählte gelöste Inhaltsstoffe quantifiziert. Eine prognostische Betrachtung des Postflutungszeitraums wird entwickelt. Zum Erreichen der Ziele wird das Einzugsgebiet in seinem durch den Uranbergbau modifizierten Zustand in verschiedenen Skalenbereichen mit geologischen, hydrologischen, geophysikalischen und hydrogeologischen Feld- und Labormethoden erfasst und analysiert. Diese Zustandsanalyse bildet die Grundlage für weitere Untersuchungen, die zukünftige Veränderungen des ausgewählten Talbereiches im Zuge der Sanierung beschreiben sollen.

Es wurden folgende Fragestellungen geprüft:

- Welche Stoffe gelangen durch den intensiven Bergbau in das Grund- und Oberflächenwasser? Können bergbaubürtige Stoffe als Tracer für den Einfluss des Bergbaus auf das System genutzt werden?
- Welche Besonderheiten weisen das Wasser der Vorfluter und das Grundwasser im Untersuchungsgebiet auf? Wie weit reicht der Einfluss des Uranbergbaus im dynamischen System der Vorfluter und im Grundwasser?
- Welcher rezente Austragsweg bildet den Hauptpfad für bergbaubürtige Stoffe? Modifiziert die bergbaubedingte hydraulische Situation eines Talbereiches den Stoffaustausch?
- Können das Oberflächen- und Grundwasser mit Hilfe hydraulischer Betrachtungen und hydrochemischer Zeitreihen in ihrer Beeinflussungen durch den Bergbau sinnvoll klassifiziert werden? Ist eine Typisierung der Vorfluter und des Grundwassers möglich?
- Lassen sich die quartären Talsedimente in ihrer geologischen Entwicklung mit Hilfe von punktuellen geologischen und flächenhaften geophysikalischen Daten in genetische Zusammenhänge stellen?
- Welche Rolle spielen schwedende Grundwasserleiter? Existieren in den Talbereichen temporäre oder langzeitstabile geochemische Barrieren? Welche Wirkung haben die Talsedimente auf den Stofftransport?

- Wie hoch ist der mittlere bergbaubürtige gelöste Nettoein- und -austrag über den Wasserpfad im Untersuchungsgebiet? Existieren zeitliche und räumliche Abhängigkeiten? Modifizieren meteorologische Faktoren den Stoffumsatz?

In Abschnitt 2 wird die historische Entwicklung des ostthüringischen Uranbergbaureviers einschließlich der zzt. laufenden Sanierung skizziert. Es werden die Grundlagen zur Topografie, Morphogenese, Tektonik, Geologie und Lagerstättengenese in der Ronneburger Uranbergbauregion vermittelt und Bezüge zum Arbeitsgebiet (Gessental zwischen Ronneburg und Gera) hergestellt. Die känozoische Genese des Ostthüringer Weißelstertals spielt für die historische und zukünftige Entwässerungsstruktur sowie für die Ausbildung quartärer Deckschichten der Uranbergbauregion eine besondere Rolle.

Abschnitt 3 fasst die verwendeten methodischen Ansätze im Gelände und im Labor zur Untersuchung der stichtagsbezogenen Grund- und Oberflächenwasserbeschaffenheit und – dynamik innerhalb einzelner Teilkompartimente im Gessental zusammen. Das vier Jahre betriebene und der Fragestellung angepasste Messstellennetz im Oberflächen- und Grundwasser innerhalb und außerhalb der bergbaubedingten Entwässerung wird vorgestellt. Die verwendeten geophysikalischen, geologischen und sedimentologischen Methoden werden dargestellt.

In Abschnitt 4 wird der Wasserhaushalt des Gebietes sowie die derzeitige hydrologische Situation des Gessenbaches und seiner Zuflüsse analysiert. Das rezente Fließsystem im östlichen Gessental wird mit rekonstruierten Bachverläufen aus Vorbergbauzeiten verglichen, die das zukünftige Entwässerungsregime beeinflussen können. Ergebnisse der Quantifizierung der Schüttungsmengen im Untersuchungszeitraum sowie hydrogeologische Kartierungen definieren die auf das maßgeblich bergbaubeeinflusste östliche Gessental fokussierende Betrachtungsweise. Es wird eine Klassifizierung nach hydraulischen Gesichtspunkten entwickelt.

Abschnitt 5 widmet sich den hydrogeologischen Grundlagen im gesamten Untersuchungsgebiet. Die einzelnen Kluft- und Porengrundwasserleiter werden stratigrafisch beschrieben und die hydrogeologische Bedeutung der Störungssysteme im Untersuchungsgebiet dargestellt. Die den Stoffaustrag modifizierenden bergbaubedingten hydrogeologischen Veränderungen im östlichen Gessental infolge der Schaffung zusätzlicher Hohlräume, der Ausbildung eines Absenkungstrichters, der Aufhaldung von Untergrundmaterial und der Veränderung der Wasserchemie finden besondere Beachtung.

Abschnitt 6 beschäftigt sich mit der Nordhalde, die als komplexe Hauptschadstoffquelle beschrieben wird. Es werden der Stand geologischer, geochemischer und hydrogeologischer

Untersuchungen vor und während der Aufhaldung und die Veränderungen bis zum heutigen Zustand vorgestellt.

Abschnitt 7 beschreibt den paläozoischen Untergrund und die an die Nordhalde grenzenden quartären Talsedimente des Gessentals als Transfermedien für diffus einströmende Haldensickerwässer. Die überwiegend aus einem gemeinsam mit der Wismut GmbH durchgeführten Bohr- und Geoelektrikprogramm stammenden und durch eigene Untersuchungen erweiterten Daten führen zu einer im diesem Abschnitt entwickelten sedimentologischen Beschreibung und hydrogeologischen Klassifizierung der Einheiten. Mit Hilfe eines geologischen/sedimentologischen Modells aus den punktuellen und flächenhaft erhobenen Daten werden potenzielle Fließwege in dem nur teilweise grundwassergesättigten östlichen Gessental ausgehalten.

Abschnitt 8 beschreibt den rezent wirksamen Hauptaustrittspfad für bergbaubeeinflusstes Sickerwasser anhand von stichtagsbezogenen Messungen der Beschaffenheiten des Vorfluterregimes. Die Vorfluter werden in Abhängigkeit des Bergbaueinflusses verschiedenen Typen zugeordnet sowie chemisch prozessbezogen klassifiziert. Das im Bereich der bergbaubedingten Entwässerung auftretende schwebende Grundwasser wird exemplarisch klassifiziert und mit oberflächennahem Grundwasser außerhalb des Bergbaueinflusses verglichen. Anschließend werden die Pfade sowie der rezente gelöste Netto-Stoffeintrag und -austrag anhand von Stichtagen exemplarisch beschrieben.

Abschnitt 9 unterzieht die gewonnenen Erkenntnisse einem kritischen Literaturvergleich, gibt eine qualitative Einschätzung der Ergebnisse und skizziert einen Ausblick auf zukünftige Zustände im Gebiet des Gessentals.

2. GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Das als Untersuchungsgebiet bezeichnete orohydrografische Einzugsgebiet des Gessenbaches schneidet das Ronneburger Revier in einem Großteil seiner westlichen Ausstrichfläche. Es reicht darüber hinaus bis nach Gera, wo der Gessenbach in die Weiße Elster mündet. In Zusammenhang mit einer detaillierten hydrogeologischen und hydrochemischen Betrachtungsweise des Untersuchungsgebietes, muss die historische Entwicklung des ostthüringischen Uranbergbaugeschäfts beachtet werden. Die anschließend aufgeführten geografischen und geologischen Grundlagen im Untersuchungsgebiet Gessental stehen zudem im engen Zusammenhang mit der geologisch/lagerstättenkundlichen Gesamtentwicklung des ostthüringischen Uranbergbaugeschäfts.

2.1. Historische Entwicklung des ostthüringischen Uranbergbaus

Die historische Entwicklung des Uranbergbaus in Ostthüringen wird basierend auf einer Literaturrecherche, internen Wismutberichten und mündlichen Mitteilungen im Folgenden mit einem Fokus auf das Ronneburger Revier, speziell auf das Gessental, skizziert.

Eine Vielzahl von Arbeiten setzen sich intensiv mit der Abbau- und Sanierungsentwicklung sowie historischen und politischen Bewertung des Uranbergbaus auseinander (z.B. HAGEN 1999, WISMUT 1999, SCHEID 1997, KARLSCH & SCHRÖTER 1996, BEYER et al. 1995, SCHIFFNER 1994, BELEITES 1992, PAUL 1991, PROKORP et al. 1991, KATALYSE 1990).

Mit einer Produktion von 231.000 t Uran war die ehemalige SDAG Wismut (Sowjetisch-Deutsche Aktien-Gesellschaft Wismut) in der Zeit von 1946 bis 1990 nach den USA und Kanada der weltweit drittgrößte Uranproduzent (WISMUT 1999). Vor dem zweiten Weltkrieg wurde Uran lediglich zu medizinischen Zwecken sowie als Farbzusatz in der Glas- und Porzellanindustrie abgebaut. Der intensive Uranerzbergbau auf dem Gebiet der Sowjetischen Besatzungszone begann unmittelbar im bzw. nach Beendigung des zweiten Weltkriegs im Erzgebirge. Die 1946 gegründete Sowjetische Aktiengesellschaft (SAG) Wismut führte das gewonnene Erz (zumeist Pechblende) anfangs als Reparationsleistung direkt in die UdSSR ab, wo es innerhalb des sowjetischen Atombombenprojektes Verwendung fand. 1954 wurde die SAG in die SDAG Wismut mit paritätischer Beteiligung der UdSSR und der DDR überführt. Die zeitliche Entwicklung der intensiven Uranprospektionen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt begann 1948. Methodisch wurden Emanationsmessungen der Bodenluft auf Radium bzw. Radon, Gammaprofilierungen sowie Untersuchungen zur geologischen und radiohydrogeologischen Uranindikation z.B. das Auftreten von Gesteinsparagenesen und radioaktiver Quellen (vgl. Abschnitt 5.3.1) angewendet. 1948 wurden Erkundungsschürfe im

Jungpaläozoikum des Culmitzscher Halbgrabens bei Seelingstädt angelegt, 1949/50 kontrastreiche Anomalien in den altpaläozoischen Schiefern im Ronneburger Horst aufgefunden, die uranreiche Gesteine in Oberflächennähe identifizierten (FUCHSLOCH 1998, KARLSCH 1998, FENGLER 1997, BARTHEL 1993, SCHMIDT & REICHARDT 1993, PROKORP et al. 1991, LANGE et al. 1991).

Im Bereich des Culmitzscher Halbgrabens, im 85 km² großen, südlich von Ronneburg gelegenen Seelingstädtter Revier (Abb. 1), wurde Uranerz seit 1948 gewonnen und in den Tagebauen von Katzendorf-Trünzig, Sorge-Settendorf, Gauern und Culmitzschen aus den Konglomeraten, Sandsteinen und Schiefertonen des Zechsteins abgebaut. 1960 wurde in Seelingstädt eine Anlage zur Verarbeitung von Uranerzen in Betrieb genommen, die bis 1990 produzierte. Die Entwicklung, Ausprägung und Sanierung des Seelingstädtter Reviers mit den Industriellen Absetzeranlagen Culmitzschen und Trünzig wird in der Literatur ausführlich beschrieben (z.B. WISMUT 1999, LANGE et al. 1998, GATZWEILER et al. 1997, LANGE et al. 1991, TONNDORF 1994, BILZ 1994, BARTHEL 1993, SCHULZE 1993, WINDE 1998, GELETNEKY & BÜCHEL 2002).

Im Jahr 1951 wurde der untertägige Abbau im Ronneburger Revier mit der Auffahrung von Schürfen in der Nähe der ehemaligen Orte Schmirchau und Alt-Lichtenberg (heute im Bereich des Tagebaus Lichtenberg, Abb. 1) begonnen. Die unmittelbar anschließende Förderung von Uranerzen führte 1952 zur Auffahrung von Strecken in 120 m Tiefe (120m-Sohle) unter Geländeoberkante (GOK). 1952 bis 1954 wurden die Schürfe 12 und 13 sowie die 0,3 ha große Halde 12/13 (0,01 Mio. m³) im nördlichen Gessental angelegt. Weitere Erkundungen z.B. durch Über Tagebohrungen führten zur Erschließung der eigenständigen Bergbaubetriebe bzw. Lagerstättenteile Lichtenberg, Reust, Schmirchau, Paitzdorf (1954), Beerwalde (1969) und Drosen (1974), die sich im nach Norden einfallenden Altpaläozoikum bis in Tiefen zu 940 m u. GOK erstreckten und z.T. von mesozoischen Gesteinen nördlich der Kyffhäuser-Crimmitschauer Störungszone überlagert werden (Abb. 2). 1964 bis 1965 erfolgte die Auffahrung des Schachtes 389 im östlichen Gessental südlich des Mühlberges. 1961 bis 1971 wurde der Schacht 381 als Förder- und Wetterschacht bis zur 570 m Sohle niedergebracht. Hierbei wurde die 6,2 ha große Halde 381 mit einem Volumen von 0,4 Mio. m³ zwischen 1961 und 1977 angelegt.

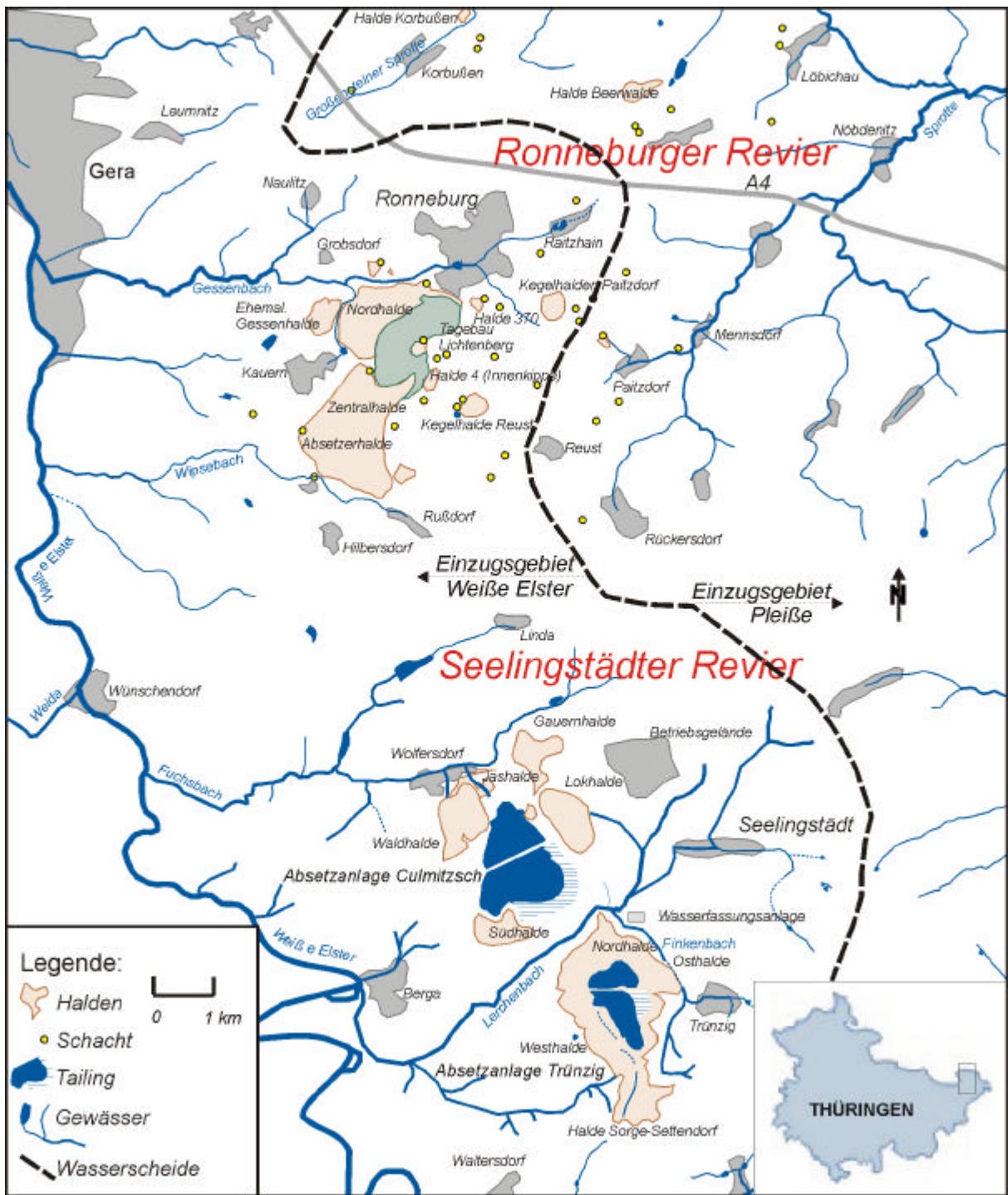


Abb. 1: Lage des ostthüringischen Uranbergbaugebiets und der Wasserscheide zwischen der Weißen Elster im Westen und der Pleiße im Osten mit dem ca. 74 km² großen Ronneburger Revier im Norden und dem ca. 85 km² großen Seelingstädtener Revier im Süden.

Die Ausbildung der Lagerstätte (vgl. Abschnitt 2.5.2) erschwerte das Auffinden der linsen- und stockwerkartigen Vererzungskörper in den mit 40-60 ppm Urandurchschnittsgehalt nur gering vererzten Uranausgangsgesteinen. Nach intensiven Vorerkundungen durch Bohrungen und Schürfe und Auffinden von 164 km² potenziell vererzter Fläche, wurde das Gebirge unter Tage flächendeckend mit horizontalen Bohrungen erkundet. Es wurde ein sog. „cut off“ von 300 ppm Uran festgelegt (LANGE et al. 1991).

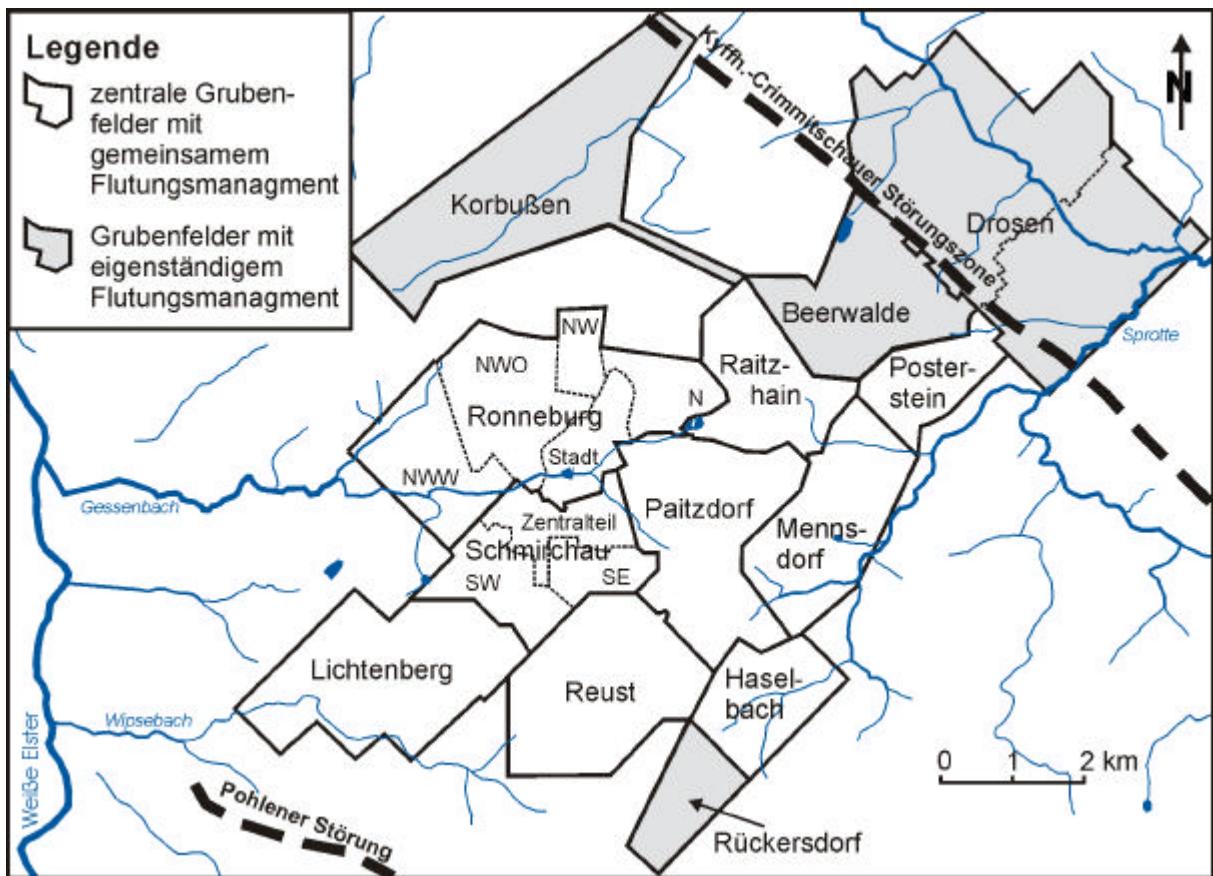


Abb. 2 Einteilung des Ronneburger Reviers nach Grubenfeldern. Das Ronneburger Uranbergbaurevier war bis 1993 aufgeteilt in den Sanierungsbereich Drosen mit den ehemaligen Betriebsteilen Korbußen, Beerwalde und Drosen nördlich der Autobahn A 4 und dem Sanierungsbereich Ronneburg mit den Betriebsteilen Schmirchau, Reust, Lichtenberg und Paitzdorf südlich der Autobahn A4. Die Betriebsteile weisen im Sanierungszeitraum teilweise unterschiedliche Flutungsmanagements auf.

Die Auffahrungen fanden mit unterschiedlichen Abbauverfahren statt, welche die C_{org}-reichen und eisensulfidführenden paläozoischen Schiefer unter Tage zerkleinerten und an die Erdoberfläche schafften. Bis in die 60er Jahre wurde z.B. der Kammerbergbau mit Bruchverwerfung und Verschlämzung und der Teilsohlenbruchbau angewendet. Dies führte sowohl zu Beeinträchtigungen an der Erdoberfläche durch Nachbrechen und Lockerung im hangenden Gebirge als auch zu endogenen Bränden infolge Oxidation und Selbstentzündung des Gesteins. Aufgrund verminderter Abbauleistungen wurde im Weiteren die Abbautechnologie in mehreren Stufen in einen Teilsohlenbau mit selbsthartendem Versatz geändert und als Standardtechnologie bis 1990 eingesetzt. Teilweise wurde unter Zu-Hilfenahme neuer Technologien (z.B. Untertagelaugung) die Gewinnung in älteren Abaugebieten erneut aufgenommen (BRUNE 2000, FENGLER 1997, LANGE et al. 1991, PROKORP et al. 1991, KÖGEL 1991). Insgesamt wurde ein untertägiges Grubengebäude von ca. 74 km² geschaffen sowie knapp 3000 km Grubenstrecken aufgefahren. Die Hauptphase der Uranproduktion fand in den 60er bis 70er Jahren mit einer Jahresförderung von über 7000 t Uran statt (LANGE et al. 1991).

Tab. 1: Sanierungsprojekte innerhalb des ostthüringischen Uranbergbaugebietes aufgeteilt nach den bis 1998 getrennt geführten Sanierungsbetrieben Ronneburg und Seelingstädt (u.a. BRENK SYSTEMPLANUNG 1996, BRENK SYSTEMPLANUNG 1995, WISMUT 1994b, n.b.: nicht bestimmt)

Ronneburg	Betriebsgröße [ha]	Seelingstädt
1546		1310
	Halden/Dämme	
17 466 200	Anzahl Aufstandsfläche [ha] Volumen [Mio. m ³]	17 527 70
	unterirdischer Grubenbau	
74 3000 40 27 23 30-940	Ausdehnung [km ²] aufgefahren Strecken [km] Tagesschächte, Anzahl Gesamthohlraumvolumen [Mio. m ³] Sohlenanzahl Teufe [m u. GOK]	
	Tagebaue	als Absetzbecken genutzt
4 274 davon 160 Lichtenberg 84 64'	Anzahl Fläche [ha] Volumen [Mio. m ³] Innenkippe [Mio. m ³]	4 300 n.b. -
	Absetzeranlagen, Tailings	
2 8 0,22	Anzahl Fläche [ha] Inhalt [Mio. m ³]	2 mit jeweils 2 Becken 389 110

An sog. Armerzhalden fand zur Urangewinnung eine übertätigig ausgeführte Laugung des nur z.T. ausgeerzten Abraums in Form von Halden- und Haufenlaugung statt. Die Laugungsanlage Gessen wurde 1972 in Betrieb genommen und diente zur Laugung von Armerz. Hierbei wurden saure Wässer und z.T. Schwefelsäure im Kreislauf über die Haufwerke geleitet und Uran aus den so angereicherten sauren Lösungen gewonnen (z.B. Gessenhalde bei Kauern, s.u.). Das anfallende gelaugte Gestein wurde zwischen 1971 und 1978 auf die 28,7 ha große Gessenhalde (6,8 Mio. m³) gekippt.

In Oberflächennähe wurde Uran in mehreren Tagebauen gefördert. Der Erztagebau Lichtenberg wurde 1958, die Tagebaue Stolzenberg und Ronneburg wurden 1955 bzw. 1952 aufgefahren (FENGLER 1997). Weitere Tagebaue zur Sand- und Lehmgewinnung wurden in Schmirchau (1956), Reust (1957), Schacht 369 bei Paitzdorf sowie Lichtenberg (1958-1970) und Gessen I (bis 1962) angelegt. Ab 1962 erfolgte die Lehmgewinnung aus dem Vorkommen Gessen in Tagebauen Gessen-Ost, Gessen-West, Gessen-Süd und Gessen (WISMUT 1999, MÜLLER 1993).

Der in zwei Etappen (1958 bis 1972 und 1969 bis 1980) aufgefahrenen und im Einzugsgebiet des Gessenbaches gelegene Tagebau Lichtenberg bildet den größten im Ostthüringischen Uranbergbaugebiet. Das Gesamtvolume betrug 160 Mio. m³. Der Alttagebau erreichte im tiefsten Teil, ca. 240 m u. GOK (70,8 m ü. NN), eine Längserstreckung von ca. 1300 m in

NE/SW-Richtung und an der Oberfläche ca. 2000 m bei einer Breite von 700 bis 800 m. Der Tagebau Lichtenberg wurde teilweise direkt in ehemalige untertägige Streckenbereiche aufgefahren. Insgesamt wurden hier 18,1 Mio. t Uranerz mit einem Durchschnittsgehalt von 700 g U₃O₈/t Haufwerk gewonnen. Der Tagebau wies 1993 ein Gesamtvolumen von über 80 Mio. m³ auf. Er nimmt eine zentrale Stellung bei den seit 1990 laufenden Sanierungsarbeiten ein, indem hier ein Großteil der 17 Abraumhalden (Gesamtvolumen von ca. 200 Mio. m³) derzeit eingelagert werden (s.u.). Während des Abbaus wurden zudem kleinere Tagebaue wie die Tagebaue Ronneburg (1952) und Stolzenberg (1955) aufgefahren (FENGLER 1997, BRENK SYSTEMPLANUNG 1995, BARTHEL 1993). Das Erz aus der Ronneburger Lagerstätte wurde anfangs im Aufbereitungsbetrieb Crossen bei Zwickau und ab 1960 im Aufbereitungsbetrieb Seelingstädt zu *yellow cake*, einem Gemisch aus Uranoxiden in natürlicher Isotopenzusammensetzung weiterverarbeitet (LANGE et al. 1991).

Ende 1990 gingen die Anteile der Sowjetunion an der SDAG Wismut auf die Bundesrepublik Deutschland über. Die gegründete WISMUT GmbH wurde beauftragt, die Hinterlassenschaften des Uranbergbaus zu sanieren. Hierzu stellte die Bundesrepublik Deutschland 13 Mia. DM (6,5 Mia. €) zur Verfügung. 1990 umfassten die Altlasten in Thüringen das Tagebaurestloch Lichtenberg, 17 Halden, das untertägige Grubengebäude mit einem ca. 74 km² großen Absenkungstrichter, die Tailings bei Seelingstädt sowie ehemalige Betriebsflächen und -gebäude (Abb. 1). In umfangreichen Messprogrammen wurde die bergbaubedingte Umweltradioaktivität aufgenommen sowie der Luft- und Wasserpfad im Rahmen eines Katasters untersucht und bewertet (u.a. WISMUT 1997b, 1998a, b, 2000, BRENK SYSTEMPLANUNG 1995, 1996, SCHMIDT & REICHARDT 1993, RUNGE & BÖTTCHER 1993, NOACK et al. 1993). Ziele der seitdem laufenden Sanierungstätigkeit sind die Verwahrung des untertägigen Grubengebäudes, die Flutung der Gruben unter Wiederherstellung der ursprünglichen hydrogeologische Verhältnisse, die Umlagerung eines Großteils der Halden in das Tagebaurestloch Lichtenberg sowie die Dekontamination von Betriebsflächen. Die Halden Beerwalde, Drosen und Korbußen werden in-situ verwahrt (GIESE 2000, HAGEN 1999, FENGLER 1997, SCHEID 1997).

Nach intensiver Vorerkundung und Abschluss der Verwahrungsarbeiten begann die Flutung der Grube im Zentralteil Anfang 1998, nachdem tiefere Bereiche in einzelnen Grubenfeldern zwischen 1991-1998 kontrolliert geflutet wurden (Abb. 2, Abschnitt 5.2). Der Austritt des Flutungswasser im Bereich des Gessentals wird zwischen 2003 und 2005 erwartet (u.a. GELETNEKY et al. 2002, Abb. 1). Die Umlagerung der Halden in das Tagebaurestloch begann während und nach eines intensiven Untersuchungsprogrammen schon 1991 u.a. mit der

Umlagerung der Gessenhalde in den Tagebau Lichtenberg. Die Umlagerung der Nordhalde begann 1998 und soll 2003 abgeschlossen sein (WISMUT 1999, vgl. Abschnitt 6). Neben dem Abriss von kontaminierten Gebäuden und der Dekontamination von Betriebsflächen werden langfristig Überwachungs- und Monitoringsysteme installiert (GIESE 2000).

2.2. Lage und Morphologie

Das Arbeitsgebiet umfasst den zentralen und westlichen Teil des Ronneburger Reviers. Auf der Grundlage von Rasterdaten im Abstand von 10 m des Thüringer Landesvermessungsamtes wurde im Rahmen dieser Arbeit ein digitales Höhenmodell der Untersuchungsgebietes berechnet (Abb. 3). Im Folgenden wird die Lage und Morphologie des Arbeitsgebietes und seiner Umgebung auf der Grundlage dieses Modells vorgestellt.

Das 74 km² große Ronneburger Uranbergbaurevier befindet sich östlich von Gera bei Ronneburg (Abb. 1). Das ehemalige ostthüringische Uranbergbaugebiet ist Teil des ostthüringisch-westsächsischen Hügellandes, das im Bereich der Lagerstätte Höhen zwischen 230 und 370 m ü. NN einnimmt. Hier ist eine wenig reliefierte Hochfläche auf Geländehöhen um 300 m ü. NN ausgebildet, die flach nach Norden bzw. Nordosten geneigt ist. Sie geht nördlich in die thüringisch-sächsische Tieflandsbucht über. Im südlichen Bereich der Hochfläche bildet der Treuster Berg westlich der Ortschaft Reust mit 370,3 m ü. NN die höchste natürliche Erhebung (Abb. 1, Abb. 3).

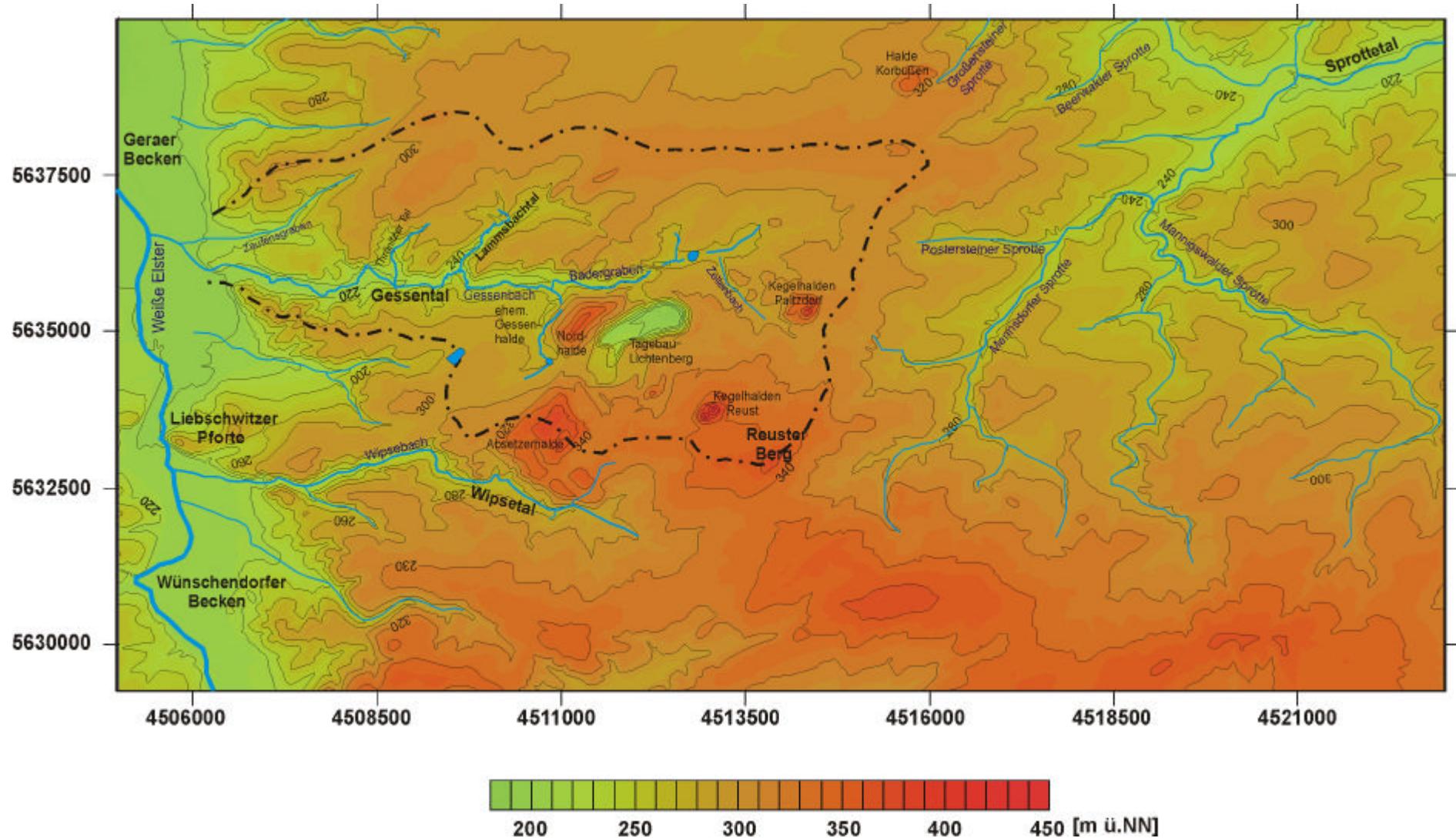


Abb. 3: Höhenschichtenkarte des Untersuchungsgebietes (Einzugsgebiet des Gessenbaches: gestrichelte Linie) und angrenzender Gebiete, berechnet aus Rasterdaten (DGM 10, Höhengenauigkeit ± 1 m bis ± 2 m, Gitterweite 10 m) des Thüringer Landesvermessungamtes aus dem Jahr 1998. Die Höhen sind in mNN angegeben.

Im Westen wird diese Hochfläche durch das N/S-verlaufende Tal der Weißen Elster eingeschnitten, welches den topographisch niedrigsten natürlichen Bereich des Gebietes bildet. Die Weiße Elster hat im südlichen Bereich der Weida-Mündung bei Wünschendorf eine Geländehöhe von ca. 210 mNN, im Norden von Gera ca. 190 mNN. Die Talform ändert sich von einem weniger als 250 m breitem SE/NW- Tal südlich Wünschendorf in ein bis zu 1 km breites, beckenförmiges in N-Richtung verlaufendes Tal nördlich von Wünschendorf. Die Talerweiterungen der Weißen Elster werden als Wünschendorfer und Geraer Becken bezeichnet. Getrennt werden diese an Zechsteinausstrichen gebundenen flachen Becken durch die Liebschwitzer Pforte, ein von Osten in das Tal der Weißen Elster eindringender Ausstrich paläozoischer Gesteine (Abb. 1, Abb. 3). In die o.g. Hochfläche sind im Westen die als E/W Segmente in Richtung Weiße Elster gerichteten Täler Gessental und Wipsetal eingeschnitten. Im Nordosten bildet das Sprottetal ein SW/NE verlaufendes und zur Pleiße geneigtes Segment.

Das E/W-gerichtete Gessental zwischen Ronneburg, Kauern und Gera bildet das Hauptuntersuchungsgebiet dieser Arbeit. Es umfasst das ca. 30 km² große orohydrografische Einzugsgebiet des Gessenbaches und des Badergrabens (Abb. 3). Im Gessental liegt ein großer Teil der Altlasten des Uranbergbaus des Ronneburger Reviers. Das Gessental befindet sich bei Raitzhain im Osten auf Geländehöhen von 320 m NN. Im westlichen Bereich im Mündungsbereich des Gessenbaches in die Weiße Elster in Gera treten Geländehöhen von ca. 200 m ü. NN auf. Das ca. 8 km lange Tal weist ein relativ einheitliches Gefälle nach Westen auf. Von Norden und Süden treten dem E/W-verlaufenden Segment verschieden Täler zu. Das SE/NW-verlaufende Zellenbachtal östlich von Ronneburg, ein N/S verlaufendes Talsegment westlich von Ronneburg sowie das ehemalige, zzt. durch die Nordhalde verschüttete, S/N-verlaufende Tal des Schmirschauer Baches verlaufen in Richtung des Gessentals, in dessen östlichem Abschnitt der Badergraben fließt. Mit einem S/N-Gefälle streicht das Tal des Gessenbaches zwischen Nordhalde und ehemaliger Gessenhalde nach Norden. Westlich bilden das markant in die nördliche Hochfläche eingeschnittene, in NW/SE-Richtung streichende Lammsbachtal, das Tal des Zaufensgrabens bei Gera sowie das N/S-verlaufende Thränitzer Tal von Norden in das Gessental streichende Talsegmente. Bis zur Einmündung des Lammsbaches befindet sich das Gessental auf Geländehöhen zwischen 270 und 220 mNN. Es bildet somit den morphologisch tiefsten Bereich im bergbaubeeinflussten Ronneburger Revier.

Höchste Punkte der Umgebung sind zzt. noch die doppelten Spitzkegelhalden von Reust und Paitzdorf, die über 100 m über der Geländeoberkante aufgeschüttet wurden. Der mit 180 mNN niedrigste topographische Punkt war 1998 der erst teilverfüllte Tagebau Lichtenberg.

2.3. Regionalgeologische Position

Die regionalgeologische Position und Tektonik des ostthüringischen Uranbergbaugebiets bildet den Rahmen für die Beschreibung der unterschiedlichen im Untersuchungsgebiet Gessental zwischen Ronneburg und Gera anstehenden Gesteine. Die räumlichen Lagerungsbeziehungen sowie die Ausbildung der im Gessental ausstreichenden paläozoischen Metasedimente wird beschrieben. Daneben wird die geologische Entwicklung des Gebietes im Hinblick auf die Lagerstättengenese wiedergegeben. Ein spezieller Fokus wird auf die für die Entwicklung des Gessentals entscheidenden tertiären und quartären Vorgänge gelegt. Die stratigrafische Einteilung der Gesteine wird in Anlehnung an die Einteilung der WISMUT GmbH beschrieben. Die von der WISMUT GmbH verwendeten Kurzbezeichnung werden angegeben.

Der im thüringischen Saxothuringikum zwischen der Teuschnitz-Ziegenrücker Mulde im NW und der Vogtländischen Mulde im SE gelegene Bergaer Sattel bildet eine SW-NE streichende regionale Großstruktur 1. Ordnung im variszischen Ostthüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge (Abb. 4, HEMPEL 1995).

Das ostthüringische Uranbergbaugebiet befindet sich im Überschneidungs-Bereich des variszisch deformierten Altpaläozoikums der NW-Flanke des Bergaer Sattels mit der saxonischen, NW/SE-streichenden Kyffhäuser-Gera-Joachimsthaler (Jachymov)-Störungszone sowie mit seismisch aktiven, N/S sowie E/W orientierten Störungsbereichen (LANGE et al. 1999, FENGLER 1997, LANGE et al. 1991). Im NE-Bereich des Bergaer Sattels wird das Teilgebiet des Gera-Ronneburger Vorsprungs mit seinen gravitativ gestapelten nachtremadozischen Gesteinen bruchtektonisch abgegrenzt (HEMPPEL 1995, RUSSE 1995). Zwischen der Crimmitzschaue Störungszone im NE und der Pohlener Störung im SW bildet der Ronneburger Horst bzw. der Geraer Vorsprung (HEISE 1929) eine 15-20 km nach NW in das Thüringer Becken eindringende Hebungsstruktur (Abb. 4). Die NW/SE-streichenden Strukturelemente Crimmitzschaue und Pohlener Störung sind Abschnitte der Kyffhäuser-Gera-Joachimsthaler (Jachymov)-Störungszone, die sich nach NW bis zum Leinetalgraben als Finnestörungszone fortsetzt. Im NE des Ronneburger Uranbergbaugesriebtes wurden die altpaläozoischen Schichten durch kompressive Deformation etwa 150 m gehoben und auf Zechstein und Buntsandstein der Zeitz-Schmöllner Mulde aufgeschoben. An der Pohlener Störung ist der SW-Block im Gebiet Gera-Liebschwitz um mindestens 120 m gegen Zechstein und Buntsandstein des Wünschendorfer Beckens versetzt (FENGLER 1997). MEINHOLD (2001) zeigt Versatzbeträge von mindestens 167 m im Gebiet von Wünschendorf. BENEK (1958, 1990) geht für das Gebiet Ostthüringen von dextralen Rotationen des variszischen Achsengefüges infolge jungpaläozoischer *strike-slip* Bewegungen aus.

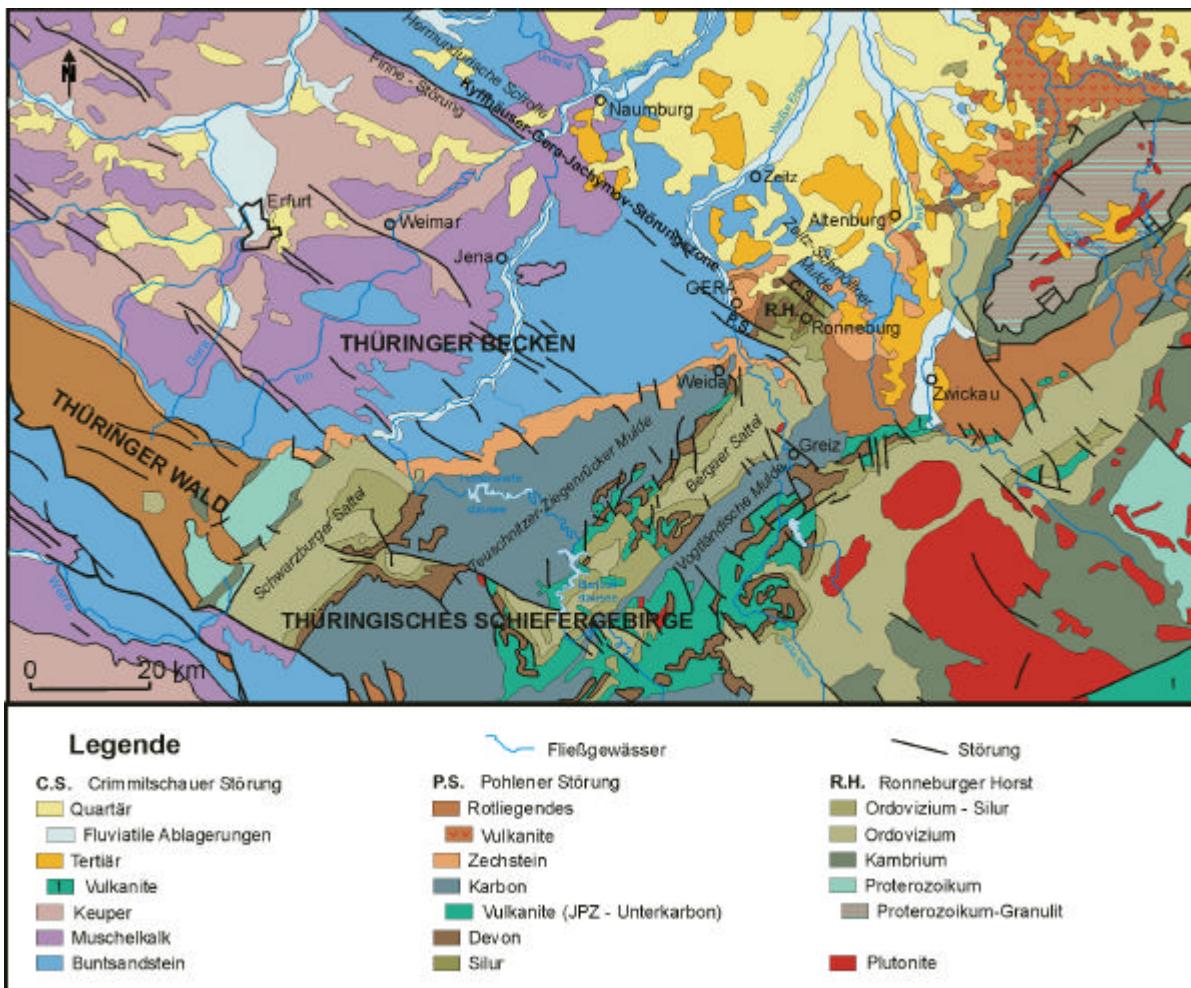


Abb. 4: Regionalgeologische Position des ostthüringischen Uranbergbaureviers (BGR 1993, veränd.).

Die Finne- bzw. Kyffhäuser-Gera-Joachimsthaler-Störungszone wurde mehrfach reaktiviert (STACKEBRAND & FRANZKE 1989). Entlang der Finne-Störungszone treten zwischen Lias und Tertiär saxonische Vertikalbewegungen gegenüber den NW/SE-verlaufenden Kompressionsbeanspruchungen in den Vordergrund. In Ostthüringen, das relativ geringe Zechstein- und Triasmächtigkeiten aufweist, ist zusätzlich der schon variszisch angelegte ENE/WSW-Faltenbau erkennbar (SEIDEL 1995). ELLENBERG (1995) und BRUNE (2000) zeigen neotektonische bis rezente Vertikalbewegungen entlang der Störungszone.

Das mehrfach gefaltete Grundgebirge im Raum Ronneburg wird dominiert durch NNE/SSW-verlaufende Sättel und Mulden (Abb. 5, Abschnitt 2.5.1). Es besteht im Wesentlichen aus ordovizischen bis unterkarbonischen kompetenten und inkompetenten Metasedimenten sowie aus intrusiven und effusiven oberdevonischen magmatischen und pyroklastischen Gesteinen (FENGLER 1997). Im W begrenzt die N/S-verlaufende Thränitzer Störung das gefaltete Grundgebirge gegen die Geraer Rötligendsenke (FENGLER 1997).

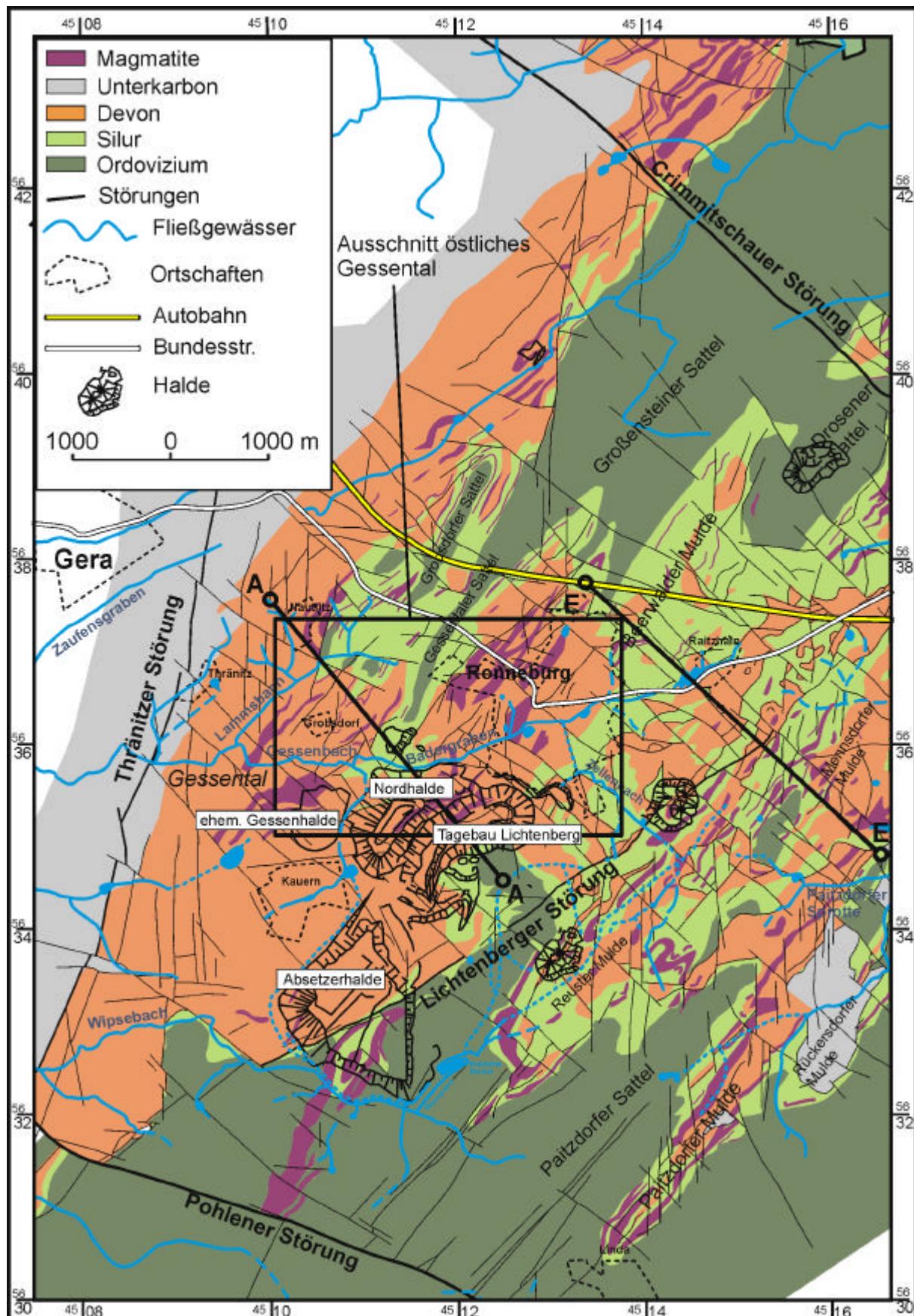


Abb. 5: Abgedeckte geologische Karte des Ronneburger Uranbergbaureviers. Schnitt E-E' s. Abb. 8, Schnitt A-A' s. Abb. 32, Ausschnitt des Hauptuntersuchungsgebiet östliches Gessental s. Abb. 42 (nach FENGLER 1997, LANGE et al. 1999, veränd.).

2.4. Stratigrafische Gliederung

Die Ablagerungen im ostthüringischen Uranbergbaugebiet wurden bereits von LIEBE (1878a, b) und ZIMMERMANN (1897, 1930) beschrieben. Sie bestehen aus altpaläozoischen Schiefern, Kalksteinen und Diabasen, klastischen Sedimenten und Tuffen des Rotliegenden, Sedimenten des Zechsteins und Buntsandsteins sowie quartären Lockergesteinen. Im Folgenden wird eine stratigrafische Übersicht über die Gesteine des Ronneburger Uranbergbaureviers vorgestellt (Tab. 2.).

Tab. 2: Stratigrafische Übersicht des Ronneburger Uranbergbaubereiches nach FENGLER (1997). In Klammern sind die Bezeichnungen der WISMUT GmbH angegeben.

System	Abteilung	Bezeichnung		Serie, Gesteinsfolge, Ausbildung			
Quartär		Q		Lockergesteine			
Tertiär		Tr		Lockergesteine			
Trias	Buntsandstein	T ₁		Sandsteine, Tonsteine			
Perm	Oberperm	P ₂		Zechstein (Salze, Kalke, Dolomite, Konglomerate)			
	Unterperm	P ₁		Rotliegendes (Sedimente, Eruptivgesteine)			
Karbon	Dinant	C ₁		Obere Folge, Sandstein-Tonschiefer – Wechsellagerung, (300 m)			
				Untere Folge, Rußschiefer, Bordenschiefer, Gerölltonschiefer (230-270 m)			
Devon	Oberdevon	D ₃ KT	D ₃ KP	Faziesbereich NW-Flanke Geraer Vorsprung: Kalkknotenschiefer- Tonschiefer-Folge (200 m)		Faziesbereich SE-Flanke Paitzdorfer Mulde: Kalkig- pelitische Folge (35-40 m)	
		D ₃ GB	D ₃ GV	Grauwacken-Bänderschiefer- Folge (65-140 m)		Grobklastisch vulkanische Folge (70–80 m)	
	Mitteldevon	D ₂ ²		Schwärzschiefer (60 m)			
		D ₁ ³		Tentakuliten- schichten	Tentakuliten- schiefer	Obere Folge (100-120 m)	
	Unterdevon	D ₁ ¹⁻²			Tentakuliten- knollenkalk	Untere Folge (70–80 m)	
		D ₁ ¹⁻²				(8-20 m)	
Silur	Silur	S ₃		Obere Graptolithenschiefer (10-20 m)			
		S ₂		Ockerkalk-Gruppe (25 –35 m)			
		S ₁	S ₁ ³	Untere Graptolithenschiefer (40-60 m)		Obere Folge (15-20 m)	
		S ₁	S ₁ ²			Mittlere Folge (20-25 m)	
		S ₁	S ₁ ¹			Untere Folge (10-15 m)	
Ordovizium	Ordovizium	Og ₃	Og ₃ ³	Gräfenthal- Gruppe	Laderschiefer (150-250 m)	Obere oder schluffige Folge (10 m)	
			Og ₃ ²			Mittlere oder karbonatische Folge (90- 120 m)	
			Og ₃ ¹			Untere oder sandig-tonige Folge (90-120 m)	
		Og ₂			Hauptquarzit (80-100 m)		
		Og ₁			Griffelschiefer (60-120 m)		
		Op			Phycoden-Gruppe		

2.4.1. Ordovizium

Die ältesten aufgeschlossenen Gesteine der ostthüringischen Uranbergbauregion sind ordovizischer Herkunft. Diese überlagern diskordant (Cadomische Diskordanz) neoproterozoische Gesteine der sog. Leipziger Grauwacke (LINNEMANN & BUSCHMANN 1995a, b, BUSCHMANN et al. 1995). Im Einzugsgebiet des Gessentals streichen die ordovizischen Gesteine im Tagebau Lichtenberg aus und bilden die Kernbereiche der SSW/NNE-verlaufenden Sättel (Gessentaler und Grobsdorfer Sattel, Abb. 5).

Weißelster-Gruppe, Phycoden-Gruppe

Die Basis des Ordoviziums im Bergaer Antiklinorium bildet der als feinkörniges Äquivalent des Frauenbach-Quarzit des Schwarzburger Antiklinoriums angesehene Hirschsteinquarzit (Abb. 4). Zusammen mit den überlagernden ca. 550 m mächtigen feinkörnigen quarzhaltigen Phylliten werden die Gesteine als Weißelster-Gruppe bezeichnet. Im Hangenden folgt die verhältnismäßig einheitlich ausgebildete z.T. phyllitisch bis feinsandig im oberen Bereich quarzitisch entwickelte, 570-800 m mächtige Phycoden-Gruppe. Im Ronneburger Horst treten ca. 70 m mächtige Quarzite und siltige Quarzschiefer mit tuffogenen Einlagerungen auf (FALK & WIEFEL 1995).

Gräfenthaler-Gruppe

Die wichtigsten ordovizischen Folgen im ostthüringischen Uranbergbaugebiet bilden die im Hangenden der Phycoden-Gruppe nach dem Tremadoc folgenden Gesteine der Gräfenthaler Gruppe. Sie weisen mit den einheitlichen Pelitfolgen des Griffel- bzw. Lederschiefers und dem zwischenlagernden psammitischen und quarztreichen, teils eisenoolithhaltigen Hauptquarzit eine Dreigliederung auf.

Griffelschiefer (Og_1)

Die Basis bildet der 60 bis 120 m mächtige Griffelschiefer. Er besteht nach FENGLER (1997) aus dunklen z.T. sandigen, pyrit- und kohlenstoffhaltigen, teilweise karbonatischen Ton- und Siltsteinen. Eingeschaltet sind eisenhaltige, stark tonige Sandsteine.

Hauptquarzit (Og_2)

An der Basis des 80 bis 100 m mächtigen Hauptquarzits sind lokal geringmächtige, eisenchloridhaltige Äquivalente des Oberen Erzhorizontes eingeschaltet. Die Hauptabfolge besteht aus einer Wechsellegerung von grauen, mm- bis m-mächtigen Schluff- und Feinsandsteinen mit graugrünen bis dunkelgrauen mm- bis dm-mächtigen, z.T. schluffigen, gering pyritführenden Ton- und Glimmertonschiefern (FENGLER 1997). Der NE-Teil des

Bergaer Sattels im Raum Gera-Weida ist im Gegensatz zur feinkörnig pelitreichen Fazies bei Lobenstein deutlich psammitischer entwickelt und weist eine undeutliche Differenzierung auf. Nach ELLENBERG (1998) lassen die sedimentären Strukturen im pelitischen Bereich sowie die flächenhaft keilförmige Verbreitung des Hauptquarzits auf ein ehemaliges Fan-Delta schließen, was auf die zunehmende Verflachung des Ablagerungsraum hinweist.

Lederschiefer (Og₃)

Die 150 bis 250 m mächtige monotone Abfolge besteht aus grünlichgrauen, braungrauen bis braunen Glimmer-Tonschiefern mit unterschiedlichen Sandgehalten und Geröllanteilen. Sie kann im Ronneburger Horst in drei Abschnitte gegliedert werden (LANGE et al. 1999, FENGLER 1997, CARIUS 1995):

Untere, sandig-tonige Folge (90 –120 m: Og₃¹)

Nach einer ca. 10. m mächtigen Wechsellagerung von dunklen Ton- und Sandsteinen (gebänderter Lederschiefer) folgen Glimmer-Tonschiefer, die selten feinsandig entwickelt sind.

Mittlere oder karbonatisch-sandige Folge (90-120 m: Og₃²)

In dieser Folge wechseln sandige mit weniger sandigen Glimmer-Tonschiefern. Die Gesteine weisen z.T. einen geringen Karbonatanteil auf. Vereinzelt kommen geringmächtige pelitische Karbonate vor.

Obere oder schluffige Folge (10 m: Og₃³)

Die 10 m mächtige Folge weist überwiegend neben den sandigen Glimmer-Tonschiefern kohlenstoffhaltige Lagen sowie 0,2 bis 0,5 m mächtige Ton- und Schluffsteinbänke auf. Die oberen 5 m verfügen über hohe Pyritgehalte, z.T. in Form von Nestern, Schmitzen oder Lagen. Den Übergang zum silurischen Unteren Graptolithenschiefer bildet eine geringmächtige Wechsellagerung aus Schluffstein und Alaunschiefer. Die obersten Bereiche des Lederschiefers werden bereits dem Silur zugerechnet SCHLEGEL 1995, CARIUS 1995, RUSSE 1991).

Genetisch kann der Lederschiefer als ein glazial-marines Sediment (Diamiktit) aus dem proximalen Bereich der oberordovizischen Sahara-Vereisung angesehen werden. Belege bilden u.a. geritzte Gesteine sowie Funde von *dropstones* (FALK & WIEFEL 1995). Somit vertieft sich der Bildungsraum mit der einsetzenden Sedimentation des Lederschiefers.

2.4.2. Silur

Das Silur in Ostthüringen wird in die vorwiegend schwarzpelitisch bis kieselig ausgebildeten Unteren und Oberen Graptolithenschiefer und den zwischenlagernden Ockerkalk dreigeteilt.

Feinstratigrafisch befindet sich die Liegendgrenze des Silurs im Hangendbereich des Lederschiefers, die Hangengrenze im unteren Bereich des Oberen Graptolithenschiefers, womit die weiter unten beschriebene Einheit dem Unterdevon zugerechnet werden kann. Die Sedimentationsraten im marinen Ablagerungsmilieu waren zeitweise sehr gering. Das Fauneninventar wird durch das Auftreten von Graptolidea bestimmt (SCHLEGEL 1995). Silurische Gesteine streichen im östlichen Gessental, im Zellenbachthal, im Bereich des Badergrabens und des nordöstlichen Lammsbaches in den SSW/NNE verlaufenden Sattelstrukturen Grobsdorfer und Gessentaler Sattel sowie im Tagebau Tagebaus Lichtenberg aus (Abb. 5). Die verwitterten silurischen Metasedimente der Quartärbasis übernehmen im Arbeitsgebiet E-Gessental eine wichtige Bedeutung ein.

Unterer Graptolithenschiefer (S_1)

Die Untergrenze des 40 bis 60 m (Tab. 2) mächtigen unter euxinischen Verhältnissen gebildeten Unteren Graptolithenschiefers ist meist tektonisch überprägt. Die Wechsellagerung zwischen schwarzen Kieselgesteinen und sapropelitischen Alaunschiefern weist charakteristische Leithorizonte auf (Abb. 6). Die Kieselgesteine können bis zu 90 % aus Quarz bestehen. Der Quarzgehalt nimmt zum Hangenden ab. Die pelitischen Alaunschiefer sind serizitführend, reich an Spurenelementen, C_{org} -reich (C_{org} -Gehalte über 20 %) und besitzen mittlere Pyritgehalte von 10 bis 15 Gew.-% (FENGLER 1997, SCHLEGEL 1995, CARIUS 1995). FENGLER (1997) und CARIUS (1995) gliedern die Einheit in drei Bereiche: Die untere Folge (10-15 m, S_1^1), die bis zur unteren Dolomitbank reicht, ist überwiegend kieselig ausgebildet. Die 20 bis 25 m mächtige mittlere Folge (S_1^2) reicht bis zur Unterkante des Unteren Brekzienhorizontes. Sie besteht aus einer Wechsellagerung zwischen cm-mächtigen Kiesel- und Alaunschiefern mit eingeschalteten dolomitischen Bänken. Kieselschieferarme Alaunschiefer mit zwischen gelagerten Horizonten, die bis zu 8 cm große Phosphoritkonkretionen und -linsen sowie Pyritanreicherungen enthalten, bauen die obere Folge (15-20 m, S_1^3) auf.

Ockerkalk (S_2)

Der Ockerkalk (25-35 m mächtig) besteht aus einer Wechsellagerung von z.T. knotig ausgebildeten dolomitischen Kalksteinen und cm- bis dm-mächtigen (sapro)pelitischen und pyritführenden Ton- und Alaunschiefern (SCHLEGEL 1995, RUSSE 1991). Im liegenden Teil der Einheit befinden sich ca. 5 m mächtige Wechsellagerungen von hell bis schwarzgrauen Kalken und feinklastischen Metasedimenten mit vereinzelt zwischenliegenden Kalkknollen. Der Scyphocrinus-Horizont bildet den oberen Teil (FENGLER 1997). Vermutlich wurden die

Kalke der Ockerkalkfolge im Flachmeer bzw. auf submarinen Schwellen abgelagert (SCHLEGEL 1995).



Abb. 6: Unterer Graptolithenschiefer mit alterierten Krusten und weißen Bleichungszonen aus dem Bereich des ehemaligen Schurfes 13 im Gessental bei Ronneburg.

Oberer Graptolithenschiefer (S₃)

Der unter euxinischen Verhältnissen gebildete bankige Schwarzpelit befindet sich an der Basis der Einheit, die insgesamt eine Mächtigkeit von 10 bis 20 m aufweist und dessen oberer Bereich bereits devonisches Alter besitzt. In den alaunhaltigen mm-geschichteten Metasedimenten nimmt der Karbonatgehalt zum Hangenden zu. Die bitumenhaltigen, serizit- und quarziführenden Schiefer beinhalten neben wechselnden Mengen an Pyrit bis zu 14 % org. Kohlenstoff (jedoch weniger als die o.g. Unterer Graptolithenschiefer). Im oberen Teil sind kristalline Karbonatbänke ausgebildet. Sporadisch treten Feinsandsteine sowie zwei als Leithorizonte genutzte brachiopodenführende Schalenbänke auf (FENGLER 1997, SCHLEGEL 1995, CARIUS 1995, RUSSE 1991). Diese Ablagerungen geben Hinweise auf eine Erhöhung der Sedimentationsraten und eine damit zusammenhängende Verflachung des Sedimentationsbeckens.

2.4.3. Devon

Die konkordant den silurischen Metasedimenten auflagernden devonischen Gesteine des Untersuchungsgebietes erreichen Mächtigkeiten von 330 bis 600 m (FENGLER 1997). Es

handelt sich vorwiegend um pelagische tonig-kalkige z.T. klastische Ablagerungen mit zwischenlagernden basischen Vulkaniten der reußischen Phase der variszischen Gebirgsbildung (BLUMENSTENGEL 1995). Dem Unter- und dem Mitteldevon werden der obere Teil des Oberen Graptolithenschiefers (s.o.), die Tentakulithenschichten (Tentakulithenkollenkalk, Tentakulithenschiefer) und die Schwärzschieferfolge zugerechnet. Ab dem Oberdevon fand im Gebiet des Ronneburger Uranbergbaus eine Faziesdifferenzierung statt, die eine faziesbedingte Einteilung in einen NW-Bereich (Bergaer Sattel) und einen SE-Bereich (Paitzdorfer Mulde) erfordert. Der NW-Bereich ist gekennzeichnet durch die Grauwacken-Bänderschiefer- und die Kalkknotenschiefer-Tonschiefer-Folge, der SE-Bereich durch die Grobklastisch-vulkanische und die Kalkig-pelitische Folge (FENGLER 1997).

Die devonischen Gesteine sind im gesamten östlichen und mittleren Gessental oft unter der quartären Bedeckung verbreitet. Im SW trennt die Thränitzer Störung die devonischen Metasedimente von karbonischen Einheiten (Abb. 5). Im Gessental überlagern die unterkarbonischen Einheiten die devonischen Gesteine konkordant.

Unter- und Mitteldevon

Die **Tentakulithenschichten (D₁)** bestehen aus dem 8 bis 20 m mächtigen **Tentakulithenkollenkalk (D₁¹⁻²)**, einer Wechsellagerung zwischen geschichteten Knollenkalken und Kalktonschiefern bzw. Kalksandsteinbänken. Die Mächtigkeit nimmt von Westen nach Osten auf 8 m ab. Im unteren Teil herrschen Knollenkalkbänke vor, die zum Hangenden in Knollenlagen übergehen. Die Grenze zum Tentakulithenschiefer bildet die parallelgeschichtete obere Kalksandsteinbank. Die Abfolge wurde als Tiefwasserkarbonat gebildet (LANGE et al. 1999, FENGLER 1997, CARIUS 1995, BLUMENSTENGEL 1995).

Die konkordant anschließenden 170 bis 200 m mächtigen **Tentakulithenschiefer (D₁³)** werden in zwei Teile gegliedert. Die 70 bis 80 m mächtige Untere Folge führt gebänderte Tonschiefer sowie siltig-feinsandige Quarzsandsteinbänke. In der 100 bis 200 m mächtigen Oberen Folge dominieren Tonschiefer sowie zum Hangenden karbonatische Tonschiefer und Kalke. Die obersten Partien weisen Einschaltungen von m-mächtigen, kohlenstoffreichen, schwarzen Tonschiefern auf (FENGLER 1997). Die Ablagerungen wurden vermutlich als Flachwassersedimente gebildet und im Zuge tektonischer Hebungen in Tiefwasserbereiche umgelagert (BLUMENSTENGEL 1995).

Ohne eine Sedimentationsunterbrechung entwickelten sich die ca. 60 m mächtigen sapropelitischen **Schwärzschiefer (D₂²)**. Diese Folge besteht aus einer Wechsellagerung von hellen z.T. kalkführenden und im oberen Teil kohlenstoffreichen Tonschiefern. Die oberen

lyditführenden Schwärzschiefer sind häufig kohlenstoffreich mit Phosphoritkonkretionen sowie Linsen und Lagen von Kalken, Sandsteinen, Kieselschiefern und vereinzelt Tuffen (FENGLER 1997, BLUMENSTENGEL 1995).

Oberdevon

Während des Oberdevons kam es aufgrund tektonischer Bewegungen im Zusammenhang mit der reußischen Phase der variszischen Orogenese zur Förderung basaltischer Magmen. Dies führte im Gebiet des Ronneburger Uranbergbaureviers zu einer Faziesdifferenzierung in einen NW- und einen SE-Bereich (Tab. 2). Die einheitlichen Sedimentationsverhältnisse wurden in Becken- und Schwellenfazies differenziert, die Flach- und Tiefwasserfazies sowie z.T. Abtragungsgebiete aufwiesen.

Die 65 bis 140 m mächtige **Grauwacken-Bänderschiefer-Folge (D_{3GB})** wird zusammen mit der Kalkknoten-Tonschiefer-Folge dem **NW-Faziesbereich** mit dem Verbreitungsgebiet an der NW-Flanke des Bergaer Sattels (Abb. 4) zugeordnet. Neben der dünnbankigen Grauwacken-Bänderschiefer-Wechsellagerung sind auch Kalksteine und Kalkknollen sowie Tuff- bzw. Tuffitlagen zwischengelagert. Teilweise treten mandelförmige Spilithorizonte auf. Die Grenze zum Hangenden verläuft konkordant.

In der bis zu 200 m mächtigen **Kalkknoten-Tonschiefer-Folge (D_{3KT})** des Ronneburger Uranbergbaugebiets herrschen überwiegend rötlichbraune bis graue Kalkknotenschiefer, untergeordnet grünliche Tonschiefer sowie graue Knotenkalke vor. Die im Liegenden auftretenden schwarzen Kalkknotenschiefer und schwarzen Tonsteine bilden Äquivalente zum Unteren bzw. Oberen Kellwasserkalk des Schwarzburger und Bergaer Sattels. Im mittleren Bereich tritt eine Wechsllagerung von Kalkknoten- und Tonschiefern auf. Der Übergang zu den unterkarbonischen Gesteinen erfolgt konkordant (FENGLER 1997, BLUMENSTENGEL 1995).

Die bis zu 240 m mächtige **Grobklastisch-vulkanische-Folge (D_{3GV})** ist zusammen mit der Kalkig-pelitischen Folge nur im **SE-Faziesbereich** im Bereich der Paitzdorfer Mulde (Abb. 4) entwickelt. Sie entspricht stratigrafisch der Grauwacken-Bänderschiefer-Folge, ist jedoch auf Gebiete mit basischem und saurem Vulkanismus beschränkt. Drei Grauwacken-Bänderschiefer sind durch bis zu 100 m mächtige Vulkanite (Spilite, Tuffite, Spilittuffe) getrennt. Randlich verzahnen sich die Gesteine mit Rhyolithen. Diese Gesteine treten bei Posterstein auf und sind überwiegend konglomeratisch entwickelt. Im Liegenden und Hangenden der Rhyolithdecken wurden Lapillituffe abgelagert (FENGLER 1997, BLUMENSTENGEL 1995).

Mit einer Mächtigkeit von 35 bis 40 m befindet sich in Teilen des SE-Faziesbereiches die **Kalkig-pelitsche Folge (D_{3KP})**, die eine Folge von Kalkknotenschiefern, Knotenkalken und plattigen Kalksteinen darstellt. Lokal können dunkelgraue bis schwarze Tonsteine auftreten, die den o.g. Kellwasserkalkhorizonten entsprechen. Im SE-Faziesbereich überlagert das Unterkarbon die Folgen diskordant bzw. erosionsdiskordant.

2.4.4. Karbon

Karbonische Gesteine des Kulms überlagern den NW-Faziesbereich des Devons im Ronneburger Uranbergaugebiet konkordant, während der SE-Faziesbereich diskordant überlagert wird. Die Diskordanz reicht teilweise bis in die Grauwacken-Bänderschiefer-Folge bzw. bis in die Grobklastisch-vulkanische-Folge, im Bereich von Teichwolframsdorf bis zum ordovizischen Phycodenschiefer (MEINEL 1995). Entwickelt ist hauptsächlich die Untere Folge des Unterkarbons (Dinant). Bis zum höheren Oberkarbon besteht eine Lücke in der sedimentären Überlieferung, da sich zu diesem Zeitpunkt die variszische Orogenese vollzog. Hierbei entstanden Becken, in denen sich außerhalb des Ostthüringischen Uranbergaugebietes oberkarbonische und am Randbereich permische Sedimente ablagerten. Im mittleren und westlichen Gessental überlagern die Gesteine des Unterkarbons die devonischen Einheiten konkordant. Das Unterkarbon streicht zudem im NE-Teil des Zaufensgrabens sowie im Bereich von Thränitz und Collis aus (Abb. 5).

Unterkarbon (Dinant)

Der **Rußschiefer, Bordenschiefer, Geröllton-schiefer (C₁)** tritt im NE-Abschnitt der Ziegenrücker Mulde östlich von Gera, in der Postersteiner Mulde östlich von Ronneburg und in der Weißbacher Mulde bei Schmölln auf (LANGE et al. 1999). Die insgesamt 230 bis 270 m mächtige Abfolge beginnt mit den Kalkknotenschiefern und dem 9 m mächtigen Russchiefer. Es folgen 23 bis 25 m mächtige Tonschiefer sowie die 200 bis 230 m mächtigen Bordenschiefer. Diese weisen im oberen Bereich Pyritkonkretionen und feinkörnige Sandsteine auf. Die höheren Bereiche des Unterkarbons und das gesamte Oberkarbon wurden vermutlich erodiert bzw. nicht abgelagert (LANGE et al. 1999, FENGLER 1997, GATZWEILER et al 1997, PFEIFFER et al. 1995).

2.4.5. Intrusivgesteine

Ab dem Oberdevon schalten sich Intrusivgesteine ein, die aus **Diabasen (Di)**, Gabrodiabasen, Diabasporphyriten, Melaphyren (β) sowie aus Lamprophyr (Kersantite, Minette) und subvulkanischen Schlotbrekzien. Die Diabase besitzen Mächtigkeiten von 1 bis

50 m und treten überwiegend als *sills*, untergeordnet in Form von Gängen (*dikes*) auf. Sie enthalten Plagioklase, Clinopyroxen und Chlorit sowie Titan (KLOTH 2000). Die Kontaktbereiche zum Nebengestein sind i.A. nur dm-mächtig und tektonisch überprägt. Sie enthalten Nebengesteinsxenolite, Pyrite und Chlorit. Sie sind häufig umgewandelt und reich an Karbonat, Serizit, Chlorit, Tonmineralen, Leukoxen (Ti-Oxide und Quarz) und Hämatit. Sie sind im Oberdevon in Metasedimente des Ordoviziums bis Devons intrudiert und besonders in den silurischen Unteren Graptolithenschiefern in geringmächtigen Lagern erhalten (LANGE et al. 1999, FENGLER 1997, RUSSE 1995, KRAMER & JUST 1995, LANGE & FREYHOFF 1991). Flächenhaft treten sie in Randbereichen der Lagerstätte NE/SW-orientierten Störungen auf, z.B. an der Lichtenberger-Störungszone. Auf der Linie von Korbußen nach Kauern befindet sich ein weiterer Diabaszug (Abb. 5).

Gang- bis schlotförmige, Feldspat- Augit und Biotit- führende Lamprophyre (Kersantite und Minette) mit Mächtigkeiten im m-Bereich sind an steile NE/SW- und N/S-orientierte Störungszonen gebunden (SCHUSTER 1995, KRAMER & JUST 1995). HUNDT (1959) beschreibt Granitlager in unterkarbonischen Gesteinen. Nordöstlich der Crimmitschauer Störungszone treten Rotliegend-Porphyrite auf (LANGE et al. 1999).

2.4.6. Perm

Auf karbonischen Gesteinen lagerten sich im Rotliegenden im Bereich von Gera eine lückenhafte Sedimentabfolge ab (Abb. 4). Zeitweise wurde das Untersuchungsgebiet über den Meeresspiegel gehoben und unterlag Verwitterungs- und Abtragungsprozessen, die für die Lagerstättengenese entscheidenden suprigenen Prozesse begünstigen (s. Abschnitt 2.5.2). Ablagerungen des Zechsteins beinhalten den Werradolomit, die Oberen und die Unteren Letten sowie den zwischenlagernden Plattendolomit, welche für die hydrogeologischen Verhältnisse in der Zeitz-Schmöllner Mulde wichtig sind.

Rotliegend

Nach der variszischen Orogenese lagerten sich im Bereich des Geraer Vorsprungs Gesteine des Rotliegenden über den Gesteinen des Dinants, im SE über devonischen Gesteinen ab. Im zentralen Teil der Lagerstätte wurden diese erodiert. Die von LÜTZNER et al. (1995) beschriebenen Unterrotliegend Folgen bei Gera weisen eine Mächtigkeit von ca. 120 m auf und bestehen aus feinsandigen Ton-Schluffsteinen sowie mehreren Konglomerathorizonten. Die 260 bis 360 m mächtige Gera-Folge des Oberrotliegenden besteht aus drei Zyklen mit überwiegend psephitisches und zwischenlagernden psammitisch und pelitischen Sedimenten. Diese Sedimente mit Schüttungsrichtungen aus SE bis S wurden in einer ehemaligen

Rinnenstruktur abgelagert. Ein ehemals größeres Rotliegendvorkommen zusammen mit dem SE anschließenden Rotliegendvorkommen von Weida ist wahrscheinlich (Abb. 4).

Zechstein

Im NW des ostthüringischen Uranbergbaureviers greifen Gesteine des Unteren Zechsteins im Raum Korbußen auf die Lagerstätte über. Im Bereich von Gera ist weiterhin die Randmeerfazies des Zechsteins entwickelt, die in Unterem, Mittlerem und Oberem Zechstein aufgeteilt wird (HUNDT 1959). Nach dem bis 10 m mächtigen Zechsteinkonglomerat und dem Kupferschiefer folgt die ca. 20 m mächtige Werrafolge mit Kalksteinen, Dolomiten, Ton- und Siltsteinen, Sandsteinen und Konglomeraten. Überlagernd befinden sich die 30 bis 40 m mächtigen tonig bis siltig z.T. dolomitisch bis anhydritisch ausgebildeten Unterem Letten. Im Hangenden schließt sich der ca. 5 m mächtige Plattendolomit an. Dieser wird von den 8-10 m mächtigen Ton und Siltsteinen der Oberen Letten überlagert, die im oberen Bereich sandig ausgebildet sind (LANGBEIN & SEIDEL 1995, WISMUT 1999).

2.4.7. Trias

Triassedimente sind im Bereich der Zeitz-Schmöllner Mulde durch den Unteren Buntsandstein vertreten (Abb. 4). Ehemals vorhandene jüngere Triassedimente sind im ostthüringischen Uranbergbaugebiet nicht erhalten geblieben.

Unterer Buntsandstein

Die Gesteine des Unteren Buntsandsteins sind ca. 40 m mächtig. Sie bestehen aus 8-12 m mächtigen konglomeratischen Sandsteinen an der Basis. Es folgen der ca. 10 m mächtige Bröckelschiefer, eine Wechsellagerung aus Sand- und Tonsteinen (Calvörde-Folge), sowie eine ca. 20 m mächtige Sandstein-Tonstein-Wechsellagerung (WISMUT 1999). Nach LANGBEIN & SEIDEL (1995) sowie nach der SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (1993) werden die Gesteine bis einschließlich Bröckelschiefer dem oberen Zechstein zugeordnet.

2.4.8. Tertiär

Während des Tertiärs waren Ost- und Südostthüringen terrestrische Abtragungsgebiete. Tertiäre Gesteine in der Ronneburger Uranbergbauregion in Form von quarzreichen Sanden Kiesen und untergeordnet Tonen sind im Nahbereich der Weißen Elster in Form von quarzreichen Terrassensedimenten vorhanden (ZIMMERMANN 1930, ROSENKRANZ 1965). Bei Seelingstädt kam es zur Ablagerung von Braunkohle, bei Ronneburg-Rußdorf zur Ausbildung von Süßwasserquarziten. Die am Anfang des Tertiärs vorhandene Einebnungs- bzw.

Rumpffläche hatte ein Gefälle nach NW (HUNDT 1959). Sie wurde gegen Ende des Tertiärs aufgrund intensiver chemischer und physikalischer Verwitterungsvorgänge eingeschnitten. Grobklastisches Material wurde somit bis in das Vorland transportiert. Wegen des hohen Verwitterungsgrades werden diese oberpliozänen Ablagerungen als Zersatzkiese bezeichnet. Aufgrund der Deutung klimabedingter Prozesse und sedimentologischer Untersuchungen gelangt ROSENKRANZ (1965, 1961) zu dem Schluss, für die Bildung der „Hauptterrasse“ der Weißen Elster ein oberpliozänes Alter anzunehmen. Daneben treten tiefgründige Bodenbildungen auf. Reste von Kalksteinrotlehm, Pflanzenfunde alttertiären Alters sowie Sande/Kiese mit tertiären Alter sind aus der Umgebung von Ronneburg bekannt (STEINMÜLLER 1995, GATZWEILER et al. 1997, HUNDT 1959). Während des Tertiärs fand vermutlich eine weitere für die Lagerstättenbildung wichtige Supergenese statt.

2.4.9. Quartär

Die für die Talentwicklung des Untersuchungsgebietes wichtigen Vorgänge, fanden neben denen im Tertiär hauptsächlich im Quartär statt. Für die Genese des Gessentals sind die spätweichselzeitlichen und besonders die holozänen Vorgänge entscheidend. Zur Erläuterung wird im Folgenden der Kenntnisstand der quartären und holozänen Vorgänge im thüringischen Bereich der Weißen Elster und die damit verknüpfte Entwicklung des Untersuchungsgebietes zusammengefasst.

Prälsterglazial

Die Gliederung des Quartärs in Thüringen erfolgt mit Hilfe von Schotterterrassen entlang der größeren Flusssysteme sowie mit glazialen Ablagerungen der Elster- und Saale-Vereisung. Im Bereich der Weißen Elster befinden sich die altquartären Schotter (Zersatzgrobsschotter) in der näheren Umgebung des rezenten Flussverlaufes, was auf einen prähelmezeitlichen (Cromer-Komplex), schon im Tertiär angelegten Elsterverlauf schließen lässt (UNGER 1995, ROSENKRANZ 1961, 1965, 1969). Die relative Höhenlage der Schotterablagerungen wird im Mittellauf der Weißen Elster mit 80 bis 100 m über dem heutigen Flusslauf angegeben. Die Weiße Elster floss im Bereich Gera im Frühpleistozän ca. 1 bis 2 km östlich des rezenten Flussverlaufes (EISSMANN 1997). Die präglazialen Ablagerungen bestehen überwiegend aus Schiefergebirgszersatzgrobsschotter mit bis zu 95 % Quarzanteil und schwankenden Anteilen an Restpaläozoikum (UNGER & KAHLKE, 1995, STEINMÜLLER 1961). Im Bereich der Leipziger Tieflandbucht können drei altpleistozäne (prälsterzeitliche) Schotterterrassen unterschieden (ROSENKRANZ 1961) und der Mulde-, Wyhra- und Pleiße-Kaltzeit (entspricht evtl. Brüggen-, Eburon- bzw. Menap-Kaltzeit) zugeordnet werden (EISSMANN 1994).

Elsterglazial/Holstein-Interglazial

Der Ronneburger Horst befindet sich im Quartär im südlichen Randbereich der Elster- und Saale-Vereisung. Der Raum wurde nur von der Zwickauer Phase des Elstereises überfahren. Die Südgrenze der Elstervereisung verläuft an der sog. „Feuersteinlinie“, etwa entlang der Städte Jena-Weida-Zwickau (Abb. 7). EISSMANN (1975, 1997) vermutet sogar eine Erstreckung längs des Tales der Weißen Elster bis ca. 8 km N von Plauen. Die Tiefenexaration des Elstertales erfolgte vermutlich zu dieser Zeit, was durch das Auftreten von ca. 4 m mächtigen Bändertonen im Bereich von Zossen, ca. 15 km S von Gera belegt ist. Diese elsterzeitlichen glazilimnischen Sedimente befinden sich auf einer, in der Literatur uneinheitlich beschriebenen, topographischen Höhe von ungefähr 250 mNN (ZIMMERMANN 1930, ROSENKRANZ 1961) bzw. 235 mNN (EISMANN 1975), ca. 45 m bzw. 30 m über dem rezenten Elsterverlauf.

Elsterglaziale Ablagerungen sind in der ostthüringischen Bergbauregion an mehreren Stellen erhalten geblieben. ZIMMERMANN (1897, 1930) und HUNDT (1959) beschreiben zusammenhängende, bis zu 4 m mächtige kalk- und geröllarme Tills im Gebiet zwischen Gera und Ronneburg (N von Thränitz). Zudem erwähnt ZIMMERMANN (1930) fast 10 m mächtige Eisrandkiese und -sande sowie erratische Blöcke im Einzugsgebiet des Gessenbaches (z.B. Collis, E von Kauern). Der Geröllbestand besteht vorwiegend aus lokalen Gerölle, untergeordnet aus nordischen Gesteinen, vereinzelt mit Gletscherschrammen. HUNDT (1945) erwähnt „dilluviale“ Eisrandsedimente (Sande und Kiese) bei Lichtenberg sowie in den Kiesgruben bei Schmirchau. Insgesamt sind Ablagerungen der Elsterkaltzeit jedoch nur lückenhaft erhalten geblieben, da sie durch Flusserosion sowie infolge periglazialer und solifluidal-denudativer Prozesse umgelagert wurden (UNGER 1995).

Unmittelbar nach dem Eiszerfall wurden im Bereich der Weißen Elster sog. Mittelterrassenschotter abgelagert (ca. 35 m über rez. Flussaue), die eine ausgeprägte Terrassenstufe bilden und in ihrer Geröllgemeinschaft den höchsten Anteil an aufgearbeitetem nordischen Material aufweisen (UNGER 1995). Diese Terrasse entspricht vermutlich der bei ZIMMERMANN (1930) auf Grund von Höhenlage und Fossilinhalt beschriebenen älteren Terrasse südlich von Gera, ca. 40 m über dem heutigen Elsterlauf auf Geländehöhen von 240 mNN.

Ablagerungen des Holstein-Interglazials fehlen weitgehend oder sind früh-saalezeitlich abgetragen bzw. umgelagert worden (EISSMANN 1997).

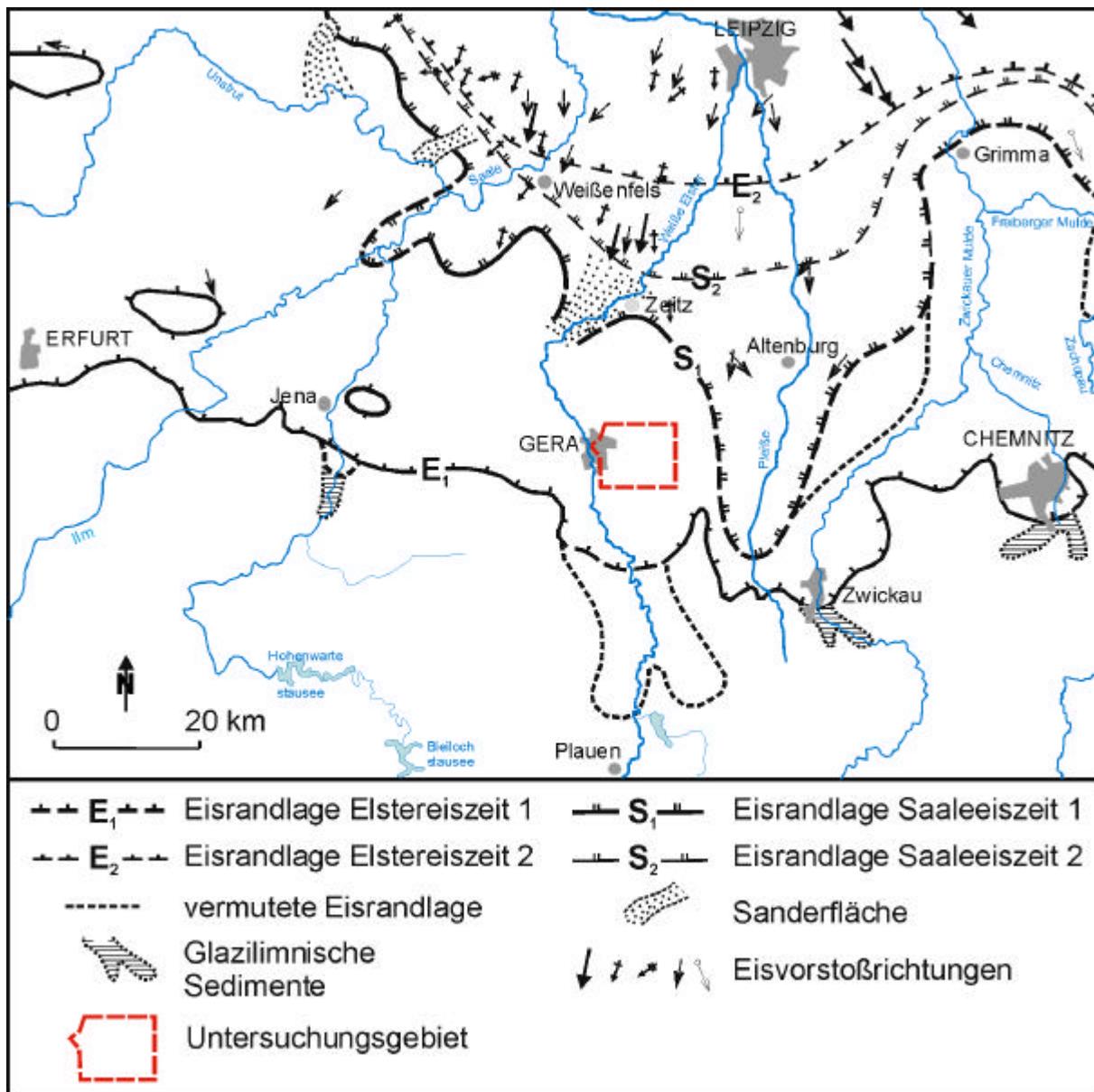


Abb. 7: Eisrandlagen in Thüringen und Sachsen (EISSMANN 1975, veränd.).

Saale-Kaltzeit

Das Saalefrühglazial ist i.A. ein Abschnitt extensiver Talerweiterung und intensiver fluviatiler Schotterakkumulation (EISSMANN 1994). Die in der Regel gut ausgeprägten Terrassenstufen über den rezenten Auen in Thüringen werden als Mittelterrassenschotter (Obere Mittel terrasse (s.o.), Haupt(mittel)terrasse, Untere Mittel terrasse) bezeichnet (UNGER 1995). In der Weißelsternsenke wurden Haupt(mittel)terrassenschotter akkumuliert, die in zwei Schüttungsphasen unterteilt werden (WUNDERLICH 1994). Diese sind vermutlich kohärent mit den Vorphasen der Drenthe-, bzw. Warthe-Vereisungen (UNGER 1995, ZAGWIJN 1985). Die Haupt(mittel)terrassenschotter befinden sich z.B. im Unstrutgebiet ca. 15-25 m über der heutigen Flussaue und weisen eine deutliche Kornverfeinerung zum Hangenden auf. Im

Gebiet der Weißen Elster finden sich zeitliche Äquivalente der Haupt(mittel)terrassen nur sehr vereinzelt auf Höhenlagen von 25 bis 28 m über der rezenten Aue. (HORNIG et al. 1981). Die Schotter der Unteren Mittel terrasse befinden sich in Thüringen ca. 4-8 m über den rezenten Auen (UNGER & KAHLE 1995). ZIMMERMANN (1930) beschreibt entlang der Weißen Elster eine mittlere Terrasse, die sich ca. 15 bis 28 m (230 bis 202 mNN) über der rezenten Elster befindet. Diese würde somit der Haupt(mittel)terrasse entsprechen. Ob die von ZIMMERMANN (1930) beschriebene untere Terrasse im Niveau bzw. unter der heutigen Weißen Elster (ca. 200 mNN nördlich Mündung des Gessenbaches) der Unteren Mittel terrasse nach UNGER & KAHLE (1995) entspricht oder weichselzeitlich (s.u.) angelegt wurde, ist nicht eindeutig zu klären.

Die Gletscher der Saalevereisung reichten in ihrer maximalen Ausdehnung (Drenthe-Vereisung) bis in die Gegend von Zeitz, weiter E im Pleiße-Gebiet bis NW von Zwickau. W von Zeitz hinterließen sie Bänderton- sowie Sanderablagerungen, welche sich mit fluviatilen Ablagerungen der weißen Elster verzahnen (Abb. 7). Während der Warthe-Vereisung reichten die Gletscher bis ungefähr Weissenfels-Borna, ca. 40 km N von Gera (EISSMANN 1997).

Während dieser Vereisungsphasen wurden in Ostthüringen unter periglazialen Bedingungen Löss- und Hangsedimente abgelagert. In humiden Phasen kam es zu Umlagerungen in Form von Fließerden und Solifluktionsdecken. In den Tallagen sowie auf den Hochflächen wurde, besonders während der trockenen Kaltphasen, Löss abgelagert.

Eem-Warmzeit/Weichsel-Kaltzeit

Nach EISMANN (1994, 1997) bildeten sich während der Eem-Warmzeit hauptsächlich Böden und Verwitterungsdecken. Es herrschte Laub- bzw. Mischwald vor. Die Böden sind in niederschlagsarmen Gebieten Thüringens als Parabraunerden, in niederschlagsreicherem Gebieten als Pseudogleye und Fahlerden ausgebildet. Sie treten über Verwitterungsdecken des unteren Mittelterrassenschotters sowie auf saalezeitlichem Löss auf (UNGER 1995). Im östlich gelegenen Saalegebiet wurden Travertine abgelagert (EISSMANN 1994, MANIA 1973).

Während der Spätphase der Weichsel-Kaltzeit erreichten die Gletscher in ihrer südlichsten Randslage die Gegend südlich von Berlin. Ostthüringen befand sich somit im Periglazialgebiet, wo es nach FRÄNZLE (1988) neben der Solifluktion auch zu verstärkter fluviatiler und äolischer Umlagerung kommt.

Im Flusstal der Weißen Elster wurden in der Weichsel-Kaltzeit die Niederterrassenschotter abgelagert. Diese unterteilt man in eine fluviatil gebildete Obere, bzw. Höhere Niederterrasse und eine Untere bzw. eigentliche Niederterrasse. Besonders die Obere Niederterrasse ist lithologisch z.T. heterogen aufgebaut und nicht überall ausgebildet. Von den

postsaalezeitlichen fluviatilen Ablagerungen besitzt einzig die Niederterrasse in Verbreitung, Mächtigkeit und lithologischer Ausbildung alle Attribute der älteren Flussablagerungen (HILLER et al. 1991). Die Niederterrasse hebt sich 2 bis 3 m, nach HORNIG et al. (1981) 4 bis 5 m, von der Flussaue ab und tritt im unteren Elstertal nur lokal in Erscheinung. Hier ist sie nur schwer von den Haupt(mittel)terrassenkiesen zu unterscheiden. Junge Talauen und Niederterrassen sind in ihren Höhenlagen oft deckungsgleich. Die bei nahezu gleichbleibendem Gefälle in allen vollständigen Profilen festgestellte Korngrößenabnahme zum Hangenden wird auf eine zunehmende Aridisierung mit einhergehender Abflussverminderung zum Hochglazial zurückgeführt. Während die untere grobkörnige Kiesfolge mit der Zeit der Aufschotterung im Weichselfrüghazial zusammenfällt, wird ein Teil des mittleren Bereiches (Übergangsfolge) und der Obere Part der Niederterrasse (Sandfolge) dem Weichselhoch- und -spätglazial zugeordnet (HILLER et al. 1991).

Der Geröllbestand der Weißen Elster ist mit über 80 % von Quarz bestimmt. Die Ablagerung der Übergangsfolge verläuft vermutlich zeitgleich mit der weichselzeitlichen Hauptlössbildungsphase. Im Randbereich des Tales der Weißen Elster verzahnen sich die Ablagerungen der Niederterrasse, die HILLER et al. (1991) mit weichselzeitlichen Flussablagerungen im Saale-Elbe-Raum korrelieren, mit Löss (FUHRMANN 1976).

Die relativ mächtigen entkalkten z.T. umgelagerten Lössdecken im Bereich östlich von Gera weisen bis zu 10 m Mächtigkeit auf (z.B. bei der ehem. Ortslage Gessen) und befinden sich vorwiegend an NE exponierten Talhängen (HORNIG et al. 1981). Sie wurden in Form von Schwemm- bzw. Solifluktionsdecken z.T. umgelagert und bilden hier Lössderivate in einzelner isolierter, östlich von Gera auch in geschlossener Verbreitung (EISSMANN 1997). Sie weisen oft Bodenbildungen auf. Nach ZIMMERMANN (1930) wurden solche Sedimente zur Ziegelherstellung genutzt, z.B. im ehemaligen Lehmtagebau Gessen.

Spätglazial/Holozän

Die für die Genese der quartären Ablagerungen des Gessentals wichtigsten Prozesse fanden im Spätglazial/Holozän statt und sind eng verbunden mit der genetischen Entwicklung des Tals der Weißen Elster (Abschnitt 7). Der Stand der Forschung der Spätglazial/Holozänen Entwicklung des Raumes ist im Folgenden zusammengefasst.

Gegen Ende der Kaltzeit wurde die Niederterrasse von lössähnlichen Sediment, z.T. von echtem Löss überdeckt und es kam zu Tiefenerosion (EHLERS 1994). Zeitgleich mit dem Eiszerfall der Weichselgletscher wurde die Niederterrasse bis zum Alleröd/Jüngeren Dryas durch Erosion bis zu 10 m tief eingeschnitten. Im Gegensatz zu HÄNDEL (1982), der zwei holozäne Schotterkörper im Tal der Weißen Elster ausweist (Atlantikum bzw. Mittelalter bis

rezent), zeigen HILLER et al. (1991), dass sich die holozänen Schotter nicht als einheitliche Schotterkörper charakterisieren lassen. Sie werden kontinuierlich durch Lateralerosion horizontal umgelagert. Die holozänen Schotter und Lehme sind im Bereich der Elster und ihren Vorflutern vom Geröllbestand zumeist nicht vom oberen pleistozänen Schotterkörper zu unterscheiden. Sie weisen nach ZIMMERMANN (1930) 3 bis 5 m, vereinzelt 10 m Mächtigkeit auf. Während des Holozäns kommt es phasenweise zu Ablagerung von feinkörnigen, kaum geschichteten, 2 bis 4 m mächtigen Auelehmen mit z.T. zwischenlagernden Tonmudden. ZIMMERMANN (1930) und LIEBE (1878) unterscheiden feinkörnige fluviatile Auelehme, die sie ins Pleistozän stellen, von sog. Flankenlehmen an der Basis von Hängen. Der feinklastische Sedimentzuwachs setzt im Elstertal nach HILLER et al. (1991) erst im mittleren Atlantikum (Ältere Auelehme) ein und wird hauptsächlich auf anthropogene Einflüsse infolge der durch die Auebesiedlung erfolgenden Rodung zurückgeführt. Während des Subatlantikums/Subboreals kam es zu erneuten Phasen erhöhter Auelehmbildung, deren unterschiedliche Ablagerungen durch zeitweilige Bodenbildungen getrennt wird. In junghistorischer Zeit treten die von ZIMMERMANN (1930) und HORNIG et al. (1981) beschriebenen blockführenden Kiese und Schotter mit zwischenlagernden Baumstämmen auf, die in 4 bis 5 m Teufe lagern.

Weiterhin treten im Tal der Weißen Elster die von HORNIG et al. (1981) und STEINMÜLLER (1994) lehmigen bis sandigen sog. Schwemmkegelbildung auf, die fächerartig von Nebengerinnen in die Talaue geschüttet werden. Im Bereich von Naulitz sind weiterhin holozäne Torfe ausgebildet, die von ZIMMERMANN (1930) in Verbindung mit einer sog. ockerabsetzenden Quelle gebracht wird.

2.5. Strukturgeologie und Lagerstättengenese

Die Lagerstättengenese im ostthüringischen Uranbergbaugebiet ist eng mit der strukturgeologischen Entwicklung des Raumes verknüpft. Folge der intensiven tektonischen Bewegungen sind Mächtigkeitserhöhung durch die Überstaplung von Schichtenfolgen sowie eine intensive Zerklüftung der kompetenten Gesteine im Arbeitsgebiet. Hierbei werden u.a. die natürlichen hydrogeologischen Rahmenbedingungen vorgeprägt. Im Folgenden werden tektonische Besonderheiten sowie kleinräumigere detaillierte Strukturen des Untersuchungsgebietes dargestellt.

2.5.1. Strukturgeologie

Der strukturelle Bau im ostthüringischen Uranbergbaurevier ist geprägt durch eine komplizierte Tektonik mit undulierenden Faltenstrukturen 2. und niedrigerer Ordnungen. Die

linear NNE/SSW verlaufenden Sättel und Mulden weisen in ihren Zentralteilen ordovizische bzw. unterkarbonische Gesteine auf. Die Achse des ca. 20 km langen Großensteiner Sattels ist nach SW geneigt (Abb. 5, Abb. 8). Die Flankenbereiche sind z.T. nach SE überkippt. Hier treten Auf- bzw. Überschiebungen auf. Im SW wird der Großensteiner Sattel in den Grobsdorfer und den Gessental Sattel, zwei Elemente niedrigerer Ordnung, gegliedert (Abb. 5). Im SW-Teil der Lagerstätte werden die Antiklinalstrukturen an der Pohlener Störung gehoben und fallen nach NE ein. Südwestlich der Crimmitzschauer Störung befinden sich Muldenstrukturen mit komplizierten Internlagerungen (Beerwalder, Paitzdorfer und Reuster Mulde). Die o.g. Überschiebungsdecken aus ordovizischem Lederschiefer und silurisch-devonischen Schichten im Zentralteil der Lagerstätte sind Besonderheiten innerhalb der Beerwalder Mulde. Sie zeigen E/W-Modifikationen der ansonsten NNE/SSW-verlaufenden Achsenrichtungen. Diese werden mit präsugetischen, d.h. reußischen Hebungsbewegungen der Sattelzonen und gravitativen Gleitbewegungen bzw. Deckenüberschiebungen an inkompotenten silurischen Gesteinen korreliert (WISMUT 1999, LANGE et al. 1999, RUSSE 1995, 1991 MOTZ 1992). In den jeweiligen Sattel- und Muldenstrukturen an der Tagesoberfläche sind Gesteine des Silurs bis Devons aufgeschlossen. Die Bruchstörungen nördlich und nordöstlich von Ronneburg können nach abnehmender Häufigkeit in präsugetische bis rezente NW/SE-Störungen, variszisch angelegte NE/SW Systeme sowie N/S und E/W Elemente, die im Rotliegenden zu Blockrotationen führten, gegliedert werden.

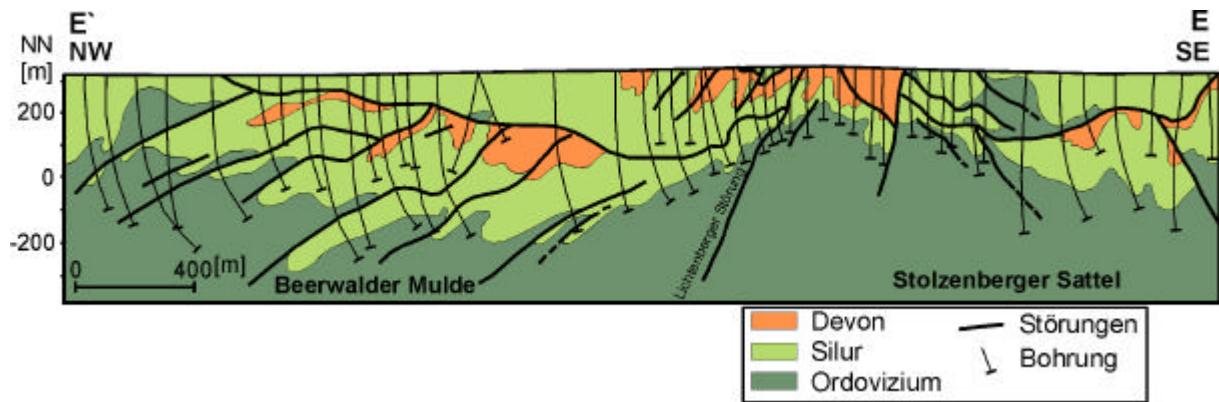


Abb. 8: Schematischer Schnitt durch das Ronneburger Revier. Schnittlinie aus Abb. 5 (FENGLER 1997, LANGE et al. 1999, verändert).

Die o.g. jüngsten strukturbestimmenden NW-SE verlaufenden Störungen (Crimmitzschauer und Pohlener Störung) bilden Zonen, die mehr als 100 m Breite erreichen können, wobei die zentralen Störungsbereiche ca. 10 bis 23 m Mächtigkeit haben. Diese Störungszonen sind durch das Auftreten von Brekzien, Lettenbahnen, Mylonitzonen, verwitterten und oxidierten Gesteinen und Tropfwasserführung gekennzeichnet (WISMUT 1999). Im Untersuchungsgebiet

gibt es noch weitere NW-SE-orientierte Einzelstörungen wie die Rückersdorfer Störung und die Grobsdorfer Störung (Abb. 5). An diesen im Abstand von 1-3 km existierenden Störungen können Versatzbeträge bis zu 100 m vorkommen (LANGE et al. 1999). Die hydraulische Leitfähigkeit dieser Störungszonen ist im Allgemeinen gering. Nur in Kreuzungsbereichen mit anderen Störungen sind gute hydraulische Leitfähigkeiten vorhanden (WISMUT 1999).

Die SW-NE-verlaufende Lichtenberger Störungszone fällt 50 bis 80° nach NW ein und hat mit einer Absenkung des NW-Blocks um 100 bis 150 m eine wichtige strukturelle Bedeutung. Im SW sind oberdevonische Diabase verbreitet.

Die im Westen N/S-streichende Thränitzer Störungszone grenzt das Grundgebirge von der Geraer Rotliegendsenke ab. Der Absenkungsbetrag dieser steil nach W einfallenden Abschiebung erreicht maximal 600 m. Die N-S-Störungsrichtung wird als Ergebnis von Aufweitungstektonik angesehen und dient Rotliegendvulkaniten als Aufstiegs weg (FENGLER 1997, LANGE et al. 1999, LANGE 1995). Diese Störungen weisen gute hydraulische Leitfähigkeiten auf (WISMUT 1999).

Die Klüftungs- und Schieferungsintensität im Gebiet ist abhängig von den Materialeigenschaften, die Richtungen sind abhängig vom Faltenbau. Die Schieferung (s1) streicht im Allgemeinen NE-SW (35°-45°) und weicht damit um 10° bis 15° vom Streichen der Faltenachsen ab, was auf postsudetische Schollenverkippungen zurückzuführen ist (LANGE 1995, LANGE et al. 1999). Dominante Kluftrichtung ist NW/SE.

2.5.2. Lagerstättengenese und Ausbildung

Die im Hauptuntersuchungsgebiet E-Gessental ausstreichenden NNW/SSE verlaufenden Sattel- und Muldenstrukturen weisen im Untergrund Vererzungen auf, die mittels Schürfen und Bohrungen erkundet und abgebaut wurden (Abschnitt 5.3.2). Die Abbaubereich modifizieren die Rahmenbedingungen im paläozoischen Grundwasserleiter. Ob vergleichbare Prozesse, die zur Umlagerung von Schwermetallen incl. Radionuklide während der Lagerstättengenese geführt haben, im E-Gessental rezent wirksam sind, wird u.a. im Abschnitt 7.3 diskutiert.

Die Bildungsbedingungen, Typisierung und Paragenesen sowie die Ausbildung der Ronneburger Uranlagerstätte werden in der Literatur ausführlich beschrieben (PLANT et al. 1999, GATZWEILER et al. 1997, FENGLER 1997, LANGE 1995, VIEHWEG 1995, DAHLKAMP 1993, MEINEL 1993a, b, BARTHEL 1993, SZUROWSKI et al. 1991, LANGE et al. 1991, LANGE & FREYHOFF 1991, WISMUT 1985). Ausgangspunkt der Urananreicherungen sind die unter reduzierenden Verhältnissen in proximalen pelagischen Becken gebildeten silurischen Schwarzpelite (Untere Grapholithenschiefer). Diese Wechsellschichtung aus Kiesel- und Alaunschiefern weist primär mit durchschnittlich 40 bis 70 g/t Uran die höchsten Gehalte an

Radionukliden sowie an Schwermetallen unter den stratigrafischen Einheiten auf (MEINEL 1993a, SZUROWSKI et al. 1991, LANGE und FREYHOFF 1991). Uran wird unter Mitwirkung von org. Kohlenstoff und Phosphat anorganisch aus dem Meerwasser gefällt. Die Schwarzpelite enthalten syngenetisch hohe Anteile an org. Kohlenstoff (bis 22 Gew.-%, Durchschnitt 5-9 Gew.-%), Pyrit/Markasit (2 - 3,5 Massen-%) sowie Phosphorit mit hohen Anteilen an Fluorapatit. In geringerem Maße sind der silurische Ockerkalk, die Oberen Graptolithenschlieren sowie die devonischen und permischen Intrusivgesteine primär uranführend. Ausgewählte geochemische Parameter sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Ausgewählte geochemische Durchschnittszusammensetzungen der silurischen Gesteine des Ronneburger Uranbergbaugeschichtes (WISMUT 1985).

	U. Grapt.-schiefer Kiesel-schiefer Anzahl [Anzahl]	U. Grapt.-schiefer Alaun-schiefer 52-82	Ockerkalk frisch	dolom. Ockerkalk teilweise zersetzt	Ob. Grapt.-schiefer ∅	Ob. Grapt.-schiefer Alaun-schiefer 46
SiO₂	92,1	57,3	20,5	56,5	50,5	n.b.
Al₂O₃	0,8	8,6	6,5	15,5	12	n.b.
Fe₂O_{3ges}	4,6	5,5	6	10	7	n.b.
K₂O	k.A.	k.A..	k.A.	k.A..	3	n.b.
CaO	0,1	5,5	19	0,5	6	n.b.
MgO	0,1	0,45	10,5	1	2	n.b.
CO₂	0,1	2,5	28,5	0,2	4,5	n.b.
Corg	1,8	14	1	3	6	n.b.
Sges	k.A.	0,9	2	5	3,7	n.b.
P₂O₅	0,05	0,4	0,1	0,5	1	n.b.
Anzahl	1	3	128	84	26	n.b.
[ppm]						
Pb	11	25	10	136	32	40
Zn	105	120	190	327	38	130
Cu	80	110	35	258	190	210
Ni	105	350	55	1.262	540	370
As	15	13	17	486	110	30
Co	18	36	17	14	62	30
V	560	660	62	388	850	400
Mo	26	70	8	168	120	50
Cr	230	170	32	k.A.	200	70
Ti	1.330	3.240	1.680	5.080	3.050	3.800
Ba	345	1.690	1.780	3.440	1.100	2.230
Sr	140	205	310	101	225	240
Mn	115	330	1.630	k.A.	400	340
Zr	132	250	136	k.A.	k.A.	230

Frühdiagenetische Prozesse bewirken eine Umverteilung der Ablagerungsprodukte. Es kommt zur Bildung von Konkretionen aus Pyrit/Markasit, Phosphorit, Karbonat und organischen Substanzen. Schichtparallel können Calcit-Antraxolith-Gänge auftreten (SZUROWSKI et al. 1991).

Die weitere Lagerstättengenese ist gebunden an tektonische und supraregenetische Prozesse der Uranabreicherung, -verlagerung und -fällung. Während der variszischen Gebirgsbildung kam

es zu niedrigmetamorphen Vorgängen, die zur Bildung von Pyritmetakristallen sowie zur Ausbildung von Gips, Chlorit, Muskovit sowie zu Quarz-, Quarz-Karbonat- und Karbonatgängen mit Pyrit und Antraxolith führten (SZUROWSKI et al. 1991, SCHUSTER 1995, LANGE 1995).

Nach der Faltung und Exhumation des Gebietes an bruchtektonischen Störungen im Rotliegenden werden supogene bzw. hypergene Prozesse in den oberflächennahen Bereichen entwicklungsbestimmend (Abb. 9). Uran und andere Spurenelemente werden durch oxidative Verwitterungsvorgänge mobilisiert. Es kommt zu einer vertikalen Zonierung in eine Oxidations- und eine Zementations- bzw. Reduktionszone. Wesentliche Prozesse in der Oxidationszone sind Hämatitisierung, Rotfärbungen und Bleichungen. Es treten Mineralparagenesen aus Eisenhydroxiden, Hämatit, Kaolinit, Vivianit und Wavelit auf. Weitere Merkmale der Oxidationszone sind die Umwandlung von Augit, Chlorit und Ilmenit zu Hellglimmer und Kaolinit und die Abreicherung an Spurenelementen und Uran. Uran wird von der schwerlöslichen IV-wertigen zur mobilen VI-wertigen Oxidationsstufe oxidiert. Die Urangehalte liegen in den oxidierten Bereichen bei ca. 15 ppm. Die Mächtigkeit der Oxidationszone beträgt mehr als 100 m, in Störungszonen kann sie bis zu 1000 m erreichen.

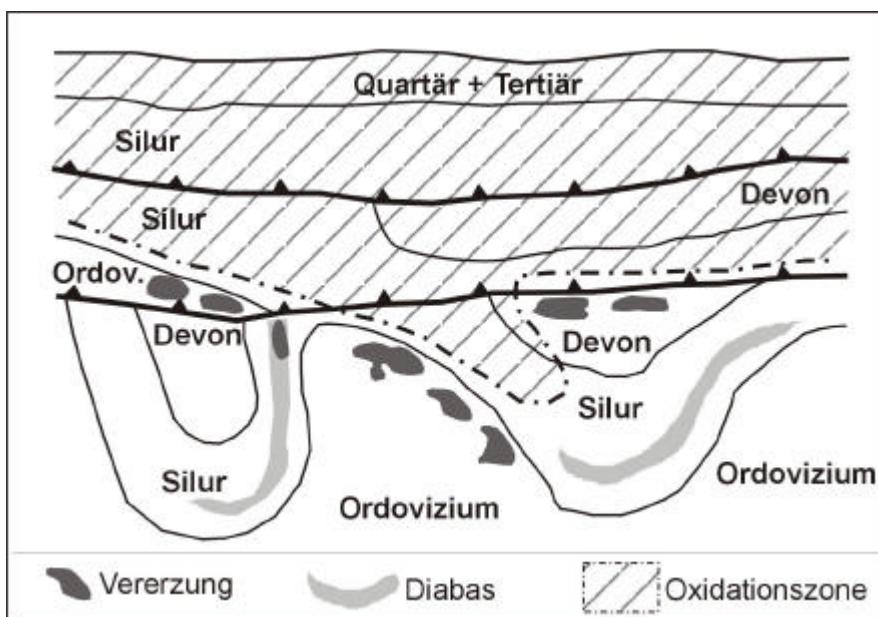


Abb. 9: Schematische Darstellung der Oxidations- und der Vererzungszone (Zementationszone) im Ronneburger Uranbergbaurevier, nicht maßstabsgerecht (SZUROWSKI et al. 1991, LANGE & FREYHOFF 1991, veränd.).

Diese, unter den vorherrschenden semiariden Verhältnissen des Perms erfolgte Verwitterung der sulfidhaltigen Schwarzpelite, führt zur Bildung saurer Lösungen und zur Migration der Stoffe in tiefere Bereiche. Hier werden die uranreichen Lösungen an sog. Reduktionsbarrieren

im Grenzbereich des Ordoviziums/Silurs wieder gefällt. Begünstigt wird diese Entwicklung einerseits durch ein erhöhtes Angebot an flächenhaft verbreiteten uranführenden Ausgangsgesteinen aufgrund gravitativer Gleitbewegungen und tektonischen Überstaplungen (GATZWEILER et al. 1997, RUSSE 1995, 1991). Andererseits führte die tektonische Beanspruchung der kompetenten und inkompetenten Gesteine zur Schaffung von Wegsamkeiten für die zirkulierenden Fluide. Wesentlich für die Lagerstättengenese war die exponierte Lage des Ronneburger Horstes im Überschneidungsbereich verschiedenartiger mehrfach reaktivierter Störungszonen (vgl. Abschnitt 2.3).

Es bilden sich zwei Haupttypen der Lagerstättenausbildung:

1. Schichtparallele Anreicherungen im Sedimentkörper durch supogene, grundwasser-kontrollierte Prozesse.
2. Vererzungen an Klüften und Störungen, die mit der polyphasen spröden Überprägung des Gesteinskomplexes zusammenhängen (FENGLER 1997).

Kleinräumig überwiegen zumeist Kluft- und Trümmervererzungen zusammen mit dispersen Vererzungen. Ca. 85 % der Uranvererzung befindet sich unmittelbar (maximal 30 m) unter der Liegengrenze des Unteren Graptolithenschiefers. Die Vererzung tritt überwiegend in den Hangendbereichen des ordovizischen Lederschiefers, in den in die Unteren Graptolithenschiefer eingeschalteten Diabasen, Porphyriten und Kersantiten sowie devonischen und unterkarbonischen Gesteinen auf (SZUROWSKI et al. 1991, SCHUSTER 1995, LANGE 1995, Tab. 4).

Tab. 4: Verteilung der Uranvererzung auf die stratigraphischen Einheiten nach LANGE et al. (1999), in Klammern nach WISMUT (1999).

Einheit	Anteil [%]
ordov. Lederschiefer	41 (40)
Diabase	23 (21)
Devonische und unterkarbonische Gest.	13 (10)
silurischer Ockerkalk	13 (16)
Untere Graptolithenschiefer	3 (12)
Obere Graptolithenschiefer	3 (1)

In der 50-400 m mächtigen Zementationszone der Lagerstätte lassen sich nach LANGE (1995), besonders im obersten Teil, 25 Typen gangförmiger, metasomatischer Typen unterscheiden. Zwei generelle Assoziationen der Uranmineralisation sind abzugrenzen:

Calzit-Pechblende-Assoziation: Pechblende, Karbonate (Calzit, Dolomit), Chlorit, geringe Anteile an Pb- Zn- und Cu- Sulfiden.

Pechblende-Pyrit-Assoziation: Pechblende, Coffinit, Pyrit, Markasit, Kupferkies, Arsenide, Calzit, Dolomit, Hämatit, Hydrogoethit.

Die Urangehalte in den Abbaubereichen (*cut-off*) lagen bei 200 bzw. 300 ppm, konnten jedoch auch über 3000 ppm, maximal 5200 ppm, betragen (SCHUSTER 1995). Diese beiden Assoziationen finden sich in der gesamten Lagerstätte, wobei für die erste ein unterpermisches Alter (ab 240 Mio. a) angenommen wird. Die Genese der lagerstättenbildenden Prozesse wird allgemein als polyphas angenommen. Der Hauptanteil der supergenen Prozesse fällt ins Rotliegende. In einer „alpidischen“ Phase der Lagerstättenbildung im Zeitraum Oberkreide/Tertiär entstand der zweite Typ der Uranmineralisation (LANGE et al. 1999, LANGE 1995, MEINEL 1993, LANGE & FREYHOFF 1991, LANGE et al. 1991). Daneben treten hydrothermale Bildungen, wie z.B. Quecksilbermineralisationen auf (SZUROWSKI et al. 1991, KRAMER & JUST 1995).

Die Ausdehnung der Uranvererzung beträgt ca. 164 km², wovon ca. 74 km² bergmännisch erschlossen sind. Die Ronneburger Uranlagerstätte wird nach LANGE et al. (1991) und LANGE (1995) in eine linsen- und stockwerkartige Lagerstätte in altpaläozoische Schiefer, Kalksteine und Diabase des Typs „Ronneburg“ klassifiziert. Nach VIEHWEG (1995) bildet sie eine polygon stratiforme Lagerstätte innerhalb der Böhmischen Masse. DAHLKAMP (1993) gliedert die ostthüringische Uranlagerstätte als Typuslokalität einem eigenen Typ zu, der als schichtkontrollierter, strukturabhängiger Lagerstättentyp (*strata-controlled, structure bound*) bezeichnet wird.

3. METHODEN

Im Rahmen dieser Arbeit wurden sowohl hydrogeologische, geodätische, hydrologische, hydrochemische als auch geophysikalische Verfahren eingesetzt. Daneben wurden Geländeschreibungen von Bohrungen und Schürfen durchgeführt sowie Feststoffproben entnommen. Laborarbeiten bestanden aus Korngrößenanalysen, der Ermittlung hydrogeologischer Parameter sowie Königswasseraufschlüssen. Die eingesetzten Gelände- und Labormethoden werden im Anschluss beschrieben.

3.1. Hydrogeologische Kartierung

Die an die AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997) angelehnte hydrogeologische Kartierung des Gewässernetzes und von Quellzutritten wurde am 14.01.98 und 24.11.98 zu Beginn der Untersuchungen durchgeführt. Entlang der Bachläufe Gessenbach, Badergraben und Lammsbach wurden vom Unterlauf zum Oberlauf in 20 bis 60 m Abständen die Parameter elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert ermittelt. Beide Kartierung fanden unter Trockenwetterbedingungen statt. Bei der Kartierung im November 1998 hatte sich aufgrund der kalten Witterung und des geringen Abflusses Eis im Badergraben gebildet. An den Messstellen G7, B1, L2 und G1 (Abb. 10) wurden analog den in Abschnitt 3.3 vorgestellten Methoden Abflussmengen bestimmt. Kartierungen des Lammsbaches fanden am 27.05.99 und 11.08.98 statt (Anhang 7). Die Messungen der hydrochemischen Parameter erfolgte jeweils mit den Messgeräten und Elektroden der Firma WTW (Tab. 6). Die Bestimmung erfolgte direkt im Bachwasser in einer Messtiefe von 10 bis 15 cm.

Sämtliche Quellen, Drainagegräben, Drainagerohre sowie vermutete diffuse Zuläufe wurden vermerkt und auf ihre physikochemischen Eigenschaften untersucht. Die Gewässerbreite, Stillwasserbereiche, der Grad der Gewässerregulierung (Ausbauzustand des Baches), Beschaffenheit der Gewässersohlen (Kolmation) usw. wurden kartiert. Die Ergebnisse fanden Eingang bei der Einrichtung der in Abschnitt 3.4 beschriebenen Oberflächenwassermessstellen in den Kompartimenten Östliches Gessental einschließlich Badergraben, im östlichen Teilabschnitt des westlichen Gessentals sowie im Lammsbach.

3.2. Vermessung des Gefälles des Gessenbaches/Badergrabens und der Bohrungen B1 bis B4

Zur Analyse der Gefällestrecke der Vorfluter wurden die Gewässerprofile im Oberlauf des Gessenbaches und im Unterlauf des Badergrabens vermessen. Daneben wurden die

Bohrungen B1 bis B4 eingemessen. Außerdem wurden die Lokationen der durchgeführten geoelektrischen Sondierungen sowie vier ausgewählter Bohrungen eingemessen (Abb. 17).

Als Messgeräte dienten eine „Totalstation GTS-6“ der Firma *Topcon* und ein Reflektorspiegel. Die lasergestützten Entfernungsmessungen des Vermessungsgerätes beruhen auf dem Prinzip der Winkelmessung. Die Messgenauigkeit der Längenmessung beträgt $3 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot \text{s}$, die der Winkelmessung 6 mgon.

76 Geländepunkte wurden im März 1999 eingemessen und in Winkel- und Distanzbeziehungen bestimmt. Wegen der Lage des Trigonometrischen Punktes (TP) und des Verlaufes der Vorfluter musste das Vermessungsgerät häufig umgestellt werden. Die Vermessung wurde vom TP 3800 (ehem. 2037142500) mit den Werten R: 4509977,963, H: 5636100,944 mit der Geländeöhre 290,12 m begonnen. Zusätzlich wurde der Punkt PP02 mit den Werten: R: 4510520,96 H: 5636318,94 und der Höhe 293,01, welcher von einem ansässigen Vermessungsbüro eingemessen worden war, in die Vermessung eingebunden. Es wurden Rückmessungen durchgeführt und die Messwerte durch Dreiecksmessungen abgesichert. Die gewonnenen Messwerte wurden in das Programm „Survey“ (SMILDE 1997) eingegeben. Zur Bestimmung von Koordinaten und Höhen ü. NN der vermessenen Punkte wurden zwei Bezugspunkte genutzt. Durch zwei getrennte Ausgleichsrechnungen sind im Programm „Survey“ Koordinaten und Höhen ü. NN bestimmt worden (Anhang 1).

3.3. Abflussbestimmung

Die Bestimmung des Abflusses erfolgte regelmäßig in solchen Abschnitten des Gessenbaches, die eine möglichst gerade Fließstrecke aufweisen (G3, G1, Abb. 10), über die Messung des Durchflussquerschnittes normal zu den Stromlinien sowie der Fließgeschwindigkeit. Die Fließgeschwindigkeit wurde mit dem Strömungsmessgerät *Flow-Mate MK2000* der Firma *Marsh-McBirney Inc.* bestimmt. Das Gerät arbeitet auf Grundlage eines magnetisch induktiven Messprinzips. Die Auswertung der Messungen erfolgte nach DIN 4049.

Der gerätespezifische Fehler des Strömungsmessgeräts beläuft sich lt. Herstellerangabe auf 1 % des Messwertes. Die Fehler, die bei der Bestimmung des Abflussquerschnittes sowie durch die grafische bzw. rechnerische Auswertung auftreten, können individuell abgeschätzt werden. Die Fehler liegen in regelmäßigen Gewässerprofilen bei ca. 10 %.

Bei den Messstellen G2, G4 bis G6, G8 bis G15, B1, B2, L1 bis L3 (Abb. 10) wurde bei großen Schüttungsmengen ebenfalls eine Abflussbestimmung über den Durchflussquerschnitt und die Fließgeschwindigkeit mit dem *Flow-Mate* durchgeführt (s.o.). Größere Hindernisse im Gewässerprofil wurden beseitigt und das Bachbett z.T. temporär begradigt, um den Durchflussquerschnitt möglichst genau bestimmen zu können. Es müssen hierbei zu den oben

genannten Fehlern noch schwer quantifizierbare Fehler durch um- und unterläufiges Fließen einkalkuliert werden. Diese Fehler werden unter Berücksichtigung der äußereren Bedingungen individuell abgeschätzt und können in Ausnahmefällen bis zu 30 % betragen. Bei zu hohen bzw. zu geringen Schüttungsmengen, z.T. bei den Messstellen L1, L2, B1, B2 oder zu unregelmäßigem Querschnitt z.B. bei Messstelle G13 erfolgte visuell die Abschätzung der Oberflächgeschwindigkeit mit Hilfe von eingebrachten Schwimmkörpern (vgl. Anhang 5). An einzelnen Messpunkten (G4, G6, bis G8, G14, G15, B1 bis B3, L1 bis L3, Q1 bis Q3, Q5, M1, Abb. 10) erfolgten die Abflussmessungen bei geringer Wasserführung volumetrisch mit Hilfe von kalibrierten Gefäßen. Hierzu wurde das Wasser gestaut, durch eine Wasserfassung geleitet und gezielt mit 1,5 l und 10 l-Gefäßen aufgefangen. Die Einfüllzeiten wurden mit einer Stoppuhr bestimmt. Die Umströmung der temporären Wehre konnte z.T. nicht ganz verhindert werden. Die hierbei erfolgte Minderbestimmung wird mit 10% geschätzt. An Messpunkten, die mit Wehren ausgebaut waren (B3, G7) erfolgten mindestens drei Wiederholungsmessungen der Schüttung mit kalibrierten 10 l und 15 l Gefäßen. Hierbei ist von einem geringen Fehler von 5% der Schüttung der volumetrischen Bestimmung auszugehen.

3.4. Einrichtung der Messstellen und Entnahme von Wasserproben im Oberflächenwasser

Im Einzugsgebiet des Gessenbaches wurden zwischen 1997 und 2002 in regelmäßigen Abständen 268 Wasserproben aus dem Oberflächenwasser entnommen. Sie dienten zur Erfassung der Beschaffenheiten und der Klassifizierung des Oberflächengewässers und der Zuflüsse. Hierzu wurden entlang des Gessenbaches 14 Messstellen (G13, G15, G14, G7, G5, G6, G10, G8, G4, G1, G12, G9, G2 und G3), entlang des Lammsbaches sowie des Badergrabens jeweils drei Messstellen (L3, L1, L2 bzw. B3, B2, B1), des Mühlgrabens eine (M1) sowie an ausgewählten Quell- und Drainagezuflüssen fünf Messstellen (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 = Kläranlage Ronneburg) eingerichtet (Abb. 10, Tab. 5). Die Auswahl und Einrichtung der Probenahmestellen verlief unter der Prämisse, den Lösungsinhalt des Oberflächenwassers in einem vom Uranbergbau beeinflussten Vorfluter und seinen Hauptzuflüssen großräumig exemplarisch zu erfassen sowie die natürlichen Beschaffenheiten z.B. im Lammsbach aufzuzeigen. Die Auswahl der einzelnen Messstellen erfolgte nach unterschiedlichen Kriterien, wobei zum einen schon vorhandene Messlokationen der WISMUT GmbH genutzt werden konnten (G13 = e-461, G7 = e-414, G5 = e-416, G2 = e-019), um einen Vergleich der Messwerte zu ermöglichen. Andererseits wurden Lokationen gewählt, die in hydrochemisch relevanten Bereichen liegen (z.B. G15, G14, G10, G8, B1, B2,

B3, L1) sowie quasilaminare Strömungsbedingungen vorwiesen (G1, G3, L2) sowie infolge der hydrogeologischen Kartierergebnisse ausgewählt worden sind (B3, Q1, Q2, Q3, Q4).

Im Oberlauf des Gessenbaches, im Bereich des Badergrabens und des Lammsbaches wurde das Messstellennetz 1999 verdichtet. Das gesamte Untersuchungsgebiet wurde in Teilbereiche (Typen) gegliedert (Tab. 5), welche sich in der Form des Bergbaueinflusses und der Grundwasserhydraulik unterscheiden (vgl. Abschnitte 4.3, 8.5). Zum Vorfluterbereich des Typs I zählen die Vorfluterkompartimente des Oberlaufs des Gessenbaches und des Badergrabens, zum Vorfluterbereich des Typs II die Kompartimente Unterlauf des Gessenbaches, der Lammsbach sowie die Zutritte Q1-Q3 und Q5 (Kläranlage Ronneburg). Die Stichprobenahmen fanden i.A. vierteljährlich jeweils an einem bzw. zwei Tagen statt. Es erfolgte gleichzeitig eine Aufzeichnung der jeweiligen Schüttungsmenge.

Vor-Ort wurden die physikochemischen Parameter pH-Wert, E_H-Wert, Sauerstoffgehalt, spez. elektr. Leitfähigkeit und Temperatur mit den in Tab. 6 angegebenen Geräten bestimmt. Nach Erhebung der Geländeparameter wurde jeweils eine Teilprobe zur Messung von Kationen durch 0,45 µm Filter in eine 100 ml-Glasflasche druckfiltriert und mit 1-2 ml HNO₃ konserviert. Für die Anionen wurden eine 1 l-Teilprobe unbehandelt entnommen und luftdicht verschlossen. Für die Bestimmung der Anionen mittels Ionenchromatografie wurden 100 ml Probe ebenfalls über einen 0,45-µm-Filter in eine PE-Flasche filtriert. Die Proben wurden in das Labor des Institutes für Geowissenschaften (IGW) nach Jena überführt und auf Kationen und Anionen mit den in Tab. 6 genannten Geräten untersucht. Die Ergebnisse der Einzeluntersuchungen sind in Anhang 5 dargestellt.

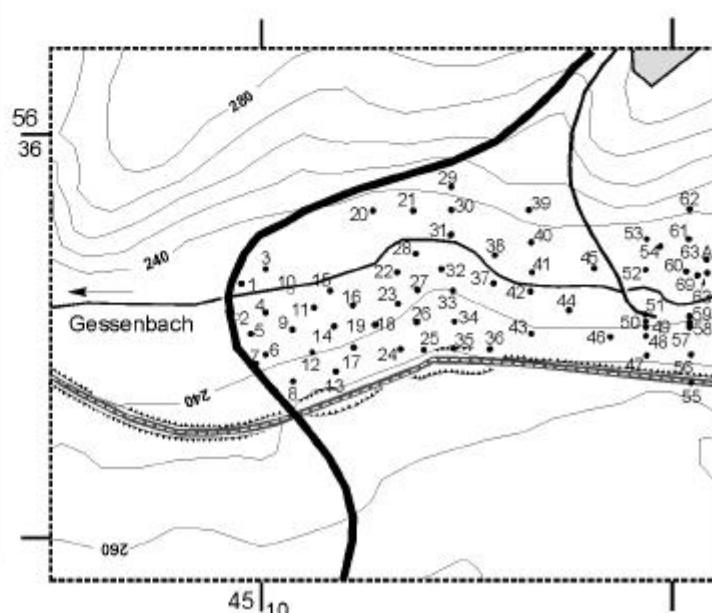
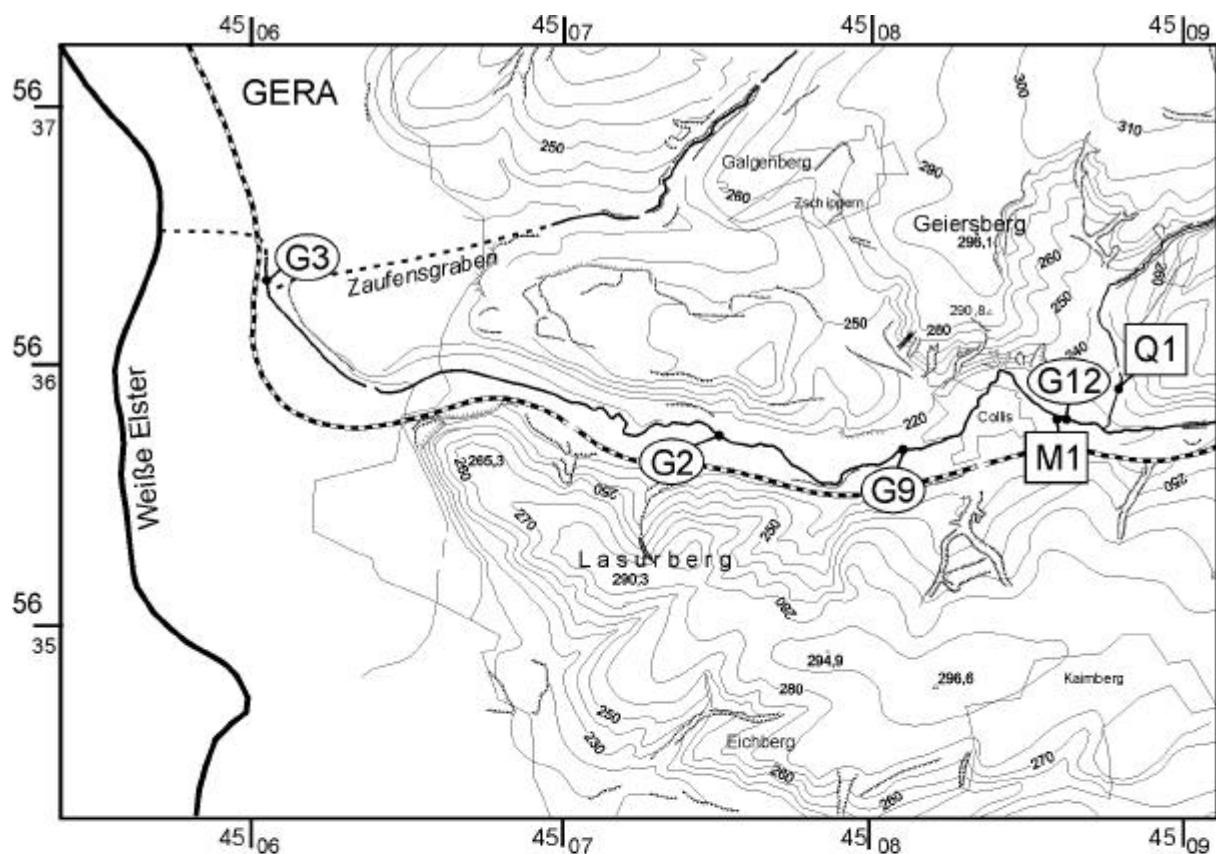
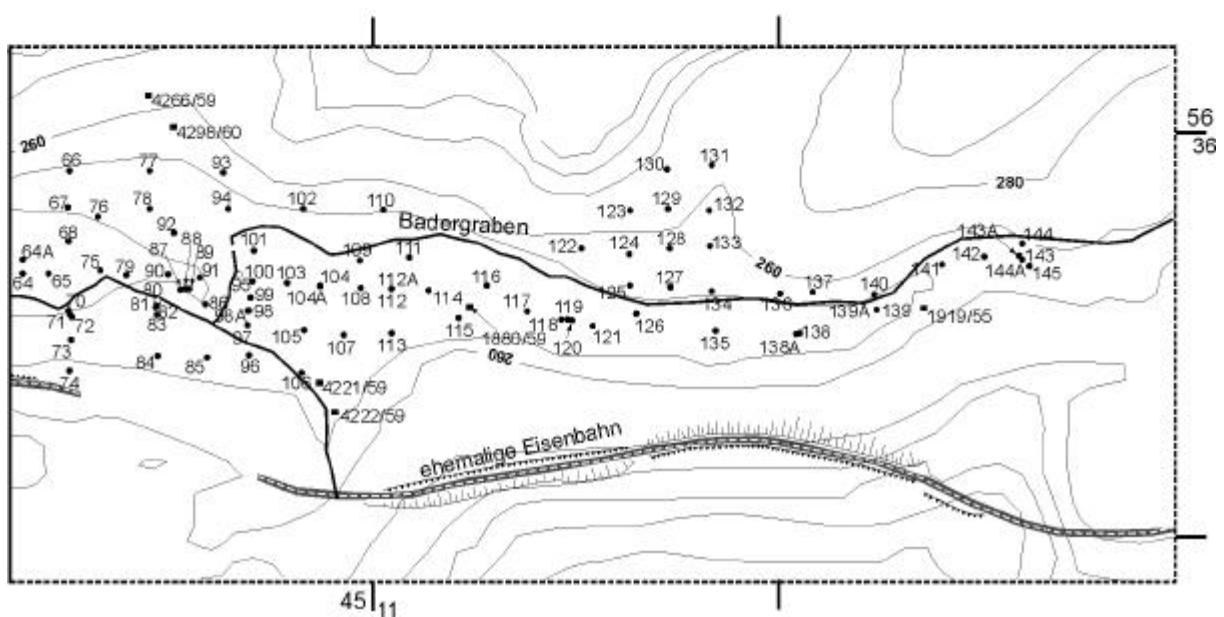
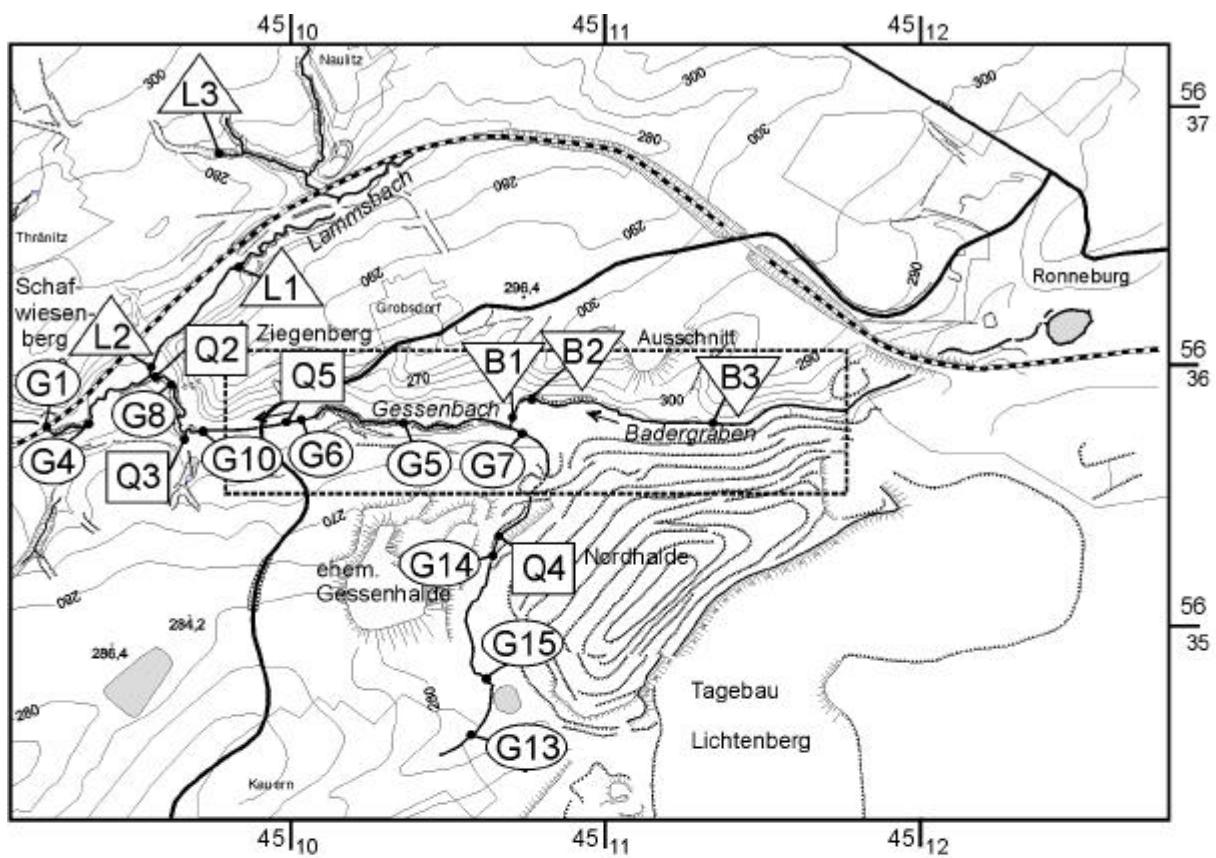


Abb. 10: Lage der Probenahmestellen und der Bohrpunkte im Gessental.



Tab. 5: Kompartimente und Lage der Probenahmestellen im Grund- und Oberflächenwasser mit G: Gessenbach, L: Lammsbach, B: Badergraben, Q: Quelle bzw. Wasserzutritt, GW: Grundwasser, Messung der Schüttung mit SK: Schwimmkörper, Schätzung, G: 1,5 l bzw. 20 l Gefäßen, DIN: nach DIN 4049; GWM: Grundwassermessstelle, Schöpf: Schöpfprobe, Pumpe: Entnahme mittels Pumpe.

Kompartiment	Messstelle (Wismut- Bez.)	Art der Probenahmestelle	R-Wert	H-Wert	Höhe	Fließstrecke [m von G13 bzw. B3, L3]	Art der - Messung
Oberlauf Gessenbach	G13 (e- 461)	Temporär	4510758	5634559	n.b.	0	SK
	G15	Temporär	4510786	5634716	n.b.	210	DIN
	G14	Temporär	4510811	5635302	n.b.	420	DIN bzw. G
	G7(e-414)	Messwehr	4510867	5635756	238,88	1.029	G
	G5 (e-416)	Temporär	4510484	5635797	234,95	1.456	DIN bzw. G
	G6	Temporär	4510118	5635811	n.b.	1.850	DIN bzw. G
Badergraben	B3 (e-415)	Messwehr	4511514	5635776	244,27	0	G
	B2	Temporär	4510977	5635859	240,55	660	G
	B1	Temporär	4510866	5635770	238,29	694	DIN bzw. G
Mittel-, Unterlauf Gessenbach	G10	Temporär	4509764	5635785	n.b.	2.170	DIN bzw. G
	G8	Temporär	4509667	5635993	n.b.	2.435	DIN bzw. G
	G4	Temporär	4509382	5635798	n.b.	2.650	G
	G1	Temporär	4509257	5635804	n.b.	2.900	DIN
	G12	Temporär	4508612	5635845	n.b.	3.540	DIN
	G9	Temporär	4508120	5635700	n.b.	4.447	DIN
Lammsbach	G2 (e-019)	Temporär	4507496	5635750	n.b.	6.730	DIN
	G3	Temporär	4506037	5636244	n.b.	7.430	DIN
	L3	Quellaustritt	4509899	5637019	n.b.	0	G
Zuflüsse	L1	Temporär	4509938	5636425	n.b.	467	SK bzw. G
	L2	Temporär	4509628	5636015	n.b.	960	SK bzw. G
Zuflüsse	Q4 (e-443)	Schöpfprobe, Quellaustritt	4509382	5635798	n.b.	430	SK
	Q5	Austritt Kläranlage	4510071	5635801	n.b.	1.860	G
	Q3	Temporär	4509731	5635773	n.b.	2.200	G
	Q2	Drainageleitung	4509626	5635990	n.b.	2.470	G
	Q1	Drainageleitung	4508800	5635890	n.b.	n.b.	G
	M1	Temporär	4508612	5635839	n.b.	3.720	G
Grundwasser	01/00	GWM temporär	4510042	5635810	233,43		Schöpf
	02/00	GWM	4510032	5635767	232,14		Pumpe
	03/00	GWM temporär	4510072	5635828	234,72		Pumpe
	04/00	GWM temporär	4510072	5635773	232,46		Pumpe
	05/00	GWM temporär	4510053	5635747	232,53		Pumpe
	09/00	GWM temporär	4510105	5635753	232,8		Schöpf
	10/00	GWM	4510103	5635800	232,75		Pumpe
	11/00	GWM temporär	4510132	5635780	233,03		Schöpf
	16/00	GWM temporär	4510180	5635783	233,42		Schöpf
	19/00	GWM temporär	4510207	5635800	234,06		Schöpf
	21/00	GWM temporär	4510255	5635900	235,22		Schöpf
	22/00	GWM temporär	4510235	5635824	234,16		Schöpf
	23/00	GWM temporär	4510229	5635785	236,02		Schöpf
	28/00	GWM temporär	4510258	5635847	234,71		Schöpf
	30/00	GWM temporär	4510301	5635900	236,12		Schöpf
	31/00	GWM temporär	4510301	5635870	234,9		Schöpf
	37/00	GWM temporär	4510353	5635796	235,41		Schöpf
	80/00	GWM	4510813	5635794	239,4		Pumpe
	117/00	GWM temporär	4511268	5635774	244,64		Schöpf
	145/00	GWM temporär	4511889	5635829	252,3		Schöpf

3.5. Entnahme von Wasserproben im Grundwasser

Aus den in Kooperation mit der Wismut GmbH durchgeführten Rammkernsondierungen im E-Gessental wurde im Sommer 2000 das Grundwasser im nicht ausgebauten Bohrloch teilweise direkt entnommen. Hierzu wurden das Bohrloch nach dem Ziehen des Rammkerngestänges mit einem 1,5“ PVC-Rohr versehen und der Grundwasserstand nach Erreichen stationären Bedingungen bestimmt. An 19 Bohrungen und 2 temporären Schürfen (4222/59: 18.03.99, 1880/55: 23.05.00, Abb. 10) erfolgte die Entnahme von Grundwasserproben mit Hilfe einer Unterdruckpumpe sowie durch Schöpfproben (Tab. 5, Abb. 38), in den Schürfen mittels eines Schöpfgefäßes. Die Vor-Ort-Bestimmung der physikochemischen Parameter erfolgte analog den in Abschnitt 3.7 genannten Verfahren (Tab. 6). Die Proben wurden direkt im Gelände mittels eines 0,45- μm -Filters druckfiltriert. Anschließend wurden die Proben in 100 ml-Glasflaschen für die Kationenbestimmung und 1000-ml-PE-Flaschen sowie 100 ml-PE-Flaschen für die Anionenbestimmung abgefüllt (s.o.). Die Proben für die Kationenbestimmung wurde zur Konservierung mit wenigen ml-konzentrierter HNO₃ versetzt und in das hydrogeochemische Labor des Instituts für Geowissenschaften überführt. Die Einzelergebnisse und die Höhe der Grundwasserdrukflächen sind in Anhang 5 bzw. in Anhang 8 dargestellt.

In den Messstellen 2/00, 10/00, 80/00 und 117/00 wurden für mehrere Monate temporäre 2“-PVC-Grundwassermessstellen eingerichtet. Die Ausbau erfolgte bei Bohrung 02/00 mit 1 m Voll- und 2 m Filterrohr, bei 10/00 mit 2 m Voll- und 2 m Filterrohr, bei 80/00 mit 4 m Voll- und 1 m Filterrohr und bei 117/00 mit 8 m Voll und 2 m Filterrohr. Der jeweilige Grundwasserleiter wurde voll verfiltert. Die Schichtenverzeichnisse sind in Anhang 3 dargestellt. Der Ringraum wurde mit Bohrgut und Betonit verfüllt. Diese Messstellen, welche im August 2000 in permanente Messstellen ausgebaut werden konnten, wurden im Rahmen dieser Arbeit an fünf Stichtagen beprobt.

3.6. Ausfällungen im Gessenbach

Am 18.04.00 wurden entlang der Fließstrecke des Gessenbaches zwischen der Mündung des Badergrabens und der Messstelle G5 (Abb. 10) rezente Eisenhydroxidausfällungen an vier Stellen mittels 1l-PE-Flaschen als Fällungsprodukt-Wasser-Gemisch aus dem Bachwasser entnommen. Die Probenahmestellen lagen 10 m, 70 m, 240 m und 310 m Fließstrecke westlich der Badergrabenmündung in den Gessenbach. Am 13.09.00 wurde eine Probe aus einem muddeartigen organikreichen Sediment direkt über dem Wasserspiegel des Gessenbaches ca. 150 m westlich der Badergrabenmündung entnommen (Anhang 7, Anhang

9). Die Wasser-Feststoffgemische und die muddeartige Sedimentprobe wurden im Kühlschrank zwischengelagert und anschließend getrocknet.

Die trockenen Feststoffproben wurden in Anlehnung an SCHÖNBUCHNER (in Vorb.) mittels Königswasseraufschluss (HCl/HNO₃-Verhältniss: 3:1) nach VDLUFA (1991) im Labor der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) extrahiert. Mit dem Königswasserextrakt werden die Schwermetalle nicht vollständig in Lösung gebracht (LEWANDOWSKI et al., 1997). Der prozentuale Anteil der mittels Königswasser extrahierten Schwermetallfraktion am Schwermetallgesamtgehalt hängt von der Probenart und dem jeweiligen Schwermetall ab. Nach HORNBURG & LÜER (1999) beträgt der Königswasseranteil am Gesamtgehalt für folgende Elemente im Mittel 80 %, für As, 91 % für Cd; 89 % für Co, 70 % für Cr, 95 % für Cu, 94 % für Ni, 78 % für Pb und 91 % für Zn. Die Ergebnisse werden Abschnitt 8.2 präsentiert.

3.7. Laboruntersuchung der Wasserproben

Die Bestimmung der physikochemischen Parameter aller gewonnenen Wasserproben wurde Vor-Ort mit den in Tab. 6 angegebenen Messgeräten durchgeführt. Die hydrogeochemischen Untersuchungen der Wasserproben erfolgte im Labor des IGW Jena mit den in Tab. 6 angegebenen Messgeräten sowie den in Tab. 7 genannten Methoden

Tab. 6: Physikochemische Gelände und Laborparameter und verwendeter Gerätetyp zur Messung.

Physikochemischer Parameter	Messgerät, Firma
pH	Messgerät mit Sonde SenTix 61, WTW
E _H (Redox-Spannung E bez. auf eine Wasserstoffelektrode)	Messgerät mit Sonde SenTix ORP und Sonde Mettler Toledo (Platinelektroden), WTW
Elektr. Leitfähigkeit	Messgerät mit Sonde Tetra Con 325, WTW
Temperatur	Messgerät mit externem Temperaturfühler an SenTix 61, WTW
O ₂ (gelöster Sauerstoff)	Messgerät mit Sauerstoffsensor CellOx 325, WTW
Kationen	Flammen-AAS: AAS5 Fl, Zeiss Graphitrohr-AAS: AAS EA5 Zeiss ICP-MS, Quadrupol ICP-MS PQ3, Thermo Elemental Fotometer: Spektrophotometer DR/4000, Hach NH ₄ ⁺ -sensitive Sonde: DMS Titrino 716, NH ₄ ⁺ -sensitive Sonde, Metrohm
Anionen	IC: Ionenchromatographie DX 120, Dionex Fotometer: Spektrophotometer DR/4000, Hach Titration: DMS Titrino 716, Metrohm

Tab. 7: Methoden der Wasseranalytik, Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten.

Bestandteil	Analysenmethode	Beschreibung	Nachweis-grenzen ¹⁾	Mess-unsicherheit ¹⁾
Na ⁺	Flammen AAS	DIN 38 406-E14	5 µg/l	2%
K ⁺	Flammen AAS	DIN 38 406-E14	15 µg/l	2%
GH° ^{*)}	komplexometrische Titration	DIN 38 406 E3-2	0,01 mmol/l ± 0,005 mmol/l ± 0,5 mg/l	
Mg ²⁺	bis 08/98: Differenz aus GH° und Ca ²⁺ ab 09/98: Flammen-AAS	a) DIN 38406/E3-1 b) DIN 38406/E3-1	a) 1 mg/l b) 3,5 µg/l	a) 10% b) 2%
Ca ²⁺	a) bis 08/98: kompl. Titration b) ab 08/98: Differenz aus GH° und Mg ²⁺	a) DIN 38406 E3-2	a) 0,01mmol/l b) 1 mg/l	a) 0,5 mg/l b) 10%
Fe _{ges}	a) >0,5 mg/l Flammen AAS b) <0,5 mg/l: Graphitrohr-AAS	DIN 38406-E1	a) 80 µg/l b) 25 µg/l	a) 2% b) 5%
Mn _{ges}	a) bis 01/00 <1 mg/l: Graphitrohr-AAS b) >1 mg/l: Flammen-AAS c) ab 01/00 ICP-MS	E DIN38 406 E33	a) 0,014 µg/l b) 6 µg/l c) 0,09 µg/l	a) 10% b) 5% c) 5%
Al	a) bis 01/00 <0,1 mg/l: Graphitrohr-AAS b) >0,1 mg/l: Flammen-AAS c) ab 01/00 ICP-MS	DIN 38 406/E25	d) 0,034 µg/l e) 5 µg/l f) 0,4 µg/l	a) 5% b) 2 % c) 5%
NH ₄ ⁺	a) <250 mg/l Fe _{ges} : Fotometrie b) >250 mg/l Fe _{ges} : NH ₄ ⁺ -sensitive Sonde	a) DIN38 406 E5	a) 0,05 mg/l b) 0,01 mg/l	a) ± 0,01mg/l b) 5%
Cl ⁻	a) bis 01/00 potenz. Titration b) ab 02/00 IC	DIN 38 405-D1-2 DIN EN ISO10304-2	a) 1 mg/l b) 0,2 mg/l	a) ± 0,5mg/l b) 5%
SO ₄ ²⁻	a) bis 01/00: Fotometrie b) ab 02/00<250 mg/l Fe _{ges} : IC c) >250 mg/l Fe _{ges} : Fotometrie	1 g/l Mg 1mmol GH	a) 1 mg/ b) 0,4 mg/l c) 1 mg/l	± 0,5 mg/l 5% 10%
HCO ₃ ⁻	potentiometrische Titration mit 0,1 mol/l HCl	DIN 38 406H7	10 mg/l	1%
NO ₃ ⁻	a) bis 01/00: Fotometrie b) ab 02/00: <250 mg/l Fe _{ges} : IC c) >250 mg/l Fe _{ges} : Fotometrie	a, c) DIN38405 D9 b) DIN EN ISO10304-2	a) 1 mg/l b) 0,1 mg/l c) 1 mg/l	a) ±0,5mg/l b) 5% c) ±0,5mg/l
NO ₂ ⁻	a) bis 01/00: Fotometrie b) ab 02/00 <250 mg/l Fe _{ges} : IC c) >250 mg/l Fe _{ges} : Fotometrie	a, c)US-EPA 44(85) 25505 b) DIN EN ISO 10304-2	a) 0,01 mg/l b) 0,1 mg/L c) 10%	<0,04 mg/l: 20% <0,08 mg/l: ±10% <0,2 mg/l: ±3% <1mg/l: ±1%
PO ₄ ³⁻	Fotometrie	DIN 38 405-D11-1	0,05 mg/l	<0,1mg/l: 15% <0,25mg/l 10% <0,4 mg/l: 5% <2,5mg/l: 1,5%
Si ^{***})	Fotometrie	DIN 38 405-D21	1,4 mg/l	
Cu	a) bis 12/99: Graphitrohr-AAS b) ab 01/00 ICP-MS	DIN 38 406-E7	a) 0,19 µg/l b) 0,05 µg/l	a) 5% b) 5%
Ni	a) bis 12/99: Graphitrohr-AAS b) ab 01/00 ICP-MS	DIN 38 406 E11	a) 0,3 µg/l b) 0,06µg/l	a) 5 % b) 5%
Zn	a) < 0,1mg/l: Graphitrohr-AAS b) >0,1 mg/l Flammen-AAS	DIN 38 406 E8-1	a) 0,006 µg/l b) 12 µg/l	a) 5% b) 4%
Cd	a) bis 12/99: Graphitrohr-AAS b) ab 01/00 ICP-MS	DIN EN ISO 5961	a) 0,013 µg/l b) 0,02 µg/l	a) 5-20% b) 2-100%
Cr	a)<1mg/l: Graphitrohr-AAS	DIN EN 1233 E10	a) 0,13 µg/l	5-20%
Ba ²⁺	ICP-MS	DIN 38 406 E28	0,4 µg/l	5%
Sr ²⁺	ICP-MS		0,007 µg/l	5%
Co	a) bis 12/99: Graphitrohr-AAS b) ab 01/00 ICP-MS	DIN 38 406E24	a) 0,19 µg/l b) 0,003 µg/l	a) 5% b) 5%
U	ICP-MS		0,05 µg/l	5%

¹⁾ Empfindlichkeit und Nachweisgrenzen aus Geräteanleitungen, Berechnungen und Literaturstellen

^{*)} Gesamthärte

^{***)} gelöste Kieselsäure

3.7.1. Fehlerbetrachtung

Bei der Aufnahme von hydrochemischen Messwerten ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Einzelmessungen sowohl systematische als auch zufällige Fehler ausweisen können. Systematische Fehler sind prinzipiell vermeidbar, jedoch oft nicht eindeutig erkennbar, da sie die Messergebnisse in eine Richtung verfälschen können. Zufällige Fehler lassen durch geeignete statistische Verfahren sowie durch ein Standardisierung der unterschiedlichen Analyseverfahren erkennen.

Die Qualität einer vollständigen Wasseranalyse kann mit Hilfe der Summen der Kationen- und Anionenäquivalente bewertet werden, wozu die wichtigsten Einzelmessungen vollständig vorliegen müssen. Zur Beurteilung des prozentualen Fehlers e , ist nach DVWK (1992) folgende Beziehung gültig:

$$\text{Gl. 1} \quad e = \frac{rk - ra}{0,5 \cdot (rk + ra)} \cdot 100\%$$

mit rk: Kationensumme [meq]
 ra: Anionensumme [meq]

Ein prozentualer Fehler von $e > \pm 5\%$ bei Wasser mit einer Äquivalentsumme $< 2 \text{ meq/l}$ bzw. bei Wasser $< \pm 2\%$ bei Wasser mit einer Äquivalentsumme $> 2 \text{ meq/l}$ zeigt dabei Ungenauigkeiten bei der Bestimmung einzelner Stoffkonzentrationen bzw. die Nichtberücksichtigung wichtiger Inhaltsstoffe an. Solche Analysen wurden innerhalb dieser Arbeit nach Möglichkeit nicht berücksichtigt oder in Ausnahmefällen nach eingehender Prüfung zur Auswertung und Interpretation der Wasserbeschaffenheitsdaten herangezogen.

Die auftretenden Fehler sind bei den ermittelten Daten einerseits auf die Probenahmetechnik zurückzuführen. Dem Vorfluter werden zwar nahezu gleichzeitig unterschiedliche Wasserproben zur Bestimmung der Anionen und Kationen entnommen und die physikochemischen Parameter bestimmt. Da im Wasser des Vorfluters geringe zeitliche und räumliche Heterogenitäten nicht auszuschließen sind, können Ionenbilanzfehler durch die Bestimmung in unterschiedlichen Teilproben auftreten. Daneben stellt die Bestimmung von Wasserproben mit z.T. mehr als 2 g/l Eisen sowie z.T. mehr als 13 g/l SO_4^{2-} hohe messtechnische Anforderungen, da besonders Eisen bei optischen und chromatographischen Methoden vor der Bestimmung z.T. dem Wasser entzogen werden muss. Daneben können Fehler bei der HCO_3^- -Bestimmung infolge der Pufferungswirkung hoher organischer Anteile in kommunalen und landwirtschaftlichen Abwässer erhöht. In dieser Arbeit wird für Einzelwerten der gelöste Inhaltsstoffe grundsätzlich ein Fehler von 5 % angenommen. Die

Bestimmung der in-situ Parameter z.B. pH, E_H, O₂-Gehalt ist generell mit höheren Unsicherheiten belastet als die Bestimmung im Labor messbaren Größen.

3.8. Thermodynamische Gleichgewichtsmodellierung

An den Wasserproben der Messstellen Q4 sowie G7 und G5 (Abb. 10) wurden zur Ermittlung der Speziesverteilung und der Sättigungszustände thermodynamische Gleichgewichtsmodellierungen mit dem Programm PHREEQC (PARKHURST 1995) durchgeführt. Grundlage für die thermodynamische Gleichgewichtsmodellierung bilden die ermittelten Parameter der Vollanalysen der Oberflächenwasserproben (Anhang 5) sowie die verwendeten thermodynamischen Konstanten für die entsprechenden gelösten Spezies und die Fest- und Gasphasen.

Bei gegebenem Druck p und gegebener Temperatur T lässt sich eine chemische Gleichgewichtsreaktion gemäß Gleichung Gl.: II definieren:



mit A, B, C, D = chemische Spezies
 a, b, c, d = stöchiometrische Koeffizienten der chemischen Spezies A, B, C, D.

Die thermodynamischen Berechnungen beruhen auf dem Massenwirkungsgesetz

Gl.III:
$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

mit $[A], [B], [C], [D]$ = Aktivitäten der chemischen Spezies.

Mit Hilfe der Gleichgewichtskonstante K (Gl.III) ist die Lage des sich einstellenden Gleichgewichts in Gl.: II abzuleiten.

Bei der Anwesenheit eines nicht dissoziierenden Feststoffes AB (Gl. IV), den Ionen A und B sowie den Ladungszahlen x^+ und x^- der Ionen A bzw. B gilt:



Es ergibt sich nach dem Massenwirkungsgesetz im Gleichgewichtszustand die Dissoziationskonstante K:

Gl.: V:
$$K = \frac{\left[A^{x^+}\right]^a \left[B^{x^-}\right]^b}{[AB]}$$

Für die Aktivität eines Feststoffes [AB] kann definitionsgemäß 1 angenommen werden, wodurch Gl.: V vereinfacht wird.

In unendlich verdünnten Lösungen ist die Aktivität gleich der in den Analysen bestimmten molaren Konzentration der Wasserinhaltsstoffe. In realen Systemen beeinflussen sich die

unterschiedlichen Spezies gegenseitig, so dass bei der Verwendungen thermodynamischer Betrachtungen die chemische Aktivität a_i [-] einer Spezies i zugrunde gelegt werden muss:

Gl. VI:

$$a_i = \mathbf{a}_i \cdot c_i$$

mit \mathbf{a}_i = Aktivitätskoeffizient der Spezies i [l/mol]

c_i = Molarität der Spezies i [mol/l].

Der Aktivitätskoeffizient \mathbf{a}_i nimmt Werte zwischen 0 und 1 l/mol an, wobei eine ideale Lösung den Wert 1 aufweist. Mit zunehmendem Lösungsinhalt nehmen die interionischen Wechselwirkungen zu und der Aktivitätskoeffizient ab. Bei der Bestimmung des Aktivitätskoeffizienten gibt die Ionenstärke I [mol/l] das Ausmaß der elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen den gelösten Spezies an:

Gl. VII:

$$I = \frac{1}{2} \sum (c_i \cdot z_i^2)$$

mit z_i = Wertigkeit der Spezies i [-].

Für Wässer mit Ionenstärken unter 0,5 mol/l lässt sich nach einer modifizierten Form DAVIES Gleichung nach DAVIES (1938), der Aktivitätskoeffizient unter Verwendung der temperaturabhängigen Konstante A [-] berechnen:

Gl. VIII:

$$\lg \mathbf{a}_i = -A \cdot z_i^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \right) - 0,3 \cdot I$$

Als Maß für den Sättigungszustand einer Lösung gegenüber einer Phase dient der Sättigungsindex SI [-] aus dem Ionenaktivitätsprodukt IAP [-] der gelösten Spezies im Verhältnis zum Löslichkeitsprodukt K_L :

Gl. IX:

$$SI = \log \left(\frac{IAP}{K_L} \right)$$

Ein Sättigungsindex über 0 bedeutet eine Übersättigung der Lösung bezüglich des betrachteten Stoffes. Ein Sättigungsindex unter 0 bedeutet eine Untersättigung der Lösung gegenüber einem Feststoff. Nach MATTHESS (1994) ist das Auftreten von über- und untersättigten Lösungen gegenüber Mineralphasen auf kinetische Effekte in natürlichen oder naturnahen Systemen zurückzuführen. Errechnete Ungleichgewichte können ebenfalls auf ungenaue thermodynamischen Daten oder fehlerhaft bzw. unvollständigen Analysedaten beruhen. Die Genauigkeit von thermodynamischen Daten beeinflusst in hohem Maße die Rechenergebnisse. Aus diesem Grund sollten die Ergebnisse thermodynamischer Berechnungen in realen Systemen überprüft werden.

Zur Modellierung der thermodynamischen Gleichgewichtszustände von Oberflächenwasserproben wurde das Computerprogramm PHREEQC (PARKHURST 1995) verwendet, das aus der Weiterentwicklung des Programms PHREEQE (PARKHURST et al. 1980) hervorgegangen ist. Grundlage für die Berechnung sind die oben angeführten Gleichungssysteme. Das Programm Paket ermöglicht eine qualitative und quantitative Beschreibung von Lösungs- und Fällungsvorgängen als wesentliches Steuerelement von Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen. Ziel der Modellierung ist die exemplarische Charakterisierung des Sättigungszustandes in Bezug auf die im betrachteten System vorhandenen gelösten gasförmigen und festen Spezies.

Das Computerprogramm errechnet die Speziesverteilung in der Wasserphase und ermöglicht u.a. die Modellierung von Gleichgewichtseinstellungen einer oder mehrerer Festphasen mit der Wasserphase. Es wird unter den Bedingungen der Massenbilanzhaltung und des chemischen Gleichgewichts durch die Verknüpfung der Massenwirkungs-Gleichungen für alle relevanten Spezies mit den Massenbilanzgleichungen für die einzelnen Elemente die thermodynamisch stabile Konfiguration des gegebenen Systems berechnet. Darüber hinaus berücksichtigt das System Elektronenbilanz-Gleichungen, wodurch Ladungsungleichgewichte aufgrund unvollständiger oder fehlender Wasseranalysen korrigiert werden können. Aus dem Modellansatz ergeben sich nichtlineare Gleichungssysteme, welche iterativ gelöst werden (PARKHURST 1995).

Bei der qualitativen hydrochemischen Modellierung in dieser Arbeit wurden neben dem thermodynamischen Datensatz WATEQ4F (BALL & NORDSTROM 1991) der relativ neue Datensatz *lnl*, Version 1.10 (JOHNSON 2001) verwendet. In diesem Datensatz zusätzlich zu den Hauptelementen thermodynamische Daten für eine Vielzahl von Schwermetallen bzw. Spurenelementen implementiert. Während der Berechnung der Speziesverteilung wurde auf beide Datensätze zurückgegriffen, wobei die Ergebnisse betrachtete Systeme in ähnlichen Größenordnungen lagen. Die Ergebnisse der PHREEQC-Berechnungen sind in Abschnitt 8 dargestellt.

3.9. Deskriptive Statistik

Zur Charakterisierung der Variabilität einzelner hydrochemischer Kennwerte und zum Auffinden von Korrelationen zwischen den einzelnen Inhaltsstoffen festzustellen, wurden die Beschaffenheitsdaten des Grund- und Oberflächenwassers mit Hilfe von deskriptiven statistischen Methoden ausgewertet.

Der arithmetische Mittelwert ist die Summe durch die Anzahl der Messungen

$$\text{Gl. X} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

mit: n Anzahl der Messwerte
 x_i Messwert.

Daneben wird der Median verwendet, welcher den mittleren Wert in einer aufsteigend geordneten Zahlenreihe darstellt. Der Median ist häufig robuster gegenüber Ausreißern innerhalb einer Grundgesamtheit als der Mittelwert. Die empirische Standardabweichung s wird als Maß für die Stichprobenstreuung um einen arithmetischen Mittelwert \bar{x} verwendet, wobei sämtliche Werte x_i einzeln berücksichtigt werden. Bei einer Stichprobe vom Umfang p berechnet sich der Wert s, der jeweils die Dimension der Stichprobe annimmt, nach

$$\text{Gl. XI:} \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^p (x_i - \bar{x})^2}$$

Um die Streuung verschiedener Stichproben einheitlich zu beurteilen, wird als relatives Streuungsmaß der Variationskoeffizient herangezogen. Der Variationskoeffizient v [%] gibt die Größe s in Prozent des arithmetischen Mittelwerts an

$$\text{Gl. XII.} \quad v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Um aus Veränderungen innerhalb von Wasserbeschaffenheitsdaten Zusammenhänge innerhalb der hydrochemischen Datenreihe zu erkennen, kann die Korrelationsanalyse verwendet werden. Als Maß für die Güte eines linearen Zusammenhangs zwischen Variablen x_i und y_i dient der Korrelationskoeffizient r

$$\text{Gl. XIII.} \quad r = \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

Der Korrelationskoeffizienten beträgt $-1 < r < 1$. Korrelationskoeffizienten von 1 und -1 bedeuten perfekte lineare Korrelation (1) oder Antikorrelation (-1) zwischen den Werten x_i und y_i , Koeffizienten von 0 bedeutet, dass kein Zusammenhang zwischen den Messwerten besteht. Es kann ermittelt werden, ob der Wert r eine statistisch signifikante Beziehung zwischen den Werten von x_i und y_i anzeigt. Die Signifikanz wird in unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten ausgedrückt. Normalerweise werden sie mit 5 % (0,05) bzw. 1 % (0,01) Signifikanz bezeichnet. Für unterschiedliche Freiheitsgrade kann die Signifikanz aus Tabellen (z.B. ROLLINGSON 1993) abgelesen werden.

Für die Anwendung der Korrelationsanalyse müssen beide Stichprobenmengen x_i und y_i einen

linearen Zusammenhang aufweisen, normalverteilt sein und eine gegenseitige Datenunabhängigkeit aufweisen. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, was für die meisten hydrochemischen Datenkollektive gilt, wird die Rangkorrelation nach SPEARMEN angewendet. Der Rangkorrelationskoeffizient r_s nach SPEARMEN lautet:

$$Gl. XIV. \quad r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

D_i ist die Rangdifferenz zwischen den Messwerten x_i und y_i und n ist der Anzahl der Wertepaare. Es handelt sich hierbei um ein verteilungsfreies Verfahren, was die Berechnung in eine verteilungsunabhängige Form überführt. Die Signifikanz von ρ kann ebenfalls aus Tabellen abgelesen werden. Die SPEARMEN-Rangkorrelationsanalyse bildet ein schnelles Verfahren, um bei nicht linearen Zusammenhängen brauchbare Korrelationsannahmen anzugeben (ROLLINGSON 1993). In dieser Arbeit werden im Abschnitt 8 jeweils die 1- und 2-seitig signifikanten Werte nach SPEARMEN angegeben.

3.10. Sondierungen und Schürfe in den Talsedimenten des E-Gessentals

Zur Erstellung eines genetischen geologischen/sedimentologischen Geländemodells des E-Gessentals sowie zur Ermittlung hydrogeologischer Parameter wurden 150 Bohrungen abgeteuft sowie vier Schürfe beprobt und aufgenommen. 1997 und 1998 wurden im Gessental vier COBRA-Sondierungen (B1-B4) abgeteuft (Abb. 17), an denen die petrografische Beschaffenheit des Bohrguts in Anlehnung an DIN 4022 sowie anhand einer Schlüsselliste zur Auswertung von Schichtenverzeichnissen des Geologischen Landesamtes Schleswig Holstein (BRESSAU 1972) beschrieben wurde. Sedimentart, Korngröße und Sortierung wurden mittels Fingerprobe, das Vorhandensein von Kalk mit 10%-iger Salzsäure bestimmt. Diese Bohrungen bildeten eine Grundlage für die geoelektrische Messungen (ANALYTEC 2000) und wurden während einer Diplomarbeit FRIEDRICH (1998) als Interpretationsgrundlage verwendet.

Neben diesen vier Sondierungen wurden im Rahmen eines Bohrprogramms gemeinsam mit der Wismut GmbH im Sommer 2000 145 trockene Rammkernsondierungen mit einem Durchmesser von 80 mm bzw. 60 mm abgeteuft. Die petrografische Beschaffenheit des Bohrguts wurde im Gelände sowohl von Mitarbeitern der Wismut GmbH als auch von einem Mitarbeiter der Instituts für Geowissenschaften (IGW), FSU Jena aufgenommen. Die Beschreibung des Materials von Seiten der FSU erfolgte nach den o.g. Richtlinien. Die

Materialbeschreibungen wurden mit den Mitarbeitern der Wismut GmbH abgestimmt und ausgetauscht. Sämtliche Bohrungen sind in Anhang 3 dargestellt.

In den Trockenbohrungen wurden 102 gestörte Mischproben gewonnen. 96 davon wurden von der Wismut GmbH untersucht, 6 im Sedimentlabor des IGW. Vier temporäre Schürfe (1919/55, 1880/59, 4266/59, 4298/60) wurden ebenfalls petrografisch und fotografisch dokumentiert (Anhang 9). Zusätzlich konnten 19 schichtbezogene Proben gewonnen werden (Anhang 4). Die Proben wurden in Plastikgefäßen abgefüllt in die Labore der Wismut bzw. des IGW Jena überführt und bis zur Weiterverarbeitung (Siebung und Schlammung s.u.) trocken und kühl gelagert.

Zur Bestimmung der Korngrößen und der Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte) wurden im IGW Jena die Anteile an Ton, Schluff, Fein-, Mittel- und Grobsand sowie Kies nach DIN 18123 bestimmt. Hierfür wurde von 200-500 g Probe der Feinanteil < 125 µm abgetrennt und der Schluff- und Tonanteil durch Aräometermessungen nach DIN 18123 bestimmt. Die Korngrößenanalyse im Grobanteil erfolgte nach Trocknung mit 60°C mit einer Siebauswahl nach DIN 4188, Teil 1. Aus diesen Anteilen konnte die Korngrößen d10, d50 und d60, der Ungleichförmigkeitsgrad U (d60/d10) und die Durchlässigkeitsbeiwerte nach BEYER (1964) ermittelt werden.

Im Sedimentlabor der Wismut GmbH erfolgte ein nasse Abtrennung der Fraktion <0,063 mm. Der Anteil > 0,063mm wurde trocken gesiebt, der Anteil < 0,063 mm mit Hilfe eines Partikelgrößenanalysators der Marke COULTER LS analysiert. Die erlangten Resultate wurden dem IGW zur Verfügung gestellt und mit den o.g. Korngrößen- und Summenparametern ausgewertet. Sie gehen in das genetisch-sedimentologischen Geländemodells des Untersuchungsgebietes E-Gessentals ein (Abschnitt 7).

3.11. Geoelektrische Erkundungen der Talsedimente des Gessentals

Um die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes von der Erdoberfläche zu messen, werden elektrische Widerstandsmessungen angewendet. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit σ ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes R eines Gesteins

$$\text{Gl. XV: } \sigma = \frac{1}{R} \quad [\Omega^{-1} \cdot m].$$

Die spez. elektr. Leitfähigkeit bzw. der spez. elektr. Widerstand ρ sind materialspezifisch und direkt von den (hydro)geologischen Eigenschaften der Gesteine abhängig. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind die Wassersättigung, der Elektrolytgehalt des Grundwassers, die

Porosität des Gesteins, die Korngröße sowie die Geometrie und Beschaffenheit des Mediums, dem niederfrequenter Wechselstrom zugeführt wird.

Grundlage der Messung bildet das Ohmsche Gesetz (II), welches besagt, dass der Strom I direkt proportional zur Spannung U und umgekehrt proportional zum spezifischen elektrischen Widerstand R eines Materials ist

$$\text{Gl. XVI: } I = \frac{U}{R} \quad \text{bzw. } R = \frac{U}{I} \quad [\Omega\text{m}].$$

Die Beziehung zwischen dem Widerstand R und dem spezifischen Widerstand ρ sowie den geometrischen Eigenschaften des Mediums, der Länge l und des Querschnitt A, lautet:

$$\text{Gl. XVII: } R = \mathbf{r} \bullet \frac{l}{A}$$

Der dem Gestein über Elektroden zugeführte Strom kann mit Hilfe der elektrischen Feldstärke E

$$\text{Gl. XVIII: } E = \frac{U}{l}$$

und der Stromdichte j

$$\text{Gl. XIX: } j = \frac{I}{A}$$

in die allgemeine Form des Ohmschen Gesetzes überführt und beschrieben werden

$$\text{Gl. XX: } E = \mathbf{r} \bullet j$$

Mittels von 4-Punkt Anordnungen wird bei der Geoelektrik die Tiefenabhängigkeit des spez. elektr. Widerstand bestimmt (Abb. 11).

Hierbei fließt zwischen den Elektroden A und B der erzeugte Strom, die Sonden M und N messen die resultierende Potentialdifferenz ΔU . In einem homogenen Halbraum, der einer Halbkugelfläche entspricht, verteilt sich I gleichmäßig um die Stromquelle. Im Abstand r beträgt die Stromdichte

$$\text{Gl. XXI: } j = \frac{I}{2\pi r^2}$$

Nach Gl. XVIII beträgt die Feldstärke bzw. die Potenzialänderung

$$\text{Gl. XXII: } E = \mathbf{r} \bullet j = \frac{\mathbf{r} \bullet I}{2\pi r^2}$$

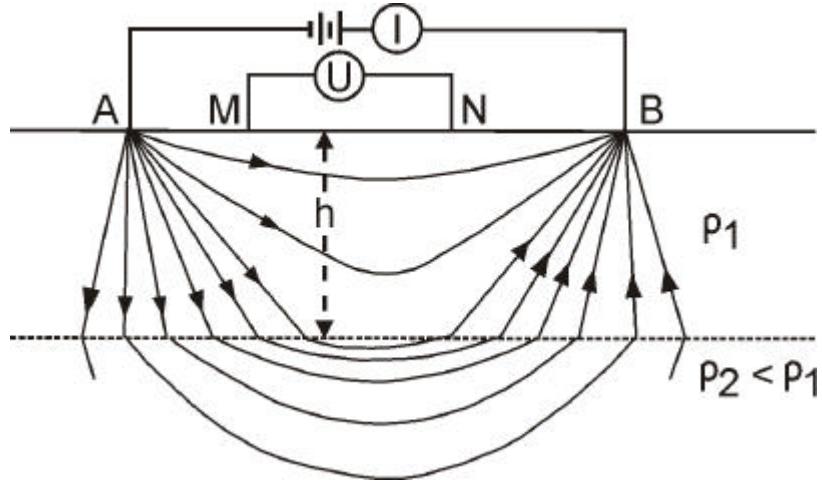


Abb. 11: Stromlinien zwischen den Elektroden (A, B) und den Sonden (M, N) in einem geschichteten Medium. Die Stromdichte nimmt nach unten ab (BERCKHEMER, 1990, MEYER DE STADELHOFEN 1991).

Aus Gleichung Gl. XXII ergibt sich für ΔU zwischen den Elektroden M und N folgende Grundlagenbeziehung für 4-Punkt-Auslagen in der Geoelektrik

$$\text{Gl. XXIII: } \Delta U_{MN} = r \frac{I_{AB}}{2p} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right) \right] \Rightarrow$$

$$r = \frac{\Delta U_{MN} 2p}{I_{AB} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right) \right]} = K \frac{\Delta U}{I}$$

K bildet hierbei den Geometriefaktor der Elektrodenanordnung. Die Inhomogenität des Untergrundes führt zu einer Verformung der Äquipotenziallinien. Die gemessenen Werte für U und I repräsentieren somit nicht den wahren spez. Widerstand ρ , sondern einen scheinbaren spezifischen Widerstand ρ_a .

Für die flächenhafte und punktuelle Erkundung der quartären Ablagerungen und deren Basis wurden im östlichen Gessental geoelektrische Sondierungen und Kartierungen durchgeführt. Hierbei wird ein niederfrequenter Wechselstrom I mittels Elektroden (A, B) in den Boden eingespeist. Im Untergrund baut sich in Abhängigkeit von der in der Tiefe vorliegenden Gesteinsfolge ein elektrisches Feld auf, wo mit den Sonden M und N die Potenzialdifferenz (Spannung) U abgegriffen wird. Aus Spannung, Stromstärke und den geometrischen Maßen der Messanordnung lässt sich der scheinbare spezifische elektrische Widerstand ρ_s errechnen. Die widerstandsgeoelektrischen Messungen wurden mit unterschiedlichen Anordnungen durchgeführt. Verwendet wurden z.T. mit Hilfe eines Multi-Core-Kabels die Schlumberger-

Kartierung (ANALYTEC 2000) sowie die Schlumberger als auch die Wenner-Sondierung (u.a. von ANALYTEC 2000, FRIEDRICH 1998).

Grundlage für die angewendete geoelektrische Kartierung bzw. Profilierung bildet die Schlumberger-Konfiguration (Abb. 12). Bei dieser Vierpunktanordnung (AMNB) beträgt der Abstand der beiden äußeren Elektroden A und B ein Mehrfaches (3-5mal mehr) des inneren Abstandes zwischen M und N (JACOBS & MEYER 1992, MEYER DE STAELHOFEN 1991). Bei symmetrischer Anordnung der Elektroden (AB) und der Sonden gilt für den scheinbaren Widerstand ρ_s der untersuchten Schicht:

$$\text{Gl. XXIV} \quad r_s = \frac{\rho \overline{AS}^2 U}{\overline{MNI}}$$

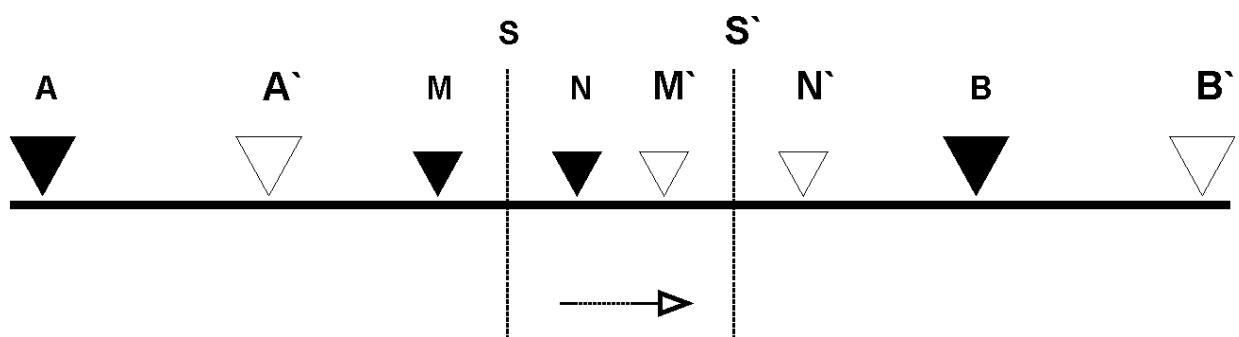


Abb. 12: Messprinzip der Geoelektrik für die geoelektrische Kartierung mittels Schlumberger-Anordnung. mit $\overline{AS}=\overline{BS}$ und $\overline{MS}=\overline{NS}$ bzw. $\overline{A'S}=\overline{B'S}$ und $\overline{M'S}=\overline{N'S}$. Der Abstand der Elektroden A und B beträgt ein Mehrfaches des inneren Abstandes zwischen den Sonden M und N. Nach der Sondierung am Punkt S wird unter Beibehaltung der Elektroden und Sondensymmetrie an Punkt S' sondiert.

Die geometrische Messanordnung wird beibehalten und über eine Messlinie bewegt. Damit wird die laterale Widerstandsänderung flächenhaft und tiefenkonstant kartiert, wobei die Erkundungstiefe abhängig von der gewählten Elektrodenanordnung und den Leitfähigkeitverhältnissen im Untergrund 1/3 bis 1/8 der Aufstellungsweite AB beträgt. Unter der Erkundungstiefe wird jene Tiefe verstanden, in der ein Stromfluss mit der größten Wichtigkeit verläuft und die Bodenschichten auf den gemessenen Summenwiderstand den stärksten Einfluss haben.

Die widerstandsgeoelektrische Kartierung wird u.a. für die flächenhafte Erkundung der Verteilung von rolligem (Sand/Kies) und bindigem (Schluff/Ton) Lockermaterial eingesetzt. Bei tektonisch oder faziell bedingten rasch wechselnden Verwitterungstiefen kann mittels der geoelektrischen Kartierung die Tiefenlage der Grenze zwischen Locker- und Festgestein abgeschätzt sowie die Wasserführung beurteilt werden (TELFORD et al. 1990). Es wurde angenommen, dass die untersuchten Lithologien abschnittsweise horizontal lagern und sich bzgl. ihrer Widerstände hinreichend unterscheiden.

Über tiefenabhängig gemessene Spannungswerte wird ein Widerstands-Tiefen-Profil erstellt, um daraus einen Schichtenaufbau des Untergrundes abzuleiten. Dieses Messverfahren wird vertikale elektrische Sondierung oder geoelektrische Widerstandssondierung genannt. Bei der zum Einen verwendeten WENNER-Konfiguration (Abb. 13) werden Elektroden und Sondenabstände unter der Voraussetzung $AM=MN=NB=a$ vergrößert: Der spezifische Widerstand ρ_s wird aus Gleichung XI berechnet.

$$\text{Gl. XXV} \quad r_s = \frac{2pU}{I} \frac{1}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)}$$

Somit folgt für den scheinbaren Widerstand

$$\text{Gl. XXVI} \quad r_s = \frac{2paU}{I}$$

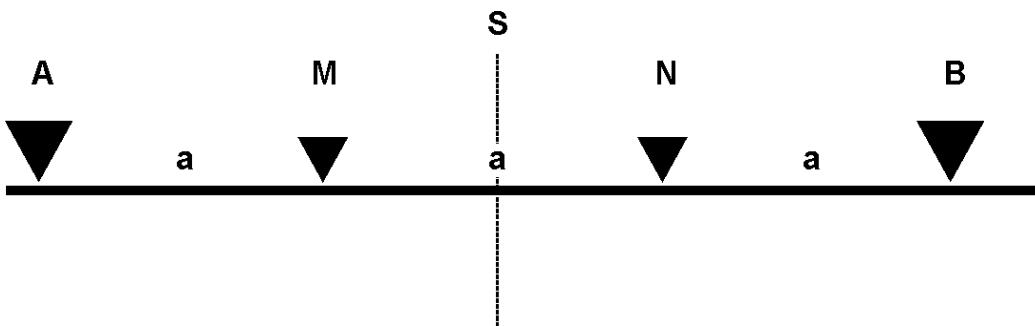


Abb. 13: Messprinzip der Geoelektrik für die geoelektrische Sondierung mittels Wenner-Anordnung mit $AM = MN = NB$. Somit können Aussagen über die am Sondierungspunkt S ermittelte Widerstands-Tiefenbeziehung getroffen werden.

Zum Anderen wurde die Schlumberger-Sondierungen durchgeführt, wobei wie bei der Kartierung die Vierpolkonfiguration AMNB verwendet wird. Hierbei werden die Abstände der Elektroden A und B schrittweise vergrößert. Der Abstand der Sonden M und N wird verändert, wenn die Spannungsänderung gering wird. Der scheinbare Widerstand wird nach Gleichung IX berechnet.

Im Sommer 1998 wurden 17 geoelektrische Sondierungen (S10 bis S24), davon 14 von FRIEDRICH (1998) sowie drei eigene (S24 bis S26) im E-Gessental mit einer Schlumberger VES-Anordnungen niedergebracht. Die Lokationen dieser Sondierungen sind in Anhang 3 verzeichnet. Die Auslagen betrugen zwischen 100 und 250 m. Die Änderung des Abstandes $MN/2$ von 0,5 auf 1 m sowie auf 2 m erfolgte bei $AB/2=10$ m bzw. 50 m. Die verwendete Spannung wurde bei größeren Auslagen bis auf 200 Volt erhöht. Die Punkte wurden jeweils im Anschluss vermessen. Für die Sondierungen wurde ein Messgerät der Marke Syscal R1

der Firma IRIS genutzt, zur Auswertung wurde das Programm RESIXP (Vertrieb HARBOURDOM, Bonn) verwendet. Die Ergebnisse der Sondierungen sind wurden in GELETNEKY & BÜCHEL (1999) dargestellt und sind in Anhang 3 aufgeführt. Sie gingen in die Beschreibung der Geologie des E-Gessentals (Abschnitts 7.2) ein und bilden die Grundlage für die von der Wismut beauftragte geoelektrische Erkundung des E-Gessentals (ANALYTEC 2000).

Von einer lokalen Bezugslinie ausgehend (Profillinie E2, Abb. 44) wurden von ANALYTEC (2000) im Zeitraum Dezember 1999 bis Mai 2000 im lateralen Abstand von 10 m zueinander Kartierungsprofile mit einem Messpunktabstand von 4 m bearbeitet. Die Profile wurden eingemessen. Der Abstand der äußeren Stromeinspeiseelektroden betrug 40 m und die Distanz der inneren Potenzialelektroden 10 m. Die Erkundungstiefe liegt für diese Anordnung bei etwa 1/5 der Aufstellungsweite L folglich 8 m. Wegen der z.T. niederohmigen Widerstandsverhältnisse im Untersuchungsgebiet kann die Eindringtiefe etwas geringer sein. Die Messprofile wurden zur Verminderung des topographischen Einflusses Richtung der Tallängsachse gelegt (Abb. 12). Die vorliegenden Werte des gemessenen scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes ρ_s wurden in einer Isoohmenkarte dargestellt (Abb. 44). Dadurch können gutleitende niederohmige und deutlich höherohmige Bereiche abgegrenzt werden. Die von ANALYTEC (2000) durchgeföhrten geoelektrischen Widerstandsmessungen wurden als Sondierungen in Form von Multielektrodenmessungen durchgeföhr. Somit können sich geoelektrische Kartierung und Sondierung ergänzen, was auch als Messung von „Widerstands-Pseudosektionen“ bezeichnet wird. Dabei werden in einer Auslage eine festgelegte Anzahl Elektroden äquidistant gesteckt und über ein Multi-Core-Kabel mit dem Steuergerät verbunden. Über eine programmgesteuerte Elektrodenauswahl mittels eines in die Geoelektrik-Apparatur integrierten Computers werden verschiedene symmetrische Vierpunkt-Anordnungen gemessen. Die daraus resultierenden scheinbaren elektrischen Widerstände können verschiedenen Wirktiefen (Z-Niveaus) zugeordnet werden. Die Widerstandsdarstellung der ρ_s -Werte ohne expliziten Tiefenbezug wird als „Widerstands-Pseudosektion“ bezeichnet.

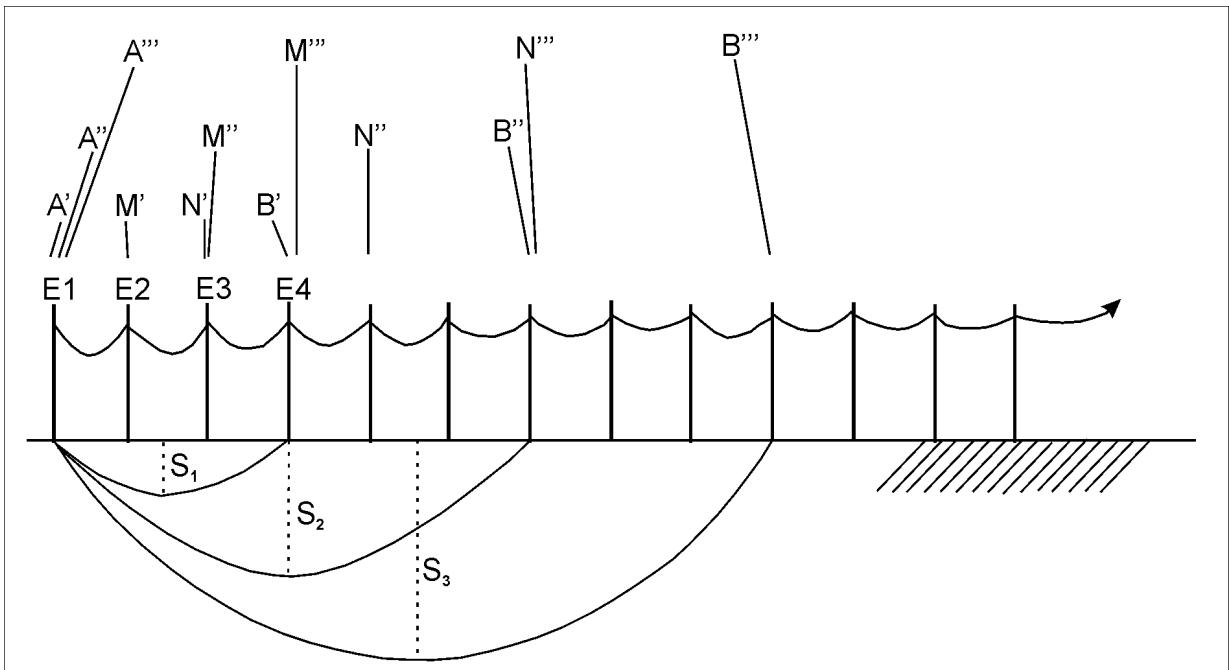


Abb. 14: Messprinzip der Geoelektrik als Multielektrodenmessung. Mit Hilfe eines Multi-Core-Kabel werden die Elektroden äquidistant gesteckt und rechnergesteuert eine große Anzahl unterschiedlicher symmetrische Vierpunktanordnungen gemessen, wobei sich Lage der Sondierpunkte $S_1, S_2, S_3, \dots, S_x$ verändert (ANALYTEC (2000), veränd.).

Für die Sondierungen wurden Wenner-Konfigurationen mit einem Elektrodenabstand von 2 m ausgewählt (E1-E19 aus Abb. 44). Für eine insgesamt 98 m lange Auslage erfolgte die Messung auf zehn Messniveaus ($z = 10$). Zusätzlich wurden weitere 25 Elektroden in die 2D-Messung einbezogen. Unter Berücksichtigung des z.T. sehr niederohmigen Untergrund wurde eine Eindringtiefe von mindestens 14 m erreicht. Bei höheren Widerstandswerten ($> 50 \Omega\text{m}$) erhöht sich die Eindringtiefe der genutzten Elektrodenanordnungen nach WENNER auf > 16 m.

Der eingespeiste Strom lag zwischen 5 und 10 mA. Die Übergangswiderstände betrugen stets weniger als $2 \text{ k}\Omega$. Die Steuerung der Geoelektrik-Apparatur zur Auswahl der jeweiligen Elektroden und Sonden erfolgte über einen geräteinternen PC mit gerätespezifischer Software. Die Messungen wurden je nach Breite der Talaue in ein bis zwei Messlinien längs der Talachse durchgeführt. Die Anordnung erfolgte orthogonal in Abständen zwischen 50 und 100 m quer zur Talachse. Diese Messprofile für die Multielektrodengeoelektrik wurden als E 1 bis E 7 bezeichnet. Die Lage der Messlinien, die Ausrichtung und die Länge kann der (Abb. 45) entnommen werden. Die Multielektroden-Messungen und die geoelektrischen Kartierung wurden unter Verwendung der Apparatur vom Typ GE 100/GK 100 der GeoSys Umwelttechnik und Geogeräte GmbH Leipzig und mehrerer Multi-Core-Kabel durchgeführt. Die standortbezogenen stratigrafischen Interpretationen der geoelektrischen Messdaten erfolgte mittels des Rechnerprogramms RS2DINV 2.04 (LOKE 1999). Ein Abgleich fand über

die in GELETNEKY & BÜCHEL (1999) niedergebrachten Eichbohrungen B1 und B2 statt (Anhang 3), wobei ein Anfangsmodell aus Bodenschichten mit veränderlicher Geometrie und bodenartabhängigen Widerständen angenommen wurde. Mit den erhaltenen Widerstandsdatensätzen wurde von ANALYTEC (2000) eine Inversion durchgeführt, um eine möglichst optimale Anpassung der Modellrechnung an dem gemessenen Datensatz zu erreichen und damit ein möglichst realitätsnahes geologisches Modell zu beschreiben. Die Inversion wurde für jedes der separat gemessenen Profile als 2D-erhält man einen NN-bezogenen Widerstands-Tiefen-Schnitt (Abb. 45). Die Ergebnisse der geoelektrischen Sondierungen wurden innerhalb dieser Arbeit geologisch und sedimentologisch interpretiert und werden in Abschnitt 7.2 vorgestellt.

4. HYDROLOGIE

Die hydrologische Situation im Einzugsgebiet des Gessenbaches wird zunächst in die großräumige hydrologische Situation im Westen des Ronneburger Uranbergbaureviers eingegliedert. Das im Anschluss aus historischen Quellen recherchierte vorbergbauliche hydrologische und hydrogeologische Regime im Vergleich mit der rezenten Situation im Arbeitsgebiet E-Gessental bildet eine entscheidende Grundlage für die Abschnitt 4.1.2 aufgeführte geologische Interpretationen im E-Gessental. Während einer Wasserhaushaltsbetrachtung werden die einzelnen Elemente der Wasserhaushaltsgleichung aus der Literatur, internen Antragsunterlagen sowie eigenen Recherchen auf der Basis von Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes und der Wismut GmbH zusammengefasst und hinsichtlich ihre Modifizierung durch den Bergbau untersucht. Diese bilden die Basis für eine Klassifizierung der Vorflutersysteme des Gessental nach hydraulischen Gesichtspunkten in Abhängigkeit vom Grad der anthropogenen Beeinflussung.

4.1. Der Gessenbach

4.1.1. Orohydrografisches Einzugsgebiet des Gessenbaches

Die hydrologischen Untersuchungen konzentrieren sich auf das orohydrografisches Einzugsgebiet des Gessenbaches. Es liegt im Einzugsbereich der Weißen Elster und wird gegen Osten durch die N/S- bzw. NW/SE-verlaufende Wasserscheide von der nach Nordosten entwässernden Großensteiner Sprotte sowie der nach Norden bzw. Osten fließenden Sprotte getrennt (Abb. 1, Abb. 15). Sie verläuft zwischen den Ortschaften Raitzhain, Paitzdorf und Reust nach Süden.

Die Grenze des orohydrografischen Einzugsgebietes des Gessenbaches verläuft im NW-Teil von der Weißen Elster im Westen über die Ronneburger Höhe (296 mNN) bis zum Flughafen Gera-Leumnitz (Abb. 1). Es umschließt das Teileinzugsgebiet des Zaufensgrabens. Weiter nach Osten verläuft die Nordgrenze parallel zur Autobahn bis in den Bereich der Anschlussstelle Ronneburg. Im Osten liegt die Grenze ungefähr auf einer N/S-Linie zwischen Raitzhain und dem Reuster Berg. Im Süden grenzt das Oberflächeneinzugsgebiet des Wipsebaches an das des Gessenbaches. In diesem Bereich wurde die Zentral- bzw. die Absetzerhalde aufgeschüttet. Nach Südwesten verläuft die Grenze westlich Kauern und nördlich von Kaimberg über den 281,4 mNN hohen Elsterberg nach Westen zur Weißen Elster. Es können mehrere Teileinzugsgebiete abgegrenzt werden, wobei die Einzugsgebiete des östlichen Gessenbaches, des Badergrabens und des Zellenbaches, des westlichen

Gessenbaches einschließlich des Thränitzbaches sowie des Lammsbaches die wichtigsten sind.

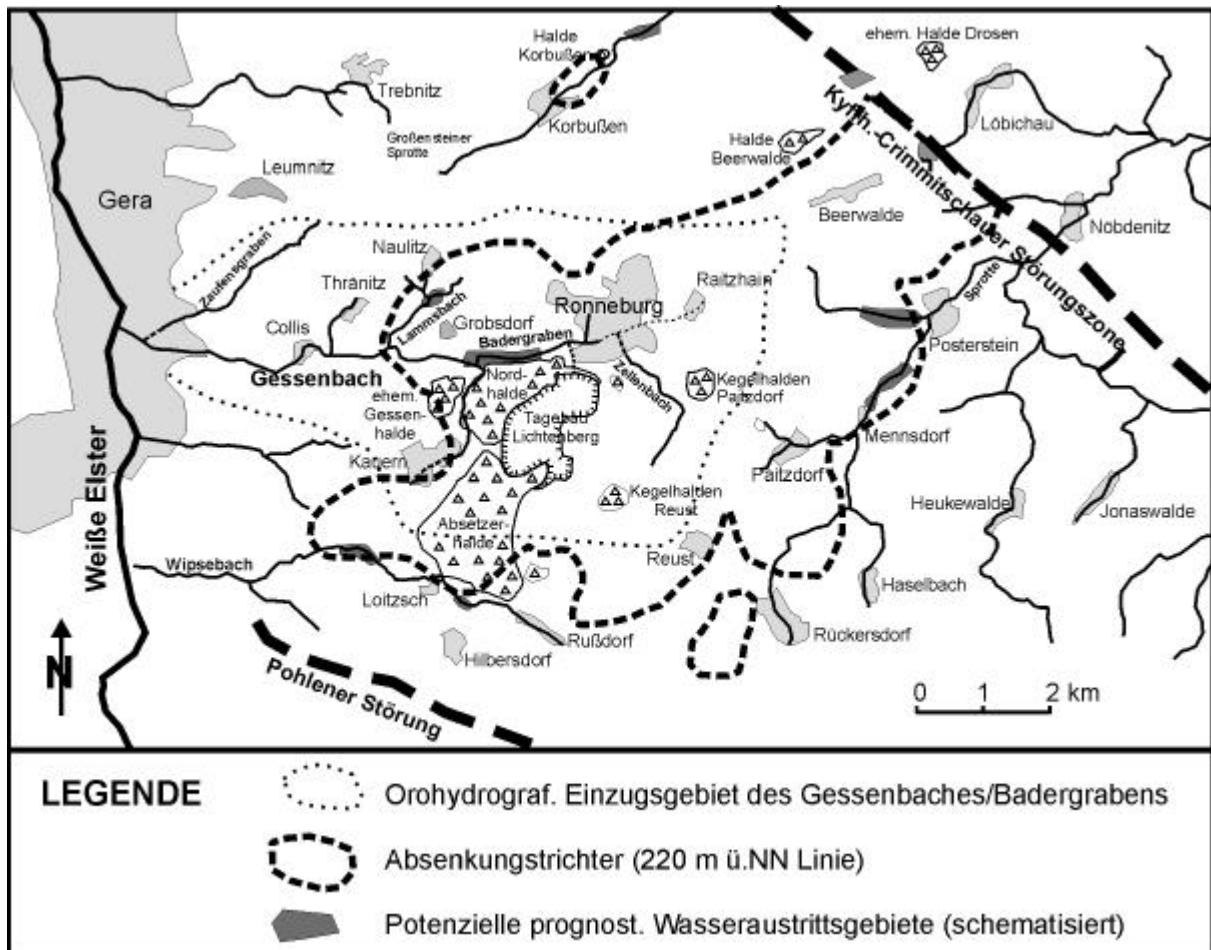


Abb. 15 Orohydrografisches Einzugsgebiet des Gessenbaches/Badergrabens im Ronneburger Uranbergbaugebiet sowie Kontur des bergbaubedingten Absenkungstrichters des Grundwassers (Stand 1996, nach Unterlagen der WISMUT GmbH) mit den prognostizierten potenziellen Flutungswasser-Austrittsstellen nach PAUL et al. (1998).

4.1.2. Historische Entwicklung des Gessentals vor dem Bergbau

Zum Verständnis der Entwicklung des E-Gessentals ist es notwendig, die zumeist anthropogen verursachten Veränderungen des Wasser- und Straßennetzes in historischer Vorbergbauzeit zu betrachten.

Die vor 1945 im östlichen Gessental bestehenden Ortslagen, Straßen und Wege sind in Abb. 16 dargestellt. Besondere Bedeutung für das Untersuchungsgebiet weisen die Orte Ronneburg, Grobsdorf, Kauern, Gessen (bis 1966), Lichtenberg (bis 1955) und Schmirschau (bis 1962) auf. Die Verbindungsstraße zwischen Gessen und Grobsdorf verlief von Gessen nach N unter der ehemaligen Eisenbahnstrecke zwischen Gera und Ronneburg hindurch, folgte dem Gessental bis zur Mittelmühle und bog schließlich nach N in Richtung Grobsdorf. Aus der Topograph. Aufn. des Königl. Preuß. Generalstabes von 1908 ist ersichtlich, dass ein

unbefestigter Weg von der Gessenmühle in Richtung Ronneburg führte, der südlich des Zuflusses des ehemal. Schmirchauer Baches auf die Verbindungsstraße Schmirchau - Ronneburg bzw. Gessen – Ronneburg traf. Im Umfeld der Ortschaft Schmirchau wurden seit Beginn des 19. Jahrhunderts Steine und Erden (Sandtagebau Schmirchau) gewonnen. Während des Baus der Autobahn von Gera nach Meerane entstand im Bereich des heutigen Tagebaus Lichtenberg ein 16 ha großer Sandtagebau (MÜLLER 1993). Die ehemalige Bahnlinie Gera – Ronneburg lief am südlichen Gessental auf einem z.T. noch heute sichtbaren Trasse. 1970/71 wurde die Bahnlinie Gera-Ronneburg verlegt. Die Verlegung der Straße zwischen Grobsdorf und Kauern nach W erfolgte nach 1960.

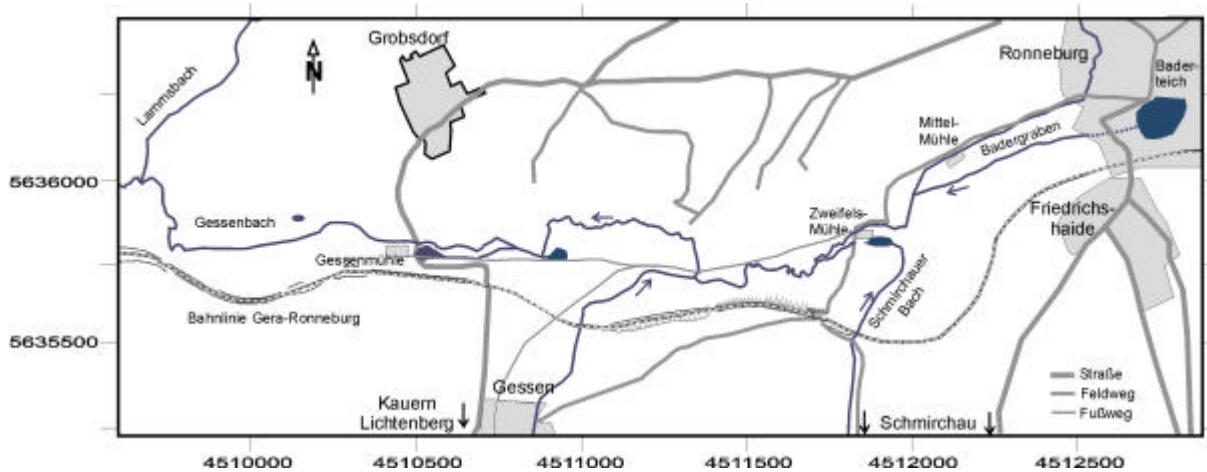


Abb. 16: Schematisierte Lage des Straßen- und Gewässernetzes sowie der ehemaligen Ortslagen im östlichen Gessental, Stand 1942, rekonstruiert aus Unterlagen der Wismut GmbH sowie der topograph. Aufnahme des Königl. Preuß. Generalstabes (1908), Stand 1942.

Der Gessenbach, nach GILBERT (1893) Wälzenbach, nahm seinen Ausgang ursprünglich auf den ehemals sumpfigen Wiesen NE von Raitzhain, E von Ronneburg. Über den Raitzhainer Teich, entlang des neuen Teiches führte der Bach in Richtung Baderteich (Abb. 15, Abb. 16). Im Stadtgebiet von Ronneburg floss dem auch als Stadtbach (GILBERT 1893), Welzenbach bzw. Ronneburger Bach (v. SEIDLITZ, 1930) bezeichneten Gewässer der Zellenbach zu. Der Zellenbach (Gessenbach nach GILBERT 1893) entsprang in der Nähe des Ronneburger Brunnengehölzes/Zellenwaldes bei Paitzdorf und nahm in seinem Verlauf das Wasser der 1657 erstmals erwähnten bzw. 1766 (wieder)entdeckten Urquelle, der Rasenquelle, der Eulenhofer Quelle und der 1687 entdeckten Schwefelquelle auf (HAUPTMANN, 1657). Diese Mineralquellen werden umfassend bei PILLING (1667), GRIMMS (1770), KÖNIGSDÖRFER (1768, 1834), SOMMER (1840), KRONFELD (1861), und BECKER-LAURICH (1866) beschrieben. Der Gessenbach führte vorbei am Ronneburger Schloss ins Gessental. Hier floss er im Südtteil des Gessentals in westliche Richtung. Nördlich zweigte ein Mühlgraben in Richtung der ehemaligen Mittelmühle sowie zur Steinmühle ab. Im weiteren Verlauf floss dem Gessenbach

der Schmirchauer Bach zu. Dieser hatte sein Quelle E der ehemaligen Ortslage Schmirchau. Im Bereich des Zusammenflusses mit dem Gessenbach befand sich die ehemalige Zweifelsmühle sowie ein kleiner Teich (Abb. 16).

Anfang des 20. Jahrhunderts befanden sich die drei Quellen des sog. „Kleinen Gessenbaches“ (GILBERT 1893) W als auch E und NE von Kauern. Die Quellbäche flossen in einem Teich (heutiger Pohlteich) zusammen. Aus dem Pohlteich floss der „Kleine Gessenbach“ in nördliche Richtung entlang der Verbindungsstrasse Kauern-Gessen zur Ortslage Gessen. Er durchfloss sowohl südlich als auch östlich von Gessen kleinere Teiche. Ca. 250 m N unterquerte der Bach die ehemalige Eisenbahnstrecke Gera-Ronneburg und floss in NE-Richtung. Im S-Teil des Gessentals vereinigte sich der „Kleine Gessenbach“ mit dem aus Ronneburg fließenden Gessenbach (heute Badergraben). Der von hier mit dem Namen „Gessenbach“ bezeichnete Bach floss im nördlichen bzw. im mittleren Gessental in Richtung der ehemaligen Verbindungsstraße Grobsdorf–Gessenmühle–Gessen. Ungefähr im Bereich des heutigen Zusammenflusses Badergraben/Gessenbach befand sich ein Teich (WISMUT 2000). Hier zweigte ein Mühlgraben ab, der parallel zum Gessenbach verlief und durch einen weiteren Teich zur ehemaligen Gessenmühle führte (Abb. 16). Von dort aus verlief der Gessenbach entlang seines heutigen Bachbettes bis zum Lammsbach und bis zur Ortslage Collis, wo sich eine weitere Mühle (Collis-Mühle) befand. Der Verlauf wurde im Bereich der heutigen Kläranlage Ronneburg/Grobsdorf begradiert. Nördlich befand sich ein weiterer kleiner Teich.

4.1.3. Rezenter Verlauf des Gessenbaches

Durch den Bergbau wurden die Ortschaften Gessen und Alt-Lichtenberg liquidiert und der Schmirchauer Bach überbaggert. Der Verlauf des Gessenbaches wurde im Bereich der NW-Nordhalde verkürzt. Ein Teil des alten Verlaufes wurde von der Nordhalde überschüttet. Am Nordrand des Gessentals wird das ehemalige Bachbett des Gessenbaches vom heutigen Badergraben durchflossen (vgl. Abb. 15, Abb. 16).

Die Entwässerung des Untersuchungsgebietes erfolgt über den E/W-verlaufenden Gessenbach. Der Gessenbach entspringt südlich bzw. innerhalb der Ortschaft Kauern. Er fließt zunächst ca. 2 km nach Norden, passiert dabei den Bereich zwischen der Nordhalde und der ehemaligen Gessenhalde und biegt im Zusammenfluss mit dem aus Osten kommenden Badergraben nach Westen um. Der Bach wurde zwischen der ehemaligen Bahnstrecke Gera-Ronneburg kanalisiert und gefasst (s.o.). Im Bereich der Verbindungsstraße Grobsdorf-Kauern westlich der Kläranlage Ronneburg quert der Gessenbach den Westrand des bergbaubedingten Absenkungstrichters (Abb. 15, vgl. Abschnitt 5.2.2, Abb. 35). Außerhalb

des Absenkungstrichters ist ein differierendes Abflussverhalten festzustellen, weshalb der westliche Gessenbach gesondert beschrieben wird (s.u.). Nach ca. 6 km Fließstrecke mündet der Gessenbach in der Stadt Gera in die nach Norden entwässernde Weiße Elster (Abb. 15). In seinem Verlauf nimmt der Gessenbach die durch die Kläranlage Grobsdorf eingeleiteten Abwässer Ronneburgs sowie an mehreren Stellen Drainage- und Quellwasser auf. In den Stadtgebieten von Collis und Gera werden zusätzlich z.T. ungeklärte Abwässer eingeleitet.

Der Badergraben im östlichen Gessental und der Lammsbach im westlichen Gessental bilden die beiden bedeutendsten permanent fließenden natürlichen Zuflüsse. Der Badergraben entspringt im Bereich von Raitzhain, NE von Ronneburg, führt in seinem Oberlauf zwischen Ronneburg und Raitzhain jedoch nur periodisch Wasser. Im Stadtgebiet von Ronneburg wird er zum einen durch die dort vorhandenen Feuerwehrteiche, zum anderen derzeit noch durch Abwasser aus dem westlichen Stadtgebiet gespeist. Der aus Richtung Paitzdorf kommende und nicht permanent wasserführende Zellenbach mündet in Ronneburg in den Badergraben. Ca. 750 m vor der Hausmülldeponie Ronneburg versinkt Wasser in den Untergrund. Der Zellenbach wirkt zzt. als reiner Abwassersammler (USAKO 1991).

In Vorbergbauzeiten nahm der Badergraben westlich von Ronneburg den zzt. durch die Nordhalde verschütteten ehemaligen S-N verlaufenden Schmirchauer Bach auf (s. Abschnitt 4.1.2). Der Badergraben ist in seinem überwiegenden Verlauf begradigt und kanalisiert sowie im Bereich der Nordhalde an den Nordrand der Talsohle verlagert worden. Die Mündung in den Gessenbach befindet sich nach ca. 2,5 km Fließstrecke südlich von Grobsdorf.

Die drei Quellregionen des Lammsbaches grenzen z.T. unmittelbar an die Ortschaft Naulitz. In seinem Verlauf nach Osten nimmt der Lammsbach nach ca. 100 m Fließstrecke Wasser aus einer nördlich gelegenen Quellregion auf. Nach ca. 350 m Fließstrecke vereinigt sich der westliche Lammsbach mit dem aus Naulitz kommenden nördlichem Lammsbach sowie nach ca. 450 m mit einem überwiegend trockenen östlichen Teilbereich. Mit seinem nachfolgend NE/SW-gerichteten Lauf entwässert er ein ca. $3,3 \text{ km}^2$ großes Gebiet zwischen Grobsdorf und Thränitz. Der Lammsbach ist in seinem Mittel- und Unterlauf künstlich begradigt und an die SE-Seite des Tales verlegt worden und mündet nach ca. 1,5 km in den westlichen Gessenbach (Abb. 15).

Im Stadtgebiet Gera mündet der aus NE-Richtung fließende und z.T. unterirdisch geführte Zauffensgraben in den Gessenbach. Der Zauffensgraben entspringt südlich von Leumnitz und entwässert den nordwestlichen Bereich des Gessenbach-Einzugsgebietes.

Im Einzugsgebiet des Gessenbaches befinden sich der Tagebau Lichtenberg, die Nordhalde, die ehemalige Gessenhalde, ein großer Teil der Absetzerhalde, die beiden Spitzkegelhalden-

Paare von Reust und Paitzdorf, die Betriebsgelände und -einrichtungen sowie der untertägige Abbaubereiche. Die Gessenhalde, eine ehemalige Laugungshalde, ist bis auf Reste der Aufstandsfläche bereits in den Tagebau Lichtenberg eingelagert worden. Derzeit werden die Nord- und Absetzerhalde in den Tagebau verbracht.

Der untertägige Abbaubereich wird von einem steilen Depressionstrichter umgeben, dessen Westrand das Gessental im Bereich der Verbindungsstraße Grobsdorf-Kauern sowie im Bereich des Lammsbaches quert (s.o., Abb. 15).

4.1.4. Gewässerprofil des Gessenbachs

Im März 1999 wurde das Gefälleprofil entlang des Unterlaufes des Badergrabens und des Oberlaufes des Gessenbaches vermessen (vgl. Abschnitt 3.2). Die überwiegende Anzahl der 51 vermessenen Punkte (Abb. 17) befindet sich im zentralen Sohlenbereich der Vorfluter.

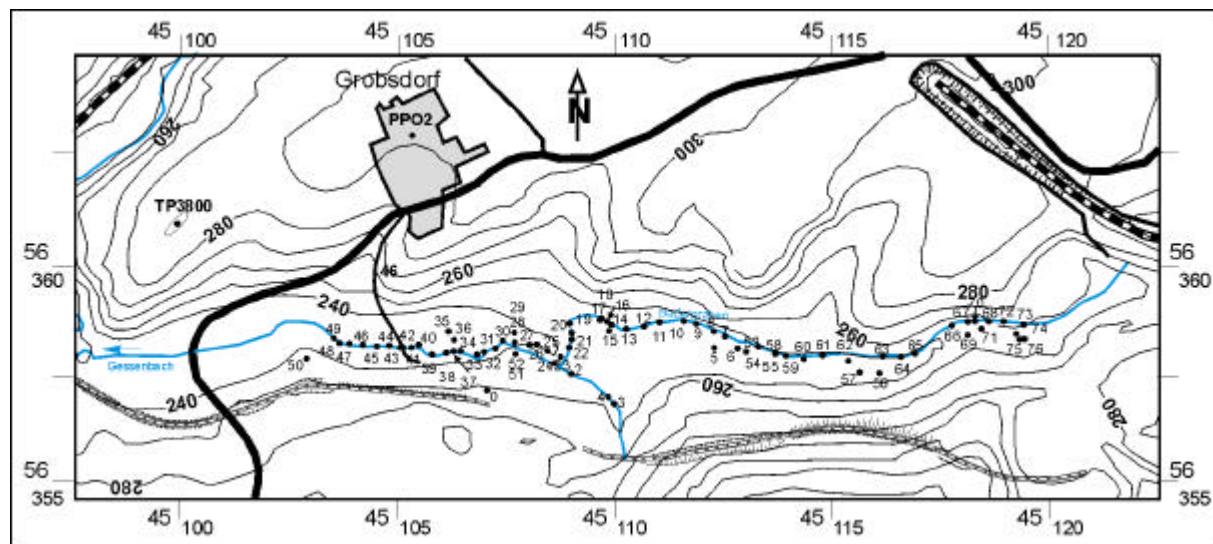


Abb. 17: Vermessene Punkte zur Erstellung eines Gefälleprofils sowie zur Raum- und Höhenlage der Messpunkte und Bohrungen (35: B1, 36: B2, 15: B3, 5: B4) im östlichen Gessental vom März 1999.

Es zeigt sich ein nahezu einheitliches Gefälleprofil im Badergraben (Abb. 18). Im untersuchten Bereich fällt der Badergraben auf einer Fließstrecke von ca. 1169 m um 12,68 m was $0,62^\circ$ bzw. 1 % entspricht. Deutlich ist der zwischen 155 m und 640 m Fließstrecke in einer ca. 1 m breiten Betonfassung geführte Teilbereich mit einer leicht erhöhten Neigung von 1,4 % zu erkennen. Im Anschluss verringert sich das Gefälle des Badergrabens im 1 bis 1,5 m breiten Bachbett.

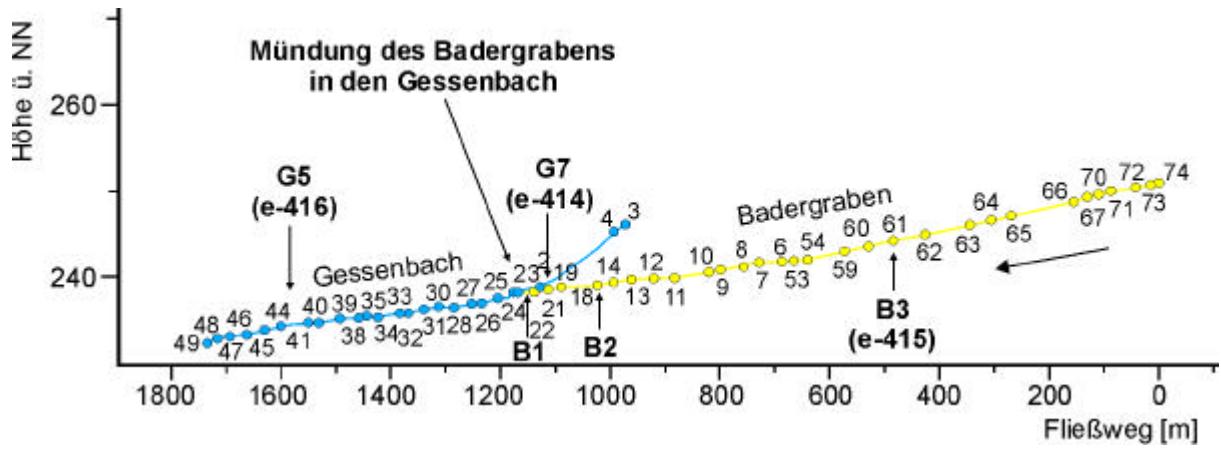


Abb. 18: Profil des Sohlengefälles im Oberlauf des Gessenbach bzw. im Unterlauf des Badergrabens, ca. 1:7 überhöht.

Das relativ steile Gefälle des Gessenbaches mit ca. $2,6^\circ$ bzw. 4,5 % nördlich der ehemaligen Eisenbahnstrecke Gera-Zwickau ist ebenfalls auf den künstlich angelegten Bachverlauf zurückzuführen. Der Gessenbach wird hier in Betonelementen kanalisiert an der Nordhalde in nordwestliche Richtung geführt. Das ausgebauten Bachbett verkürzt den Verlauf des Gessenbaches stark (vgl. Abb. 16) und erhöht somit die Fließgeschwindigkeit und den Feststofftransport des Gewässers. Nach Zusammenfluss mit dem Badergraben tritt eine künstlich angelegte ca. 40 cm hohe Gefällestufe auf. Im weiteren Fließverlauf ist das Gefälle des natürlichen Baches durch verschiedene Windungen verflacht. Auf eine Fließstrecke von 529,8 m tritt ein Höhenunterschied von 5,08 m auf, was einem Sohlengefälle von $0,55^\circ$ (ca. 1 %) entspricht.

4.2. Wasserhaushalt im Einzugsgebiet des Gessenbaches

Großräumige Untersuchungen zum Wasserhaushalt wurden von der Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra bzw. vom Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt angefertigt. Verwendet wurde das für Festgesteingrundwasserleiter entwickelte Programm paket GEOFEMLAS bzw. die Weiterentwicklung GEOFEM, in dem Gebietsparameter des Wasserhaushalts rasterbezogen eingehen. Das Modell basiert auf Datenreihen zwischen 1951 und 1975 (GABRIEL et al. 1989, TMLNU 1996). Umfassende Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Ronneburger Uranbergbaugeschäftes führte außerdem die WISMUT GmbH im Rahmen der Wasserhaltung im Uranbergbau durch (BRENK SYSTEMPLANUNG 1995). Im Zuge der Sanierung der Region und der Flutung der unterirdischen Grubenbaue wurden weitere Untersuchungsergebnisse zum Wasserhaushalt vorgelegt (BCE 1995). Kleinräumige Untersuchungen zu verschiedenen Problemstellungen im östlichen Gessental wurden im Rahmen einer Diplomarbeit angefertigt (ZEGGEL 2001).

Tab. 8: Wasserhaushalt einzelner Teileinzugsgebiete im Gessental, u.a. berechnet mit GEOFEM (Dr. Ziegler, S. Giese, frdl. mündl. Mitteilung, TLUG 2001) und nach ZEGGEL (2001) sowie eigenen Berechnungen. Erläuterung im Text, n.b.: nicht bestimmt.

Beschreibung	GEOFEM		
Gebiet	Gessental	Östliches Gessental	Lammsbachthal
Fläche [km ²]	11,5	19,8	3,3 km ²
Mittlere Geländehöhe [m ü.NN]	267	n.b.	n.b.
Niederschlag ohne Windfeldkorrektur [mm]	580	630	630
Niederschlag mit Windfeldkorrektur [mm]	658	687 (nach BAGROV)	687
Potenzielle Evapotranspiration [mm]	485	667 (nach PENMAN)	667
Reale Evapotranspiration [mm]	467	474 (nach BAGROV)	474
Potenzielles Grundwasserdargebot [mm]	191	213	213
Direktabfluss [mm]	156	184	201
Grundwasserneubildung [mm]	35	29 (nach LILLICH)	12 (nach LILLICH)

4.2.1. Niederschlag

Das Klima in Thüringen ist hauptsächlich durch atlantische Einflüsse geprägt und wird in Ostthüringen verstärkt kontinental beeinflusst. Das Untersuchungsgebiet befindet sich klimatisch im Übergangsbereich zwischen dem relativ regenreichen Klima des Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirges und dem des relativ warmen und trockenen Altenburg-Zeitzer Lössgebietes. Der langjährige Niederschlag (1857-1956) im ostthüringischen Uranbergbaugebiet beträgt 631 mm/Jahr, die Jahresdurchschnittstemperatur 8,1°C (SÄNGER 1993, USAKO 1991). Damit ist die Niederschlagsmenge geringer als das langjährige Mittel für das Bundesland Thüringen von 693 mm/Jahr. Die Niederschlagsverhältnisse im Untersuchungsgebiet sind relativ einheitlich ausgebildet. Die vom TMLNU (1996) ermittelten rasterbezogenen Niederschlagsverteilungen zeigen im Ronneburger Revier einen Gebietsniederschlag von einheitlich 600 bis 650 mm. Aus Zeitreihen zwischen 1997 und 2000 der Niederschlagsstationen Gera-Leumnitz, Ronneburg und Gera-Untermhaus berechnet ZEGGEL (2001) einen mittleren Niederschlag für das Gessental von 630 mm/a. Diesen Wert wird nach DYCK (1996) infolge Messunsicherheiten um 9 % erhöht, was zu einem korrigierten Niederschlag von 687 mm/a führt. Die Niederschlagswerte zeigen, verglichen mit langjährigen Zeitreihen der DWD-Station Ronneburg, überdurchschnittlich hohe Niederschläge für das Jahr 1998 (Abb. 19). Der durchschnittliche Monatsniederschlag der Station Ronneburg der Jahre 1981 bis 1997 (aus überlassenen Datenreihen der Wismut GmbH) konnte errechnet werden und ist in Abb. 19 dargestellt. Für die Jahre 1999-2000 liegen die Werte unter bzw. im langjährigen Niederschlagsmittel, wobei der größte Teil der Niederschläge in den Sommermonaten in Form von Starkregenereignissen fällt. Für das südliche Seelingstädtter Revier und die östlichen Bereiche des Untersuchungsgebietes werden 650 bis 700 mm berechnet. Die durchschnittlichen Monatsniederschläge wurde innerhalb dieser Arbeit aus überlassenen Datenreihen der Wismut GmbH. Für den Niederschlag im

Einzuflussgebiet wurde auf Tageswerte der Jahre 1997 bis 2001 von den DWD-Stationen Gera-Leumnitz, Gera-Untermhaus und Ronneburg zurückgegriffen.

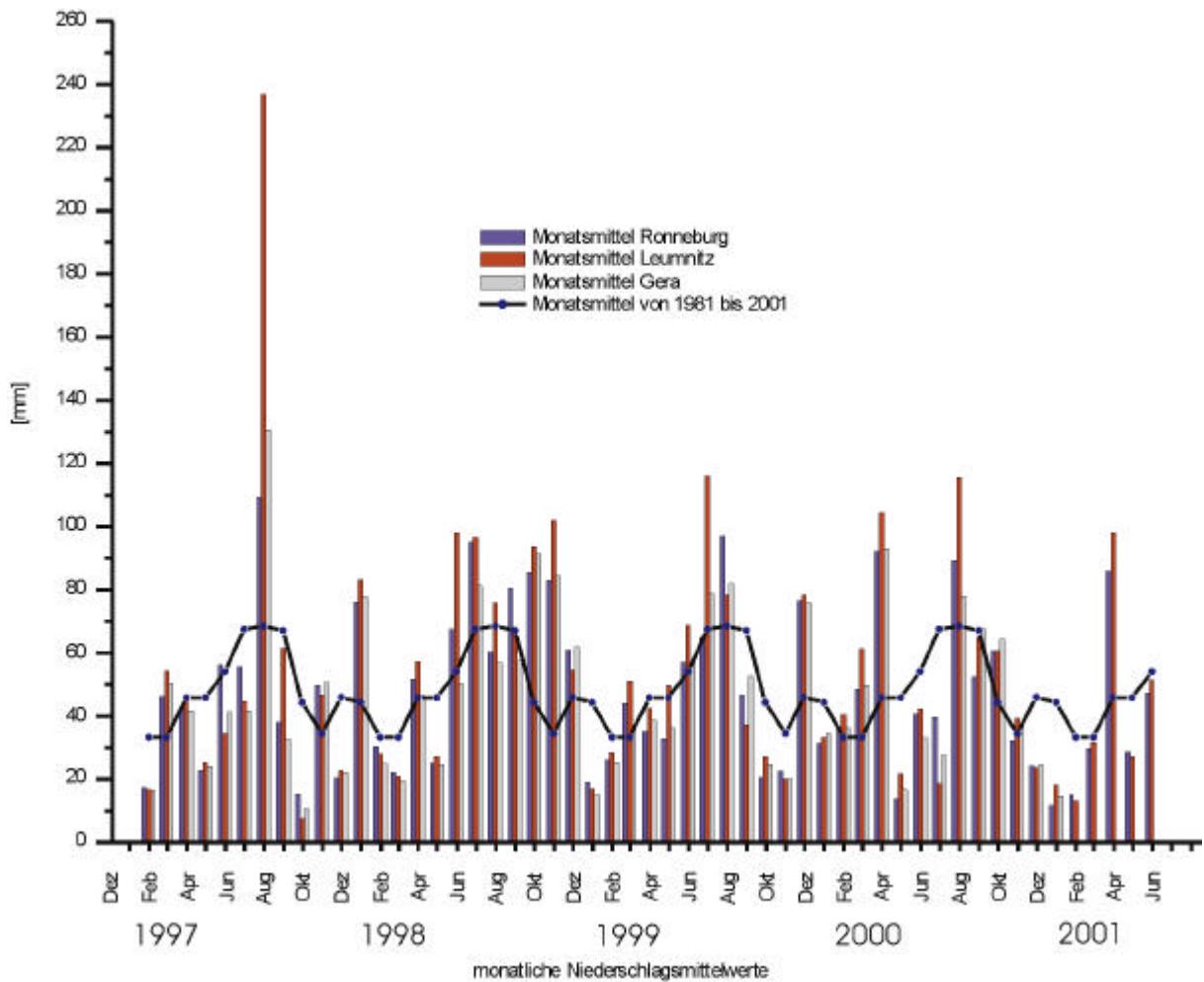


Abb. 19: Monatsniederschlag der Stationen Gera-Leumnitz, Ronneburg und Gera-Untermhaus 1997 bis 2001 gegenüber dem durchschnittlichem Monatsniederschlag zwischen 1981-2001.

4.2.2. Evapotranspiration

Die potenziellen (ETP) und realen Evapotranspiration (ETR) im Untersuchungsgebiet wurde, bezogen auf die Einzuflussgebiete unter Berücksichtigung der Parameter Geländehöhe, Hangneigung, Azimut, Region, Bodennutzung und Gewässerzahl, berechnet (TMLNU 1996). Die Bestimmung des Wertes für ETP erfolgt mit empirisch-statistischen Verfahren und basiert auf meteorologischen Daten (z.B. HAUDE, TURC-WENDLEIN). Außerdem kommen kombinierte Verfahren (z.B. PENMAN), die zusätzlich Strahlungsgrößen (Globalstrahlung etc.) berücksichtigen sowie Wasserhaushaltsmodelle zum Einsatz (DVWK 1996, TMLNU 1996, GABRIEL et al. 1989). Die überwiegende Zahl der angeführten Abschätzungen beziehen sich auf ungestörte Landschaften ohne spezielle Berücksichtigungen der einflussnehmenden Halden und Bergbaubereiche

Nach DYCK & PESCHKE (1983) liegt die potenzielle Verdunstung im Gebiet bei ca. 600 mm/a. Die mit Hilfe des Programmpaketes GEOFEM anhand von langjährigen Wasserhaushaltsdaten in einem 11,5 km² großem Teilbereich des Gessentals berechnete ETP liefert Werte von 465 mm/a (Dr. Ziegler, S. Giese, frdl. mündl. Mitteilung, TLUG 2001). Die reale Evapotranspiration (ETR) wurde für Teileinzugsgebiete des Gessenbaches und seiner Zuflüsse mit verschiedenen Verfahren berechnet. Die ETR zeigt im Untersuchungsgebiet regionale Streuungen, wobei die Werte im Ronneburger Revier zwischen < 400 bis 500 mm/a schwanken. Die maximalen Werte für ETR treten in der Nähe von Vorflutern auf (TMLNU 1996). LOWSON & BROWN (1995) und die Wismut GmbH (BRENK SYSTEMPLANUNG 1995) gehen von einer mittleren Evapotranspiration von 500 mm/a aus. Im Wasserhaushaltsmodell GEOFEM ermittelte ETR-Werte für den o.g. Bereich belaufen sich auf 467 mm (Dr. G. Ziegler, TLUG, frdl. mündl. Mitt. 2001). Die potenzielle und reelle Verdunstung für das gesamte Gessental wurde von ZEGGEL (2001) anhand von Zeitreihen zwischen 1997 und 2000 berechnet. Anhand von empirischen Verfahren nach HAUDE, PENMAN und TURC-WENDLING (DVWK 1996) wurden mittlere Jahresdurchschnittswerte für die potenzielle Evapotranspiration von 546 mm/a (nach HAUDE) bis 667 mm/a (nach PENMAN) im betrachteten Zeitraum berechnet. Für die reale Evapotranspiration errechnete ZEGGEL (2001) im östlichen Gessental nach BARGOV (DYCK 1996) einen Wert von 474 mm/a, welcher sehr gut mit den von GEOFEM ermittelten Werten übereinstimmt. Im 3,3 km² großen Einzugsgebiet des Lammsbaches konnten nach dem BARGOV-Verfahren ETR-Werte zwischen 520 und 546 mm/a ermittelt werden. Grundlage hierfür bildet die anhand der Luftbildauswertung ermittelten unterschiedlichen Nutzungsbereiche im Einzugsgebiet (landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche Nutzung sowie versiegelte Flächen), für die je nach Flächenanteil unterschiedliche Effektivitätskoeffizienten ermittelt wurden. Diese führen im BARGOV-Verfahren zu einer anhand von Kennwerten errechneten Verhältnis der ETR zu ETP. Diese Werte liegen im Vergleich zu den o.g. um ca. 10 bis 15 % höher, was an der hauptsächlichen landwirtschaftlichen Nutzung und der geringen Versiegelung in diesem Bereich liegt.

4.2.3. Oberirdischer Abfluss

Der oberirdische Abfluss (A_O) des ostthüringischen Uranbergbaugebietes erfolgt hauptsächlich über die o.g. Vorfluter Wipsebach, Gessenbach und Sprotte im Norden sowie den Fuchsbach und Lerchenbach im Süden. Sämtliche Oberflächengewässer der Region sind zzt. anthropogen durch Bergbau sowie durch Haus- und Industrieabwässer beeinflusst und repräsentieren nicht die natürlichen Abflussverhältnisse der oberirdischen Einzugsgebiete. Im Norden des ostthüringischen Uranbergbaugebietes bestand bis 1998 ein ca. 50 km² großer bergbaubedingter Absenkungstrichter des Grundwassers (Abb. 15). Die erfolgte teilweise Entwässerung der Grundwasserleiter des Grund- und Deckgebirges in großen Bereichen der oberirdischen Einzugsgebiete bewirkt eine Vergrößerung des unterirdischen Abflusses (A_U) und somit eine Verminderung der A_O/A_U -Verhältnisse. Der als Grubenwasser anfallende Anteil des A_U wird zeitlich verzögert aus oberirdischen Einzugsgebieten weggeführt und an andere Vorfluter abgegeben. Dieser massive Eingriff in den oberirdischen und unterirdischen Wasserhaushalt des Gebietes wirkt sich somit auf die Wasserführung der Oberflächengewässer aus. Ein großer Anteil des oberirdischen Abflusses im Wipsebach und in der Sprotte wurde z.T. in Abhängigkeit von der Wasserqualität und –quantität der Vorfluter im ostthüringischen Uranbergbaugebiet und der Bergbauabwässer geregelt, wofür von der Wismut GmbH ein umfassendes Monitoringsystem betrieben wird.

Im Zuge der Wasserhaltung wurde das anfallende Grubenwasser der Betriebsteile Reust, Schmirchau und Paitzdorf aus dem Einzugsgebiet des Gessentals bis März 1998 über das Rußdorfer Becken vorgereinigt dem Wipsebach zugeführt. Den nach Osten entwässernden Vorfluter Großensteiner und Paitzdorfer Sprotte im Norden liefen bis Juli 2000 die Gruben- und Klärwässer des ehemaligen Sanierungsbetriebs Drosen, bzw. der Betriebsteile Drosen, Beerwalde und Korbußen zu.

Im Frühling und Sommer 1992 wurden noch ca. 900 m³/h Bergbau- und Betriebsabwässer in den Wipsebach eingeleitet (NOACK et al. 1993). Die jährlichen Abgabemengen über den Wipsebach und die Sprotte für 1994 sowie die Wasserführung der Vorfluter sind in Tab. 9 aufgeführt. Die jährlichen Gesamtabgabemengen an z.T. gereinigten betrieblichen Abwässern im Sanierungsbetrieb Ronneburg sind in Abb. 20 ersichtlich.

Tab. 9: Wasserführung in ausgewählten Vorflutern mit summarischer Einleitmenge 1994 (in Klammern). Die Einleitmenge in die Sprotte bei Bükersdorf setzt sich zusammen aus dem Ablauf Klärbecken Paitzdorfer Sprotte, Auflandebecken Beerwalde, Regenwasserbecken Drosen, Kläranlage bei Löbichau (nach WISMUT 1994 a, b).

Vorfluter	Nr. der Probenahmestelle	Wasserführung 1993	Wasserführung 1994 in Klammern Einleitmenge
		m³/h	m³/h
Wipse (Mündung)	e-410	702	862 (766)
Gessenbach vor Badergraben	e-414	15	30
Gessenbach nach Badergraben	e-416	133	149
Weisse Elster nach Wipsezulauf	e-423	33316	47470
Weisse Elster nach Gera	e-419	36043	51604
Sprotte bei Korbußen	s-619	32	24
Sprotte bei Drosen	s-621	310	538
Sprotte bei Bükersdorf	s-609	1723	2464 (271)

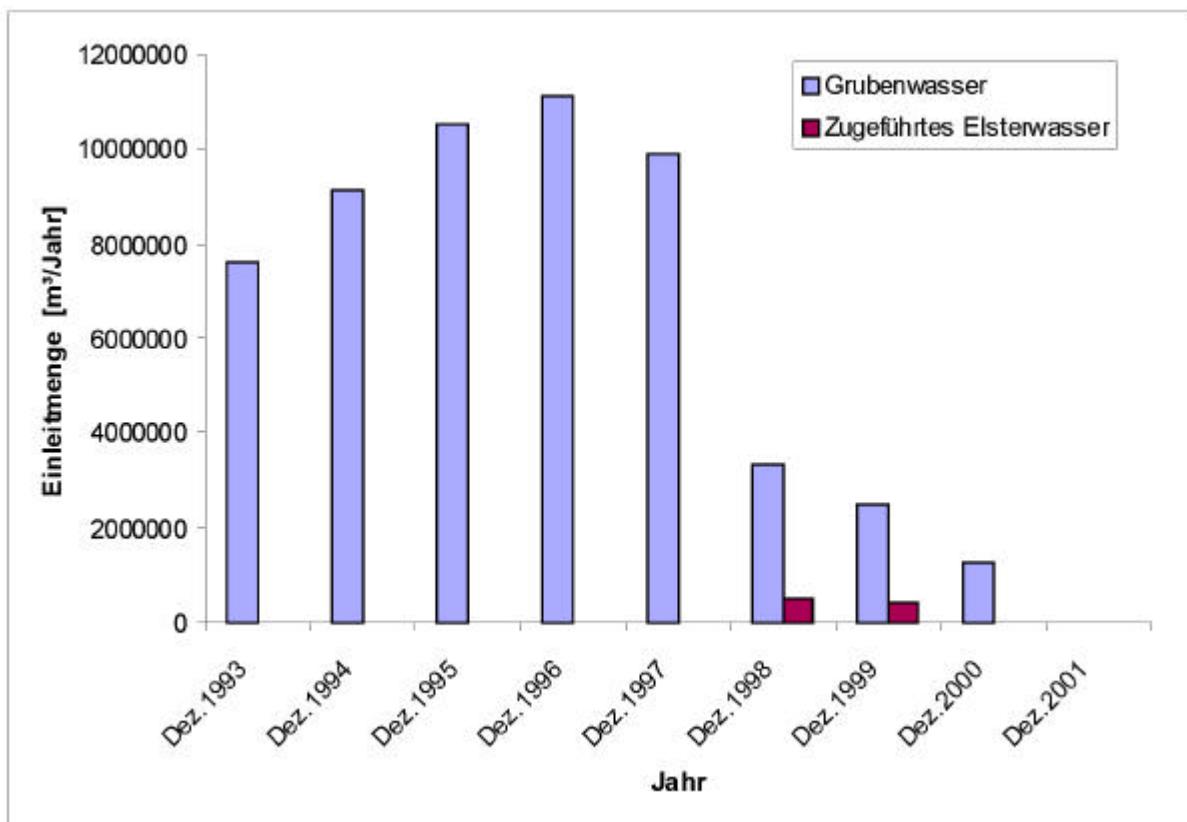


Abb. 20: Gesamtmenge an betrieblichen Abwässern im Sanierungsbetrieb Ronneburg sowie dem Wipsebach zugeführtes Fremdwasser aus der Weißen Elster (nach WISMUT 1997b, 1998b, 1999, 2000, 2001).

Seit Beginn der Flutung des untertägigen Grubengebäudes Anfang 1998 wird dem Wipsebach Wasser der Weißen Elster zugegeben, um eine Mindestwasserführung von 850 m³/ Tag (ca. 10 l/s) zu gewährleisten. Diese Menge betrug 1998 ca. 490.000 m³ und 1999 über 400.000 m³ (WISMUT 1998b, 1999). Im Jahr 2000 erfolgte eine Verringerung der Abgabemenge. Seit April 2001 wird kein Fremdwasser der Weißen Elster mehr in den Wipsebach geleitet.

Für den westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bildet die Weiße Elster den entscheidenden Vorfluter. Der langjährige mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) beträgt 4,1 m³/s. Am 11.8.1992 führte die Weiße Elster 4,4 m³/s, im Juni 1992 wurden am Pegel Greiz 4,75 m³/s gemessen (SCHMIDT & REICHARDT 1993, SCHULZE 1993). Die mittlere Abflussmenge (MQ) bei Gera beträgt nach Werten der N-A-U-Karte des Inst. f. Wasserwirtschaft, Berlin, 14,6 m³/s (MÜLLER et al. 1998).

Die Abflussdynamik des Gessenbaches, des Badergrabens und des Lammsbaches wird in Abschnitt 4.3 beschrieben. Der gesamte Abfluss ($A_u + A_o$) im 19,8 km² großen östlichen Gessental wird von ZEGGEL (2001) nach der Wasserhaushaltsgleichung mit 213 mm/a (133 l/s/m²) bestimmt. Für das Einzugsgebiet des Lammsbaches errechnet sich ein Gesamtabfluss von 167-140 mm/a (14-17 l/s/m²).

4.2.4. Grundwasserneubildung

Die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung besteht aus einzelnen Abflussteilen, die nach der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung in einen unterirdischen Anteil (A_u) und einen oberirdischen Anteil (A_o) aufgeteilt werden. Die Infiltration von Niederschlagswasser und Oberflächenwasser führt zu Grundwasserneubildung. Dieser Wert trägt als unterirdischer Abfluss an Quellen und Grundwasseraustrittsstellen zum Gesamtabfluss (A_{ges}) bei.

Die natürliche Grundwasserneubildung beträgt im Ronneburger Revier zwischen <50 mm bis 150 mm/Jahr. In Teilbereichen beträgt die Grundwasserneubildungsrate zwischen 150 mm und 200 mm/Jahr (GABRIEL et al. 1989, TMLNU 1996). In einem 1,83 km² großem Rotliegendausstrich bei Thränitz ermittelte VEB HYDROGEOLOGIE (1980) eine Grundwasserneubildung von 101 mm/a, was allerdings als zu hoch angenommen wird. Die Grundwasserneubildung für das Einzugsgebiet des Gessenbaches, berechnet nach dem Programmpaket GEOFEM, beträgt 35 bis 46 mm/a (Dr. G. Ziegler, S. Giese, TLUG, frdl. mündl. Mitt. 2001).

Der Trockenwetterabfluss aus dem Teileinzugsgebiet östliches Gessental wurde von ZEGGEL (2001) auf Grundlage überlassender stichtagsbezogener Abflussmessungen der Wismut GmbH am Messpunkt G5 (Wismut-Bezeichnung e-416) berechnet. Der Abfluss an diesem Messpunkt wurde durch Addition der Abflüsse der Messstellen B3 bzw. B2 (e-415) und G7

(e-414) errechnet (Abb. 10). Der für die Jahre 1998 und 1999 in Anlehnung an ein Verfahren nach LILLICH (1970) ermittelte durchschnittliche Trockenwetterabfluss wird als unterirdischer Abfluss bzw. als Maß für die Grundwasserneubildung angenommen. ZEGGEL (2001) ermittelt so einen Trockenwetterabfluss von 29 mm/a (Tab. 8). Obwohl somit die Grundwasserneubildung in ähnlichen Größenordnungen wie die mit Hilfe des Programmpaketes GEOFEM bereichte Neubildung liegt, weist ZEGGEL (2001) auf mögliche Fehler hin. So ist der Abfluss im Gessenbach hauptsächlich durch die Zugabe kommunaler Abwässer beeinflusst. Eine hydraulische Ankopplung an das regionale Grundwassergeschehen ist nicht gegeben. Das Gelände ist infolge des Bergbaus durch den Depressionstrichter verändert, was die Anwendung der verwendeten Verfahren z.T. erheblich erschwert. Ein großer Teil des versickernden Niederschlagswasser in den Absenkungstrichter, wurde z.T. aus dem unterirdischen Einzugsgebiet geführt (s.o.) und fließt seit 1998 dem ansteigenden Grundwasser im Bereich des bergbaubedingten Absenkungstrichter zu. Für die Bestimmung des stichtagsbezogenen Trockenwetterabflusses im 3,2 km² großen Einzugsgebiet des Lammsbaches standen lediglich vier Werte im Zeitraum 1998 bis 2000 zur Verfügung, die den Forderungen von LILLICH (1970) entsprachen (4.3.4). Der mittlere Trockenwetterabfluss berechnet sich mit dieser geringen Datenbasis auf ca. 12 mm/a (s.u.).

4.3. Abflussdynamik im Gessental

Der oberirdische Abfluss über den Oberlauf des Gessenbach zwischen Ronneburg und Grobsdorf, den Badergraben, den Unterlauf des Gessenbaches zwischen Grobsdorf und Gera sowie über den Lammsbach sind infolge des Bergbaus und zufließender Abwasser- und Regenwasseranteile aus den flächenversiegelten Stadtgebieten verändert. Im Einzugsgebiet des Gessenbaches führte die SDAG Wismut bzw. die Wismut GmbH seit 1988 wöchentliche bis 2-wöchentliche Messungen durch. Diese Datenreihen werden z.T. neu interpretiert und in ein innerhalb dieser Arbeit entwickeltes Klassifizierungsmodell überführt. Eine detaillierte Auswertung stichtagsbezogene Schüttungsmessungen seit 1997 werden im Rahmen dieser Arbeit an den in Abschnitt 3.4 beschriebenen Messpunkten angeführt. Die Einteilung erfolgt nach in Abschnitt (4.3.5) beschriebenen hydraulischen Gesichtspunkten.

4.3.1. Einzugsgebiet des E-Gessenbaches/Badergrabens (Oberlauf, Typ I)

Langjähriges Schüttungsverhalten

Zur Bestimmung des langjährigen Schüttungsverhalten im Oberlauf des Gessenbaches konnte auf Datenreihen der Wismut GmbH zurückgegriffen werden. Die Datenreihen wurden in

dieser Arbeit ausgewertet und interpretiert. Das generelle Abflussverhalten des östlichen Gessenbaches im Vergleich zu einem seiner wichtigsten Zuflüsse im Oberlauf, dem Badergraben, zeigt Abb. 21. Der Grafik zugrunde liegen Abflussdaten des Badergrabens (e-415 = B3 bzw. B2), des Gessenbach kurz vor dem Zusammenfluss mit dem Badergraben (e-414 = G7) sowie ca. 380 m unterhalb des Zusammenflusses mit dem Badergraben (e-416 = G5) aus dem Zeitraum 12/1988 bis 12/1999 (vgl. Abb. 10). Im Normalfall bildet die Summation von G7 und B2 bzw. B3 den Abfluss an Messstelle G5.

Die Messreihen im o.g. Zeitraum lassen sich grundsätzlich in vier Zeitbereiche unterteilen, die ein verschiedenartiges Abflussverhalten aufweisen. Die eingefügten Trendlinien deuten einen unterschiedlich steilen Rückgang des Abflusses des aus Ronneburg kommenden Badergrabens von ca. 300 l/s 1988 auf unter 10 l/s 1999 an. Im Gessenbach geht der Abfluss im dargestellten Zeitraum von ca. 50 l/s auf 5 bis 10 l/s zurück. Der überwiegende Teil des Abflusses bis 1997 wurde durch den Badergraben geprägt. Das durchschnittliche Verhältnis zwischen den Abflüssen im Badergraben (B2, B3) und den Abflüssen im Gessenbach (G7) fällt von 7,2 im Zeitraum 12/88 bis 04/92 bis auf 1,1 zwischen 06/97 bis 12/99. Maximale Abflüsse von über 600 l/s treten an der Messstelle G5 im Juni 1991 und im September 1994 auf.

Die im Zeitraum I auftretenden hohen Abflüsse und das geringe Rückhaltevermögen für Niederschlagswasser im Einzugsgebiet des Badergrabens wird auf großräumige Bodenversiegelung im Stadtgebiet Ronneburg zurückgeführt. Zudem waren vor 1990 noch einzelne Industriesparten der SDAG Wismut in Betrieb, die Industrieabwässer in den Badergraben einleiteten. Ein großer Anteil kommunaler Hausabwässer floss ebenfalls direkt in den Badergraben. Zwischen 1992 und 1994 (Zeitraum II) bzw. bis 1997 (Zeitraum III) kam es infolge des Neubaus des kommunalen Abwassernetzes von Ronneburg und der Einrichtung eines Abwassersammlers im E-Gessental zu einer Abflussverminderung im Badergraben. Die durchschnittlichen Schüttungsmengen gingen auf 126 bzw. 94 l/s zurück. Der Anteil am Gesamtabfluss im Verhältnis zum Gessenbach nahm im gleichen Zeitraum auf ein Verhältnis von 6,4 bzw. 4,4 ab. Mit der Inbetriebnahme der Kläranlage Ronneburg und dem Neubau des Abwasserkanals durch das Gessental wurde seit 1996 ungefähr 80 % des Abwassers der Stadt Ronneburg gereinigt über den Ablauf der Kläranlage abgegeben (Messpunkt Q5, Abb. 10).

Im Einzugsgebiet des Gessenbaches, das Teile der Nord-, Absetzer-, und Gessenhalde und das Stadtgebiet Kauern umfasst, gehen die Abflüsse im betrachteten Zeitraum um 50 % zurück. Großen Anteil am Gesamtabfluss des Gessenbaches haben die kommunalen Abwässer der Stadt Kauern. Dieser verringerte Abflussanteil sowie die erfolgte Umlagerung der

Gessenhalde führte zwischen 1988 und 1999 zu einem Schüttungsabnahme von durchschnittlich 30 l/s auf 14 l/s seit 1997. Im Gessenbach ist ebenfalls eine schnelle Erhöhung des Abflusses nach Starkregenereignissen zu erkennen, was auf ein geringes Retentionsvermögen für Niederschlagswasser bzw. auf eine Flächenversiegelung im Einzugsgebiet hinweist.

Nach Regenereignissen und nach Schneeschmelzen, wie z.B. im Dezember 96, März 97 und Ende Juli 97, ist der Schüttungsanteil des Badergrabens an der Messstelle G5 (e-416) wesentlich höher als der des Gessenbaches. Umgekehrt ist seit Ende 1996 in Zeiten geringen Abflusses in Trockenperioden (Mai bis September 97, Mai 98) die Schüttung des Gessenbaches i.A. höher als die des Badergrabens. Das bedeutet, dass das Einzugsgebiet des Gessenbaches ein höheres Retentionsvermögen für Niederschlag aufweist als das Einzugsgebiet des Badergrabens. Der Badergraben reagiert auf Niederschlagsereignisse infolge der Flächenversiegelung in Ronneburg viel schneller. Der aus diesen Daten bestimmte Trockenwetterabfluss mit zeitlich fluktuierenden anthropogenen Einträgen für 1997 beträgt für den Gessenbach 6 bis 10 l/s und für den Badergraben 2 bis 6 l/s. Aufgrund des anthropogen zugeführten Anteils am Gesamtabfluss des Badergrabens und des Gessenbaches ist eine Abschätzung des Einzugsgebiets bezogenen Trockenwetterabflusses für das östliche Gessental somit fragwürdig.

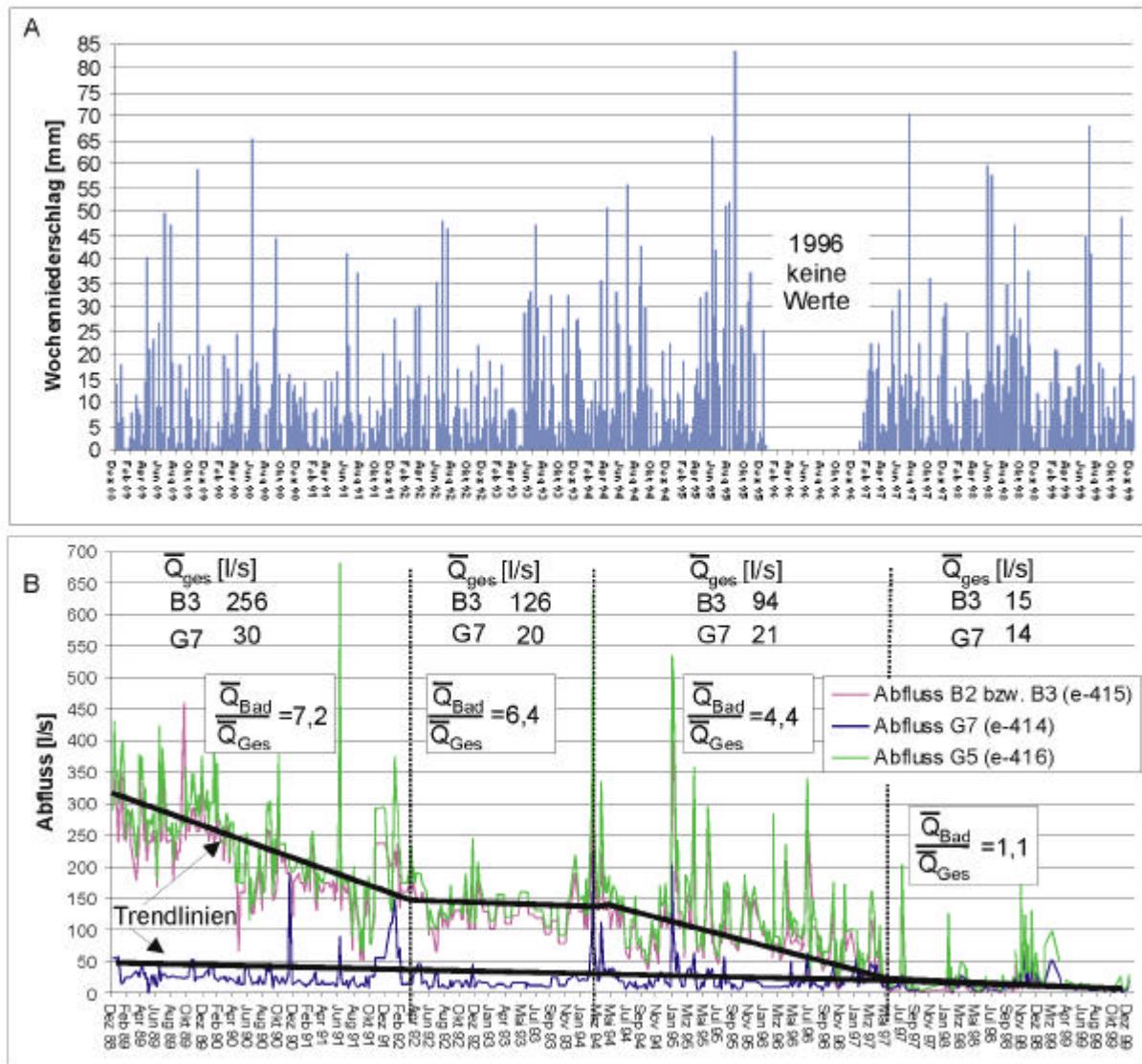


Abb. 21: Durchschnittlicher Wochenniederschlag der Niederschlagsmessstation Ronneburg sowie stichtagsbezogene Abflussmessungen im Badergraben (B3) und im Gessenbaches (G7, G5) zwischen 12/88 und 12/99 aus Datenreihen der Wismut GmbH und des Deutschen Wetterdienstes.

Stichtagsbezogene Abflussmessungen im östlichen Gessental (Oberlauf, Typ I)

Für den Gessenbach und den Badergraben wurden innerhalb dieser Arbeit zwischen 1997 und 2001 stichtagsbezogen Schüttungsmessungen an den in Abb. 10 dargestellten Messpunkten G13, G14, G15, G7, G5 und G6 im Gessenbach und B1, B2 und B3 im Badergraben durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 22a-p, in Abb. Abb. 24a-h sowie in Anhang 5 angeführt, die Methodik sowie die Fehlerbeschreibung ist in Abschnitt 3.3 beschrieben. Die stichtagsbezogenen Abflussmessungen gehen auch in die Betrachtung des Gesamtaustrags aus den einzelnen Gebieten ein (Abschnitt 8.6).

Im Oktober 1997 sowie im April 1998 (Abb. 22a-c) betrug die Schüttungsmenge am Messpunkt G7 10 l/s (± 1 l/s). Im Sommer 1998 (25.07.98 und 8.8.98, Abb. 22d,e) war der Abfluss im Gessenbach mit $2,5 \text{ l/s} \pm 0,25 \text{ l/s}$ bzw. $1,5 \text{ l/s} \pm 0,15 \text{ l/s}$ vergleichsweise geringer. Die am 21.10.98 bestimmte Schüttungsmenge an Messpunkts G13 am Nordrand des Ortes Kauern vor Eintritt des Gessenbaches in den unmittelbaren Einflussbereich der Bergbauhalden betrug ca. $6 \text{ l/s} \pm 3 \text{ l/s}$ (Abb. 22f, vgl. Abschnitt 3.3). Im Einflussbereich der Nordhalde (Bereich ca. 100 bis 400 m Fließweg von Messstelle G13) kommt es zu einem Zufluss an Haldensickerwasser, was die Messung am Messpunkt G7 ($4 \pm 0,4 \text{ l/s}$) zeigt. Der Anstieg der Schüttungsmenge an der Messstelle G5 auf $9 \pm 2 \text{ l/s}$ ist bedingt durch den Zufluss des Badergraben bei ca. 1075 m Fließstrecke des Gessenbaches von Messpunkt G13.

Ein ähnliches Verhalten ist am 27.01.99 zu erkennen, wobei der Abfluss in Fließrichtung G13, G7, G5 von schätzungsweise um 5-6 l/s auf $7,0 \pm 0,7 \text{ l/s}$ bzw. $9 \pm 2 \text{ l/s}$ zunahm (Abb. 22g). Die Zunahme zwischen 1.030 m Fließstrecke (G7) und 1.456 m Fließstrecke ist durch den Zustrom des Badergrabens ($2,0 \pm 0,4 \text{ l/s}$) bedingt. Die Abflussbestimmung im Badergraben zeigte eine Zunahme der Schüttung um ca. $0,5 \text{ l/s}$ auf einer ca. 900 m lange Fließstrecke evtl. infolge effluenter Verhältnisse bzw. dem Zutritt vom Oberflächenwasser (Abb. 25a).

Am 18.3.99 (Abb. 22i, Abb. 25b) zeigt sich nach einem regenreichem Zeitraum im März 1999 am Messpunkt G13 ein Abfluss von $8 \pm 4 \text{ l/s}$. Die Messstellen G15 und G14 weisen einen relativ einheitlichen und über die Fließdistanz allerdings nicht signifikant ansteigenden Abfluss von auf. Am Messpunkt G7 betrug die Schüttung ca. $5 \pm 0,5 \text{ l/s}$. An Messstelle G5 wurde die Schüttung über Addition der Schüttungsmengen von B1 und G7 7 l/s Schüttung ermittelt. Der Abfluss an Messstelle G6 ist eine Fehlbestimmung. Im Badergraben verändert sich der an den Messstellen B1 und B3 gemessene Abfluss von ca. $2 \text{ l/s} \pm 0,2 \text{ l/s}$ auf ca. $8,4 \pm 1,7 \text{ l/s}$ an der Messstelle B2. Vermutlich handelt es sich bei Messung an Punkt B2 um eine Fehlbestimmung bzw. um eine kurzzeitige nicht interpretierbare Erhöhung des Abflusses aus dem Stadtgebiet Ronneburg.

Am 6.6.99 wurden im Oberlauf des Gessenbaches fünf, im Badergraben drei Abflusswerte bestimmt (Abb. 22j, Abb. 25c). Im Gessenbach tritt ein durch das Trockenwetter bedingter geringer Abfluss von ca. 2 l/s auf. Der Zustrom von Haldensickerwasser in den Gessenbach ist im Bereich der Nordhalde zu vermuten, infolge der auftretenden Fehler jedoch nicht eindeutig nachweisbar. Der Zutritt des Badergrabens (B1: $1,5 \pm 0,3 \text{ l/s}$) ist durch eine Abflusserhöhung zwischen den Messstellen G7 ($1,8 \pm 0,2 \text{ l/s}$) und G5 ($5 \pm 1 \text{ l/s}$) nachweisbar. Zusätzlich treten zwischen den beiden Messstellen wenigstens $0,2 \text{ l/s}$ zusätzlich in den

Gessenbach ein. Zwischen 1.456 m (G5) und 1.890 m (G6: Schüttung $1,8 \pm 0,4$ l/s) Fließstrecke von Messstelle G13 kommt es zu einer Verminderung des Abflusses um wenigstens 1,8 l/s, die mit zeitweise auftretenden influenten Bedingungen im Bereich des bergbaubedingten Absenkungstrichters des Grundwassers erklärt werden könnte (vgl. Abschnitt 7.2). Im Badergraben tritt ein über die Fließstrecke leicht ansteigender Abfluss von mindestens 1,5 l/s auf.

Während einer sommerlichen Trockenperiode am 9.8.99 zeigt sich zwischen den Messpunkten G15 ($1,9 \pm 0,4$ l/s) und G7 ($1 \pm 0,1$ l/s) keine signifikante Abflusserhöhung (Abb. 22k). Bis zur Messstelle G6 treten dem Gessenbach ca. $2,7 \pm 0,5$ l/s Wasser zu. Der Badergraben schüttet an diesem Tag mit ca. $0,9 \pm 0,2$ l/s. In einer weiteren Trockenperiode im Herbst weisen die Vorfluter Gessenbach und Badergraben am 19.10.99 ein vergleichbares Schüttungsverhalten (Abb. 22l, Abb. 25d, e) auf.

Am 31.1.00 ist die Schüttung in den Vorflutern im östlichen Gessental infolge von Regenfällen sowie durch eine Temperaturerhöhung und der damit verbundenen Schneeschmelze erhöht (Abb. 22m, Abb. 25f). Der Abfluss am Messpunkt G13 beträgt 58 l/s ± 14 l/s am Messpunkt G14 45 ± 9 l/s. Die an den Messstellen G7 (40 ± 12 l/s) G5 $47 (\pm 10$ l/s) und G6 (37 ± 7 l/s) ermittelten Werte lassen aufgrund hoher absoluten Fehler keine quantitativen Aussagen zu. Im Badergraben kommt es am Stichtag infolge zutretende Oberflächenabfluss zu einer Schüttungserhöhung von ca. $8,6 \pm 0,9$ l/s am Messpunkt B3 auf 12 ± 3 l/s am Messpunkt B1.

Der ähnlich hohe Abfluss am 17.4.00 ist durch erhöhte Niederschläge bedingt (Abb. 22n, Abb. 25g). Die Erhöhung des Abflusses im Gessenbach innerhalb der ca. 1.100 m langen Fließstrecke von Messstelle G13 von $3,3 \pm 0,7$ l/s bei Messstelle G15 auf $9,0$ l/s ± 1 l/s bei Messstelle G7, zeigt einen Wasserzutritt, welcher nicht ausschließlich auf den diffusen Eintritt von Haldensickerwasser der Messstelle Q4 (ca. $1 \pm 0,2$ l/s) zurückgeführt werden kann. Vermutlich treten dem Gessenbach weiteres Haldensickerwasser der Nordhalde bzw. oberflächen(nahes) Wasser aus dem Bereich der ehemaligen Gessenhalde zu. Nach Messstelle G7 mündet der Badergraben (s.u.) in den Gessenbach (Messstelle G5: $11 \pm 2,2$ l/s). Die Schüttungsmessung an der Messstelle G6 ($6 \pm 1,2$ l/s) beruht vermutlich auf Messfehler (vgl. Abschnitt 3.3), obwohl eine Erniedrigung des Abflusses zwischen den beiden Messstellen eine Influenz andeuten kann. Im Badergraben erhöht sich die Schüttungsmenge nicht signifikant.

Die Messung am 11.12.00 zeigt einen Trockenwetterabfluss im Winter (Abb. 22o, Abb. 25h). Die Abflüsse im Gessenbach erhöhen sich mit zunehmender Fließstrecke von Messstelle G13

$(0,6 \pm 0,1 \text{ l/s})$ auf $0,6 \pm 0,1 \text{ l/s}$, $0,8 \pm 0,2 \text{ l/s}$ und $1,1 \pm 0,2 \text{ l/s}$ an den Messpunkten G15, G14 und G7. Der Zustrom des Badergrabens führt zu einer Abflusserhöhung auf $1,5 \pm 0,3 \text{ l/s}$. Ob die Erniedrigung des Abfluss bis zur Messstelle G6 ($0,5 \pm 0,1 \text{ l/s}$) auf Messfehler oder temporär influente Bedingungen zurückzuführen ist, kann nicht eindeutig entschieden werden. Auffällig ist jedoch, dass die Schüttungsabnahme im gesamten Untersuchungszeitraum reproduzierbar zu sein scheint. Die über die Fließstrecke im Badergraben ermittelte Abnahme der Schüttung von $1,9 \pm 0,2 \text{ l/s}$ auf $0,6 \pm 0,1 \text{ l/s}$ könnte durch influente Bedingungen bzw. infolge nicht quantifizierbarer Fehler bedingt sein.

Der am 26.06.01 (Abb. 22p) bestimmte Trockenwetterabfluss an der Messstelle G7 beträgt $0,9 \pm 0,1 \text{ l/s}$. Die an der nachfolgenden Messstelle G5 bestimmte Schüttung beträgt $1,6 \pm 0,3 \text{ l/s}$, wobei durch Schüttungserhöhung durch den Badergraben ($1 \pm 0,2 \text{ l/s}$) erfolgt. Bis zur Messstelle G6 nimmt die Schüttung auf $1,0 \pm 0,2 \text{ l/s}$ gering ab, was influente Bedingungen am Rande des bergbaubedingten Depressionstrichter andeuten könnte.

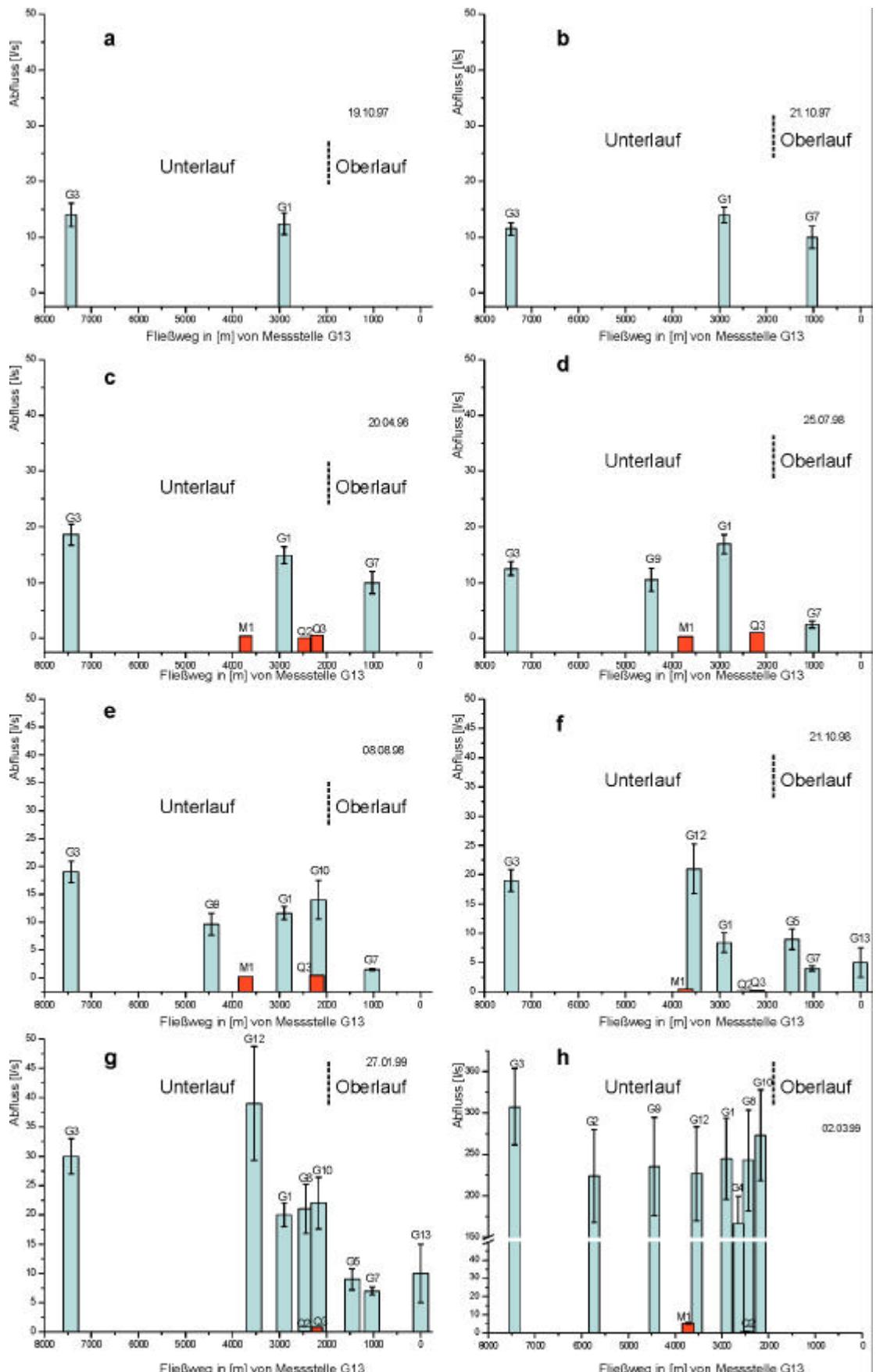


Abb. 22(1)a-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Gessenbach (blau) sowie der Zuflüsse (rot), Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.

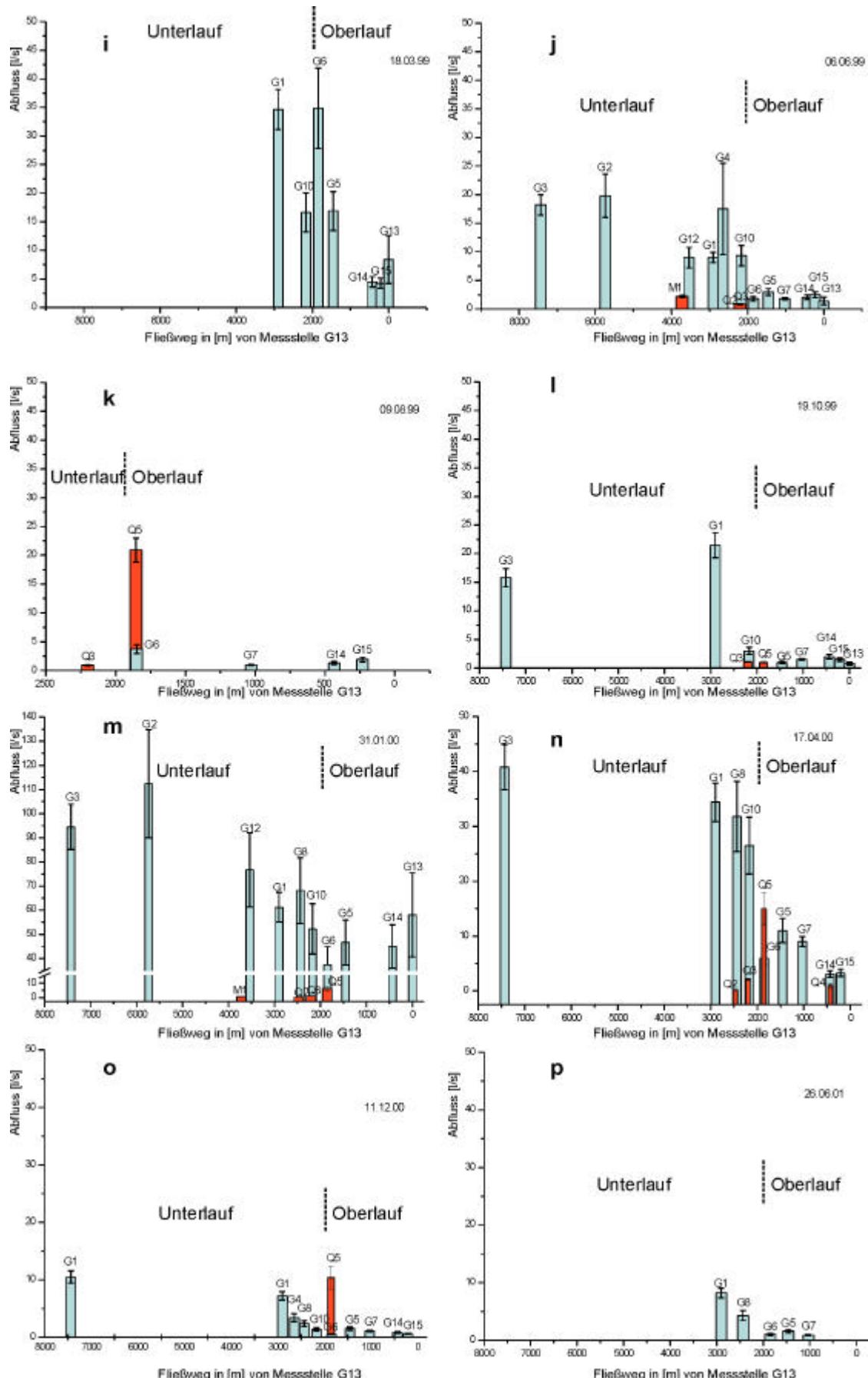


Abb. 21(2)i-p: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Gessenbach (blau) sowie der Zuflüsse (rot), Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.

4.3.2. Hydraulische Klassifizierung des Vorflutertyps 1

Die oben vorgestellte detaillierte Auswertung der stichtagsbezogenen Abflussmessungen zeigt ein dynamisches, hochvariierendes Vorflutersystem. Der Oberlauf des Gessenbaches und der Badergraben zwischen Kauern bzw. Ronneburg und der Kläranlage Ronneburg südl. von Grobsdorf (Abb. 10, Abb. 26) bilden anthropogen überprägte bergbaubeeinflusste Vorfluter. Der bedeutendste anthropogene Eingriff ist die Abkopplung des Gebietes vom natürlichen hydrogeologischen Regime und den natürlichen Potentialgefälle infolge der bergbaubedingten Absenkung des Grundwassers. Die wichtigsten daraus resultierenden Merkmale sind zusammengefasst:

- Abkopplung des Vorfluters vom natürlichen hydrogeologischen Regime bzw. von natürlichen Potenzialgefällen z.B. in Quellbereichen
- Verkleinerung des natürlichen Einzugsgebiets der Vorfluter
- Verminderung der A_O/A_U -Verhältnisses in Bachsystemen durch fehlende grundwasserbürtige Zuflüsse
- Speisung der Bäche nur durch kommunale und landwirtschaftliche Abwässer und Erhöhung der prozentualen Anteile der anthropogenen zugeführten Wassermengen
- Extrem kurzzeitige Abflussspitzen durch Bodenversiegelung im Einzugsgebiet
- Erhöhung der Suspensionsfracht durch vegetationslose Haldenaufstandsflächen
- Zufluss von hochmineralisiertem saurem Haldensickerwasser entlang der Fließstrecke im Einflussbereich des Bergbaus
- Abwasser- bzw. haldensickerwasserdominierte Wasserführung bei Trockenwettersituation
- Regenwasserdominierte Abflussmengen bei Regenereignissen
- Influenz von hochmineralisiertem Oberflächenwassers in die ungesättigten Talsedimente
- Auftreten von schwebenden grundwassergesättigten Bereichen überwiegend ohne Entlastung in die Vorflut.

Sämtliche Faktoren treten in den Vorfluterbereichen „Oberlauf Gessenbach“ und „Badergraben“ auf und werden innerhalb dieser Arbeit als hydraulischer Vorflutertyp 1 bezeichnet. Die hydraulische Klassifizierung wird im Abschnitt 8.5 durch die Betrachtung chemischer Gesichtspunkte erweitert.

4.3.3. Einzugsgebiet des westlich Gessenbaches (Unterlauf, Typ II)

Langjähriges Schüttungsverhalten

Im westlichen Teil des Gessenbaches wurden u.a. von der Wismut GmbH seit 1997 vereinzelt Schüttungsmengenbestimmung bzw. -schätzungen an der Messstelle G2 (Wismut Bezeichnung: e-019, vgl. Abb. 10) durchgeführt (Abb. 23). Dieser Messpunkt befindet sich ca. 5.730 m Fließstrecke von der Messstelle G13 entfernt. Aufgrund der geringen Anzahl der Messwerte ($N= 28$) können nur qualitative Aussagen gemacht werden. Der Trockenwetterabfluss beträgt im o.g. genannten Zeitraum im Sommer bzw. im Winter ca. 4,5 bis 6 l/s. Gegenüber dem östlichen Gessental ist der Trockenwetterabfluss im westlichen Gessental somit um das Vier- bis Sechsfache höher. Der Gessenbach reagiert auf Niederschlagsereignisse mit relativ starken Abflussanstiegen. Die maximale Wasserführung mit über 220 ± 44 l/s wurde am 2.3.99 nach intensiven Regenfällen im Einzugsgebiet bzw. am 31.01.00 mit 113 ± 23 l/s im Rahmen der Schneeschmelze, bzw. nach länger andauernden Niederschlägen bestimmt.

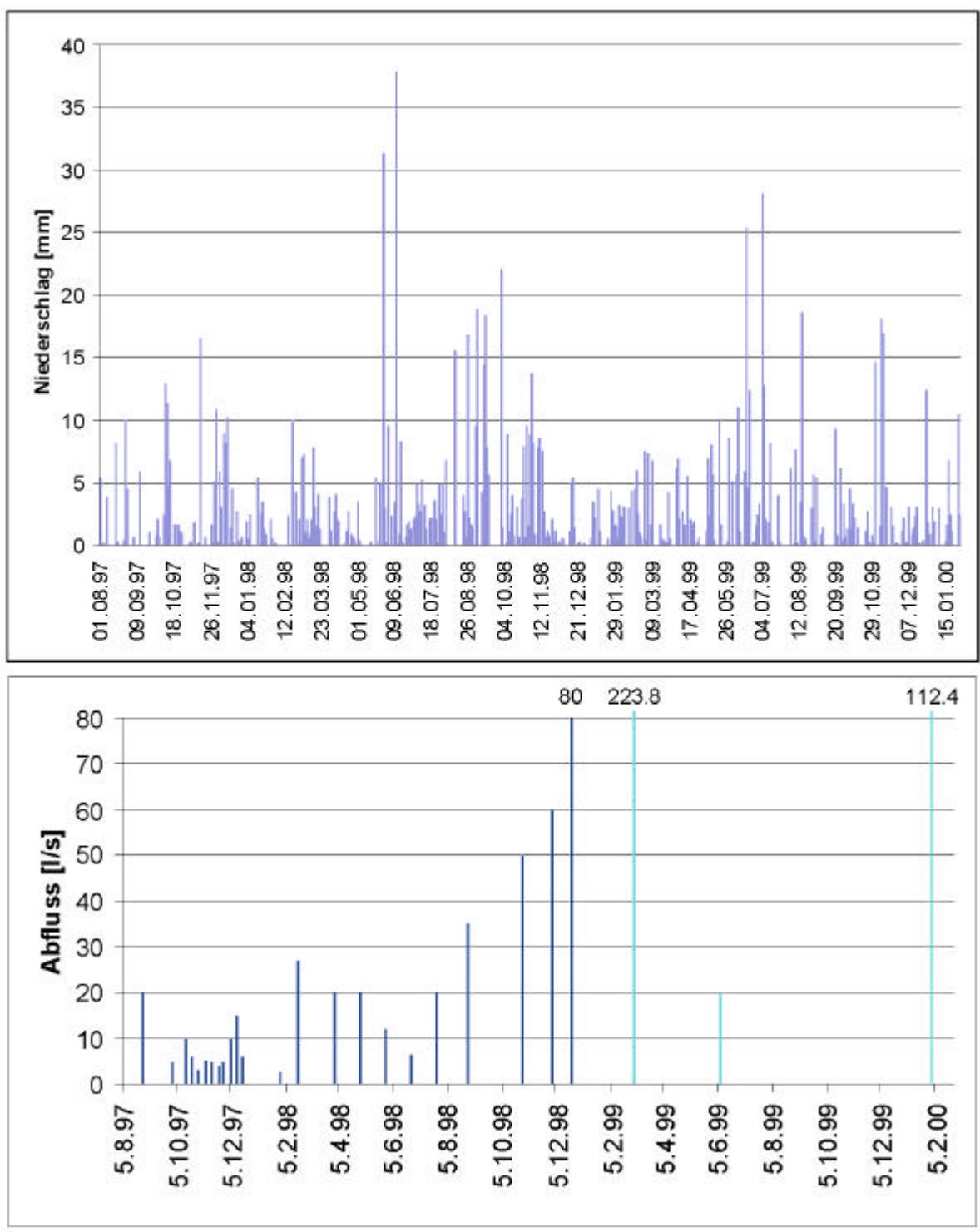


Abb. 23: Tagesniederschlag der DWD-Station Gera/Leumnitz sowie stichtagsbezogene Abflussmessungen der Messstelle G2 (Wismut-Bezeichnung e-019) im Gessenbach zwischen 08/97 und 02/00 01/97 aus Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes sowie Abflussmessungen der Wismut GmbH (dunkelblau) und eigenen Messungen (türkis).

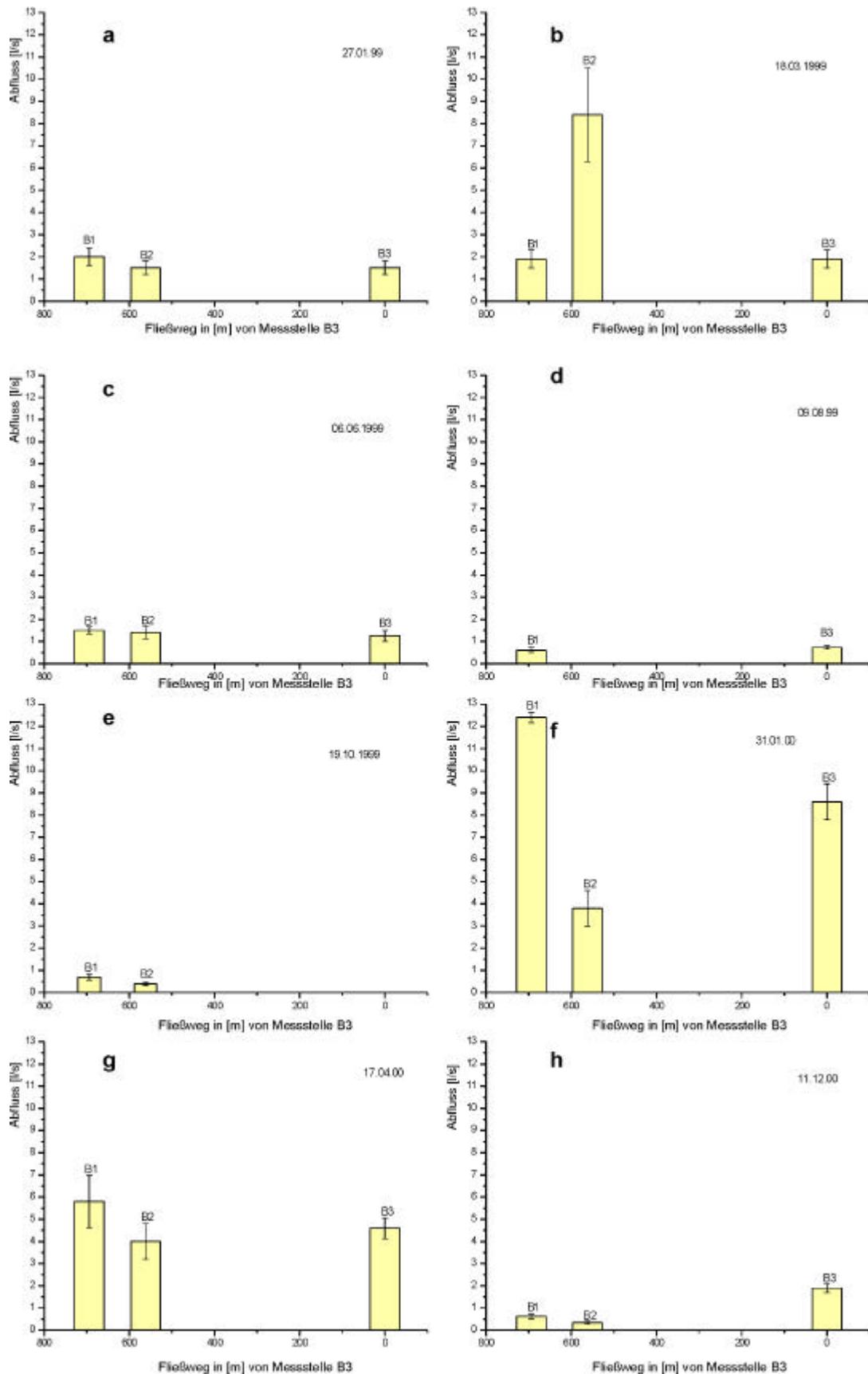


Abb. 24e-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Badergraben, Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.

Stichtagsbezogene Abflussmessungen im westlichen Gessental (Unterlauf, Typ II)

Im W- Gessental zwischen der Kläranlage Ronneburg und Gera außerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichter wurden zwischen 1997 und 2001 stichtagsbezogen Schüttungsmessungen an den in Abb. 10 dargestellten Messstellen G10, G8, G4, G1, G12, G9, G2 und G1 im Gessenbach durchgeführt. Zusätzlich wurden die Schüttungsmengen der Zuflüsse Q5, Q1, Q2 und Q3 bestimmt (Abb. 10). Die Ergebnisse sind in Abb. 22a-p sowie in Anhang 5 angeführt, die Methodik sowie die Fehlerbeschreibung ist in Abschnitt 3.3 beschrieben. Die stichtagsbezogenen Abflussmessungen gehen auch in die Betrachtung des Gesamtaustrags aus den einzelnen Gebieten ein (Abschnitt 8.6).

Die Schüttungsmengen am 19.10.97 nahmen von $12,4 \pm 1,2$ l/s bei 2.900 m Fließstrecke von Messstelle G13 entfernt (Messstelle G1) auf $14 \pm 1,4$ l/s bei 7.430 m Fließstrecke kurz vor der Mündung in die Weiße Elster (Messstelle G3) zu (Abb. 22a). Am 21.10.97 ist keine signifikante Abnahme der Schüttungsmengen zu verzeichnen (Abb. 22b).

Am 20.4.98 betrug der Abfluss im Oberlauf des Gessenbaches 10 ± 2 l/s. Infolge von Quellzuflüssen (Q3: $0,5 \pm 0,05$ l/s) bei 2.200 m Fließstrecke, Zufluss aus Drainageleitungen und des Lammsbaches nimmt die Schüttungsmenge im Gessenbach auf $14,9 \pm 2,2$ l/s zu. Durch Zuflüsse aus den Stadtgebieten Collis und Gera, des Mühlgrabens bei Collis (M1 bei 3.720 m Fließstrecke : $0,4 \pm 0,04$ l/s) und durch Grundwasserzutritte nimmt der Abfluss auf $18,6 \pm 3$ l/s bei Messstelle G3 zu (Abb. 22c).

Der am 25.7.98 bestimmte Trockenwetterabfluss von 1,5 l/s nimmt infolge von Quellzutritten (Q3: $1 \pm 0,1$ l/s) und des Zuflusses des Lammsbaches um ca. 15,5 l/s auf $17 \pm 2,5$ l/s zu (Abb. 22d). Diese hohe Zunahme im Trockenwetterzeitraum ist durch eine nicht quantifizierbare, azyklische Wasserabgabe der Kläranlage Ronneburg (Messstelle Q5 bei 1.855 m Fließstrecke des Gessenbaches) begründet. Die Zugabemengen der Kläranlagen liegen besonders bei Trockenwetterabflüssen in ähnlichen Größenordnungen wie die Schüttungsmengen des Gessenbaches. Sie beeinflussen die Ergebnisse der Abflussmengenbestimmung im Unterlauf des Gessenbaches, da es an einzelnen Messtagen somit zu unvorhersehbaren Abflusserhöhungen kommt, wenn sich diese abgabebedingte Hochwasserwelle bachabwärts bewegt (vgl. Abb. 22e-g, j-m, o). Im weiteren Verlauf des Gessenbaches beträgt der Trockenwetterabfluss ca. 12 l/s.

Am 8.8.98 nahm der Abfluss im Unterlauf an Messstelle G10 gegenüber dem Oberlauf um $12,5$ l/s auf $14 \pm 3,8$ l/s zu (Abb. 22e). Die Abgabemenge der Kläranlage Ronneburg betrug somit eine Mehrfaches der Schüttungsmenge des Gessenbaches. Auf dem weiteren Fließweg bis nach Gera nahm der Trockenwetterabfluss infolge von Wasserzutritten im Gessenbach

von $11,6 \pm 1,8$ l/s bei Messstelle G1 auf $19 \pm 3,8$ l/s kurz vor der Mündung in die Weiße Elster zu.

Am 21.10.98 (Abb. 22f) ist keine signifikante Abflusserhöhung vom Oberlauf (G5: 9 ± 2 l/s) zum Unterlauf (G1: $8,4 \pm 1,6$ l/s) zu erkennen, obwohl dem Gessenbach sowohl bei Q3 ($0,3 \pm 0,03$ l/s), Q2 ($0,1 \pm 0,01$ l/s) und durch den Lammsbach ($3 \pm 0,6$ l/s) Wässer zutreten. Auf der weiteren Fließstrecke erhöht sich der Abfluss auf $19 \pm 3,8$ l/s bei 7.430 m Fließstrecke, wobei die Schüttung nach dem Durchfluss durch das Stadtgebiet von Collis bei 3.640 m Fließstrecke $21 \pm 4,2$ l/s beträgt.

Die Wassereinleitung der Kläranlage Ronneburg bei 1.855 m Fließstrecke ist vermutlich der Grund für die Abflusserhöhung an Messstelle G10 ($22 \pm 4,2$ l/s) gegenüber dem Oberlauf des Gessenbaches ($9 \pm 1,8$ l/s bei G5) am 27.01.99 (Abb. 22g). Diese nicht quantifizierbare Abgabemenge verfälscht vermutlich auch die Ergebnisse an der nachfolgenden Messstelle G8 ($21 \pm 4,2$ l/s). Der Abfluss bei Messstelle G1 (20 ± 3 l/s) ist zusätzlich durch den Zutritt des Lammsbaches bei 2.470 m Fließstrecke (5 ± 1 l/s) gegenüber dem Oberlauf des Gessenbaches erhöht. Die hohe Abflussmenge von 39 ± 8 l/s am Messpunkt G12 (3.540 m Entfernung von G13) ist vermutlich auf Ungenauigkeiten bei der Abflussbestimmung infolge der ungünstigen Beschaffenheit der Messstelle zurückzuführen. Der an Messstelle G3 ermittelte Abfluss von 30 ± 6 l/s fließt der Weißen Elster zu.

Die Messung am 2.3.99 repräsentiert ein Hochwasserereignis (Abb. 23) nach längerandauernden Niederschlägen (Abb. 22h, vgl. Abschnitt 8.6.3, Anhang 9). Die Abflusswerte sind durchschnittlich um das Zehnfache gegenüber Trockenwetterereignissen erhöht, was durch schwierige Messbedingungen zu hohen Ungenauigkeiten bei der Abflussbestimmung führt. Die Messstelle G10 weist 273 l/s ± 55 l/s, die Messstelle G1 245 l/s ± 50 l/s auf. Eine Schüttungserhöhung durch den Zutritt des Lammsbaches mit $31,6 \pm 6,4$ l/s ist aufgrund der großen Fehler der Messung nicht direkt bestimmbar. Bis zur Messstelle G2 ist ein Anstieg der Schüttung nicht signifikant nachweisbar, durch die westlich gelegenen (z.B. M1: $5,2 \pm 1$ l/s) aber wahrscheinlich. Eine Erhöhung des Abflusses an der Messstelle G3 auf 307 ± 62 l/s zeigt Zutritte von Oberflächen und Grundwasser im Bereich des Stadtgebietes von Gera.

Die am 18.3.99 nach regelmäßigen Niederschlägen an den Messstellen G10 ($16,7 \pm 3,4$ l/s) und G1 ($34,65 \pm 3,5$ l/s) gemessenen Abflüsse im westlichen Gessenbach zeigen eine Abflusszunahme gegenüber dem Oberlauf des Gessenbaches (s.o. Abb. 22i). Die Zunahme an der Messstelle G1 ist durch die in diesem Abschnitt auftretenden effluenten

Abflussverhältnisse außerhalb des Absenkungstrichters und durch den Zutritt des Lammsbaches ($7,2 \pm 1,4$ l/s) bei 2.470 m Fließstrecke begründet.

Die Schüttungserhöhung im Unterlauf des Gessenbaches am 6.6.99 an den Messpunkten G10, G1 und G12 auf ca. 9 l/s ($\pm 0,9$ l/s) bzw. bei G4 auf 17,5 l/s sind durch die unregelmäßige Zugabemenge am Messpunkt Q5 (Kläranlage Ronneburg) begründet (Abb. 22j). Der Abfluss im Unterlauf Gessenbaches wird somit während des Messzeitraums durch die Kläranlage Ronneburg bestimmt, die zwischen den Messstellen G6 und G10 mindestens 7,5 l/s abgibt. Zusätzlich schütten der Lammsbach mit $2,5 \pm 0,5$ l/s sowie einige Drainagewässer und Quellen zwischen den Messpunkten G10 und G4. Die Schüttungsmessung der Messstellen G2 ($19,8 \pm 4$ l/s) und G3 ($18,2 \pm 1,8$ l/s) repräsentiert einen typischen Abfluss in einer Trockenwettersituation. Ähnliche Situationen treten am 9.8.99 und am 19.10.99 auf (vgl. Abschnitt 8.6.1).

Im August wurde die Schüttungsmenge an der Messstelle Q5 mit $21 \pm 4,2$ l/s bestimmt, was die Dimension der temporären Abgabemenge an geklärtem Abwasser über die Kläranlage Ronneburg zeigt (Abb. 22k). Der im Herbst 1999 gemessene Trockenwetterabfluss mit einer Abflusserhöhung von $3 \pm 0,6$ l/s auf $21,5 \pm 2,1$ l/s zwischen 2.170 m (G10) und 2.900 m (G1) ist nicht alleine durch den Zufluss über die Messstellen Q3, Q2 und den Lammsbach begründet, welcher zusammen ca. 2,7 l/s betrug. Vermutlich gab die Kläranlage Ronneburg über den Ablauf stoßweise mehr als die an diesem Tag bestimmte $1 \pm 0,2$ l/s geklärtes Abwasser ab, was somit zu einem Schüttungsanstieg im Unterlauf des Gessenbaches (temporäre Hochwasserwelle) führt.

Die am 31.1.00 gemessenen Hochwassersituation im Unterlauf des Gessenbaches zeigt trotz der hohen Fehler einen relativen Anstieg der Schüttungsmenge bis zur Mündung in die Weiße Elster auf 95 ± 19 l/s (ca. 340 m³/h). Die Abgabe über die Kläranlage ($6 \pm 1,2$ l/s) sowie die gemessenen Zuflüsse bei den Messstellen Q3, Q2 und M1 erhöhen den Abfluss über den Gessenbach. Die über den Lammsbach dem Gessenbach zutretende Wassermenge betrug an diesem Tag ca. 5 l/s (Abb. 22m).

Eine Normalabflusssituation zeigt die Stichtagsmessung am 17.4.00, wobei abstromig des Kläranlagenzutritts (15 ± 3 l/s) eine Erhöhung des Abflusses an Messstelle G10 ($26,5 \pm 5,3$ l/s) zu erkennen ist (Abb. 22n). In dieser Abflusssituation besteht der Abfluss im Unterlauf des Gessenbaches wenigstens temporär zu einem großen Anteil an geklärtem Abwasser aus Ronneburg. Der Abwasseranteil beträgt bei der gemessenen Zugabemenge über die Messstelle Q5 und der Abflussmenge an Messstelle G3 (40 ± 4 l/s) zeitweise somit fast 40 % des Gesamtabflusses des Gessenbach. Die an weiteren Abflussmessstellen im Unterlauf des

Gessenbaches bestimmten Mengen zeigen effluente Abflussverhältnisse, den Zutritt von Vorflutern, Quell- und Drainagewässern sowie Hausabwässern aus Collis und Gera.

Die im Winter bestimmte Trockenwettersituation (11.12.00, Abb. 22o) liefert ähnliche Ergebnisse. Die von der Kläranlage Ronneburg abgegebene Abflussmenge betrug $10,4 \pm 2,2$ l/s. Dass diese Menge kontinuierlich abgegeben wurde, ist wenig wahrscheinlich, da in der nächstgelegenen Messstelle abstromig des Messpunktes Q5 nur $1,4 \pm 0,3$ l/s bestimmt wurden. Auf dem weiteren Fließweg kommt es zu einer Schüttungserhöhung auf $2,4 \pm 0,5$ l/s bei Messpunkt G4 (ca. 2.650 m von G13 entfernt). Hierbei bildet der Lammsbach mit $0,7 \pm 0,1$ l/s den wichtigsten permanenten Zutritt in den Gessenbach. Auf der weiteren Fließstrecke erhöht sich der Abfluss auf bis zu $10,5 \pm 1,1$ l/s (ca. $38 \text{ m}^3/\text{h}$) bei ca. 7.430 m Fließstrecke (Messstelle G3).

Die Schüttensmengezunahme am 26.6.01 gegenüber dem östlichen Gessenbach auf $4,3 \pm 0,8$ l/s (G8) wird ebenfalls mit der Zulauf der Kläranlage Ronneburg begründet (Abb. 22p). Im weiteren Verlauf nimmt die Schüttungsmenge infolge des Zutrittes des Lammsbaches ($0,9 \pm 0,1$ l/s) sowie effluenter Bedingungen auf $8,2 \pm 0,8$ l/s an Messstelle G1 zu.

4.3.4. Einzugsgebiet des Lammsbaches (Typ II)

Im Lammsbachtal im Randbereich des bergbaubedingten Absenkungstrichter wurden zwischen 1998 und 2001 stichtagsbezogen Schüttungsmessungen im ca. 970 m langen Verlauf des Lammsbaches an den in Abb. 10 dargestellten Messstellen durchgeführt. Messstelle L3 befand sich in einer ausgewählten Quellregion, die Messstellen L2 und L3 in 470 bzw. 960 m Fließstrecke entfernt von L3. Die Ergebnisse sind in Abb. 25a-k, sowie in Anhang 5 angeführt, die Methodik sowie die auftretenden Fehler sind in Abschnitt 3.3 beschrieben. Die stichtagsbezogenen Abflussmessungen gehen auch in die Betrachtung des Gesamtaustrags ein (Abschnitt 8.6).

Die Messstelle L3 befindet sich in der Nähe eines Quelltopfes des Lammsbaches. Die durchschnittliche Schüttungsmenge dieses Quelltopfes betrug zwischen $0,1 \pm 0,01$ l/s und $0,5 \pm 0,05$ l/s (Abb. 25), wobei die höchsten Schüttung mit den o.g. erhöhten Niederschlagszeiträumen am 2.3.99 und am 19.4.00 im Zusammenhang stehen (Abb. 25b, i). Am 2.3.00 wurde die Schüttungsmessung ca. 70 m westlich des eigentlichen Quelltopfes in ca. 260 mNN Höhe durchgeführt, da sich zu diesem Zeitpunkt die Quelleregion aufgrund des hohen Grundwasserdargebot verlagert hatte.

Die am 21.10.98 durchgeführte Abflussmessung zeigt einen Trockenwetterabfluss, wobei die Schüttung an der Messstelle L1 $6 \pm 1,2$ l/s an der Messstelle L2 $3,5 \pm 0,7$ l/s betrug (Abb.

25a). Am 27.1.99 betragen die Schüttungsmengen bei L1 und L2 $4 \pm 0,8$ l/s bzw. 5 ± 1 l/s, was etwa den zwei- bis vierfachen Trockenwetterabfluss bedeutet (Abb. 25b). Gründe für Schüttungsmengenzunahme auf $37 \pm 7,5$ l/s bzw. $32 \pm 6,4$ l/s an den Messstellen L1 bzw. L2 gegenüber der Quelle L3 am 2.3.99 sind der niederschlagsbedingte Zutritt von Oberflächenabfluss u.a. aus dem bodenversiegelten Dorfgebiet von Naulitz sowie Grundwasserzutritte im Verlauf des Lammsbaches (Abb. 25c). Die am 18.3.99 auftretenden erhöhten Schüttungsmengen von ca. 7 l/s repräsentieren gegenüber dem Trockenwetterabfluss höhere Schüttungen während des regenreichen Frühjahrs 1999 (Abb. 25d).

Die Schüttungsmengenbestimmung am 6.6.99, 9.8.99 sowie 19.10.99 zeigen Trockenwetterabflüsse, welche zwischen $2,5 \pm 0,5$ und $1,3 \pm 0,3$ l/s an den Messstellen L1 und L2 betragen. An keinem der Messstage ist die Schüttungsmenge an der Messstelle L1 gegenüber L2 außerhalb des Fehlerbereiches verändert (Abb. 25e-g). Im Verlauf zwischen den Messstellen sind keine Grundwasserzutritte zu erkennen. Teilweise wird in diesem Bereich Wasser für landwirtschaftliche Zwecke entnommen.

Die am 31.1.00 sowie am 17./18.4.00 durchgeführten Abflussmessungen zeigen winter- bzw. frühjahrsbedingte Zeiträume erhöhter Schüttungen. Die Messungen im Winter zeigen Schüttungsmengen von $4 \pm 0,8$ l/s und 5 ± 1 l/s an den Messpunkten L1 und L2. Im Frühjahr treten vergleichbare Werte (Abb. 25h, Abb. 25i). Es zeigt sich, dass es im Lammsbachtal im Jahr 2000 zu einer winter- bzw. frühjährlichen Erhöhung des Grundwasservorrats kommt, welcher sich bis zum Sommer z.T. teilweise aufbraucht.

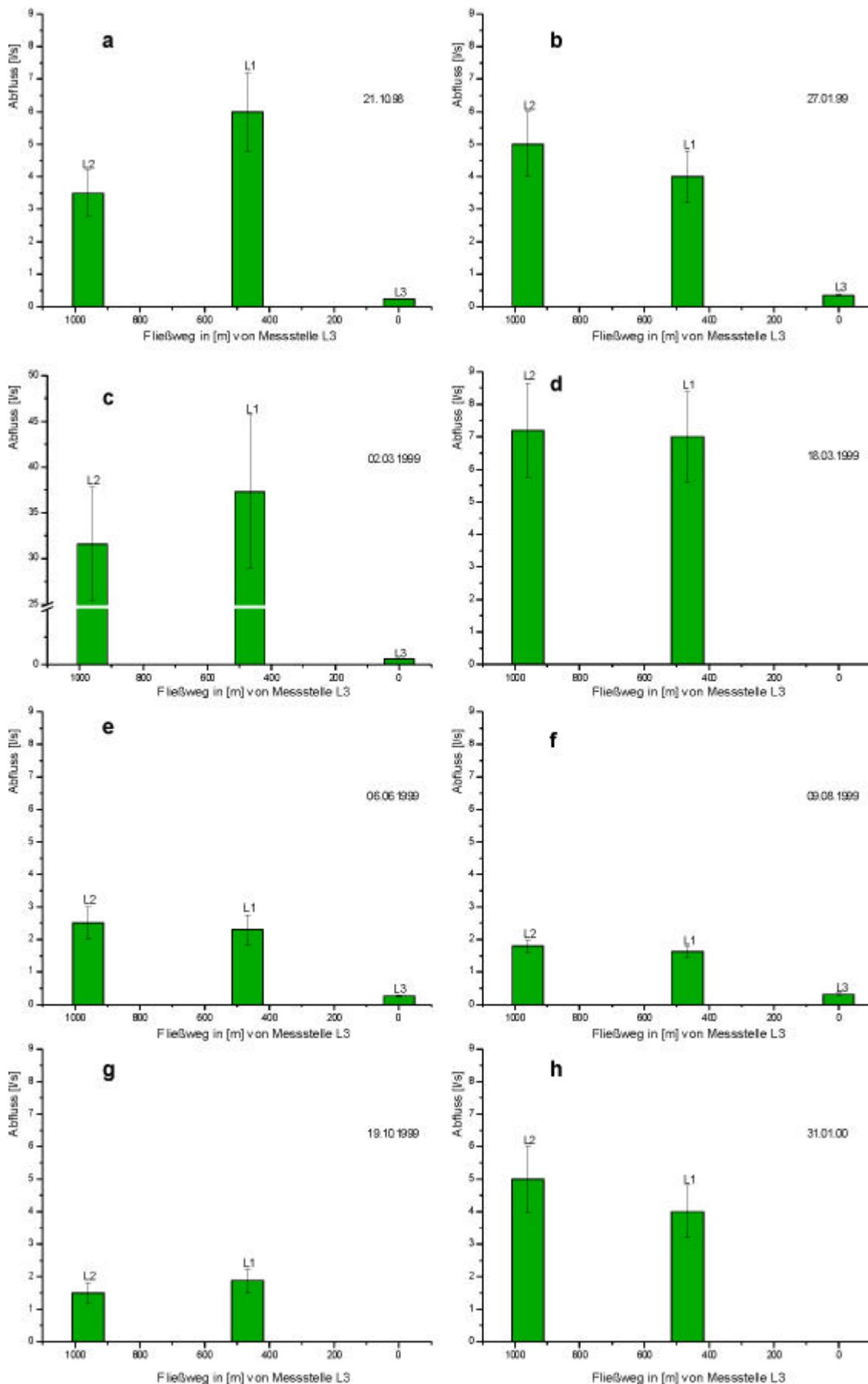


Abb. 25(1)a-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Lammsbach, Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10, Fortsetzung nächste Seite.

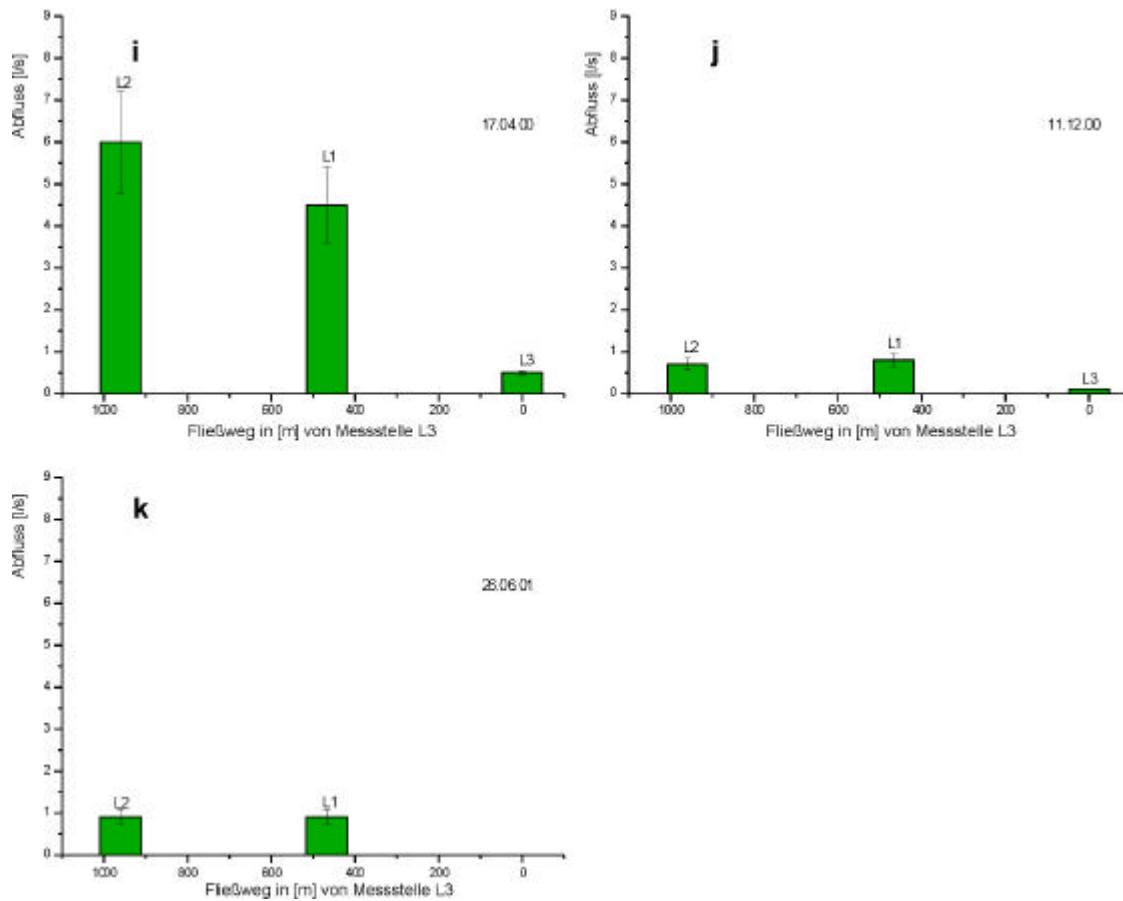


Abb. 25(2)e-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Lammsbach, Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.

Die Schüttungsmessung am 11.12.00 zeigt eine winterliche, die Schüttungsmenge im Sommer 2001 eine weitere sommerliche Trockenwettersituation. Zu diesen Zeitpunkten wurden geringsten Schüttungsmengen im Untersuchungszeitraum mit ca. 1 l/s bestimmt (Abb. 25b, c).

4.3.5. Hydraulische Klassifikation des Vorflutertyps 2

Die in Abschnitt 4.3 erfolgte stichtagsbezogene Beschreibung und Interpretation der Schüttungsmessungen zeigt im Gegensatz zum Vorflutertyp 1 (s.o.) ein hydraulisch und hydrologisch unterschiedliches Verhalten. Hierbei zeigt der Unterlauf des Gessenbaches zwischen der Kläranlage Ronneburg und der Mündung in die Weiße Elster infolge der Ankopplung an den Oberlauf sowie der Zugangsmengen der Kläranlage Unterschiede zum Lammsbach auf. Beide Vorfluter bzw. Vorfluterabschnitte befinden sich am Rand bzw. außerhalb des Absenkungstrichters. Der Lammsbach ist zzt. nur untergeordnet bzw. gar nicht durch den Bergbau beeinflusst. Die wichtigsten hydraulischen Merkmale beider Vorflutersysteme sind:

- Ankopplung an die natürlichen hydrogeologischen Fließsysteme, der Vorfluter wirkt als hydraulischer Entlastungsbereich

- Überwiegend effluente Vorfluterverhältnisse
- Aufweisen eines natürlichen orohydrographischen Einzugsgebietes
- Verzögerte Abflussspitzen durch eine erhöhte Grundwasserpassage der Niederschläge
- Aufweisen einer Vegetationsdecke (Erosionsverminderung)
- Kein direkter rezenter ober- und unterirdischer Zufluss von bergbaubeeinflusstem Grund- und Sickerwasser.

Für den Lammsbach gelten zusätzlich folgende Merkmale:

- Die Wasserführung bei Trockenwettersituationen ist abhängig von der Grundwasserneubildung
- Zuflüsse von kommunalen und landwirtschaftlichen Abwässern finden nur untergeordnet statt
- Hauptsächliche Abhängigkeit der A_o/A_u -Verhältnisse vom Niederschlag und von der Verdunstung
- Aufweisen eines natürlichen Quellregion, Ankopplung an das natürliche hydraulische Potenzialgefälle.

Somit unterscheiden sich die hydraulische Situation der beiden Vorfluterbereich deutlich vom Vorflutertyp 1. Die hydraulische Situation der wird somit als in dieser Arbeit als Typ 2 bezeichnet. Die hydraulische Klassifizierung wird im Abschnitt 8.5 chemisch definiert.

4.4. Hydrogeologische Kartierung

Zur hydrologischen Charakterisierung des Gebietes sowie zur Identifizierung diffuser Grund- und Sickerwasserzutritte wurden im Oberlauf des Gessenbaches sowie im Unterlauf des Badergrabens und des Lammsbaches am 14.1.98 und am 24.1.98 hydrogeologische Kartierungen durchgeführt (Abschnitt 3.1, Abb. 26 bis Abb. 29).

Während der Kartierung am 14.01.98 betrug der Abfluss des Gessenbaches vor Einmündung des Badergrabens (G7) ca. 6 ± 1 l/s der Abfluss des Badergrabens ca. 4 ± 1 l/s (B1) und der Abfluss des Gessenbaches nach Einmündung des Lammsbaches ca. $14 \text{ l/s} \pm 3 \text{ l/s}$ (G1). Die Kläranlage Ronneburg bei Grobsdorf gab zum Zeitpunkt der Messung ca. 2 l/s ab.

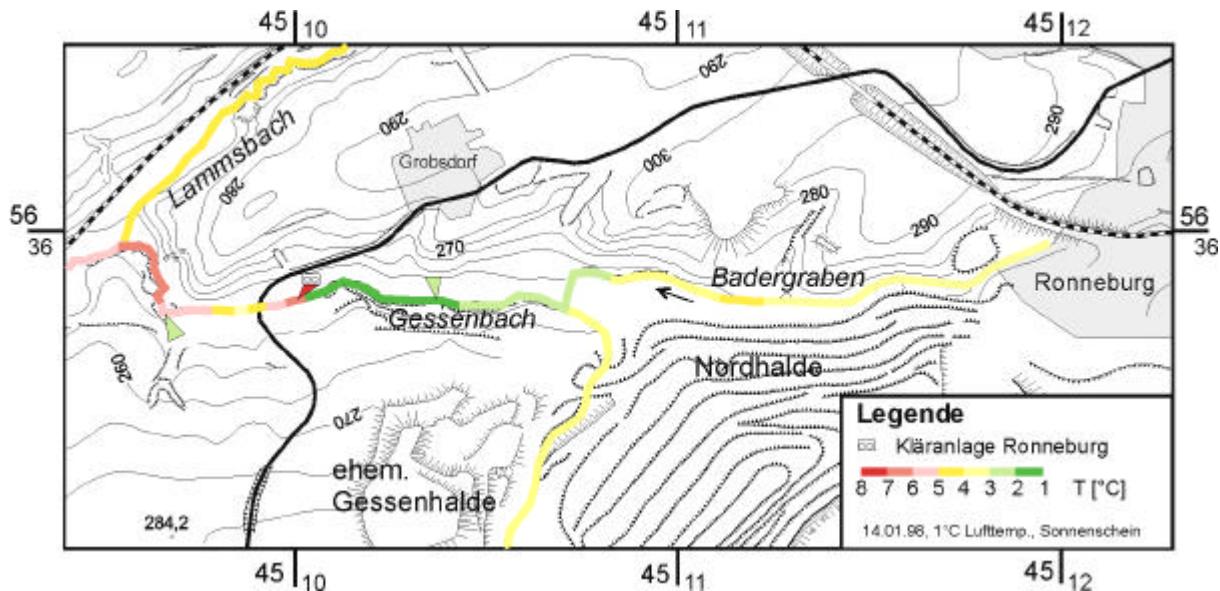


Abb. 26: Temperaturverteilung des Gessenbaches, des Badergrabens und des Lammsbaches am Stichtag 14.01.98. Deutlich wird der Einfluss der Kläranlage Ronneburg und die Erhöhung der Wassertemperatur des Badergrabens kurz vor Mündung in den Gessenbach.

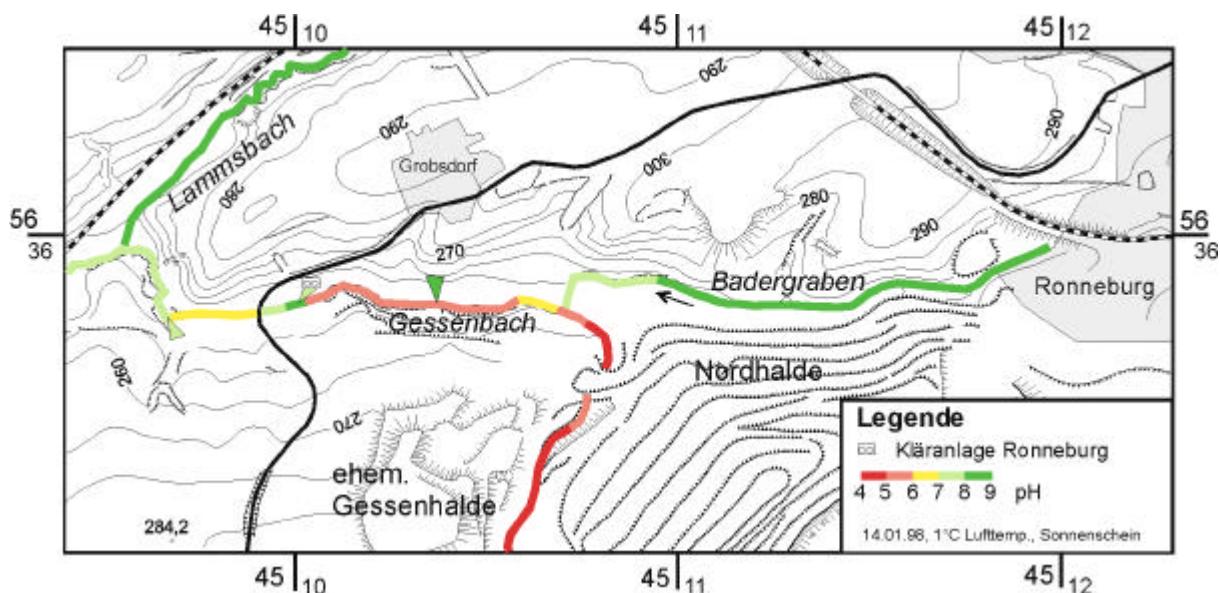


Abb. 27: pH-Werte des Bereiches (s.o.) am 14.01.98 mit den niedrigsten Werten im Gessenbach zwischen Nordhalde und ehem. Gessenhalde aufgrund diffus zutretenden Sickerwassers.

Im Bereich der gemessenen Bachläufe schwankt die Temperatur zu diesem Zeitpunkt zwischen 1°C und ca. 8°C (Abb. 26). An der Temperaturverteilung im Gessenbach ist der Einfluss der Kläranlage Ronneburg sowie eine Temperaturerhöhung im Badergraben kurz vor der Mündung in den Gessenbach ersichtlich. Trotz der kalten Witterung mit Lufttemperaturen von ca. 1°C und Sonnenschein weisen die Vorfluter in ihrem Oberlauf Temperaturen von 3°C bis 4°C auf. Die generelle Temperatur des Gessenbaches nach dem Zusammenfluss mit dem Badergraben und vor der Kläranlage Ronneburg bei Grobsdorf sinkt auf 1°C bis 2°C. Möglicherweise sind die höher temperierten Abwässer der Ortschaften Ronneburg, Kauern

und Naulitz bzw. die sonnenexponierte Lage der Messpunkte für diese Temperaturverlauf verantwortlich. Doch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sowohl im Oberlauf des Gessenbaches als auch im Unterlauf des Badergrabens diffus hinzutretendes Haldensickerwasser der Nordhalde zu einer Temperaturerhöhung führt.

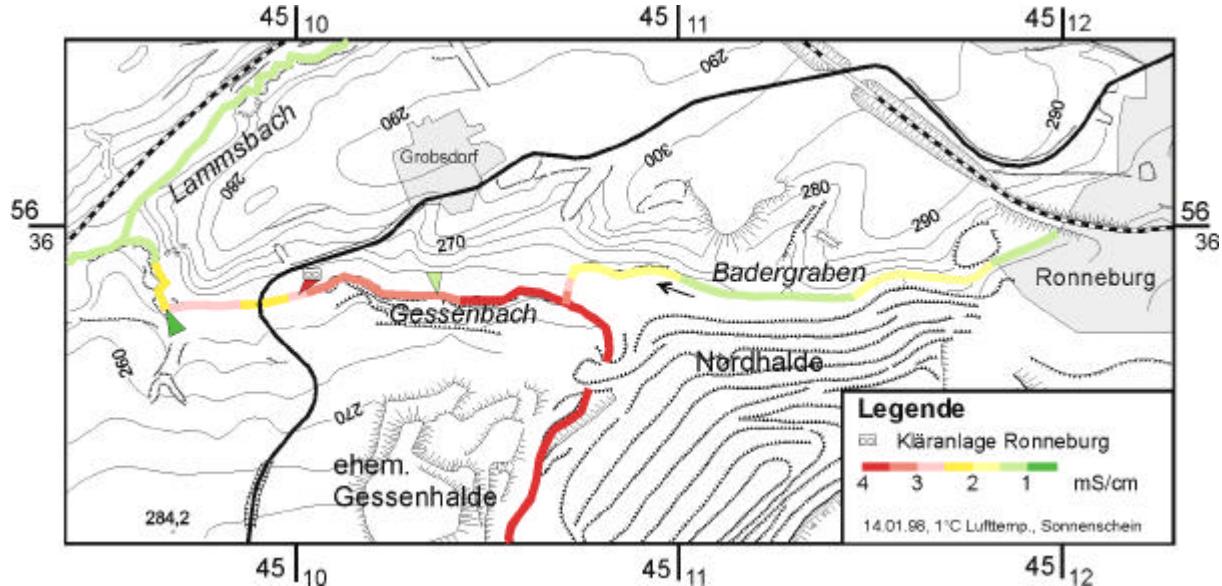


Abb. 28: Kartierung der elektr. Leitfähigkeiten am 14.01.98 mit Erhöhung im Gessenbach zwischen Nordhalde und ehem. Gessenhalde und im Badergraben kurz vor Einmündung in den Gessenbach.

Die pH-Werte der kartierten Bachläufe, die zu diesem Zeitpunkt in der Regel zwischen 8 und 9 liegen, werden signifikant im Oberlauf des Gessenbaches zwischen ehemal. Gessenhalde und Nordhalde und der Kläranlage Ronneburg bei Grobsdorf auf unter 6 erniedrigt (Abb. 27). Die niedrigen pH-Werte sind eine Folge des sauren Haldensickerwassers der Nordhalde und des Sickerwassers der Aufstandsfläche der ehemal. Gessenhalde. Dort, wo der Badergraben das Gessental kurz vor der Einmündung in N-S-Richtung passiert, wird eine Abnahme des pH-Wertes von 8,1 auf 7,8 beobachtet. Hierfür ist wahrscheinlich durch die Talsedimente diffus hinzutretendes Grundwasser verantwortlich, welches durch die Nordhalde beeinflusst sein könnte. ZEGGEL (2001) vermutet bei hydrogeologischen Kartierungen in der ersten Jahreshälfte 2001 zusätzlich einen Grundwasserzustrom aus Norden.

Die Erhöhung der pH-Werte des Gessenbaches unmittelbar nach Einmündung des Badergrabens ist vermutlich auf Mischungseffekte zurückzuführen. Die anschließende Fließstrecke bis zur Kläranlage zeigt 1998 einen pH-Wert zwischen 5 und 6. Nach dem Zutritt des Klärwassers und weiterer Quell- und Drainagewässer erfolgte ein Anstieg des pH-Wertes im Gessenbach auf 7,1 bis 7,7. Dieser Bereich bildet gleichzeitig den Rand des bergbaubedingten Absenkungstrichter. Der Vorfluter weist ab dieser Stelle effluente Abflussverhältnisse auf. Der Zufluss des Lammsbaches weist pH-Werte über 8 auf.

Die elektrische Leitfähigkeit des Bachwassers vermittelt ein ähnliches Bild wie die pH-Werte (Abb. 28). Nachdem der Gessenbach den Bereich zwischen Nordhalde und der ehemaligen Aufstandsfläche der Gessenhalde gequert hat, schwanken die elektr. Leitfähigkeiten zwischen 3.500 µS/cm und 3.850 µS/cm, um im weiteren Verlauf durch den Zutritt geringer mineralisierter Wässer, nahezu kontinuierlich auf ca. 1.100 µS/cm abzunehmen. Im Fließabschnitt zwischen der Mündung des Badergrabens und der Kläranlage Ronneburg weist ZEGGEL (2001) ca. 100 m östlich und 200 m westlich einem aus nördlicher Richtung erfolgenden Zufluss zwei zeitweise auftretende, eng begrenzte Bereiche erhöhter elektr. Leitfähigkeiten nach. Dies wird u.a. auf effluente Verhältnisse im Randbereich des Absenkungstrichters und den Zustrom von mineralisiertem Grundwasser zurückgeführt, was vermutlich im westlichen Bereich auftritt. Der östliche Bereich erhöhter Leitfähigkeit könnte mit einem temporären Wechsel von influenten/effluenten Abflussverhältnissen zusammenhängen, worauf u.a. die Schüttungsmengenbestimmung (Abschnitt 4.3.1) sowie Untersuchungen zur geoelektrischen Widerstandsprofile (Abschnitt 7.2) hindeuten. Erhöhte elektr. Leitfähigkeiten würden somit bei effluenten Verhältnissen auftreten.

Die elektr. Leitfähigkeit im Badergraben (ca. 1.300 µS/cm) zeigt in zwei Bereichen den Einfluss höher mineralisierter Wässer an. Ca. 200 m westlich der Eisenbahnbrücke werden Leitfähigkeiten von 1.500 bis 2.000 µS/cm gemessen. Hier befindet sich der ehemalige Mündungsbereich des Schmirchauer Baches. ZEGGEL (2001) führt diesen ebenfalls festgestellten Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit auf zufließendes mineralisiertes Sickerwasser aus dem nördlichen Hangbereich zurück. Anfang 1998 zeigt sich eine weitere deutliche Leitfähigkeitserhöhung ca. 150 m vor der Einmündung in den Gessenbach. Durch den N/S-Verlauf bzw. der Querung des Gessentals treten hier u.U. höher mineralisierte Wasser aus den im östlichen Gessental vorgefundenen holozänen und pleistozänen Talsedimenten dem Badergraben zu. Es könnte sich um diffus aus der Nordhalde in die Talsedimente eingetragenes Sickerwasser handeln, wobei die Bohrergebnisse im Sommer 2000 diese Effluenz nicht erfassten (vgl. Abschnitt 5.3.2). Bereiche mit vermutlich höher mineralisiertem oberflächennahem Grundwasser in den Talsedimenten deuten sich in den Ergebnissen geoelektrischer Sondierungen in tieferen Bereichen an (u.a. FRIEDRICH 1998).

Ein ganz anderes Bild vermittelt die Bachlaufkartierung vom 24.11.98 (Abb. 29) Im Gessenbach flossen kurz vor der Mündung des Badergrabens $7 \pm 0,7$ l/s, aus dem Badergraben floss nur ca. $1 \pm 0,2$ l/s zu. Die Kläranlage wies einen geschätzten Zulauf von 5-7 l/s auf. Aus dem Lammsbach erfolgte ein Zulauf von ungefähr 3-5 l/s. Der Abfluss an Messpunkt G1 betrug ca. $18 \pm 1,8$ l/s. Da zum Zeitpunkt der Kartierung Teilebereiche des

Badergrabens zugefroren waren, war eine genaue Bestimmung der Abflussmengen nicht möglich. Die Wassertemperaturen schwankten im Badergraben zwischen 0,3°C und 2,9°C, die pH-Werte zwischen 7,8 und 8,3. Im Gessenbach wurden zwischen 6 und 7,4 gemessen. Das Ergebnis dieser Kartierung zeigt eine ungewöhnlich hohe elektr. Leitfähigkeit des Wassers im Badergraben mit Werten über 5.000 µS/cm, während der Oberlauf des Gessenbaches zu diesem Zeitpunkt nur Werte zwischen 1.500 µS und 2.500 µS aufweist.

Durch die Eisbildung im Badergraben kam es infolge der geringen Abflussmenge zu einer Aufkonzentration des Wassers. Insgesamt ist kurz vor dem Zutritt in den Gessenbach eine leichte Erniedrigung der elektr. Leitfähigkeit von Werten > 4.000 µS/cm auf ca. 3.000 bis 3.500 µS/cm zu erkennen. Hier könnte sich ein Zutritt von zu diesem Zeitpunkt evtl. relativ zum Bachwasser geringer mineralisierten Sickerwassers der Nordhalde durch die Talsedimente oder bisher ungeklärte Prozesse im Oberflächenwassers andeuten. Zu einer Erhöhung der elektr. Leitfähigkeiten kommt es zwischen der Nordhalde und der ehemal. Gessenhalde infolge diffuser Sickerwasserzutritte.

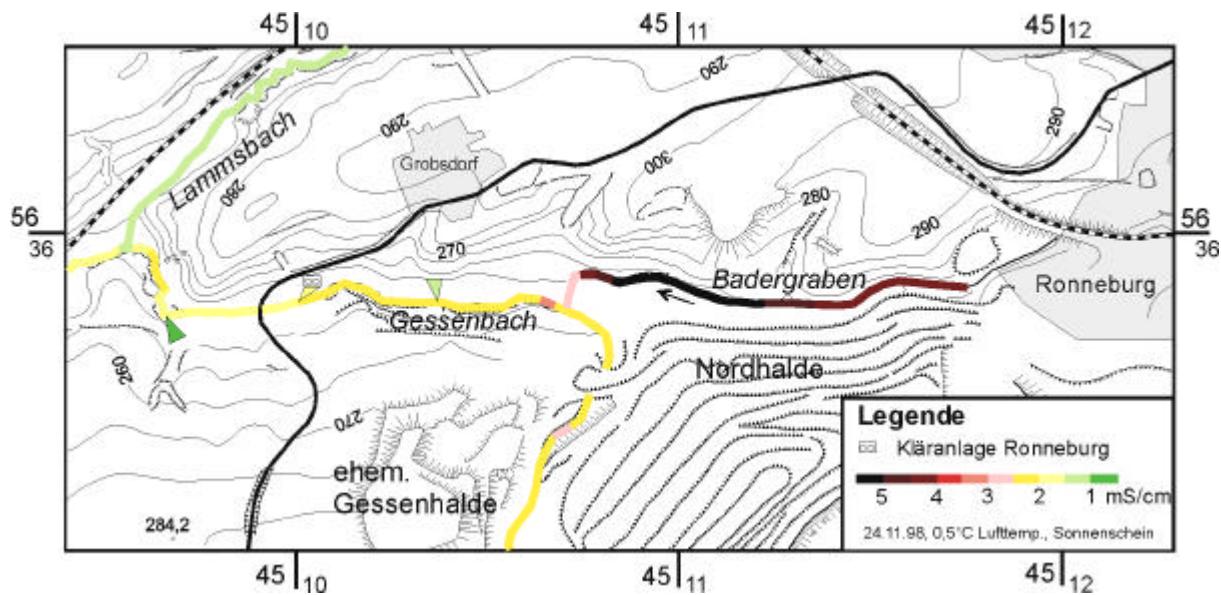


Abb. 29: Elektr. Leitfähigkeitsverteilung am 24.11.98 mit einer Erhöhung im Badergraben infolge von Eisbildung.

Die hydrogeologische Kartierung des Unter- und des Mittellaufes des Lammsbaches am 27.05.98 ergab wie schon am 14.01.98 und am 24.11.98 (Abb. 26-Abb. 29) eine einheitliche Verteilung der aufgenommenen physikochemischen Parameter. Der Abfluss lag bei 1-2 l/s. Nur die Wassertemperatur weicht jahreszeitlich bedingt ab und beträgt im Januar 3-4°C, bei der Kartierung im Mai dagegen 12 bis 14°C. Der pH-Wert liegt im Winter und im Sommer im alkalischen Bereich zwischen 8,1 und 7,4. Auch die elektrische Leitfähigkeit liegt einheitlich zwischen 800 bis 1100 µS/cm. Die im August durchgeführte Kartierung des Oberlauf des

Lammsbaches zeigt, dass der von Naulitz fließende nördliche Bereich des Lammsbaches vermutlich durch Abwässer und dem Teich in der Ortslage mineralisiert ($755 \mu\text{S}/\text{cm}$), temperiert (16°C) und leicht alkalisch (pH-Wert 7,8) ist. Die westlichen und nordwestlichen Teilbereiche bilden eine schattige Quellregion oberflächennahen Grundwassers und weisen geringere Temperaturen zwischen 13 und 14°C auf. Die pH-Werte liegen zwischen $7,6$ und $8,1$, die elektrischen Leitfähigkeiten zwischen $670 \mu\text{S}/\text{cm}$ (nordwestlicher Bereich) und $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ (westlicher Bereich) auf. Die zwischen $0,25$ und $0,5 \text{ l/s}$ schüttenden Quelltopfe zeigen insgesamt geringere Mineralisation (620 bis $670 \mu\text{S}/\text{cm}$). Lediglich ein von Süden zufließender Bereich weist ca. $790 \mu\text{S}/\text{cm}$ auf. In der westlichen Quellregion (L3) trat an diesem Tag ein leicht saurer pH-Wert von $6,65$ auf. Aufgrund der geringen Temperaturen von 9°C ist hier von einem größeren, unterirdischen Einzugsgebiet auszugehen.

5. HYDROGEOLOGIE

Die Wasserwegsamkeit von Festgesteinen wird durch den nutzbaren Hohlraumanteil von Kluft-, Karst- und Poresystemen bestimmt. Speziell in bergbaubeeinflussten Gebieten werden die geologisch/tektonisch induzierten hydrogeologischen Rahmenbedingungen durch bergbaubedingte Hohlräume verändert. Da in der untersuchten Prä-Flutungssituation des Gessentals ein großer Teil des (Halden)-Sickerwassers in den Untergrund versickert und dem Grubenwasser zutritt, werden die anstehenden Gesteine hydrogeologisch klassifiziert und beschrieben. Anschließend werden die aus Literaturdaten rekonstruierten hydrogeologischen Rahmenbedingungen außerhalb und innerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichters vorgestellt und verglichen. Ergebnisse, die im Rahmen der Sanierung in den gesättigten und ungesättigten Bereichen der paläozoischen Feststeinsgrundwasserleiter von der Wismut GmbH ermittelten wurden, fließen in die Betrachtungsweise ein. Es schließen sich Ausführungen über die direkten bergbauverursachten Modifikationen der natürlichen hydrogeologischen Ausgangsbedingungen im Untersuchungsgebiet und den daraus abzuleitenden Folgen an. Schließlich wird die historische und rezente hydrogeologische Situation beschrieben.

5.1. Natürliche hydrogeologische Verhältnisse

Die im Ronneburger Uranbergbaurevier anstehenden Gesteine bestehen aus Fest- und Lockergesteinen. Überwiegenden Anteil haben alt- bis mittelpaläozoische Metasedimente, die hydrogeologisch mit sog. „Tonschiefern“ vergleichbar sind. Die Gesteinsdurchlässigkeit von Tonschiefern wird als sehr niedrig angenommen und liegt bei $3 \cdot 10^{-6}$ – $2,1 \cdot 10^{-12}$ m/s (MATTHESS & UBELL 1983, FREEZE & CHERRY 1979, DAVIS & DE WIEST 1967). Nennenswerte Gebirgsdurchlässigkeiten treten nur in den Auflockerungs- und Verwitterungszonen und in geklüfteten Bereichen auf (Abb. 30). Die Gesamtporosität von kristallinen Schiefern liegt i.A. zwischen 0,5 und 5 %, wobei in Verwitterungs- und Störungszonen Porositäten bis zu 50 % vorkommen. Richtungsabhängig vom Streichen der Schieferung bzw. Schichtung ist die Gebirgsdurchlässigkeit anisotrop. Die Brunnenleistung ist abhängig von der Mächtigkeit und Verbreitung der Verwitterungszone sowie der Klufthäufigkeit und -weite. Mittlere Brunnenergiebigkeiten für Phyllite und Tonschiefer liegen bei 0,51 bis 0,91 l/s (MATTHESS & UBELL 1983, FREEZE & CHERRY 1979, DAVIS & DE WIEST 1967).

Das wirksame Porenvolumen der Gesteine des Thüringischen Schiefergebirges ist sehr gering. Die Gebirgsdurchlässigkeit ist abhängig von den Materialeigenschaften der Gesteine sowie

von ihrer tektonischen Beanspruchung. Die im Ronneburger Horst anstehenden Gesteine (Abschnitt 2.4) weisen aufgrund ihres Kompetenzverhaltens (Sprödigkeit) gegenüber tektonischen Spannungen unterschiedliche Grundwasserführungen auf (HECHT 1995, GRÄBE 1961). Diese können in Form von Ergiebigkeiten und Transmissivitäten beschrieben werden (Abb. 30).

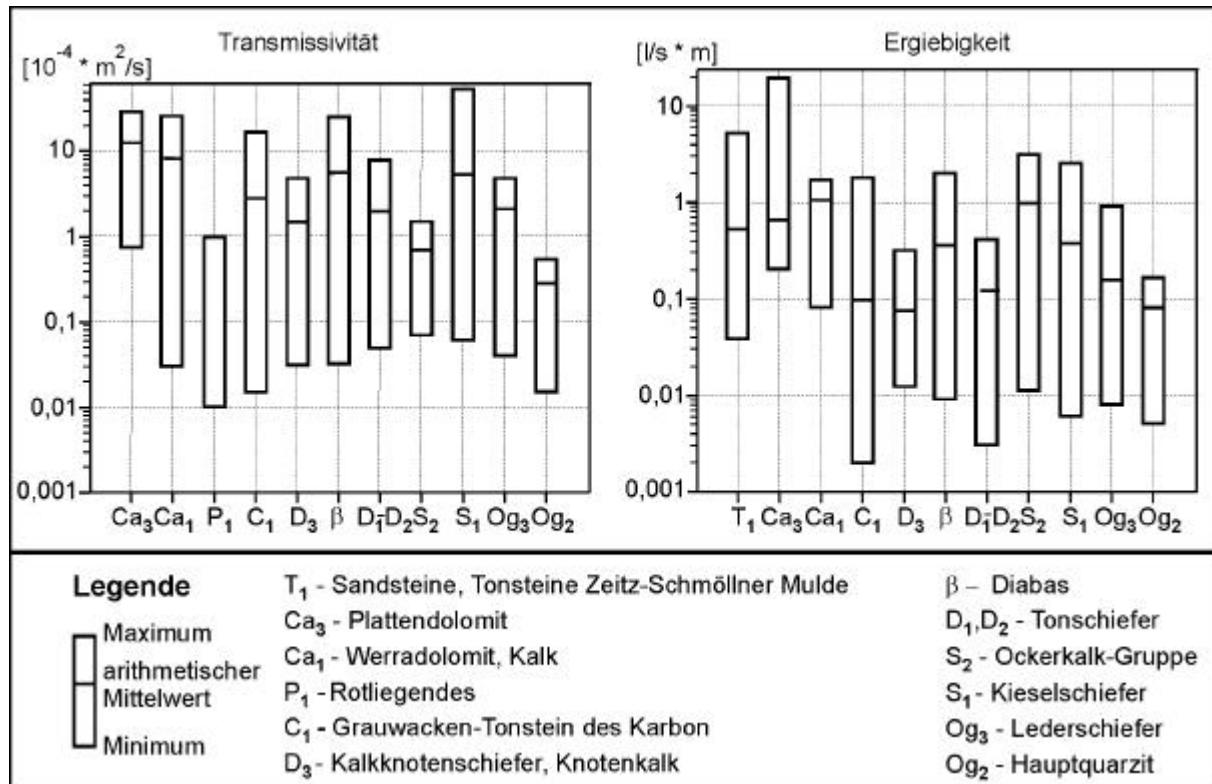


Abb. 30: Spannbreiten und Mittelwerte für die Ergiebigkeit (E) und Transmissivität (T) ausgewählter lithol. Einheiten aus Thüringen (nach HECHT 1995, veränd.).

Hydrogeologisch bildet der Ronneburger Horst das System eines komplexen Kluftgrundwasserleiters, welches durch die Crimmitschauer Störung im NE und die Pohlener Störung im SW begrenzt wird. Nordöstlich der Crimmitschauer Störung in der Zeitz-Schmöllner Mulde überlagern die Grundwasserleiter der permotriassischen Sedimente die altpaläozoischen Gesteine (Abb. 31). Westlich des Ronneburger Reviers im Bereich von Gera streichen die Grundwassereinheiten des Karbons, Perms und Buntsandsteins aus (Abb. 4). Nach TMLNU (1996) haben die Lithofazieseinheiten L1.2 und L1.3 (Schiefer und metamorphe Gesteine mit Diabasen bzw. mit Kalkstein) im Geraer Vorsprung die größte Verbreitung. Diese hydrogeologischen Einheiten weisen infolge von Karsterscheinungen eine mäßige bis gute Grundwasserführung, z.T. hohe Pufferkapazitäten und eine große Spannbreite bei den Gesamthärtebereichen auf. Untergeordnet treten Lithofazieseinheiten in Lockergesteinen (L11, L12, L13) auf. Das Gebiet des Ronneburger Horstes befindet sich auf einer Hochfläche, in der die Grundwasserneubildung hauptsächlich durch infiltrierende Niederschläge möglich

ist (vgl. Abschnitt 4.2.4). Es sind keine hydraulischen Verbindungen über typische Grundwasserleiter nach außen bekannt. Insgesamt verhindert die größtenteils wasserundurchlässige Crimmitschauer Störungszone hydraulische Verbindungen zwischen dem Ronneburger Horst und der Zeitz-Schmöllner Mulde. Vereinzelte Wasserwegsamkeiten über diesen saxonisch aktiven Störungsbereich sind jedoch nicht auszuschließen (SCHMIDT & REICHARDT 1993, WISMUT 1994b).

Sämtliche oberflächennah anstehenden Gesteine unterlagen den jungpaläozoischen bzw. känozoischen Verwitterungsvorgängen. Folge der Alteration ist die Ausbildung einer mächtigen Verwitterungszone, die sich positiv auf die Grundwasserführung auswirkt und zu erhöhten hydraulischen Leitfähigkeiten führt. Die Mächtigkeit der Verwitterungszone ist uneinheitlich und wird von WISMUT (1994a, b) und ECKART (1993) mit 50 – 70 m angegeben.

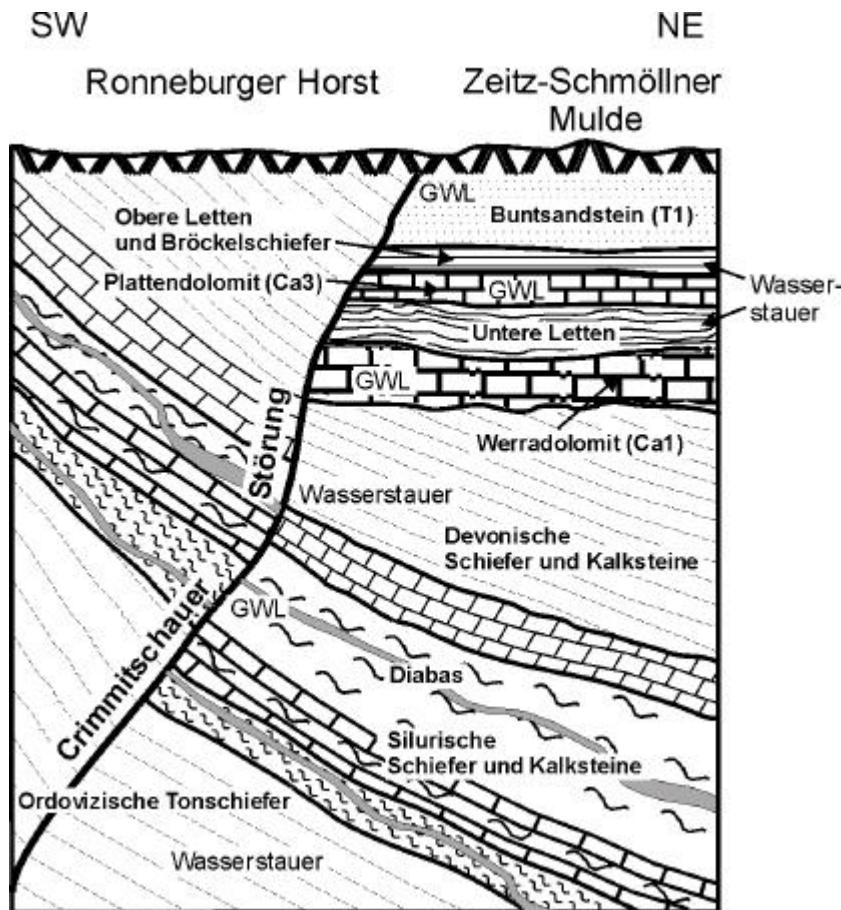


Abb. 31: Schematische Darstellung der Grundwasserleiter im Gebiet Bergaer Sattel und in der Zeitz-Schmöllner Mulde mit der Crimmitschauer Störung als hydraulisch wirksames Element (WISMUT 1994a, b, veränd.).

5.1.1. Alt- und Mittel-Paläozoikum

Die im Zentralbereich des Ronneburger Reviers an der Basis der Silurmulden befindlichen ordovizischen Lederschiefer (Og_3) weisen mittlere Transmissivitäten von $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und

mittlere Ergiebigkeiten von 0,16 l/s*m auf. In Kontaktzonen mit Diabasen und in intensiv gestörten Bereichen sind die Ergiebigkeiten höher. Der ordov. Lederschiefer wird außerhalb von Störungsbereichen als Grundwasserstauer angenommen (HECHT 1995, WISMUT 1994b, GRÄBE 1961).

Die sudetisch angelegten NE/SW-gerichteten Störungsbereiche im Gebiet des Ronneburger Uranbergbaus unterlagen kompressiven Bewegungen. Dies führte zur Ausbildung von NNE/SSW verlaufenden Sattel- und Muldenstrukturen mit SW-geneigten Achsbereichen, die Gesteine des Ordoviziums bis Unterkarbons enthalten. Im Wesentlichen weisen die silurischen Gesteine innerhalb der Mulden (Unterer Graptolithenschiefer S₁, Ockerkalk S₂, Oberer Graptolithenschiefer S₃) merkliche hydraulische Leitfähigkeiten auf und nehmen eine dominierende Stellung für die Grundwasserneubildung und -bilanz ein (Abb. 5, Abb. 32, WISMUT 1994 a, b, SCHMIDT & REICHARDT 1993). Innerhalb der NNE/SSW-streichenden Muldenbereiche, die im NE, SW und NW tektonisch gegen permotriassische Sedimente (Zechstein, Buntsandstein) abgegrenzt sind, können die kieselschieferreichen Partien des S₁ sowie der Ockerkalk (S₂) als komplexe Kluft- und Karstgrundwasserleiter bezeichnet werden (Abb. 33). Durch das hohe Kluftvolumen und die nicht schichtgebundene Kurzklüftigkeit bildet der Kieselschiefer einen bedeutenden Grundwasserleiter im S₁, welcher hydraulische Verbindungen mit den im Liegenden und im Hangenden auftretenden Diabasen hat. In den Ausstrichbereichen des S₁ im Ostthüringischen Schiefergebirge weisen Quellen und Brunnen relativ hohen Ergiebigkeiten (> 2 l/s) auf (GRÄBE 1961). Der Kieselschiefer zeigt i.A. eine mit der Tiefe abnehmende Klüftigkeit bzw. Wasserführung. Geohydraulische Tests im Gebiet des Gessenbaches ermittelten für den S₁ lithologiebezogene Streuungen der K-Werte von $3,3 \cdot 10^{-10}$ bis $1,7 \cdot 10^{-6}$ m/s (Median: $4,2 \cdot 10^{-8}$, 24 Messungen). Diese um mehr als drei Größenordnungen differierenden Streubreiten sind vermutlich auf den unterschiedlichen Klüftungsgrad zurückzuführen. In der Verwitterungszone des Gessen- und Wipsebachtales wurden K-Werte ermittelt, die z.T. um drei Größenordnungen höher liegen (SOLEXPERTS 1997). Qualitative Aussagen zu den unterschiedlichen Störungsbereichen zeigen, dass die N/S-verlaufenden Zerrungsstrukturen relativ gute Wasserleitfähigkeiten aufweisen, während die störungsinduzierte Wasserführung in NW/SE-Richtung heterogen ausgebildet ist (SCHMIDT & REICHARDT 1993).

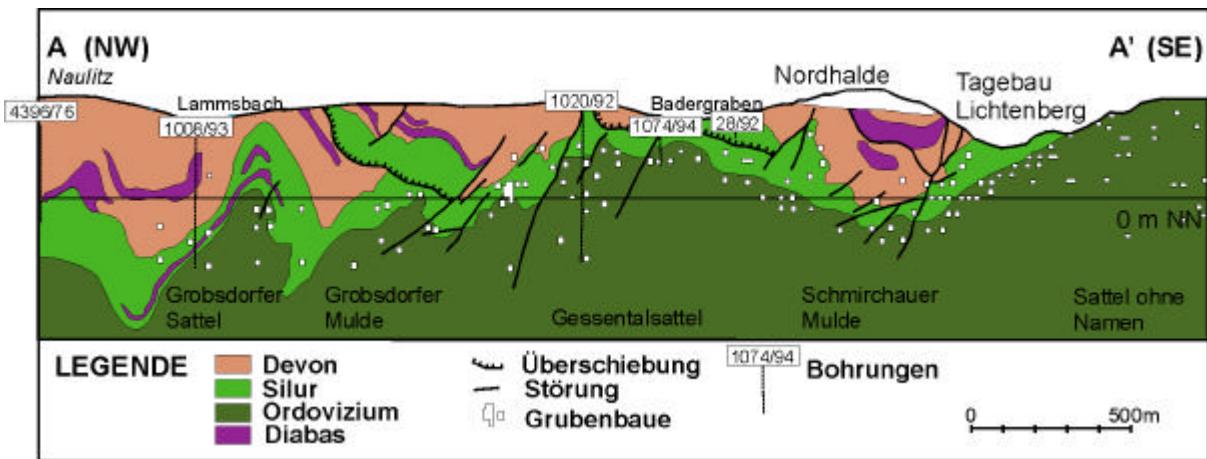


Abb. 32: Schnitt durch das Ronneburger Revier mit dem grundwasserleitenden Komplex des Silurs, Schnittlage aus Abb. 5 (WISMUT 1999, veränd.).



Abb. 33: Wasserwegsame Störung zwischen silurischen Kieselschiefern und sapropelitischen Alaunschiefern im Sprottetal (Wismut-Bohrung 1443 im Jahr 1999, 145-148 m u. GOK).

Die im Ockerkalk (S_2) auftretende Wechsellagerung inkompetenter dünnbankiger Schwarzpelite (Alaunschiefer) mit kompetenteren dickbankigen Karbonaten führt in den

mehrstufigen Deformationsphasen zu Faltungen höherer Ordnung im S_2 und z.T. zu Aufschiebungen an den Faltenachsen. Die Klüfte bilden sich im Gegensatz zum S_1 vorwiegend bankintern und weisen einen höheren Regelungs- und Durchdringungsgrad auf. Die Klüfte und Störungen stellen bevorzugte Migrationsbahnen für Grund- und Sickerwässer dar. Insbesondere Vergitterungs- und Kreuzungszonen von Störungen können permeable Zonen bilden und Lösungsvorgänge beschleunigen (Karst). Der S_2 kann neben einer gleichmäßig ausgebildeten Klüftung bis zu m^3 -große Karsthohlräume enthalten. In den verkarsteten Bereichen sind die Brunnenergiebigkeiten z.T. höher als im S_1 (HECHT 1995). Die von SOLEXPERTS (1997) anhand von sechs hydrogeologischen Tests ermittelten K-Werte reichen von $1 \cdot 10^{-8}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (Median: $5,3 \cdot 10^{-6}$ m/s). In der Verwitterungszone nehmen sie Werte zwischen $1 \cdot 10^{-7}$ und $7 \cdot 10^{-4}$ m/s an. Ursache für die Streuungen und die höheren Durchlässigkeitsbeiwerte kann neben dem variierenden Klüftungs- bzw. Auflockerungsgrad das unterschiedliche Ausmaß der Verkarstung des S_2 sein.

Das innerhalb der o.g. Silurmulden und insbesondere in den lithologischen Einheiten S_1 und S_2 befindliche Gefügeinventar bildet ein Polyflächensystem ohne relevante Vorzugsrichtungen. Somit wird der grundwasserführende silurische Komplex innerhalb seines Verbreitungsgebietes als hydraulisch isotrop angesehen (WISMUT 1998).

Die organikreichen und pyritführenden Oberen Grapholithenschiefer (S_3) wirken als Grundwasserstauer. Die K-Werte im Bereich des Gessentals liegen zwischen $1,8 \cdot 10^{-10}$ und $3,1 \cdot 10^{-10}$ m/s (Median: $1,8 \cdot 10^{-8}$ m/s) und bestätigen die grundwasserstauenden Eigenschaften (SOLEXPERTS 1997, GRÄBE 1961). Infolge eines höheren Tonmineralanteils kommt es innerhalb von Störungs- und Kluftbereichen nur partiell zu erhöhten Permeabilitäten. Die im Verwitterungsbereich des Wipsebach- und Gessentales ermittelten Werte liegen z.T. deutlich höher (10^{-6} bis 10^{-5} m/s) als im unterliegenden Gebirge. Die größtenteils tonig verwitterten Schiefer wirken jedoch insgesamt als Grundwasserstauer.

Die Diabase (Di o. β) weisen im Schichtprofil eine erhöhte Grundwasserführung auf. Diese wird im NW-Bereich des Bergaer Sattels auf ein sekundäres Porenvolumen aufgrund von Lösung primären Kalzits zurückgeführt (HECHT 1995, GRÄBE 1961). Die Transmissivitäten im Di schwanken um mehrere Größenordnungen und liegen zwischen 0,032 und 25,2 m/s² (Abb. 30).

Die Metasedimente des Unter- und Mitteldevons (D1, D2) sind im Normalfall kaum wasserdurchlässig und als grundwasserfrei anzusehen (GRÄBE 1961). Nur in Bereichen von Störungen und in Kontaktbereichen mit Diabasen sind gute Gebirgsdurchlässigkeiten anzutreffen (SOLEXPERTS 1997).

Die oberdevonischen Knotenkalke (D3) sind dagegen infolge tektonischer Beanspruchung zerklüftet sowie flach bis tiefgreifend verkarstet. Je nach Verkarstungs- und Klüftungsgrad bewegen sich die stark unterschiedlichen Transmissivitäten zwischen $3,1 \cdot 10^{-6}$ und $4,79 \cdot 10^{-4}$ m²/s (HECHT 1995). Bohrungen und hydraulische Tests in der Nähe einer Störungszone im Bereich des Wipsebaches zeigen k_f-Werte in ähnlichen Spannbreiten. Durch die zwischenlagernden Diabase erhöhen sich die K-Werte der devonischen Gesteine geringfügig (SOLEXPERTS 1997). Die devonischen Gesteine sind hauptsächlich im südlichen und westlichen Gebiet des Ronneburger Reviers verbreitet.

Natürliche Grundwasserbeschaffenheit des Alt- und Mittelpaläozoikums

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit im Grundwasserleiter-Paläozoikum außerhalb des Einflussbereiches des Uranbergbaus stellt sich uneinheitlich dar. Das Grundwasser ist prinzipiell als sehr weich einzustufen (HECHT 1995). Nach GRÄBE (1961) werden die Wässer des ostthüringischen Schiefergebirges in unterschiedliche Härteklassen gegliedert:

0-4°dH: ordovizische und silurische Tonschiefer und Kulmtonschiefer,

4-8°dH: Diabase, devonische Kalkknotenschiefer und silurischer Ockerkalk,

8-15°dH: Kalke des Devons, Diabastufe.

Es überwiegen HCO₃-Wässer mit geringen Mineralisationen. Mit zunehmender Tiefe und zunehmender Entfernung von der Crimmitschauer Störungszone nehmen die Ca- und SO₄-Gehalte sowie die Gesamtmineralisation zu.

Die karbonischen und unterpermischen Gesteine sind hauptsächlich westlich des Ronneburger Uranbergbaureviers im Bereich von Gera verbreitet. Die Sandstein-Tonstein-Wechsellegerung des Karbons weist Transmissivitäten zwischen $1,5 \cdot 10^{-6}$ - $1,7 \cdot 10^{-3}$ m²/s auf. Die Grundwasserführung ist i.A. aufgrund der petrografischen Zusammensetzung und dem relativ geringen Zerklüftungsgrad unbedeutend (HECHT 1995, GRÄBE 1961).

5.1.2. Jungpaläozoikum, Mesozoikum, Känozoikum

Von hydrogeologischer Bedeutung sind die Kluftgrundwasserleiter des Oberkarbons und Rotliegenden. Die Werte für die Transmissivität schwanken zwischen 10^{-4} und 10^{-6} m²/s. Die im Bereich des westlichen Gessentals und des Zauffensgrabens bei Gera im Rotliegend verfilterten Brunnen weisen Transmissivitäten zwischen 10^{-2} und 10^{-3} m²/s auf (TMLNU 1996). Die im Rotliegend verfilterten Tiefbrunnen werden für die Trinkwassergewinnung von Gera genutzt (HECHT 1995, KRETSCHMER 1945).

Die Karbonatgesteine des Zechsteins streichen am Südrand der Zeitz-Schmöllner Mulde sowie im Bereich von Gera aus. Sie bilden die Kluftgrundwasserleiter Werradolomit (Ca₁)

und Plattendolomit (Ca_3) mit den zwischenlagernden Grundwasserstauern Untere Letten (UL) und Obere Letten (OL). In Gebieten mit direkter Überlagerung von Ca_1 und silurischen Schichten sowie in Störungszonen bestehen hydraulische Verbindungen u.a. zum Grubengebäude (WISMUT 1998). Die Grundwasserführung im Ca_1 und Ca_3 ist von der Zerklüftung, Auslaugung und Verkarstung abhängig. Bei Gera und Altenburg werden Tiefbrunnen mit mittleren Ergiebigkeiten von 1,43 l/s·m genutzt, die in den Grundwasserleiter des Zechsteins und des Rotliegenden verfiltert sind (Abb. 30, KRETSCHMER 1945).

Hydrochemisch können die Grundwässer je nach Einfluss der Sulfatgesteine und der Sandsteine des überlagernden Buntsandsteins als $\text{Ca}-(\text{Mg})-(\text{HCO}_3)-(\text{SO}_4)$ -Wasser mit Gesamthärtungen zwischen 18-25°dH im Ca_1 und 20-30°dH im Ca_3 charakterisiert werden (HECHT 1995). Nach WISMUT (1994a, b) existieren im Grundwasserleiter Ca_1 nur Wässer mit einer Gesamthärte von 70 bis 100°dH und SO_4 -Gehalten bis zu 1.400 mg/l. Im Grundwasserleiter Ca_3 treten generell Wässer des HCO_3 -Typs auf.

Der Untere Buntsandstein bildet einen Porengrundwasserleiter und ist in der Zeitz-Schmöllner Mulde NE der Crimmitschauer Störung verbreitet, wobei die Transmissivitäten außerhalb von Störungszonen zwischen 10^{-4} und 10^{-5} m²/s liegen. Im Bereich von Störungen und Verwitterungszonen können die Transmissivitäten Werte bis zwei Größenordnungen höher annehmen. Das Grundwasser wird im Wasserwerk Kakau aufbereitet. Die Wasserbeschaffenheit im Grundwasserleiter Unterer Buntsandstein stellt sich insgesamt relativ einheitlich dar. Das Grundwasser ist geprägt durch unterschiedliche Ca- bzw. Mg-Anteile und HCO_3/SO_4 -Verhältnisse. Nach HECHT (1995) wird der Chemismus nicht unbedeutend vom Bindemittel des Sandsteins bestimmt. TMLNU (1996) weist den Grundwasserleitern des Buntsandsteins die Lithofazieseinheiten L8.1 (Sandsteine, gering mineralisiert) sowie L8.2 (Sandsteine, stark mineralisiert) zu.

Entlang von Tälern und auf den Hochflächen sind Meter- bis 10er-Meter mächtige, überwiegend quartäre Lockergesteinsstockwerke einschließlich Löss ausgebildet. Die in Tallagen ausgebildeten Grundwasserleiter bilden die natürliche Drainage der angrenzenden Festgesteine, und werden talparallel durchströmt. Teilweise kommunizieren diese Grundwasserleiter der Talsedimente mit den Vorflutern. Äolisch gebildete Lösse und umgelagerte Lössderivate bilden einen oberflächennahen Grundwasserspeicher, behindern jedoch die Grundwasserneubildung. Hydrochemisch werden die Grundwässer in Tälern zumeist von Oberflächengewässern als auch vom angrenzenden Festgestein beeinflusst. Die durch Löss o.ä. beeinflussten Grundwässer weisen hohe Karbonathärtungen und erhöhte Pufferkapazitäten auf (TMLNU 1996).

Informationen über die hydrogeologische Situation vor dem Bergbau sind nur aus älteren geologischen und topografischen Karten ersichtlich. Die vorbergbauliche hydrogeologische Situation im östlichen oberirdischen Einzugsgebiet des Gessentals wird in Abschnitt 5.3.1 dargestellt. Die hydrogeologische Situation der ostthüringischen Uranbergbauregion war geprägt durch einen Grundwasserstrom in Richtung der durch rückschreitende Erosion gebildeten Täler. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Weiße Elster im Westen sowie die Pleiße im Osten die Hauptentlastungsgebiete für das Grundwasser waren.

5.2. Hydrogeologische Veränderungen durch den Bergbau

Anthropogene Veränderungen der natürlichen hydrogeologischen Situationen bestehen aus:

1. Schaffung zusätzlichen Hohlraums durch den Bergbau
2. Modifikation der unterirdischen Einzugsgebiete durch die Grubenwasserhaltung und Bildung eines Absenkungstrichters für Grundwasser
3. Aufhaldung von Untergrundmaterial über der Tagesoberfläche
4. Veränderung der Wasserchemie durch Oxidationsprozesse des entwässerten Gebietes.

In das so veränderte Gebirge steigt das Grundwasser im Ronneburger Uranbergbaugebiet seit 1998 wieder an. Die Zeitdauer der Flutung, die Lokation der Flutungswasseraustrittsgebiete, die Quantität und Qualität des zukünftig austretenden Grubenwassers sowie deren Behandlung werden im Rahmen von Genehmigungsverfahren durch die Wismut GmbH untersucht. Im Folgenden werden Aspekte zu den o.g. Punkten zusammenfassend skizziert.

5.2.1. Hohlräume durch den Bergbau

Durch die von 1950 bis 1990 im Ronneburger Uranbergbaugebiet währenden Erkundungs- und Gewinnungsarbeiten für Uran wurde ein komplexes System von Hohlräumen geschaffen. Über die Größe des resultierenden bergmännischen Hohlraums gegenüber des natürlichen Hohlraums im Abbaugebiet des Ronneburger Reviers gibt es Abschätzungen. Diese basieren auf den untertage gewonnenen Informationen sowie auf Bohrdaten. Nach Beendigung des Bergbaus war ein Netz aus 1022 km Strecken und Schächten von ehemals über 2.900 km auf einer Fläche von ca. 74 km² offen. Die von Süden nach Norden einfallende Lagerstätte ist durch horizontale Förderebenen erschlossen worden. Diese sog. Sohlen sind im Abstand von 30 m in den tagesnahen Bereichen und von 45 und 60 m tieferen Bereichen erschlossen. Zwischen der 30 m Sohle (30 m u. GOK, 270 mNN) und 880 m u. GOK war ein verbundenes Netzwerk an bergmännischen Auffahrungen entstanden. Die offenen Grubenstrecken wurden bis 1999 kontinuierlich zurückgebaut (WISMUT 1994 a, b).

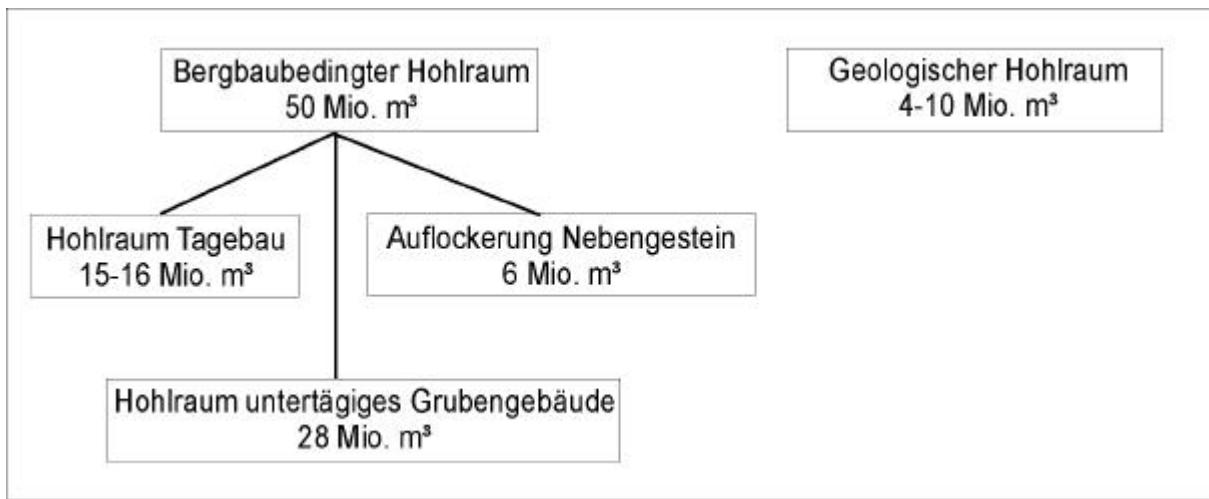


Abb. 34: Verteilung des Hohlraums vor der Flutung in der ostthüringischen Uranbergbauregion (nach GATZWEILER et al. 1997).

Die von GATZWEILER et al. (1997) angegebenen Daten (Abb. 34) weisen 1991 einen bergbaubedingten noch offenen Hohlraum von ca. 50 Mio. m³ aus. Ein Großteil dieses Hohlraums bestand in den offenen Strecken und Schächten des untertägigen Bergbaus. In Gewinnungsbereichen wurden Wasserwegsamkeiten durch verschiedene Abbauverfahren geschaffen. Das Kammerbruchbauverfahren (z.T. mit Versatz) und der Teilsohlenabbau (mit Versatz), z.B. Kammerpfeilerbau (PROKORP et al. 1991), waren Verfahren, die ein gelockertes Gebirge hinterließen, dessen „Porenvolumen“ nur grob abgeschätzt werden kann.

Die Hohlräume im verfüllten Tagebau Lichtenberg wurden auf 15-16 Mio. m³ geschätzt. Die Permeabilität des umgelagerten Haldenmaterials hängt von der Einbauweise des Materials, von den Materialeigenschaften und der Korngröße ab (SINGH et al. 1985). Der erfolgende scheibenweise Einbau von verlagerten Haldenmaterial soll zu einem k_f-Wert von 10^{-6} m/s bis 10^{-8} m/s führen. Es ist davon auszugehen, dass durch Kompaktion innerhalb des Verfüllungsvolumens die hydraulische Durchlässigkeit weiter vermindert wird (BRENK SYSTEMPLANUNG 1995).

Durch Verwahrungsarbeiten im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Bergschadensfällen und zur Minimierung des Schadstoffaustrags wurden die Hohlräume z.T. oberirdisch mittels Bohrungen verfüllt. Da eine vollständige Verfüllung sämtlicher unterirdischer Hohlräume aufgrund von finanziellen und logistischen Gründen nicht möglich war, wurden aus bergschadenskundlichen Gründen alle Tagesöffnungen, die gesamten tagesnahen Grubenbaue bis 100 m u. GOK sowie bergbaubedingte Hohlräume unter dem Stadtgebiet von Ronneburg verfüllt. Aus hydrogeologischer Aspekten wurden ebenfalls Hohlräume in wasserwegsamen Bereichen der Crimmitschauer Störungszone und in unmittelbarer Umgebung von ehemaligen Erkundungsbohrungen beseitigt. Im Grubenfeld

Drosen wurde die unter den Grundwasserleitern des Perms befindliche Sohle verschüttet. Einzelne Sohlenbereiche in Betriebsteilen von Ronneburg-Nordwest (120-, 150-, 180-m Sohle) und Lichtenberg-West wurden zur Unterbindung der Anströmung der Austrittsgebiete Gessental bzw. Wipsetal verwahrt. Zum Einsatz kam Versatz mit sulfatresistentem Bindemittel.

Die Verwahrung unter dem Gessental wurde zur Anhebung des sich nach der Flutung einstellenden Grundwasserspiegels außerhalb des Gebietes durchgeführt. Somit soll das Oxidationspotenzial der Gesteine sowie der Volumenstrom der belasteten Wässer in Richtung des Gessentals (s.u.) vermindert werden. Bis 1999 wurden im Bereich des Ronneburger Reviers über 5,6 Mio. m³ Hohlraumvolumen verwahrt (WISMUT 1994a, b, c, WISMUT 1999).

5.2.2. Modifikation der unterirdischen Einzugsgebiete durch die Grubenwasserhaltung, Bildung eines Absenkungstrichters für Grundwasser

Langjährige bergbaubedingte Grundwasserabsenkungen bewirken einschneidende Änderungen des hydrogeologischen Regimes. Diese wirken sich auf die Strömungs- und Neubildungsbedingungen des Einzugsgebietes aus (WOLKERSDORFER 1996, SUKIJA et al. 1996) und werden mit unterschiedlichen statistischen Verfahren beschrieben (ROGOZ & POSYLEK 1982). Das sich nach dem Bergbau wieder ändernde hydraulische Grundwasserregime sowie die hydrochemischen Verhältnisse wurden mittels numerischer Simulationen prognostiziert und nachgebildet (u.a. BIEHLER & FALCK 1999, ROGOZ 1994).

Das Heben des Grundwasser nach Übertage wurde seit Beginn des untertägigen Uranbergbaus in Ostthüringen in zunehmendem Maße betrieben. Das anfallende Wasser wurde in verschiedenen kleineren Wasserhaltungen auf unterschiedlichen Sohlen gesammelt und später gehoben. Die Hauptwasserhaltung erfolgte durch die Schächte 397 und 403 (BRUNE 2000). Die gehobenen Gesamtmengen betrugen ca. 725 bis 1.000 m³/h (GATZWEILER et al. 1997). Es bildeten sich Grundwasserabsenkungstrichter unterschiedlicher Größe und Ausbildung (Abb. 35). Die Ausdehnung des größten Absenkungstrichter im Raum Ronneburg betrug ca. 50 km². Im Gebiet von Drosen mit einer direkter Auflagerungen von Werra- und Plattendolomit auf den paläozoischen Grundwasserleitern ist nur das paläozoische Grundgebirge entwässert. Die Druckentlastung der hangenden Grundwasserleiter führte zu einem Absenkungstrichter von ca. 15-20 km² Größe. In Gebieten mit einer direkten Auflagerung von Werradolomit auf Paläozoikum und mit tiefgreifenden Störungszonen (Korbußen, Großenstein, Reust) sind kleine Absenkungstrichter mit einer Fläche von ca. 4 km² (BRUNE 2000, WISMUT 2000) entstanden.

Die Ausbildung des Absenkungstrichters im für das Gessental wichtigen Raum Ronneburg beruht auf der Auswertung von bis zu 70 Grundwassermessstellen sowie auf untertägigen Beobachtungen. Die jeweiligen Ränder sind geprägt durch ein sehr steiles Einfallen bedingt durch die geringen Wasserleitfähigkeiten der Gesteine. Das Einfallen des Absenkungstrichters betrug bis zum Beginn der Flutung Ende 1997 bis zu 55° in Richtung des unterirdischen Abbaus. Die Entwässerung des Gebirges betrifft im Raum Ronneburg sowohl die paläozoischen Gesteine als auch die oberflächennahe Verwitterungszone und die quartären Grundwasserleiter. Es hat sich eine ungesättigte bzw. teilgesättigte Zone ausgebildet, in der sich teilweise noch schwebende Grundwasserleiter befinden.

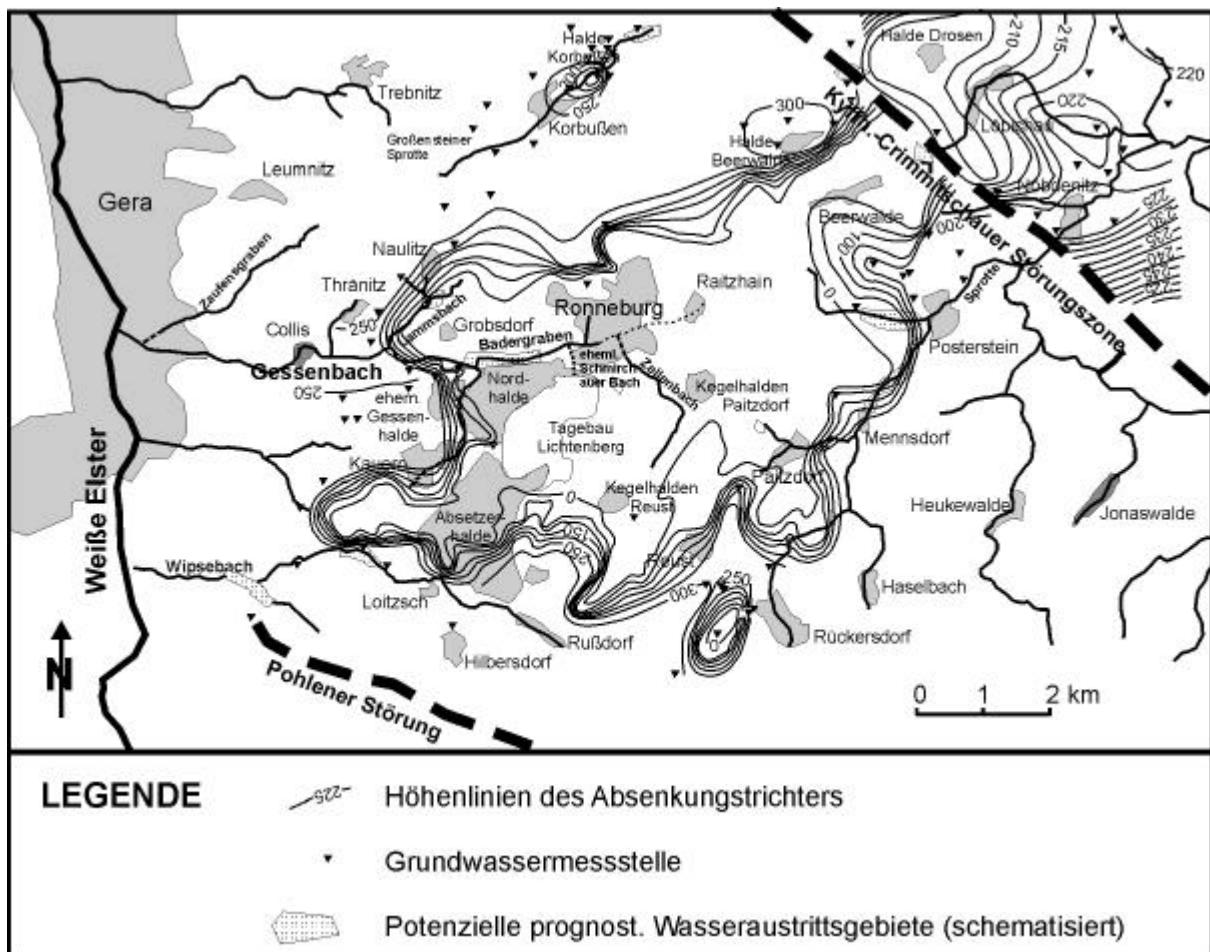


Abb. 35: Absenkungstrichter im Ronneburger Revier rekonstruiert nach Unterlagen der Wismut GmbH, Stand 12/1996.

Der Absenkungstrichter im Raum Ronneburg zeigt eine maximale Erstreckung in ENE-WSW- Richtung von ca. 11 km und in NW-SE Richtung von ca. 5 km. Er wird sowohl von der oberirdischen als auch von unterirdischen Wasserscheiden gequert. Der Absenkungstrichter wurde im NE begrenzt durch die Crimmitschauer Störungszone, die in diesem Bereich als wasserundurchlässig angesehen wird, begrenzt. Von hier erstreckte er sich

nach W nördlich von Ronneburg und Grobsdorf ins Lammsbachtal. Der Rand des Absenkungsbereiches verläuft hier nach SE durch das Gessental bis Kauern. Südlich von Kauern umschließt der Absenkungstrichter die Absetzerhalde und verläuft nach E durch Lichtenberg bis nach Paitzdorf. Hier quert er das Sprottetal und verläuft in einem flacheren Bereich zwischen Posterstein und Stolzenberg bis zur Crimmitschauer Störung.

NE der Crimmitschauer Störungszone ist das Gebirge nur im Bereich der Auffahrungen im Grundgebirge entwässert. Die auflagernden Grundwasserleiter Werradolomit, Plattendolomit und Buntsandstein sind grundwasserführend. In Abb. 35 ist die vermutete Absenkung im Grundwasserleiter „Grundgebirge“ gezeigt.

Zentrale Ziele der Flutung der Grubenbaue sind die Minimierung der Sulfidoxidation (s.u.), die Vermeidung von Bergschäden sowie die Verminderung der Radonexhalation in die Atmosphäre (GATZWEILER et al. 1996, GATZWEILER & MAGER 1993). Einzelne Grubenfelder wurden im Vorfeld der Flutung mit hydraulischen Barrieren und Dämmen versehen. Zwischen 1991 und 1997 erfolgten kontrollierte Teilflutungen tieferer Sohlenbereiche einzelner Grubenfelder (WISMUT 1999). Die Flutung im Ronneburger Uranbergbaurevier wurde Ende 1997 mit dem Abstellen der Pumpen eingeleitet. Seitdem veränderte sich der bergbaubedingte Absenkungstrichter sowie die unterirdischen Einzugsgebiete. Die hydrogeologischen Auswirkungen der Flutung, die Dauer und der Verlauf des Anstiegs, die Lage potenzieller Austrittsgebiete, das Austrittsvolumen und die Wasserbeschaffenheit, der sich nach der Flutung einstellende Wasserstand sowie weitere Detailfragen wurden mittels verschiedener Flutungsmodelle prognostiziert (KALKA et al. 1998, KISTINGER et al. 1998, PAUL et al. 1998, DEISSMANN et al. 1995, ECKART & PAUL 1995a, b, KISTINGER 1995, ECKART 1993). Hierzu wurden Großraum-Boxmodelle entwickelt, die das Grubenfeld in sog. Bilanzzellen unterteilen. Diese berücksichtigen sowohl die unterirdische Hohlraumverteilung als auch die hydraulischen Verbindungen der einzelnen Grubenfelder. Dem Modell wird ein Stoffbilanzmodell auf der Basis von des Codes PhreeqC angekoppelt. Somit werden während des Flutungsvorgangs die Gleichgewichtseinstellungen des Flutungswassers unterschiedlicher Genese sowie die Wechselwirkungen mit dem Flutungskörper überprüft (KALKA et al. 1998, PAUL et al. 1998). Ein weiteres numerisches 3D-Modell (KISTINGER et al. 1998) berücksichtigt die diskrete Nachbildung des unterirdischen Grubenhohlraums mit einem gekoppelten geochemischen Kompartimentmodell. Beide Modellwerkzeuge geben den Zeitrahmen für die Flutungsdauer sowie das zukünftige stationäre Strömungsfeld mit den potenziellen Austrittsgebieten für das Flutungswasser wieder.

Insgesamt gibt die nach den beschriebenen Modellen erstellte Flutungsprognose eine Flutungsdauer von ca. 10 Jahren, einen sich einstellenden Grundwasserspiegel von 255 bis > 270 mNN im Bereich des Tagebaus Lichtenberg sowie z.B. im Gessental austretende Volumenströme von ca. 50 bis 60 m³/h an (PAUL et al 1998, ECKART 1993). In den übrigen Austrittsgebieten (Wipse, Postersteiner und Mennsdorfer Sprotte, Beerwalde, Crimmitschauer Störung, Abb. 35) werden 190 bis 220 m³/h erwartet.

Die kontrollierte Flutung des Gebietes verläuft in den einzelnen Grubenfeldern unterschiedlich. Während zwischen den zentralen Grubenfeldern geringe hydraulische Gradienten bestehen, weisen die Grubenfelder Beerwalde, Drosen, Korbußen und Rückersdorf aufgrund hydraulischer Trennungen und unterschiedlicher Auffahrungsteufen differierende Grundwasserstände auf.

Das Flutungswasser steigt in den zentralen Grubenfeldern (Abb. 2) durchschnittlich um 0,11 m/Tag an. In Abhängigkeit von hydrometeorologischen Bedingungen werden z.T. 0,18 m/Tag erreicht. Ein Monitoringsystem, bei dem Mitte 2000 ca. 160 Grundwassermessstellen beteiligt waren, dient u.a. zur Validierung und Anpassung der Modelle. Der für einen Austritt im Gessental relevante Grundwasserstand beträgt ca. 240 mNN. Dieser Stand des Grundwassers wird zwischen 2003 bis 2005 erwartet. Die prognostizierte Flutungsdauer von 15 bis 20 Jahren wurde somit nach unten korrigiert.

Der Vergleich des prognostizierten mit dem realen Flutungsverlauf seit 1998 zeigt eine schneller ansteigende Flutungsfront als erwartet. Die Gründe für einen kürzeren als den modellierten zeitlichen Flutungsverlauf sind vielschichtig und noch näher zu untersuchen. Vermutlich erfolgte eine Überschätzung des flutbaren Hohlraums, die Nichtberücksichtigung der schon eher gefluteten Grubenhohlräume bei der Modellierung sowie eine evtl. Überschätzung der Referenzdurchlässigkeiten in den silurischen Grundwasserleitern. Weiterhin wurden sowohl die unterirdischen als auch die oberirdischen Grubenzuflüsse bei der Modellierung unterschätzt. Die natürlichen Schwankungsbereiche der meteorologischen Verhältnisse sind wahrscheinlich nicht vollständig beachtet worden. Der Jahresniederschlag 1998 betrug z.B. 681 mm in Ronneburg und lag somit ca. 50 mm über dem langjährigen jährlichen Mittelwerten (ZEGGEL 2001, vgl. Abschnitt 4.2.1).

Da die Flutungswässer hauptsächlich im Gessental austreten und so die hydrogeologischen Randbedingungen in diesem Tal verändern werden, führte die WISMUT GmbH vermehrt Sanierungs- und Überwachungsarbeiten aus (z.B. ANALYTEC 2000, SOLEXPERTS 1997, BCE 1995). Die in dieser Arbeit erzielten sedimentologischen und hydrogeologischen Forschungsergebnisse fanden bei der konzeptionellen Planung eine Berücksichtigung. Der

Bau von Abfangbrunnen zur potenziellen Flutungskontrolle wurde 2000 begonnen. Gleichzeitig wurde die Konzeption und der Bau einer Wasseraufbereitungsanlage (WBA) forciert und im Einzugsgebiet des Gessenbaches gebaut. Diese Anlage wird mit dem sog. „Schlamm hoher Dichte“ arbeitenden HDS-Kalkverfahren betrieben. Dieses Verfahren führt das kontaminierte Wasser über verschiedene Flockungs-, Klärungs- und Konditionierungsstufen sowie durch eine Druckfiltration. Die verbleibenden Filterrückstände bestehen hauptsächlich aus Gips und Bruzit ($Mg(OH)_2$) und sollen verwahrt werden (VOGEL et al. 1996).

Über die Fassung der austretenden Flutungswässer wurden von der Wismut GmbH mehrere Gutachten angefertigt (BCE 1995, DMT 2001). Ein Großteil der Sickerwässer sollen über Rigolenfassungen im Gessental gefangen und der WBA zugeführt werden. Die in diesem Rahmen wichtige hydrogeologische und hydrogeochemische Ausgangs (Ist)-Situation des Hauptflutungswasser-Austrittsgebietes Gessental bei Ronneburg ist u.a. Gegenstand dieser Arbeit.

5.2.3. Aufhaldung und Freilegung von Untergrundmaterial über der Tagesoberfläche

Die Umlagerung und Aufhaldung von pyrit-, schwermetall- und radionuklidhaltigen Substraten an die Erdoberfläche bewirkt eine Änderung der hydrogeologischen, hydrochemischen sowie der hydrologischen Rahmenbedingungen innerhalb von Einzugsgebieten. Dabei unterscheiden sich Halden aus Fest- oder Lockergesteinsmaterial deutlich in ihrem hydraulischen Verhalten und Stoffaustauschverhalten. Untersuchungen an sandig-kiesigen Kippen und Mischbodenkippen zeigen, dass sich bedingt durch die Ablagerungstechnik auf geringmächtigen, hydraulisch miteinander verbundenen grobklastischen Schüttungen ein eigenes hydraulisches System ausgebildet hat, das wie ein Kluftquifer nach dem Prinzip der verbundenen Röhren reagiert (WISOTZKY 1994, 1996, 2001, WISOTZKY & OBERMANN 1995, GLÄSER & WOHNЛИCH 1998 OBERMANN et al. 1993).

Die Wasserbewegung in heterogenen Festgesteinshalden ist nur mit aufwändigen meist nicht zu rechtfertigten Messmethodiken zu erfassen (vgl. Abschnitt 1.1 und 1.3). Der Sickerwasserzugang in Festgesteinshalden ist vergleichbar mit der Sickerwasserströmung in Festgestein, wobei die Kontaktzeiten zwischen den ungleichmäßig verteilten fluiden und den festen Phasen im System Halde verändert sind. Da sich das Porenwasser in der Matrix nur sehr langsam bewegt, kann hier eine Sickerwasserzusammensetzung entsprechend dem thermodynamischen Gleichgewicht zwischen fluiden und festen Phasen erreicht werden. Im Sickerwasser, das auf Großporen oder Klüften abfließt, stellt sich in der Regel kein thermodynamisches Gleichgewicht ein (WUNDERLY et al. 1996). Dies ist vermutlich einer der

Gründe, dass im Ronneburger Revier innerhalb einer Halde die Sickerwässer unterschiedliche Stoffgehalte aufweisen (GATZWEILER & JAKUBICK 1998).

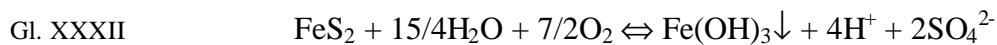
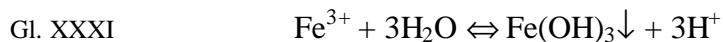
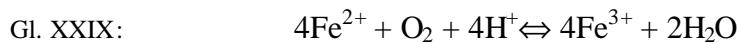
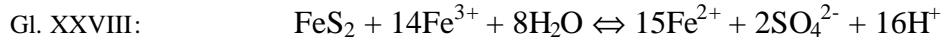
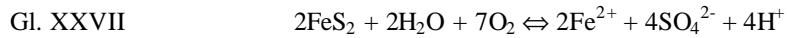
Da das Haldeninventar im Ronneburger Uranbergbaugebiet zu Beginn der Sanierungen i.A. nicht genau bekannt war, führte die Wismut GmbH seit 1990 umfangreiche sanierungsbezogene Haldenuntersuchungsprogramme durch. Ziel war es u.a. das Langzeitfreisetzungsvorhalten von Schadstoffen über den Wasser- und Luftpfad zu untersuchen (JENK et al. 1998, WISMUT 1997a, WISMUT 1995a, BCE 1995, BRENK SYSTEMPLANUNG 1995).

Hierzu wurden neben historischen Recherchen sowohl das Haldeninventar und die Freisetzungsmechanismen in Abhängigkeit von Niederschlag für einzelne Halden untersucht und modelliert. Methodisch wurden sowohl Labor- als auch Feldexperimente durchgeführt. Im Labor konnten mit Hilfe von Elutions-, Batch- und Säulenversuchen sowie der Bestimmung der Säure- und Pufferkapazitäten Bewertungen zu Sanierungsaufgaben durchgeführt werden. Es wurden z.T. Reaktions- und Stofftransportmodelle sowie angepasste Wasserhaushaltsmodelle erstellt bzw. verwendet, die hinsichtlich von konkreten Sanierungsmaßnahmen (Haldenabdeckung) angewendet wurden (HÄHNE et al. 1998, ECKART et al. 1998, DUNGER 1997, HEINZE & SÄNGER 1996, HÄHNE 1995, SCHROEDER 1994). Konzeptionelle in-situ Untersuchungen im Feldmaßstab (Lysimeterexperimente, Sickerwassermessungen) sowie Bohrungen und Schürfe wurden zur Planung, Umsetzung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen zusätzlich durchgeführt.

Im Ronneburger Revier wird bis 2007 der überwiegende Teil der Halden in den Tagebau Lichtenberg verlagert. Grundlage hierzu waren nach WEISE et al. (1996) und BRENK SYSTEMPLANUNG (1995) die o.g. Untersuchungen, die in Abhängigkeit von Summenparametern, wie des Verhältnisses vom Neutralisationspotenzial als Äquivalentmasse CaCO_3 (NP) zum Säurebildungspotenzial (SP) der Haldensubstrate die Umlagerung bestimmen. Das Säurebildungspotenzial bildete hierbei die Äquivalentmasse an CaCO_3 , die nötig ist, um die aus der vollständigen Oxidation des Gehalts an Sulfidschwefel gebildete Schwefelsäure zu neutralisieren. Aus der Klassifizierung des Materials verschiedener Halden und Haldenparzellen mittels des NP/SP-Verhältnisses wurde die Verbringungsstrategie in den Tagebau Lichtenberg abgeleitet. Hierbei ist Material mit $\text{NP/SP} < 1$ in tieferen, $1 < \text{NP/SP} < 3$ in den mittleren und $\text{NP/SP} > 3$ (z.T. > 2) in den oberen, vermutlich größtenteils wasserungesättigten Teil des Tagebaus Lichtenberg eingelagert worden.

5.2.4. Veränderung der Wasserchemie durch Oxidationsprozesse des entwässerten Gebietes

Der dominierende Verwitterungsprozess im Ronneburger Uranbergbaurevier ist die mikrobiell katalysierte Oxidation reduzierter sulfidischer Mineralphasen (Pyrit, Markasit z.T. als FeS₂) der paläozoischen Schwarzelite. Es kommt zur Bildung von sauren, hochmineralisierten Bergbauabwässern, welche auch „acid mine drainage“ (AMD) bzw. „acid rock drainage“ (ARD) genannt werden. Die für das Untersuchungsgebiet wichtigsten Verwitterungsprozesse sind im Folgenden zusammengefasst. Eine ausführliche Darstellung zur komplexen Pyritoxidation findet sich u.a. bei NORDSTROM (1982), LOWSEN (1982), BIERNS DE HAAN (1991), EVANGELOU & ZANG 1995, WISOTZKY (1994, 1996), PEIFFER (1997). Der genaue Ablauf und die Kinetik der Reaktionsmechanismen sind Gegenstand von weiterführenden Untersuchungen (EGGELSTON et al. 1996, WILLIAMSON & RIMSTIDT 1994, NICHOLSON et al. 1988, MOSES et al. 1987, DAVIES & RITCHIE 1986, SINGER & STUMM 1970). Die o.g. Eisensulfidverbindungen werden in verschiedenen Stufen mit Hilfe von Sauerstoff (Gl. XXVII) sowie in Abhängigkeit des Sauerstoffangebotes durch dreiwertiges Eisen (Gl. XXVIII) oxidativ umgewandelt (Sulfidacidität). Dreiwertiges Eisen kann in Systemen mit erhöhtem Sauerstoffangebot (z.B. ungesättigte Zone) durch Oxidation von zweiwertigem Eisen (Eisenacidität) gebildet werden (Gl. XXIX).



Dreiwertiges Eisen aus der Fe²⁺-Oxidation, welches nicht der Oxidation des Eisensulfids zugeht, wird in bergbaubeeinflussten, aeroben Systemen bei pH-Werten über 4 überwiegend als Eisen(III)-Hydroxid gefällt (Gl. XXX, Gl. XXXI). Die Hydrolyse von dreiwertigem Eisen führt in sauren Systemen zu einer verstärkten Versauerung durch Protonenbildung. Die Pyritoxidation setzt pro molarer Formeleinheit unter aeroben Bedingungen 4 Mol Protonen frei (s.u. Gl. XXXII). Neben Sulfat werden durch die Oxidation weiterer Metallsulfide (z.B. ZnS, CuFeS₂), Schwer- bzw. Halbmetalle sowie Radionuklide (z.B. Uran) freigesetzt.

Der Reaktionsverlauf der Pyritverwitterung wird im Wesentlichen durch interne Faktoren wie die spezifische Größe der Pyritoberfläche, die Korngröße der Pyrite und die Mineralausbildung sowie externe Faktoren wie die Art des Oxidationsmittel (Sauerstoffverfügbarkeit, Verfügbarkeit von gelöstem dreiwertigem Eisen usw.), pH-Wert, Temperatur und dem Wassergehalt im Boden beeinflusst (SINGER & STUMM 1970, NORDSTROM 1982, PREIN 1993, BOREK 1994, WISOTZKY 1994). Die Pyritverwitterung wird zusätzlich über die aus dem Pyrit hervorgegangenen sekundären Mineralphasen, z.B. Jarosit, Schwertmannit, Gips gesteuert (CRAVOTTA 1994). Die Oxidation wird besonders bei niedrigen pH-Werten durch Mikroorganismen katalysiert, bei höheren pH-Werten ist sie direkt vom O₂-Partialdruck abhängig (WISOTZKY 2001, ALPERS & BLOWES 1994, GOULD et al. 1994).

Neuere Forschungsarbeiten suchen gezielt nach Möglichkeiten, die Pyritoxidation einzuschränken und die Auswirkungen des AMD zu verringern (WISOTZKY 2001, NYAVOR 1996). Als steuernde Faktoren wurden u.a. Sickerwasserraten, Bildung von Sekundärmineralen, Speicherung von Spurenmetallen in Sekundärmineralen und die Zugabe von alkalisch wirkenden Zuschlagstoffen erkannt (WISOTZKY 2001, PLEBOW 1999, GLÄSER & WOHNLICH 1998, DEGNER et al. 1998, CESNOVAR & PENTINGHAUS 1997, BAACKE et al. 1996).

Gegenüber dem ursprünglichen Zustand, hat sich der Wasserchemismus infolge der o.g. Prozesse deutlich verändert. Die Grubenwässer (Tab. 10) und Haldensickerwässer (Tab. 11) weisen insbesondere hohe Sulfat- und Eisen-, z.T. erhöhte Radionuklid- und Schwermetallgehalte sowie hohe Gesamthärten auf (VOGEL et al. 1996).

Tab. 10: Beschaffenheit des Grubenwassers im Ronneburger Revier sowie der potenziell austretenden Wässer im Bereich des Gessen- und Wipsebaches (nach VOGEL et al. 1996, LOWSON & BROWN 1995, WISMUT 1994a, b).

Parameter	Absolutwerte	Prognose
PH	2,9-7	3-4
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	2.272-10.290	3.500-10.000
K ⁺ [mg/l]	10-50	
Fe _{ges} [mg/l]	6-500	200-400
Ca ²⁺ [mg/l]	300-400	400-500
Mg ²⁺ [mg/l]	1.500-2.500	1.850-2.300
Uran [mg/l]	0,1-4,4	2,5-6
Radium [mBq/l]	18-384	<500
Gesamthärte [°dH]	123-587	200-300

Aufgrund der unterschiedlichen geochemischen Zusammensetzung der anstehenden Gesteine sind die auftretenden Grubenwässer im gesamten Flutungsraum chemisch heterogen beschaffen. Die Grubenfelder Schmirchau, Reust und Paitzdorf wiesen z.B. Wasser mit sehr

geringen pH-Werten auf. Einzelne Grubenfelder wurden aus diesem Grund vor der Flutung hydraulisch getrennt, um eine Mischung verschiedener Wassertypen zu vermeiden. Seit Beginn der Flutung zeigt sich in einigen Grundwassermessstellen des Flutungsmonitorings eine vorläufige, z.T. stabile, dichtebedingte, vertikale Schichtung des Grundwassers.

In Abhängigkeit von Gehalten an säurebildenden und -puffernden Mineralen unterscheiden sich auch die Haldensickerwässer hinsichtlich ihrer Acidität und ihrer Gehalte an Schwermetallen, Neutralsalzen und Radionukliden (Tab. 11). Während die Nord- und Absetzerhalde im Gessental Sickerwasser mit niedrigen pH-Werten und hoher Gesamtmineralisation aufweisen, zeigen z.B. die Sickerwässer aus der Halde Beerwalde im Einzugsgebiet der Sprotte leicht alkalische pH-Werte sowie hohe Sulfat- und Magnesium-z.T. auch Bariumgehalte. Die im Gessental bei Ronneburg zwischen 1971 und 1978 eingesetzte Technologie der Haldenlaugung mit Schwefelsäure führte bis zur Umlagerung der Gessenhalde in den Tagebau Lichtenberg zu einer Erhöhung der Sulfatfrachten sowie einer Erniedrigung des pH-Wertes in den Haldensickerwässern. Diese Sickerwässer wiesen 1988 Gesamthärten von 3.000-7.000°dH, Sulfatgehalte zwischen 60 und 150g/l, Eisengehalte bis 0,8 g/l sowie Urangehalte zwischen 5 und 12 mg/l auf (HÄHNE 1992).

Tab. 11: Beschaffenheit ausgewählter Haldensickerwässer im Ronneburger Revier 1994. Lage vgl. Abb. 1 (aus WISMUT 1995a).

Parameter	Nordhalde	Absetzerhalde	Reust	Paitzdorf	Beerwalde*)	Drosen*)
Schüttung [m ³ /h]	0,8-6	1,1-9	5	2-6	3,4	0,2
pH	2,65-3	2,4-3,3	6,8-8	7,5-7,9	7,6	7,8
Elektr. Leif. [mS/cm]	9,6-13,3	16-17,7	8,6-14,7	2	26,2	5,4
SO ₄ ²⁻ [g/l]	7,9-12,7	16,2-25,4	5,1-9,7	5,7-13	31,8	4,5
Cl ⁻ [mg/l]	30-590	40-160	180-270	65	180	70
HCO ₃ ⁻ [mg/l]	<1	<1-13	100-590	100-240	500	300
NO ₃ ⁻ [mg/l]	1,5-3	12-17	11	10-11	500	300
Ca ²⁺ [mg/l]	380-450	370-420	300-415	220-370	450	500
Mg ²⁺ [mg/l]	810-1.550	1.600-4.240	1.160-2.310	1.370-3.180	8.450	840
Fe _{ges} [mg/l]	910-2.400	860-1.600	1-5	2-4	<1	5
U ⁶⁺ [mg/l]	2-4	6-11	1-3	2	6	12
Ra ²⁺ [mBq/l]	<10	20-30	20-90	30-40	80	140
Gesamthärte [°dH]	250-410	430-1040	310-590	350-790	2.030	360

*) Einzugsgebiet Sprotte

Neben der o.g. säurebildenden Pyritverwitterung und der Bildung von Sekundärmineralen wurden Lösungs- und Fällungsprozesse von Silikaten, Phosphaten und Karbonaten der anstehenden Gesteine und deren Kinetik als kontrollierende Reaktionen der Wässer erkannt (LOWSON & BROWN 1993). Die Freisetzung und Fixierung von Radionukliden wie z.B. von Uran wurde u.a. von BRENK SYSTEMPLANUNG (1995) untersucht.

Durch eine Behandlung der gehobenen Grubenwässer mit Kraftwerksasche konnte die Gesamtmineralisation und die Acidität des über den Wipsebach (Abb. 20) abgestoßenen Wassers gesenkt werden.

5.3. Hydrogeologie des Gessentals

5.3.1. Präbergbauliche Hydrogeologie

Über die historische hydrogeologische Situation im Gessental vor dem Bergbau existieren keine verlässlichen Aufzeichnungen. Die aus Unterlagen der Wismut GmbH rekonstruierten Karten zeigen eine hydraulisch nicht schlüssige Situation, die vermutlich auf den geringen Kenntnisstand aufgrund der geringen Anzahl an Bohrungen und der unterschiedlichen Filtertiefen der Brunnen zurückgeht. Der in BCE (1995) dargestellte Grundwassergleichenplan von 1957 zeigt Grundwasserstände zu einem Zeitpunkt, als die Schürfe 12 und 13 im Gessental schon existierten. Diese Schürfe sollen jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Grundwasserstände gehabt haben. Die generelle Grundwasserströmung vor dem Bergbau zeigt, dass das Grundwasser in Richtung des Badergrabens und des Gessenbaches floss. Das Gessental wirkt somit als Entlastungszone für das Grundwasser. Eine Vorfluterfunktion des ehemaligen Schmirchauer Baches kann nur vermutet werden, ist jedoch wahrscheinlich. BCE (1995) berichtet von artesischen Grundwasserverhältnissen im Zentralteil des östlichen Gessental in Grundwassermessstelle 2419 (Abb. 36).

Zwischen 1962 und 1963 wurden mehrere Strecken unter dem Gessental aufgefahren (Abb. 36). Hierbei wurden von der Hauptstrecke Qu. 698 mehrere Nebenstrecken weggeführt. Das Grundwasser ist im Rahmen dieser Auffahrungen im Zentralteil um über 120 m abgesenkt worden. Hierbei fiel z.B. der artesische Brunnen 2419 (240,23 mNN) im zentralen Gessental trocken. Daneben fielen der Schmirchauer Bach sowie sämtliche Mineralquellen im Bereich von Ronneburg trocken. Das Tal des Schmirchauer Baches wurde z.T. überbaggert bzw. überkippt.

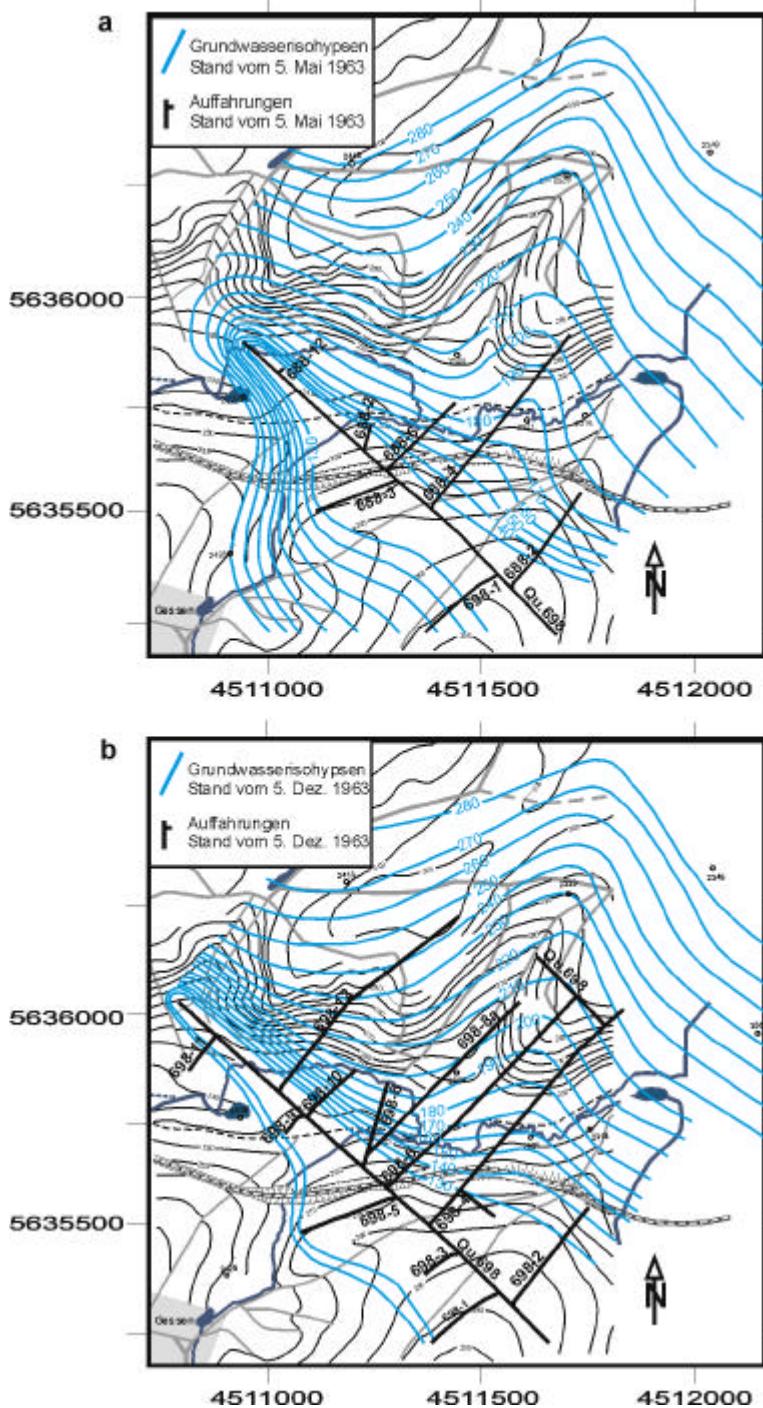


Abb. 36: Grundwasserisohypsen unter dem östlichen Gessental vom 5.5.1963 (a), bzw. 5.12.1963 (b), rekonstruiert aus Unterlagen der Wismut GmbH.

5.3.2. Rezente Hydrogeologische Situation des Gessentals

Die rezente hydrogeologische Situation im Flutungswasseraustrittsgebiet Gessental ist in zwei Teilbereiche zu gliedern. Das tiefe Grundwasserstockwerk steigt durch die Flutung der unterirdischen Grubenbaue seit 1998 an. Diese wird beispielhaft an vier im Gessental vorhandenen Messstellen beschrieben. Die Grundwasserverhältnisse in den quartären Grundwasserleitern weisen sowohl temporäre grundwassererfüllte Zonen über als auch

zusammenhängende Grundwasserleiter am Rand des bergbaubedingten Absenkungstrichter auf.

Paläozoische Grundwasserverhältnisse

Die derzeitigen paläozoischen Grundwasserverhältnisse im Bereich des Gessentals lassen sich am Besten anhand von vier Grundwassermessstellen der Wismut GmbH darstellen, welche im paläozoischen Grundgebirge verfiltert sind. Die Messstellen e-1312, e-1314 und e-1274 befinden sich innerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichters. Die Messstelle e-1272 repräsentiert die Grundwasserverhältnisse außerhalb des Depressionstrichters (Abb. 37). Die vorliegende, seit 1999 monatlich bestimmte Standrohrspiegelhöhe der Messstelle e-1272 weist Schwankungen von 255,68 mNN im Januar 2001 bis 258,57 mNN im Mai 2000 auf. Im Frühjahr 1999 und 2000 steigt die Grundwasserdruckfläche und hat jeweils im Frühsommer (07/99 bzw. 06/00) den maximalen Stand. Bis zu Ende des Jahres fällt die Grundwasserdruckfläche. Die 135 m tiefe, bis ca. 133 mNN reichende Messstelle e-1272 ist vermutlich durch die Flutung des Gebietes noch nicht beeinflusst und zeigt eine repräsentative Grundwasserdruckfläche der paläozoischen Gesteine außerhalb des Grundwasserabsenkungstrichters. Eine ähnliche Situation zeigt die 130 m (117,8 mNN) tiefe zwischen 30 und 50 m und 70 und 126 m u. GOK im Ockerkalk bzw. im Unterer Graptolithenschiefer verfilterte Messstelle e-1314. Die zwischen Januar 1999 und 2001 bestimmte Grundwasserdruckfläche weist jahreszeitlich bedingte zyklische Schwankungen zwischen 153 und 171 mNN auf. Die Grundwasserwasserdruckfläche repräsentiert einen nicht entwässerten Bereich im unverwitterten Gebirge im Hangenden des Flutungsraumes. Dieser Bereich reagiert relativ schnell auf sich ändernde Infiltrationsbedingungen. Im Sommer 1999 und 2000 nimmt der Druckspiegel ab, was auf eine Entleerung des Grundwasserspeichers deutet.

Die Messstelle e-1274 befindet sich ca. 350 m östlich der Messstelle e-1272. Sie ist mit sieben Filterstrecken in silurischem Kalkstein und Kieselschiefern (Ockerkalk, Unterer Graptolithenschiefer) sowie gestörten Bereichen verfiltert und weist keinen direkten Anschluss an das unterirdische Grubengebäude auf. Eine hydraulische Verbindung der 333 m (bis 71,7 m u. NN) tiefen Messstelle an die aufgefahrenen Streckenbereiche ist aufgrund der relativen Nähe wahrscheinlich. Zwischen Januar 1999 und Januar 2000 ist die Standrohrspiegelhöhe von 24,4 mNN auf 118,4 mNN in unterschiedlichen Geschwindigkeiten gestiegen, was durchschnittlich ca. 12,8 cm/Tag entspricht. Die relativ raschen Anstiege der Druckfläche zwischen März und April 1999 (0,52 m/Tag), Juli und September 1999 (0,48 m/Tag) sowie im Februar bis Mai 2000 (0,37 m/Tag) sind zum Einen mit erhöhtem Angebot an neugebildetem Grundwasser infolge erhöhter Niederschläge begründet. Zum Anderen steigt das Grundwasser im unver-

ritzten Gebirge infolge eines niedrigeren Hohlraumanteils (natürliche Porosität im Festgestein) schneller. Ursache für die relativ flachen Verläufe in der Zeitreihe z.B. im Zeitraum Mai bis September 1999 (0,02 m/Tag) ist die Flutung von bergmännisch offenen Hohlräumen (hier die 180 m Sohle bei ca. 117 mNN) und das Auftreten geringer niederschlagsbedingter Infiltrationsmengen.

Die ca. 202 m (40 mNN) tiefe Messstelle e-1312 ist zwischen 135 und 196 m im silurischen Ockerkalk und in einer Wechsellagerung von Alaun- und Kieselschiefer im Unteren Graptolithenschiefer verfiltert. Zusätzlich durchteuft die Messstelle eine Störung im Unteren Graptolithenschiefer zwischen 179 und 182,6 m. Die Grundwassermessstelle zeigt seit Dezember 1999 eine Reaktion auf die Flutung, indem sie von ca. 69 mNN auf 120,71 mNN im Januar 2001 angestiegen ist, was einem durchschnittlichen Anstieg von etwa 0,12 m/Tag entspricht. Der bei Messstelle e-1274 aufgezeigte flachere Anstieg zwischen Mai und September 2000, bzw. der steilere zwischen Februar und Mai 2000 deuten sich in der Zeitreihe ebenfalls an und sind mit den unterschiedlichen Flutungsgeschwindigkeiten im verritzten und unverritzten Gebirge zu deuten.

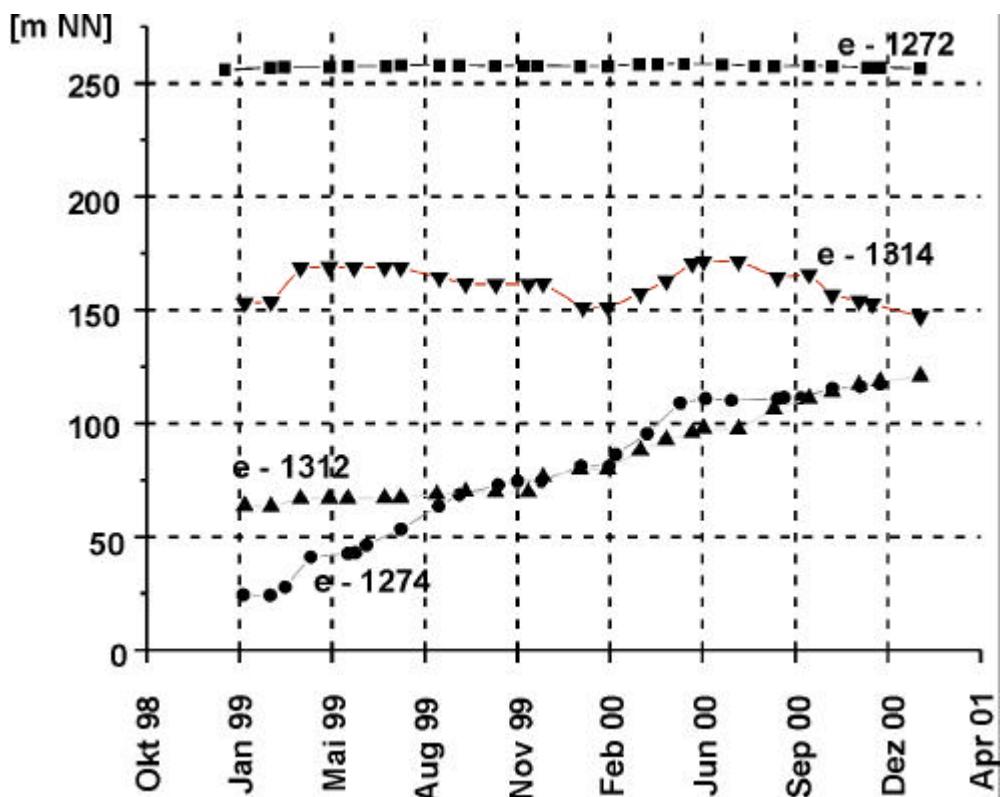


Abb. 37: Grundwasserdruckfläche von Beschaffenheitsmessstellen der Wismut GmbH nördlich der ehemaligen Gessenhalde außerhalb (e-1272: H: 5635508,0, R: 4510338,9 Höhe 268,10mNN,) und innerhalb (e-1312: H:5635782,9, R: 4510761,3, Höhe: 242,4 mNN; e-1314: H: 5635745,7, R: 4511558, Höhe: 247,8 mNN; e-1274: 5635644,8, R: 4510691,1 Höhe 261,3 mNN) des Absenkungstrichters.

Über die Flutungswasserqualität des Grundwassers im Grundwasserleiter Paläozoikum im Bereich des Gessentals liegen keine Unterlagen vor.

Quartäre Grundwasserverhältnisse

Erste Hinweise auf zeitweise auftretendes flaches Grundwasser gab die hydrogeologische Kartierung (vgl. Abschnitt 4.4). In den quartären Talsedimenten des Gessentals treten temporäre, hangende Grundwasservorkommen auf. Diese wurden durch das in Abschnitt 3.4 beschriebene Bohrprogramm erkundet. Im Rahmen dieses Bohrprogramms wurden temporäre Grundwassermessstellen errichtet. Zudem wurde der Grundwasserstand während der Bohrungen im Bohrloch bestimmt (Abb. 38).

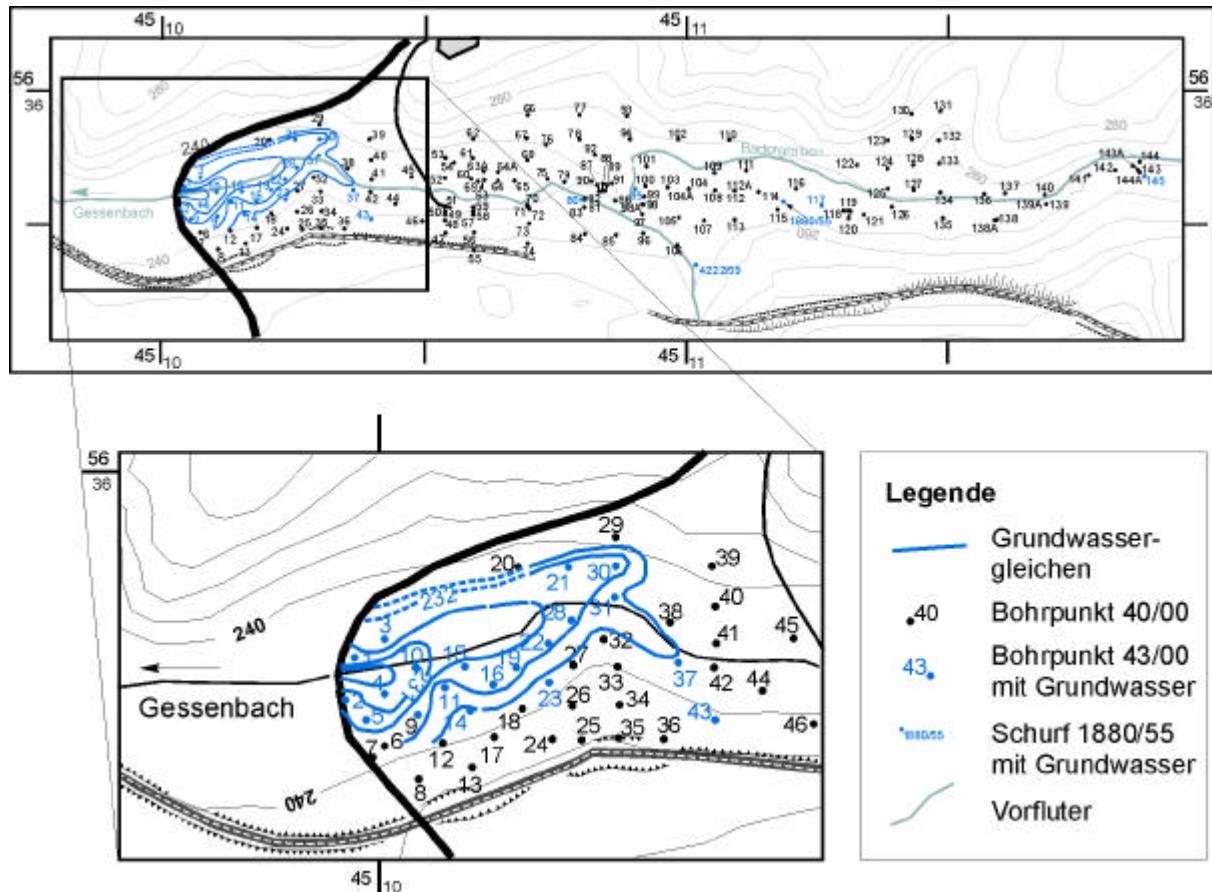


Abb. 38: Grundwassergleichen in den quartären Grundwasserleitern im E-Gessental. Temporäre gesättigte Bereiche in den größtenteils ungesättigten Talsedimenten (blau) sind 43/00: 237,22 mNN (19.6.00), 80/00: 234,9 mNN am 27.06.00, 95/00: Abb. 39, 117/00: 235,74 mNN am 15.8.00, 145/00: 246,8 mNN am 28.8.00, Schurf 1880/55: 23.05.00, Schurf 4222/59: GW-Druckfläche 18.03.99, GW-Druckfläche n.b.

Der in Abb. 38 dargestellte Grundwassergleichenplan gibt die Grundwasserdrukfläche in den quartären Grundwasserleitern im Juni bis August 2000 wieder. Aufgrund des Bohrfortschritts wurden die einzelnen Grundwasserstände z.T. an verschiedenen Tagen ermittelt. Nur die Bohrungen 10/00, 02/00 im westlichen Bereich des östlichen Gessental und 80/00, 95/00 und 117/00 im mittleren und östlichen Teil des Tales wurden (temporär) als Grundwasserbeschaffungsmessstelle ausgebaut.

In den quartären Sedimenten existieren mehrere als Grundwasserleiter bezeichnete Einheiten. Sowohl die grobkörnigen umgelagerten Hangsedimente als auch die alluvialen Sedimente im Zentrum des Gessentals können als Grundwasserleiter bezeichnet werden. Dagegen wirken die umgelagerten Lösslehme sowie die Auesedimente zumeist als Grundwasserstauer. Die lithologische sowie die hydrogeologische Beschreibung der einzelnen Grundwasserleiter erfolgt in Abschnitt 7.6.

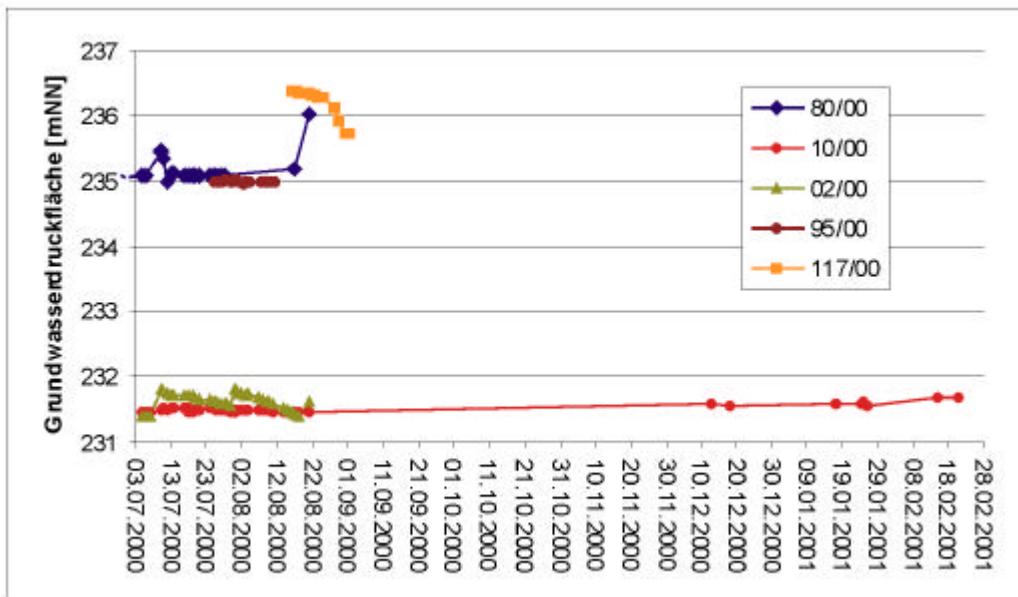


Abb. 39: Zeitreihen der Grundwasserdruckflächen im östlichen Gessental in temporären Grundwassermessstellen (Lage der Messstellen aus Abb. 38).

Die in Abb. 38 dargestellte hydrogeologische Situation im Gessental zeigt die leicht gespannten Grundwasserverhältnisse im westlichen Arbeitsgebiet. In diesem Teilbereich des Gessentals kann der Gessenbach zeitweise als echter Vorfluter wirken. Der Bach schneidet sich ungefähr bis zum östlichen Rand der Kläranlage Ronneburg direkt in die feinkörnigen Sedimente und schneidet östlich der Bohrung 28/00 vermutlich den quartären Grundwasserleiter. Die Grundwassergleichen im Quartär verlaufen im südlichen Gessental relativ bachparallel. Im nördlichen Gessental kann die Standrohrspiegelhöhe aufgrund der Kläranlage nur vermutet werden. Da die ausgehobene Grube während der Errichtung der Kläranlage z.T. mit Wasser gefüllt war (frdl. mündl. Mitt. H-J. Fengler, 1999, Wismut GmbH), ist von grundwassergesättigten Bereichen in diesem Talbereich auszugehen. Die Grundwasserdruckfläche fällt von ca. 232,61 mNN bei Bohrung 37 im östlichen bis ca. 230 mNN im westlichen Arbeitsgebiet. Ob das in Bohrung 43 angetroffene Grundwasser bei 237,22 mNN im Bereich der Hangsedimente mit dem Talgrundwasser in Verbindung steht, kann nicht eindeutig geklärt werden.

Längere Zeitreihen existieren nur aus den temporären Messstellen (Abb. 39). Hierbei weisen die beiden am längsten aufgezeichnete Zeitreihe an den Messstellen 02/00 ähnliche Grundwasserdruckflächen wie die Messstelle 10/00 auf. Die Messstelle 10/00 existierte bis August 2000 und wurde im Dezember 2000 neu eingerichtet. Die Grundwasserleiter sind von feinkörnigen Auesedimenten überlagerten gröber klastischen alluvialen Bachsedimenten. Die Grundwasserhöhen schwanken zwischen 231,4 und 231,7 mNN, wobei die höchsten Standrohrspiegelhöhen im Winter 2000/2001 ermittelt wurden. Das Grundwasser in Messstelle 02/00 ist gespannt. Die Messstelle 10/00 befindet sich ca. 3 m südlich des Gessenbaches und weist einen freien Grundwasserspiegel auf. Ob eine Abhängigkeit der Zeitreihe von den Schüttungsmengen im Gessenbach besteht, kann in der relativ kurzen Zeitreihe nicht geklärt werden. Influente Verhältnisse im Grundwasserleiter in Vorfluternähe sind zu vermuten, da sich der Wasserstand des Grundwassers im Bereich des Vorfluterniveaus befindet. ZEGGEL (2001) geht jedoch von zulaufendem Niederschlagswasser über die Außenwandung der Messstellen aus. Zur genaueren Untersuchung von influenten/effluenten Abflusssituationen des Gessenbaches werden kurzperiodische Messungen der Standrohrspiegelhöhe und des Abflusses aufgenommen und im Rahmen eines Dissertationsvorhaben bearbeitet. Insgesamt deuten die geringen Schwankungsbeträge der Messstellen auf relativ konstante Grundwasserverhältnisse im östlichen Arbeitsgebiet hin. Dagegen ist das Gebiet östlich der Bohrung 42/00 infolge des Absenkungstrichters als größtenteils entwässert anzusehen. Nur in Teilbereichen (Bohrung 80/00, 95/00 und 117/00) wurde temporär Grundwasser angetroffen.

Die Messstellen 80/00 und 95/00 befinden sich im östlichen Gessental im Bereich der Mündung des Badergrabens in den Gessenbach. In der Messstelle 80/00 wurden zwischen Juli und August 2000 Grundwasserdruckflächen zwischen 235 und 236 mNN bestimmt. Bei der letzten Messung ist die Standrohrspiegelhöhe um 1 m angestiegen, was vermutlich auf einer Fehlbestimmung beruht bzw. mit höheren Abflüssen im Gessenbach zusammenhängt. Die relativ kurze Zeitreihe zeigt einen über dem bergbaubedingten Absenkungstrichter an der Basis der Talsedimente auf silurischem Alaunschiefer (Oberen Graptolithenschiefer) in alluvialen Sedimenten auftretenden gesättigten Grundwasserbereich. Ob hier eine hydraulische Beziehung zum Vorfluter existiert, kann anhand der kurzen Zeitreihe nicht abschließend geklärt werden.

Die Grundwasserdruckfläche der Messstelle 95/00 befindet sich ebenfalls an der Basis der Talsedimente in alluvialen grobklastischen Sedimenten. Der Grundwasserbereich hat vermutlich nur eine geringe lokale Ausdehnung, da jeweils nur geringe Mengen zur

Beprobung entnommen werden konnten. Die Standrohrspiegelhöhe der Messstelle beträgt relativ konstant 235 mNN und ist somit vergleichbar mit der Messstelle 80/00. Ob zwischen den beiden Messstellen eine hydraulische Verbindung existiert, ist nicht auszuschließen. Aufgrund des unvollständigen Ausbaus vermutet ZEGGEL (2001) bei den temporären Messstellen 80/00 und 95/00 einen Zulauf von Niederschlagswasser über den Ringraum.

In den temporären Schürfen 1880/55 und Schurf 4222/59 zeigte sich in Tiefen von ca. 242 mNN (18.3.99) bzw. 240 mNN (17.5.00) Sickerwasser im Abstrom der Nordhalde. Diese beiden Sickerwasserproben weisen durch die hydrochemischen Zusammensetzung (Abschnitt 8.4.1) auf einströmendes Sickerwasser aus der Nordhalde hin.

Der in Messstelle 117/00 vorgefundene Wasserstand bildet ein nur lokal auftretendes temporäres Grundwasservorkommen unter dem Basisbereich der Talsedimente. Das Grundwasser befindet sich in der liegenden Verwitterungszone im Alaunschieferzersatz. Die Standrohrspiegelhöhe des in diesem Bereich ungespannten Grundwassers nimmt zwischen Mitte Juli und August 2000 um ca. 60 cm ab. Ab August befindet sich kein messbarer Wasserkörper in der Messstelle. Vermutlich wurde infolge der Bohrung eine Wegsamkeit herstellt, welche das temporär vorkommende Grundwasser versiegen ließ.

Die hydrochemischen Analysenergebnisse werden in Abschnitt 8.4 vorgestellt und diskutiert.

6. QUELLE NORDHALDE

Im Rahmen des Sanierungskonzeptes für die Ostthüringer Uranbergbauregion kommt den 17 Halden u.a. bzgl. des Anfalls an hochmineralisiertem Haldensickerwasser besondere Bedeutung zu. Hierbei wurden von der Wismut GmbH sowohl die in-situ Verwahrung der einzelnen Halden als auch die Umlagerung in den Tagebau Lichtenberg untersucht (z.B. GATZWEILER 1998, HÄHNE et al. 1998, WISMUT 1997a, 1995). Für die Nordhalde wurde unter Prüfung radiologischer, wasserrechtlicher und wirtschaftlicher Kriterien 1997 von der Wismut GmbH die Umlagerung in das Tagebaurestloch Lichtenberg beantragt. Die Umlagerung erfolgt seit 1998 und ist voraussichtlich im Sommer 2002 abgeschlossen.

Im Folgenden wird die Nordhalde als komplexe Hauptschadstoffquelle für den Gessenbach beschrieben. Es werden der Stand geologischer, geochemischer und hydrogeologischer Untersuchungen vor und während der Aufhaldung und die Veränderungen bis zum heutigen Zustand vorgestellt. Die Hydrochemie des Haldensickerwasser wird in Abschnitt 8.1 gesondert dargestellt.

6.1. Lage

Die Nordhalde (Tab. 12, Abb. 40) befindet sich zwischen dem Tagebau Lichtenberg im E sowie den Orten Kauern im SW und Ronneburg-Friedrichshaide im NE. Die nördliche und westliche Begrenzung bilden der Badergraben, bzw. der Gessenbach auf dem Niveau von 260 mNN bis 245 mNN. Die ca. 84 ha große Aufstandsfläche wird von einem flachen Berg mit einer Erhebung von ca. 292 mNN gebildet, der im E von dem annähernd N/S-verlaufenden ehemaligen Schmirchauer Bach durchschnitten wird. Die Halde wurde als Tafelhalde mit Bermen konturiert. Am SW-Rand der Nordhalde befindet sich der Pohlteich, der als Sammler für Sickerwasser der Nord- und Absetzerhalde dient (Abb. 41).

Tab. 12: Daten zur Nordhalde (WISMUT 1997a).

Max. NE/SW-Ausdehnung	0,4 km
Max. NW/SE-Ausdehnung	0,7 km
Aufstandsfläche	ca. 84 ha
Volumen	27,2 Mio. m ³
Oberfläche:	91,4 ha
Mächtigkeit der Auffahrung:	10-74 m

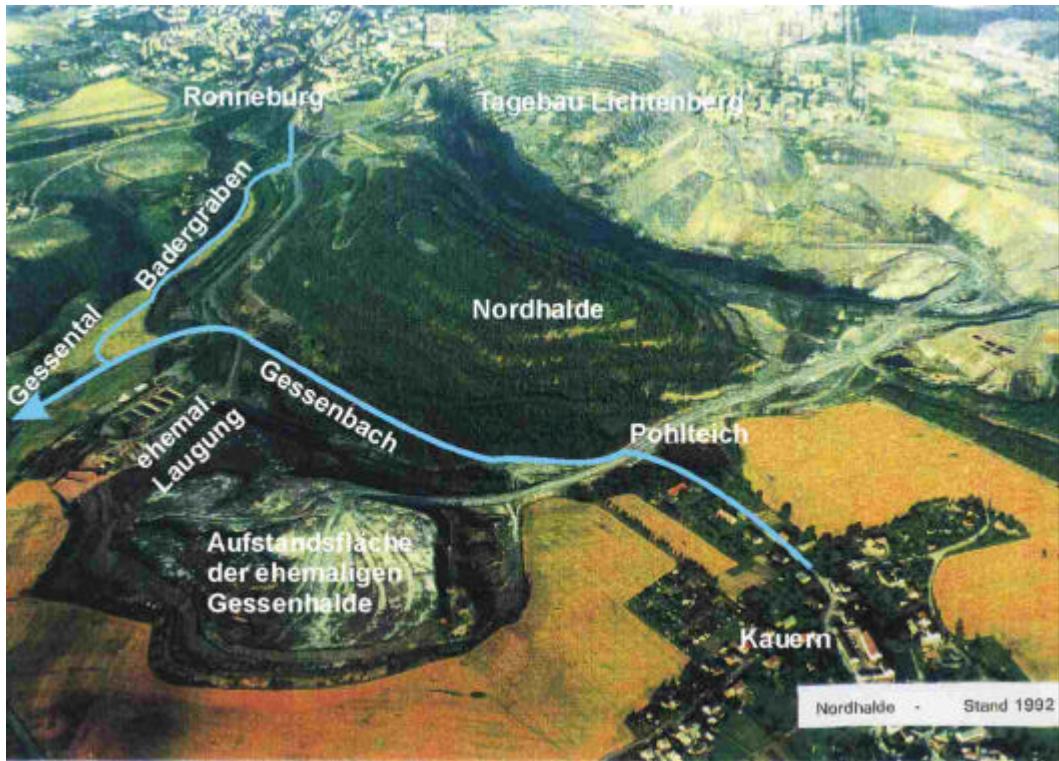


Abb. 40: Schrägaufnahme von W auf die Nordhalde und das Gessental, Stand 1992 (WISMUT 1995a).

6.2. Entstehungsgeschichte

Die Auffahrung der Nordhalde begann 1958 mit der Schüttung der „alten“ Nordhalde aus dem Abraum des „alten“ Tagebaus Lichtenberg auf den nördlichen Außenhalden des Bergbaubetriebes Schmirschau. Zwischen 1962 und 1969 erfolgte im Zuge der Tagebauerweiterung nach Norden die Umlagerung dieser „alten“ Nordhalde auf den jetzigen Standort (6,33 Mio. m³, NP/SP < 1, vgl. Abschnitt 5.2.3). Gleichzeitig wurde bis 1966 kohlenstoffreiches, z.T. zu endogenen Bränden neigendes Material verkippt, wobei sich zeitweise lokale Brandherde bildeten. Der vor 1966 gekippte Teil südlich des Badergrabens, bzw. südlich der ehemaligen Reichsbahnstrecke Gera-Ronneburg wurde ohne Vorfeldberäumung und Standsicherheitsberechnung aufgeschüttet. Aufgrund des gleichsinnig einfallenden Geländes und infolge von Schwächezonen im pleistozänen Untergrund, kam es Ende 1966 zu einem Grundbruch. Auf 650 m Länge und 70 m Höhe rutschten innerhalb von 20 min 3 Mio. m³ Material von der N- und NW-Böschung in Richtung Gessental. Als Folge wurde die Nordhalde zwischen 1969 und 1970 in diesem Bereich neu profiliert und saniert, wobei es lokal zu örtlichen Aufpressungen kam. Das Anlegen von Drainagegräben verringerte den Porenwasserdruck, so dass 1970 keine weiteren Bewegungen festgestellt wurden (WISMUT 1997a).

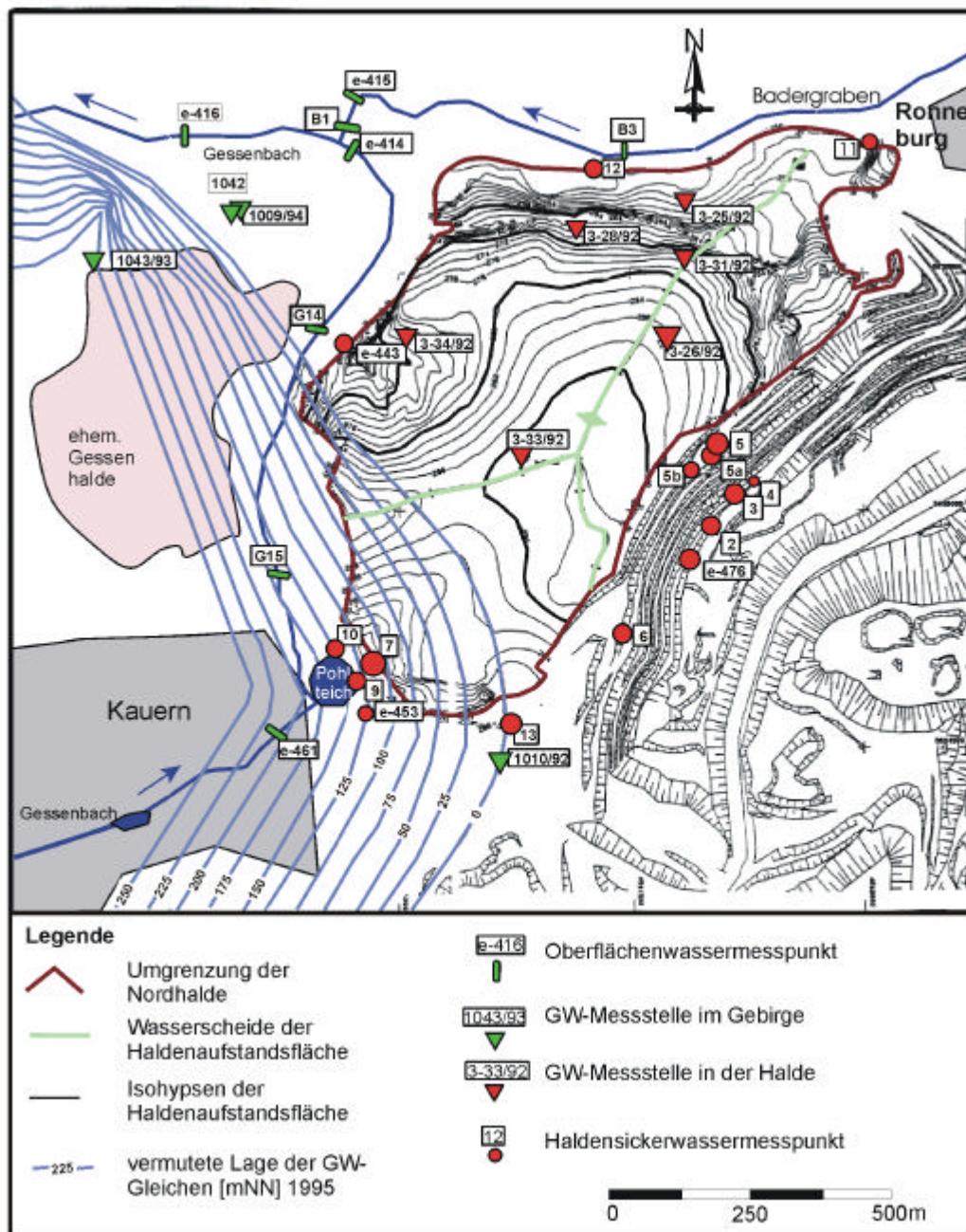


Abb. 41: Aufsicht auf die Nordhalde mit eingetragenen Messstellen sowie die Kontur der Haldenaufstandsfläche und die Lage des bergbaubedingten Absenkungstrichters bis 1997 (nach WISMUT 1997, veränd.).

1969-1971 wurde die ehemalige Nordosthalde (4,95 Mio. m³) im Zuge der Tagebauerweiterung auf den jetzigen Nordhalden-Standort verbracht. Die Vergrößerung des Tagebaus Lichtenberg erforderte eine Erweiterung der Nordhalde nach NE (Ortsteil Friedrichshaide). Zugleich wurde die nördlich der Halde verlaufende Reichsbahnlinie Ronneburg-Gera/Kaimberg verlegt und anschließend die 1. bis 17. Strosse des „neuen“ Tagebaus Lichtenberg auf die Nordhalde verkippt. Dieser Abraum besteht aus quartären Deckschichten, unterdevonischem Tentakulithenschiefen, Kalktonschiefen und Diabasen mit

geringem Säurebildungspotenzial (WISMUT 1997a). Anschließend wurde die Nordhalde mit Kulturboden abgedeckt und bepflanzt.

6.3. Geologie/Tektonik der Aufstandsfläche der Nordhalde

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden aus internen Wismut Unterlagen (z.B. Wismut 1997a, Wismut 1995a) zusammengestellt. Daneben wurden mit Hilfe intensiven Literaturstudien der Forschungsstand zur Nordhalde skizziert.

Für die Einordnung der geologischen Verhältnisse wurden sowohl 34 Bohrungen zur Nordhaldenerkundung, Bohrungen zum Umweltkataster 1992/93 (SCHMIDT & REICHARDT 1993) sowie Ergebnisse der Tagebaukartierung genutzt (WISMUT 1995a). Der SE-Teil der Aufstandsfläche entspricht der Muldenachse der Ronneburger Mulde, parallel verläuft am NW-Rand die Achse des Gessentaler Sattels. Insgesamt wird die Aufstandsfläche von drei tektonischen Elementen beeinflusst. Im einzelnen sind dies die am NE- bzw. SW-Rand verlaufenden NNW/SSE-Störungszonen (Einfallen 60-70°W) sowie die das Gessental am Nordrand der Halde querende, nach N einfallende Schmirchauer E/W-Zone.

Daneben existieren verschiedene NW/SE- und NE/SW- gerichtete Störungen und Überschiebungen. Auf der Aufstandsfläche streichen silurische (Unterer Graptolithenschiefer S1, Ockerkalk S2, Oberer Graptolithenschiefer S3) bis devonische Metasedimente (Knollenkalke D₁¹⁻², Tentakulithenschiefer D₁³, Schwarzschiefer D₂²) sowie Diabase des Mittel/Oberdevons am NE-Rand aus. Die größte Verbreitung weist der Tentakulithenschiefer auf. Im NW-Bereich der Sattelstruktur sind Gesteine des Silurs aufgeschlossen. Erhöhte Wasserwegsamkeiten bilden die silurischen Kalksteine und Kieselschiefer sowie Störungen und Überschiebungsbahnen. Die devonischen Gesteine sind überwiegend wasserundurchlässig. Supergene führen zu toniger Verwitterung der Gesteine bis max. 10 m Tiefe.

WISMUT (1995a) erwähnt pleistozäne Ablagerungen mit bis 12 m mächtigen Tills, Geschiebesanden und -kiesen bis max. 20 m Mächtigkeit (Abbau im ehemaligen Lehmtagebau Gessen). Vermutlich handelt es sich hierbei um lehmigen Löss bzw. Schwemmlöss (Abschnitt 7.4.2). Aufgrund von Bohrungen (Abb. 41) wird angenommen, dass die Till- bzw. Lössschichten bei der Haldenkonturierung z.T. abgetragen wurden und Sande die Halde unmittelbar unter- sowie das Paläozoikum überlagern, was eine direkte Wegsamkeit des Haldensickerwassers in das Grundgebirge bedeutet (WISMUT 1995a).

6.4. Sanierungsrelevante Untersuchungen

6.4.1. Festphase, Gasphase

Zur Erkundung der optimalen Sanierungsvariante für die Nordhalde wurden unterschiedliche in-situ sowie Umlagerungs- und Sanierungsvarianten verglichen. Eine Vielzahl von Gutachten klassifizieren die Nordhalde und bewerten das Stofffreisetzungerverhalten. Zur Beschreibung der Hauptaustragsquelle in den Gessenbach wird auszugsweise aus diesen zu Sanierungszwecken angefertigten Gutachten zitiert.

Zur Ermittlung des geochemischen Potenziales wurden 1993-1996 34 Bohrungen abgeteuft und insgesamt ca. 500 Mischproben zur lithologisch-geochemischen Charakterisierung in fünf bzw. zwei Meter Intervallen entnommen. Neben lithologischen Beschreibungen (Tab. 13) wurden diese auf die Parameter CO₂, S²⁻, CaO, SO₄, MgO, C_{org}, U, Ra, Pb, Cu, Zn, Ni, und As analysiert sowie die pH-Werte und elektr. Leitfähigkeiten bestimmt (WISMUT 1995a).

Tab. 13: Lithologische Zusammensetzung der Nordhalde (WISMUT 1995a, 1997a).

Lithologie	Anteil [Vol. %]
Untere Graptolithenschiefer (S ₁)	13%
Ockerkalk (S ₂)	6%
Obere Graptolithenschiefer (S3)	13%
Tentakulithenschichten (D ₁ ¹⁻²)	17%
Tentakulithenschichten (D ₁ ³)	25%
Quartär	21%
Diabas	5%

In den Ergebnissen zeigen sich gute Korrelationen zwischen den Messwerten von U und Ra, CaO und CO₂ sowie zwischen Leitfähigkeiten und dem Sulfatgehalten, was auf leichtlösliche sekundäre sulfatische Mineralphasen hinweist. Niedrige Korrelationen bestehen zwischen MgO und CaO, da der Kalkstein vermutlich gering dolomitisiert bzw. bei devonischen Kalksteinen ein Vorherrschen von Kalzit anzunehmen ist. Gering sind zudem C_{org} und Sulfidschwefel, Pb und Cu korreliert. Schwache Korrelation besteht zwischen der Anreicherung von Pyrit und Spurenelementen in den kohlenstoffreichen Kiesel- und Alaunschiefern. Insgesamt kann eine max. 4 m mächtige Abreicherungszone für Sulfidschwefel und Karbonate im oberen Teil des Haldenkörpers nachgewiesen werden (WISMUT 1995a). Ausgewählte geochemische Durchschnittszusammensetzungen der Nordhalde sind in Tab. 14 dargestellt.

Es existiert ein geochemischer Unterschied zwischen den verschiedenen Haldenauffahrungen. WISMUT (1997a) leitet eine Zweiteilung des Haldenkörpers ab, der sich hauptsächlich durch die Neutralisations (NP)-/Säurebildungspotenzial (SP)-Verhältnisse unterscheidet. Hierbei weist der Schüttungskörper vor 1969 ein durchschnittliches NP/SP-Verhältnis von 0,26 sowie

vergleichsweise höhere As-, Pb-, Cu- und C_{org}-Gehalte auf. Der Schüttungskörper nach 1969 besitzt ein NP/SP-Verhältnis von 2,25 sowie beispielsweise höhere U-, Ra-, Zn- und Ni-Gehalte. Mit Hilfe von Ordinary Kriging wurden einzelne Bereiche bilanziert und ein sanierungsrelevantes Blockmodell erstellt, um die Umlagerung in den Tagebau logistisch zu ermöglichen. Zudem zeigte sich das Fehlen einer umfassenden Abdeckung der Nordhalde. Nur ca. 50 % der Oberfläche ist mit einer Abdeckschicht zwischen 0,3 und 2 m versehen. Georadarmessungen zur Untersuchung der Wirksamkeiten dieser Abdeckungen führten zu keinen neuen Erkenntnissen, worauf ein neues Schurf- und Rammkernsondierungsprogramm begonnen und während des Abbaus der Nordhalde weitergeführt wurde.

Tab. 14: Ausgewählte geochemische Durchschnittszusammensetzung der Nordhalde (WISMUT 1995a).

Parameter (Median)	Gehalt/Wert
mittlerer CO ₂ Gehalt:	0,17%
Sulfidschwefel	1,15%
Mittlerer Pyritgehalt	2,6%
Uran [ppm]	28
Radium [Bq/g]	0,32
Arsen [ppm]	38
Zink [ppm]	74
Blei [ppm]	24
Nickel [ppm]	85
Kupfer [ppm]	186
CaO	0,81%
MgO	1,3%
pH-Wert Feststoff/Wassermischung	2,5 - 7,9
NP/SP-Verhältnis	0,7
Elektr Leitf.- Feststoff/Wassermischung	260 – 22860 µS/cm

Im Rahmen des Haldenuntersuchungsprogramms wurden Proben aus 19 Schürfen der Nordhalde bearbeitet (WISMUT 1997a). Die geochemische Charakteristik (mittlere Gehalte) im Schurfmaterial liegt sowohl für die Radionuklide (z.B. U_{nat}: 33 mg/kg, U-235: 19 mg/kg, U-238: 396 Bq/kg, Ra-226: 434 Bq/kg, Th-230: 450 Bq/kg, Pb-210: 437 Bq/kg, Rn-222: 384 Bq/kg) als auch für Haupt- und Spurenelemente (z.B.: Fe²⁺: 2,08 %, Fe³⁺: 2,18 %, As: 33 mg/kg, Zn: 69 mg/kg, Ni: 68 mg/kg, Cu: 177 mg/kg) im Rahmen der untersuchten Bohrungen. Insgesamt stellt sich das geochemische Stoffinventar der Nordhalde inhomogen dar.

An den Proben wurden hydrostatische und infiltrative Kolonnenversuche durchgeführt. Bei erstgenannten werden die Proben mit Korngrößen < 63 mm unter Wasser gesetzt. Nach 14 Tagen wird dieses Wasser ausgetauscht und beprobt. Bei infiltrativen Kolonnenversuchen wurden die Säulen ständig mit befeuchteter Luft durchströmt und alle 5 Tage mit dest. Wasser gespült. Das Wasser wurde jeweils analysiert. Die Analysedaten wurden zu Modellierungen

geochemischer Prozesse verwendet. Es zeigt sich, dass die Freisetzung von Schwermetallen durch die (Pyrit-)Oxidationsrate und die Auswaschrate, d.h. den Gehalt des Spurenmetalls in der Halde kontrolliert wird. Das Freisetzen von Radium ist pH-Wert-unabhängig und wird durch den Sulfatgehalt und durch die Mitfällung an Bariumsulfat bestimmt (MÜNZE et al. 1997, 1998).

In acht Bohrungen mit Teufen zwischen 1,5 und 74 m wurden zwischen 1996 und 1997 die Sauerstoff-, Temperatur- und Druckverhältnisse zur Bestimmung der Tiefen-Oxidation durch die Gasphase in-situ sowie die Säurebildungsprozesse in der Halde geprüft. Es zeigt sich, dass der O₂-Eintrag in Abhängigkeit vom barometrischen Druck, der Reaktivität des Haldenmaterials, der Permeabilität und der thermischen Konvektion in der Halde jahreszeitlich variiert. In den Sommermonaten ist die Gasdiffusion der entscheidende Prozess, wobei die Sauerstoffkonzentration mit der Tiefe exponentiell abnimmt. Ausschließlich infiltrative Prozesse steuern die Oxidation mit relativ niedrigen Oxidationsraten. In Herbst und Winter zeigt sich eine Sauerstoffanreicherung in größeren Tiefen, welche neben der Diffusion durch thermische Konvektion kontrolliert wird. Die exotherme Pyritoxidation führt gegenüber den Außentemperaturen zu höheren Temperaturen in der Halde und ist Auslöser für die thermische Konvektion. Numerische Simulationen mit dem Programm TOUGH AMD zeigen, dass die jahreszeitlichen Effekte nur Kurzeiteffekte sind und die generellen Pyritoxidationsraten trotz der Temperaturerhöhung nur gering beeinflussen (LEVEBVRE 2001 a, b, WISMUT 1997a).

6.4.2. Hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse der Nordhalde

Die Aufstandsfläche der Nordhalde wird durch die ursprüngliche Geländemorphologie vorgegeben. Sie ist durch Wasserscheiden niedriger Ordnung in drei Bereiche geteilt (Abb. 41). Der NW-Teil entwässert zum Badergraben/Gessenbach (Punkt 11, 12). Hier bildet die Sickerwassermessstelle e-443 die Hauptaustragsquelle aus der Nordhalde. Diese Messstelle wird im Rahmen dieser Arbeit als Messstelle Q4 bezeichnet und erfährt eine besondere Beachtung (Abschnitt 8.1). Der S-Teil entwässert zum Gessenbach/Pohlteich (Messpunkt 11, 12), der E-Teil in den Tagebau (Messpunkte 2-5, e-476). Das Sickerwasser des S-Teils (Austrittsstellen 7, 9, 10, e-453) wird im Pohlteich gesammelt und mit den Sickerwässern anderer Halden z.T. aufbereitet und gelangt in das Grubenwasser (WISMUT 1995a). Teilweise werden mit diesen Messstellen noch Sickerwasseranteile aus der Absetzerhalde und Oberflächenabflüsse verschiedener versiegelter Bereiche erfasst. Die restlichen Haldensickerwasseraustrittsstellen versickern nach kurzer oberflächlicher Verweilzeit.

Bei der Abflussbilanzierung der Nordhalde werden mit dem Programmpaket BOWAHALD-2 (DUNGER 1997, HÄHNE 1995) verschiedene Teilströme aufgezeigt. Als Grundlage dienen 16 Haldensickerwassermessstellen (BCE 1995), wovon zwei seit 1989, und eine seit 1995 kontinuierlich hinsichtlich Schüttungsabschätzung und ausgewählter chemisch/radiologischer Parameter (max. wöchentlich) beprobt werden. Vierteljährlich findet eine Vollanalyse statt. Die z.T. sporadisch schüttenden restlichen 12 Haldensickerwassermessstellen wurden im April 1995 einer Kartierung und Beprobung unterzogen (Tab. 15). Zur Bilanzrechnung wurden zusätzlich durchschnittliche Schüttungsabschätzungen von 1994 herangezogen. Diese wurden mit drei existierenden Oberflächenwasser-Messstellen im Gessenbach (e-461=G13, e-414=G7, e-416=G5) und einer Messstelle im Badergraben (e-415=B3 bzw. b2), welche in wöchentlichen Zeitreihen (Vollanalysen vierteljährlich) seit 1989 vorliegen, verglichen.

Tab. 15: Stichtagsprobenahme (April/Mai 1995) an den Haldensickerwassermessstellen e-453 (Pohlteich), e-443 (Nordhalde W-Seite, Q4), e-473 (Tagebau Lichtenberg N-Seite), (WISMUT 1997a, 1995a, C&E 1997, BCE 1995).

Messpunkte	summarische Menge
e-453, 10, 9	ca. 14,7 m ³ /h
e-473(1), 5, 6	ca. 4 m ³ /h
e-443, 12	ca. 0,3 m ³ /h
Insgesamt	19 m ³ /h, ca. 13 % des Monatsniederschlags

WISMUT (1995a) nimmt aufgrund konservativer Annahmen eine Infiltrationsrate von 15 % an. Nass- und Trockenjahre bewirken unterschiedlicher Abflussmengen (Tab. 16). Unsicherheiten in der Datenbasis bestehen bei dem nur empirisch ermitteltem Sickerwasseranteil der Absetzerhalde an den südlichen Sickerwassermessstellen (s.o.).

Tab. 16: Abflussanteile der Nordhalde für ein sog. Nassjahr 1995 und ein sog. Trockenjahr 1994 (WISMUT 1997a).

Parameter	[mm/a]	Anteile [%]	[m ³ /h]
Nassjahr (1995)			
Niederschlag	819	100	78,5
Verdunstung	474	58	45,5
Oberflächenabfluss	87	11	8,4
Hypodermischer Abfluss Haldenbasis	131	16	12,6
Hypodermischer Abfluss Quartärbasis	33	4	3,2
Unterirdischer Abfluss zur Grube	94	11	9
Trockenjahr (1994)			
Niederschlag	525	100	50,3
Verdunstung	459	89	44,8
Oberflächenabfluss	19	4	1,8
Hypodermischer Abfluss Haldenbasis	12	2	1,2
Hypodermischer Abfluss Quartärbasis	5	1	0,5
Unterirdischer Abfluss zur Grube	18	4	1,7

In den Bohrungen in der Nordhalde wurden z.T. schwebende Grundwasserleiter angetroffen. Die kf-Werte, ermittelt durch Pump- und Infiltrationsversuche sowie durch bohrlochgeophysikalische Messungen, stellen sich nach WISMUT (1997a) uneinheitlich dar und schwanken zwischen 10^{-5} und 10^{-8} m/s. Tendenziell kann von einer relativ lockeren Lagerung der obersten 30 m gesprochen werden. Darunter bildet sich setzungsbedingt eine Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeiten.

Das Grundwasser in den Beschaffenheitsmessstellen auf der Nordhalde (Schöpfproben) zeigt z.T. Werte (Tab. 17), die sich von denen im Sickerwasser unterscheiden (vgl. Abschnitt 8.1). Die pH-Werte schwanken zwischen 3,28 und 6,13, die elektrischen Leitfähigkeiten liegen bei max. 21,7 mS/cm, die Abdampfrückstände bei max. 49 g/l.

Tab. 17: Ausgewählte maximale Schwermetallgehalte im Grundwasser der Nordhalde (WISMUT 1995a):

Stoff	Gehalt
Ni	74,9 mg/l
Cd	1,9 mg/l
Co	28,3 mg/l
Zn	88,1 mg/l
U	0,15-13,9 mg/l
Ra	157 kBq/l

Die Nordhalde gehört nach WISMUT (1995a) zu einem Haldentyp mit sauren Wässern und hohen Eisen- und Aluminiumgehalten im Sickerwasser. Diesem Typ gehören u.a. die sich ebenfalls im Einzugsgebiet des Gessenbach/Badergrabens befindlichen Spitzkegelhalden Paitzdorf sowie die Absetzerhalde an. Geochemische Modellierung mit den Programmen MINTEQA2 (ALLISON et al. 1991), TENSIC und PHREEQC (PARKHURST & APPELLO 1999) mit Hilfe der durch die Kolonnenversuche ermittelten Gleichgewichtskonstanten und kinetischen Parameter zeigen, dass eine langfristige Änderung der geochemischen Bedingungen der Nordhalde nicht zu erwarten ist. Die Sickerwasserqualität wird durch eine Kombination von Oxidation, Säureregenerierung und Ausfällung sekundärer Mineralphasen (Jarosit, Gips und Eisenhydroxid) kontrolliert. Die derzeitige Sickerwasserzusammensetzung würde sich nach WISMUT (1997a) somit über die nächsten Jahrzehnte nicht verbessern. Im Einzelnen zeigt sich, dass z.B. die Lasten für Mn, Al, Cu und Zn erst nach prognostizierten 100 a bei hohen Infiltrationsraten ihren Höhepunkt erreichen und danach sehr langsam zurückgehen. Niedrigere Infiltrationsraten bzw. geringere Lösungsraten würden den Prozess weiter verlängern (WISMUT 1997a). Die Nordhalde würde bei einer Sanierungsoption in-situ-Verwahrung als langzeitliche Hauptschadstoffquelle für das Gessental fungieren.

7. GEOLOGIE DES ÖSTLICHEN GESSENTALS

In diesem Abschnitt wird die präquartäre und quartäre Geologie des östlichen Gessentals (E-Gessentals) vorgestellt. Die in dieser Arbeit vorgenommene Auswertung der in Abschnitt 3.10 beschriebenen Bohrungen führt zunächst zu einer Beschreibung und Interpretation der Ausbildung der paläozoischen Verwitterungszone an der Basis der Talsedimente sowie zu einem Vergleich mit abgedeckten geologischen Karten der Wismut GmbH. Es wird eine Quartärbasiskarte konstruiert. Die geoelektrischen Kartierungen und Sondierungen von ANALYTEC 2000, FRIEDRICH 1998 sowie eigene Sondierungen (Abschnitt 3.11) wurden in dieser Arbeit geologisch/sedimentologisch sowie unter geochemischen und hydrogeologischen Aspekten interpretiert. Die im Bereich des E-Gessentals anstehenden quartären Sedimente werden anschließend in ein sedimentologisch/geologisches Genesemodell überführt, welches auf der Basis der o.g. Bohrungen entwickelt wurde. Die quartären Einheiten werden lithologisch und durch die Korngrößenzusammensetzungen definiert und in einer Verbreitungskarte der Quartärsedimente präsentiert. Anschließend werden den einzelnen Einheiten hydrogeologische Kennwerte zugeordnet.

Das E-Gessental zwischen Ronneburg im Osten und der Verbindungsstraße Grobsdorf-Kauern, bzw. der Mündung des Lammsbaches in den Gessenbach im Westen bildet das Hauptuntersuchungsgebiet dieser Arbeit. Hier befindet sich das potentielle Flutungswasser-Austrittsgebiet im Post-Flutungszeitraum sowie die W-Begrenzung des bergbaubedingten Absenkungstrichters (Abb. 10, Abb. 35). Es wird eingeteilt in ein westliches Gebiet zwischen der Straße und dem Zusammenfluss des Badergrabens und dem Gessenbaches und einen östlichen Bereich zwischen dieser Mündung bis Ronneburg nördlich der Nordhalde.

7.1. Präquartär

Im E-Gessental zwischen Ronneburg und der Mündung des Lammsbaches streichen mehrfach gefaltete Metasedimente des Silurs (Unterer Graptolithenschiefer S_1 , Ockerkalk S_2 , Oberer Graptolithenschiefer S_3) bis Devons (Knollenkalke D_1^{1-2} , Tentakulitenschiefer D_1^3 , Schwärzschiefer D_2^2) sowie intrusive und effusive magmatische und pyroklastische Gesteine des Mittel/Oberdevons (Diabas Di) aus (Abschnitt 2.3, Abb. 5, Abb. 32, Tab. 2, Abb. 42). Das Gebiet ist durch NNE/SSW-verlaufende Sattel- und Muldenstrukturen geprägt, die von NW/SE und N/S verlaufenden Störungs- und Überschiebungszonen durchschnitten werden. Im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes stehen im SW-einfallenden Gessentaler Sattel, z.T. in E-W-Richtung ausstreichende Gesteine des S_1 bis D_1^{1-2} an (Abb. 42). Östlich und westlich (Grobsdorfer bzw. Ronneburger Mulde) sind in den Muldenstrukturen Gesteine des

D_1^{1-3} , und des D_2^{1-2} aufgeschlossen, die im Untersuchungsgebiet die größte Verbreitung zeigen. Im SW, SE und im NE stehen mittel- und oberdevonische Diabase an.

In den meisten der im Sommer 2000 abgeteuften 145 Bohrungen wurde die Verwitterungszone im Hangenden der präquartären Sedimente erreicht. Dabei konnten unterschiedliche Alterationszustände der paläozoischen Metasedimente an der Basis der quartären Talsedimente im Gelände beschrieben werden.

Der silurische Untere Graptolithenschiefer (S_1) streicht im Kernbereich des Gessentaler Sattels unter quartären Sedimenten überwiegend im östlichen Teil des Gessentals im Bereich des Badergrabens aus (Bohrungen 80-83, 96, 103, 104A, 105, 107-109, 111-118, 120, 121, 125-128, 133-135, 138A, vgl. Abb. 42). Hier befindet sich im Post-Flutungszeitraum das prognostizierte Flutungswasseraustrittsgebiet. Die Geländehöhen betragen zwischen 244,0 und 234,8 mNN im Talbereich und bis zu 251,0 mNN im nördlichen Hangbereich. Am Nordhang des Gessentals findet sich die Wechsellagerung aus schwarzen Kieselschiefern und sapropelitischen Alaunschiefern im ehemaligen Schurf 13 anstehend. Die Wechsellagerung ist in der erbohrten Verwitterungszone relikтив erhalten, oft wurden nur bis zu 3 cm große, schwarzgraue Alaun- und Kieselschieferbruchstücke vorgefunden. Der schwarze quarzitische Kieselschiefer ist durch seine unterschiedlichen Quarzanteile und infolge der engen Schieferung in gestörten Bereichen z.T. splittrig zerbrochen. An Kluftzonen treten Eisensulfide auf. In Klüften sind sekundär gebildete gelbbraune Eisen(hydr)oxide (Limonit, Hämatit) erkennbar, in tieferen Bereichen können Quarzfüllungen auftreten (z.B. Bohrung 116). Der Alaunschiefer weist durch den hohen Anteil an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und oft dispers bis lagig verteilt Pyrit eine dunkle, meist schwarze Färbung auf. In den die Talsedimente direkt unterlagernden Partien ist die Matrix bei höherem Feuchtigkeitsgrad tonig-plastisch ausgebildet. In der Matrix sind mit Eisensulfiden überzogene Alaun- und Kieselschieferbruchstücke verbreitet. Diese Partien wirken z.T. wasserstauend. In trockeneren Bereichen zeigen die plastisch ausgebildeten Alaunschiefer z.T. Bleichungsscheinungen und sekundäre Limonitbeläge. Eisensulfid, vermutlich Pyrit, ist im Alaunschieferzersatz mit bis 3 mm großen, z.T. idiomorphen Kristallen ausgebildet (Bohrung 103, B2, 117). In Bohrung 113 unterlagert der Alaunschieferzersatz des S_1 direkt den Ockerkalk.

Die von KLOTH (2000) untersuchten inkrustierten und nicht inkrustierten Alaunschiefer des S_1 aus Schurf 13 zeigen intensive Verwitterungsscheinungen. Neben der Krustenbildung konnten Azurit und Malachit als Sekundärminerale erkannt werden. Idiomorph und xenomorph sowie framboidal ausgebildeter Pyrit (max. 6,3 Gew.-%) wird neben schuppig verteilten Kohlenstofflamellen (vermutlich Anthraxolith) beschrieben. In den

Bleichungszonen zeigen sich deutliche Abreicherungen an Schwefel und org. Substanz. Als sekundäre Bildungen treten hauptsächlich Eisen(hydr)oxide, Jarosite ($KFe_3[(OH)_3SO_4]_2$) und Gips auf. Insgesamt liegen die Gesamtgesteinsgehalte unter den von WISMUT (1985) angegebenen regionalen Mittelwerten. Die untersuchten Bindungsformen in den Gesteinen weisen u.a. auf das Auftreten von Phosphoritkonkretionen im S₁ hin, in denen z.B. Seltene Erden Elemente und Uran angereichert sind.

Der Ockerkalk (S₂) ist im mittleren und östlichen Bereich des E-Gessentals auf Geländehöhen zwischen 245,2 und 235,0 mNN am Südrand und am Rand des Zentralteiles des Gessentaler Sattels unter quartärer Überdeckung verbreitet. Die Einheit steht am nördlichen Hangbereich unter geringmächtiger quartärer Überdeckung bei 255,0 mNN an. Der in den Bohrungen B1, 70, 97, 98A, 99, 100, 113, 119, 131, 132, 136, 137, 139A, 140, 141 erbohrte Ockerkalk besteht aus einer z.T. feinkörnig verwitterten dunklen Kalkstein-Alaunschiefer-Wechselleagerung. Das dolomit- bis karbonathaltige tektonisch zerklüftete Gestein ist überwiegend in 1 bis 2 cm großen, rundlichen, hellgrauen bis grauen Bruchstücken erhalten. Partiell ist es als dichter, karbonatisch bis dolomitischer, gelbbrauner bis hellgrauer sandig zerfallender Knotenkalkzersatz entwickelt. Zwischenlagernd befindet sich teilweise ein 10 cm mächtiger, dunkler bis schwarzer plastisch-toniger, partiell gebleichter Verwitterungsrückstand aus Alaunschiefer. Vereinzelt treten auch max. 1 cm große Ton- bis Siltsteinbruchstücke auf. Feinverteilter Pyrit ist lagenweise in den tonig verwitterten organikreichen Alaunschieferlagen vorhanden. In Bohrung 100 ist 5,6 m u. GOK (235,46 mNN) eine 30 cm mächtige dunkelgraue bindige Schicht angetroffen worden, in der neben feinverteilten Eisensulfiden auch bis zu 2 mm große idiomorphe Pyrite auftreten. Neben Bleichungen sind fleckenhaft verbreitete sekundäre gelbbraune Eisen(hydr)oxide an Kluft- und Bruchflächen erkennbar. Die Klüftung steht z.T. steil und ist im östlichen Gessental vereinzelt mit sekundären Kalziten gefüllt. In Bohrung 98A wurde im Liegenden des zersetzen Kalksteins eine ebenfalls pyritführende Störungsbrekzie mit mm-großen, feinkörnigen Alaun- und Kieselschiefer- sowie Kalksteinbruchstücken erbohrt. Die 3 m und die 0,9 m mächtige Störungszone in Bohrung 130 bzw. 131 im Hangenden des Ockerkalks besteht aus mm- bis cm-großen Kalkstein-Tonsteinbruchstücken von rötlich-graugelber Färbung mit rotbraunen Hämatitüberzügen in siltig-toniger Matrix.

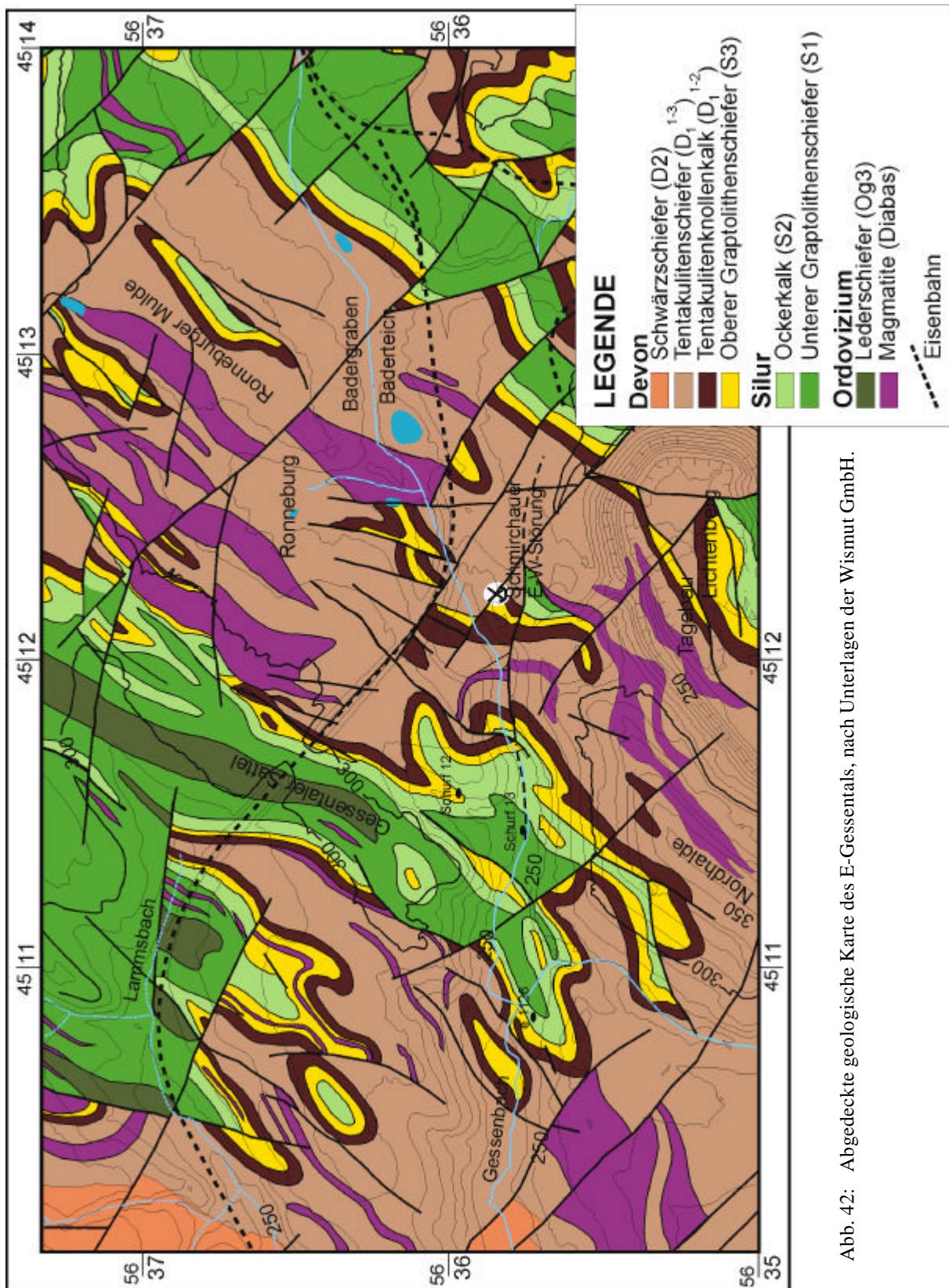


Abb. 42: Abgedeckte geologische Karte des E-Gessentals, nach Unterlagen der Wismut GmbH.

LAHL (2001) beschreibt einen unter quartären Sedimenten bei ca. 238,5 mNN anstehenden, 4,6 m mächtigen Ockerkalkzersatz aus Bohrung 1123/00 im östlichen Gessental. Neben idiomorphen Pyritkristallen besitzt er einen hohen Anteil an Hellglimmern (Abb. 43). Die an einer zwischen 235,7 und 234,7 mNN entnommenen Mischprobe mit Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA) durchgeführten Gesamtgesteinsanalyse ergaben ca. 69 Gew.-% SiO_2 , 8 Gew.-% Fe_2O_3 , 4 Gew.-% K_2O und 1 Gew.-%- MgO . Der Gehalt an überwiegend sulfidisch gebundenem Gesamtschwefel (24.000 ppm) liegt unter den regional von WISMUT (1985) ermittelten Gehalten im Ockerkalk. Weitere Spurenelemente, z.B. Uran (26 ppm), Arsen (77 ppm), Strontium (35 ppm), Nickel (50 ppm) und Zink (57 ppm), zeigen ähnlich geringe Gehalte und deuten somit Abreicherungs- und Verlagerungsprozesse in der Verwitterungszone über der Lagerstätte an. Lediglich die Gehalte an Barium mit über 2.000 ppm liegen über dem ermittelten Maximalwert von 1.300 ppm im Ockerkalk. Es ist nach LAHL (2001) von sekundären Bariumsulfatneubildungen auszugehen.

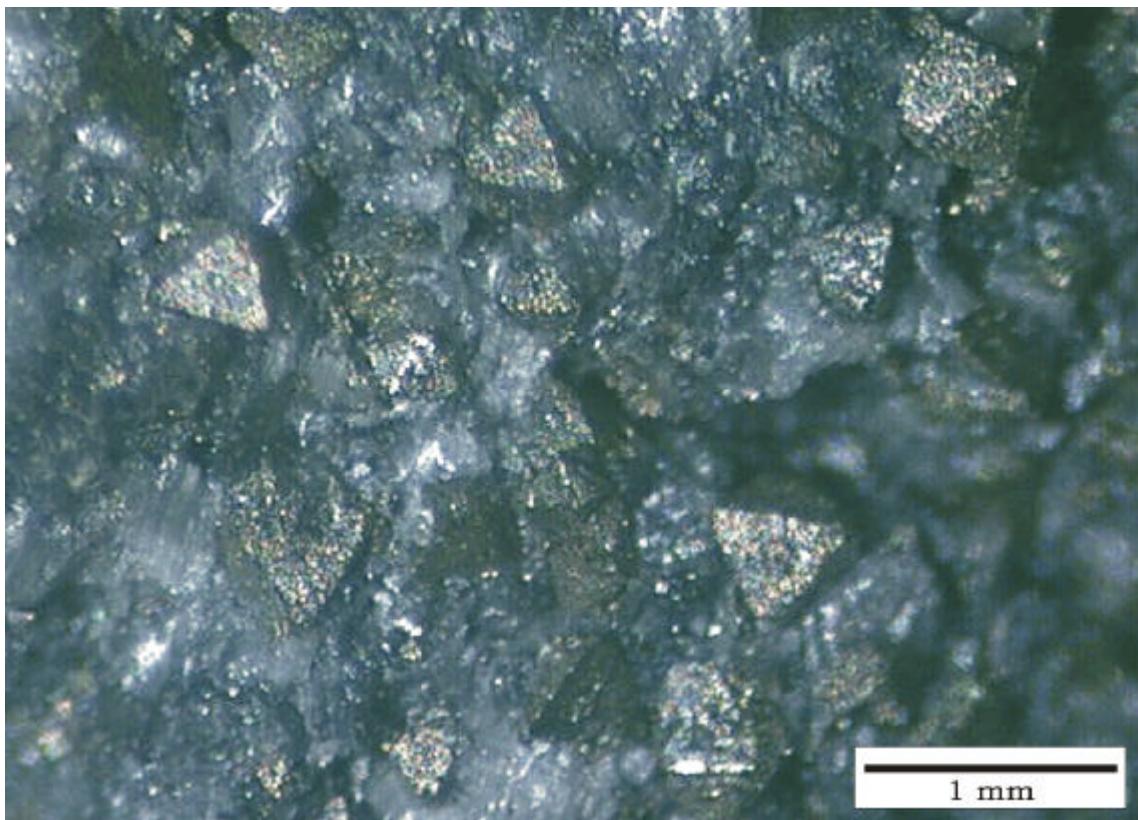


Abb. 43: Idiomorphe Pyritkristalle auf Alaunschiefer im Ockerkalkzersatzmaterial (Tiefe 235,7 – 234,7 mNN) aus Bohrung 1123/00 (R: 4511862, H: 5635751, Höhe: 244,7 mNN, LAHL, 2001).

In unzersetztem dolomitisiertem Ockerkalk können bis zu 57 Gew.-% Dolomit, im kalzitischen Ockerkalk bis zu 40 Gew.-% CaO vorgefunden werden (WISMUT 1985).

Der 10 bis 20 m mächtige silurisch/devonische schwarzpelitisch ausgebildete Obere Graptolithenschiefer (S_3) wurde im Gessental im westlichen und östlichen Randbereich des Ges-

sentaler Sattels erbohrt (Abb. 42, Bohrungen 63-65, 68-70, 75, 76, 79, 84, 86-92, 95, 106, 122-124). Infolge der Sattelstruktur streicht S_3 im Talbereich in E/W-Richtung. Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes befindet sich die Einheit auf einer Geländehöhe von ca. 243 mNN, im mittleren Bereich bei 234 mNN. Die Schwarzpelite sind in der Verwitterungszone überwiegend als Alaunschieferzersatz, z.T. quarzitisch (87-89), vereinzelt auch kalkig (46) ausgebildet. Durch seine hohen C_{org} - und Pyrit-Gehalte zeigt der Alaunschieferzersatz eine schwarze Färbung und ist überwiegend trocken. Neben dispers verteilten Eisensulfiden treten mm-große Eisensulfidminerale auf. Diese sind in mm- bis 3 cm-mächtigen zerklüfteten Bändern verbreitet, was auf den primären Pyritgehalt des Oberen Graptolithenschiefers hinweisen könnte. Die relativ eng stehenden Schieferflächen sowie die Schichtflächen sind z.T. erhalten und zeigen ähnlich wie die Kluftflächen evtl. relativ junge, sekundäre Eisen(hydr)oxide in Form von Limonitüberzügen sowie Hämatitausbildungen. Es liegen sekundäre Quarz-Kluftfüllungen vor. Infolge von tektonischen Beanspruchungen ist der Tonschiefer in bis zu 2 cm große, blättrige und z.T. frische Alaunschiefer zerbrochen. In Bohrung 68 tritt im Liegenden eines 50 cm mächtigen Alaunschieferzersatzes eine mylonitierte Störungsbrekzie auf. Der tektonische Übergang vom unterlagernden S_2 zum S_3 im W-Teil des Gessentaler Sattels ist in Bohrung 70 durchteuft. Bei 243 mNN zeigt Bohrung 83 störungsbedingt einen dichten, feinkörnigen, gelbbraunen Diabas. Die bis 1,1 m mächtigen Hangendbereiche des S_3 sind vermutlich infolge der unterschiedlichen Wassersättigung z.T. intensiver alteriert. Die Matrix ist plastisch bis tonig ausgebildet mit zwischengeschalteten, bis 2 cm großen festen Alaunschieferbruchstücken (Bohrung 63-65, 79, 84, 90) und besitzt wasserstauende Eigenschaften. In Bohrung 46 wurden feinkörnige, dichte Kalksteinlagen vorgefunden, die auf Hangendpartien im S_3 hinweisen. Der im nordöstlichen Talhang bei 253 bis 260 mNN auftretende S_3 (Bohrungen 122-124) ist hellgrau bis gelblich gebleicht und stark limonitisiert.

Tentakulithenschiefer (D_1^3) und Tentakulithenkollenkalk (D_1^{1-2}) werden zusammenfassend als Tentakulithenschichten (D_1) beschrieben, wobei in den zentralen Muldenbereichen (Schmirchauer bzw. Ronneburger sowie Grobsdorfer Mulde) des E-Gessentals überwiegend Tentakulithenschiefer verbreitet sind (Abb. 42). Im Talbereich befinden sich die Tentakulithenschichten an der Quartärbasis zwischen 228,75 mNN im Westen und 246,30 mNN im Osten des Untersuchungsgebietes.

Die D_1 -Zersatzzone besteht aus feinkörnigen, schiefrigen, stark zerklüfteten grauen Ton- bis Siltsteinen mit max. 4 cm mächtigen Quarzitlagen. Vereinzelt gibt es Feinsandsteine. In den kleinstückig und durch die engstehende Schieferung blättrig zerfallenden Bruchstücken treten an den Schichtflächen und Klüften Hämatit- und Limonitkrusten, z.T. Serizit, auf. In den

Bohrungen 6, 7 und 29 war im Liegenden eine mylonitisierte Störungsbrekzie zu sehen. Diese Zersatzzzone ist im östlichen Talbereich teilweise grundwasserführend und dann grau bis grüngrau gefärbt. Die in Bohrung 41 (W-Untersuchungsgebiet) vorhandenen Tentakulithenschichten sind schwach primär dolomitisiert, was auf die Ausbildung als Knollenkalk hinweist. Der in Bohrung 43 vorgefundene verwitterte dunkelgraue Tonschiefer deutet einen erhöhten vermutlich primär vorhandenen, dispers verteilten Pyritgehalt an. Diese Bohrung war ab ca. 237,2 mNN grundwassergesättigt (Abb. 38). Deutlich geringere Pyritgehalte zeigen sich in Bohrung 60 bei ca. 233,5 mNN.

Die in Bohrung 74 unter einer 60 cm mächtigen Aufschüttung bei 251,7 mNN am südlichen Talhang anstehenden Tentakulithenschichten besitzen sowohl im Hangendbereich sowie auf den Schicht- und Kluftflächen graue Bleichungszonen. Der in einer Überschiebungsschuppe im NE-Gessental unter schluffigem Hangschutt lagernde grusig zerfallende Schiefer (Bohrung 129 bei 259,6 mNN) zeigt eine intensive, bis zu 30 cm mächtige Limonitisierung, was u.a. intensive oberflächennahe Verwitterung belegt.

In den Bohrungen B2, 6, 7, 20, 28, 37, 40 sowie in Bohrung 142 im E- Untersuchungsgebiet bei 246,3 mNN ist der Tentakulithenschiefer im Liegenden der quartären Sedimente des Gessentals stark alteriert und teilweise als hell bis dunkelgrauer Tonschieferzersatz ausgebildet. Die quartären Sedimente direkt unterlagernden obersten 0,1 m bis 0,9 m des D₁ sind hier tonig verwittert und von bindiger, z.T. plastischer Konsistenz. Die wenigen max. 1 cm großen grauen bis rotbraunen Tonschieferbruchstücke sind rotbraun gefleckt. Es treten Limonitkrusten auf. Reliktisch ist die Schieferung erhalten. Im zentralen östlichen Talbereich kann diese Zone als Grundwassernichtleiter fungieren.

Der schwarzgraue Schwärzschiefer (D₂) ist nur im E-Bereich des Gessentals (Kläranlage Ronneburg) im Zentralteil der Grobsdorfer Mulde zwischen 228 und 230 mNN im Tal unter quartärer Überdeckung verbreitet (Bohrung 1-5, 10-12, 15-17). An den nördlichen und südlichen Hängen ist der D₂ bis 239,5 mNN anstehend. Er ist als Tonschieferzersatz ausgebildet, relativ kohlenstoffreich mit max. 2 cm großen Tonschiefer-Bruchstücken. Der Schwärzschiefer trägt Relikte von Schichtung und Schieferung und führt dispers verteilten Pyrit. Zum Liegenden treten engschiefrige Bereiche auf, hier ist er dünnplattig bis blättrig ausgebildet. Die Bruchstücke sind max. 3 cm groß. Die Schichtflächen zeigen oft Limonit-, z.T. Hämatitbeläge. Im westlichen Bereich wirkt der Schwärzschiefer durch seine plastische Konsistenz als Wasserstauer. Nach Osten nimmt der Kohlenstoffgehalt ab.

In den Bohrungen 55 und 67 wurde während des Bohrprogramms der verwitterte, mittelkörnige Metadiabas (Di) erbohrt. Durch das Auftreten in der Verwitterungszone und die Schiefe-

rung zerfällt der gelbbraune bis bunte Metadiabas in max. 4 cm große Bruchstücke, bei intensiver Verwitterung im oberen Talhang auch mittel- bis feinsandig. Teilweise sind bis zu 2 mm große Feldspatminerale sowie Quarzit erhalten geblieben. Das Gestein ist an Kluftzonen limonisiert und hämatitisiert.

KLOTH (2000) geht bei verwitterten Diabasen des Ronneburger Schlossbergs von Umwandlungen des Hauptmineralbestandes in sekundäre Tonminerale (z.B. Corrensit, Montmorillonit) aus. Der Diabas zeigt bei der RFA-Analyse hohe SiO₂ (50-60 Gew.- %), Al₂O₃ (bis 15 %), Fe-ges. (bis 15 %) sowie CaO und MgO-Anteile (5-10 %). Der Spurenelementgehalt ist vergleichbar mit untersuchten Thüringer Diabasen nach RÖSLER & WERNER (1979a, b). Die relative Anreicherung von Ba (max. 13.000 ppm) wird auf hydrothermale Gangfüllungen aus Schwerspat (BaSO₄) zurückgeführt (KLOTH 2000).

7.2. Geoelektrische Kartierung und Sondierung

Durch die von ANALYTEC (2000) durchgeführte geoelektrische Schlumberger-Widerstandskartierung werden Lagerung und Verteilung der präquartären Metasedimente erfasst. Die Erkundungstiefe ist abhängig vom Aufstellabstand der Elektroden und beträgt hier ca. 8 m (Abschnitt 3.11). Die geoelektrischen Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit Dr. Steinhau, Analytec, Chemnitz, verifiziert und interpretiert und werden im Rahmen dieser Arbeit in einen geologischen, sedimentologischen, geochemischen und hydrogeologischen Zusammenhang gestellt (Abschnitt 7.5). Aus den Sondierergebnissen wurde zudem die lithologiebezogene Verteilung der scheinbaren spez. Widerstände ermittelt (Tab. 18).

Die in Abb. 44 dargestellte Karte des scheinbaren spezifischen Widerstandes zeigt im E-Gessental eine deutliche Differenzierung in nieder- und hochohmige Bereiche. Die unterschiedlichen lithologischen Einheiten besitzen in Abhängigkeit von der Wassersättigung, der Zusammensetzung des Sickerwassers bzw. des schwebenden Grundwassers, der geochemischen Zusammensetzung und dem Verwitterungsgrad der Gesteine unterschiedliche spez. elektr. Widerstände (Tab. 18). Hierbei werden die geoelektrischen Eigenschaften insbesondere durch die Mineralisation des Grund- bzw. Haldensickerwassers und vermutlich durch sekundäre Verwitterungsprozesse an der Basis der Talsedimente bestimmt.

Die devonischen Metasedimente (D_1^{1-3}) im W- und E-Gessental haben geoelektrische Widerstände zwischen 60 und 200 Ωm (Tab. 18). Nach MEYER DE STADELHOFEN (1994) ist diese Widerstandsverteilung u.a. typisch für Gesteine mit Grundwasserführung. Der devonische Tentakulithenschiefer im E-Gessental zeigt auch unter ungesättigten Bedingungen spez. elektr. Widerstände in ähnlicher Größenordnung. Im W-Gessental befinden sich niederohmige

E-W- bzw. SW-NW-gerichtete lineare Strukturen parallel des topografisch niedrigsten Bereiches der Quartärbasisfläche (Abschnitt 7.3). Deutlich sind die niederohmigen Zonen im W-Gessental, die durch den an zwei NW-SE Abschiebungen grabenförmig eingesenkten Schwärzschiefer (D_2) ausgelöst werden. Hier wurden scheinbare spez. Widerstände zwischen 50 und 20 Ωm bestimmt. Diese geringen Widerstände sind vermutliche Auswirkungen der dispers verteilten Eisensulfide innerhalb des kohlenstoffhaltigen D_2 . Die hochohmigen Zonen (150 bis 200 Ωm) im SW und NW werden durch die wasserungesättigten Tentakulithenschichten der Talhänge beeinflusst.

Tab. 18: Scheinbare spezifische elektrische Widerstandsbereiche der im Gessental anstehenden präklastischen Einheiten.

Lithologische Einheit	Wismut Bez.	scheinb. spez. elektr. Widerstand [W m]
Schwärzschiefer	D_2^2	20-50
Tentakulithenschiefer	D_1^3	60-200
Tentakulithenkollenkalk	D_1^{1-2}	40-60
Oberer Graptolithenschiefer	S_3	5-30
Ockerkalk	S_2	5-30
Unterer Graptolithenschiefer	S_1	0,5-20
Diabas	Di	40-60

Der Übergang zu den im Gessentaler Sattel unter einer quartären Überdeckung anstehenden älteren lithologischen Einheiten (D_1^{1-2} , S_3 , S_2 und S_1) ist durch niederohmige Bereiche ersichtlich. Die durch den Talverlauf angeschnittenen NE/SW-streichenden Gesteine im Gessentaler Sattel weisen spez. elektr. Widerstände von 50 bis 0,5 Ωm auf. Hierbei besitzt der umlängig streichende Tentakulithenkollenkalk die höchsten scheinbaren Widerstände von 40 bis 60 Ωm . Die unterlagernden silurischen Gesteine zeigen eine niederohmige Ausbildung, wobei die Oberen Graptolithenschiefer und Ockerkalke mittels der geoelektrischen Widerstände von 5-30 Ωm nicht deutlich zu differenzieren sind. Besonders niedrige scheinbare Widerstandswerte (1- 20 Ωm) weist der Untere Graptolithenschiefer auf. In den mittels Wenner-Sondierungen aufgenommenen Profilschnitten werden diese niederohmigen Bereiche unter den quartären Talsedimenten ebenfalls deutlich (Abb. 45). Westlich der Badergrabenmündung sind großräumig niederohmige Bereiche zwischen 40 und 5 Ωm gefunden worden, die dem S_3 zuzuordnen sind. Die hochohmige Anomalie ca. 100 m nördlich des Zusammenflusses ist vermutlich durch eine überschobene Tentakulithenschiefer-Schuppe bedingt. Eine ähnliche Situation ist nördlich des Schurfes 13 am Nordhang des Gessentales zu sehen, wo ebenfalls devonischer D_1^3 auf S_1 überschoben wurde.

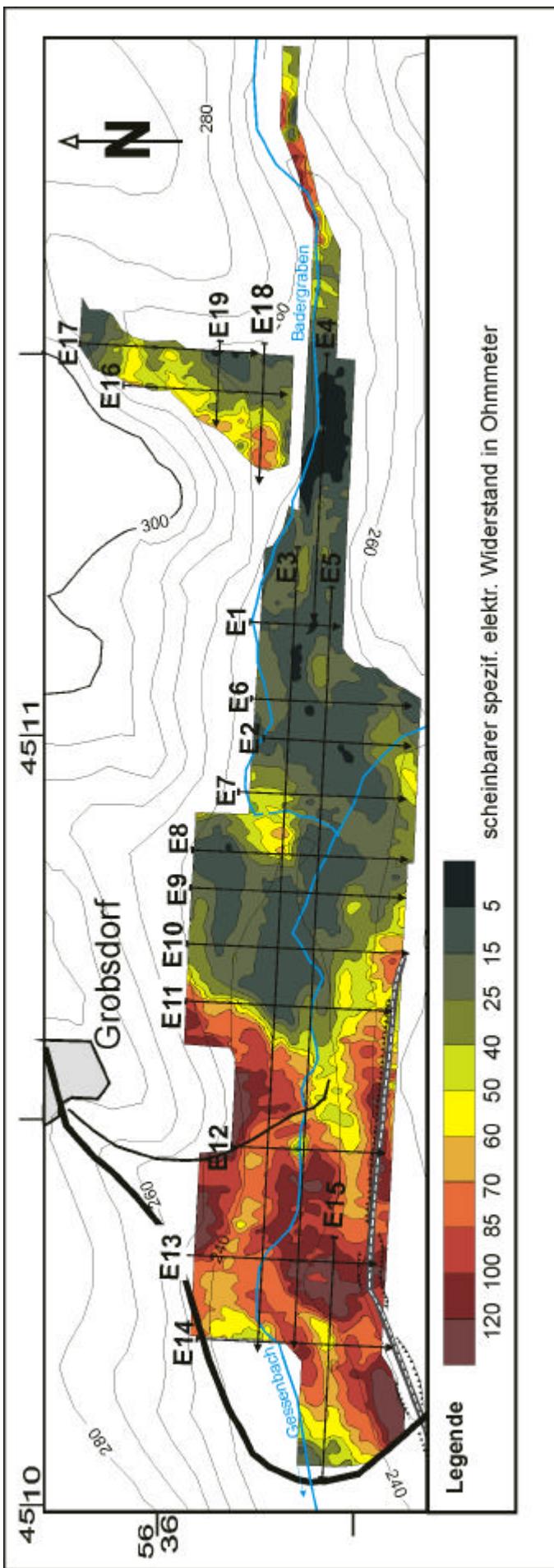


Abb.: 44: Schlumberger-Kartierung des östlichen Gessentals des paläozoischen Untergrundes in ca. 8 m Erkundungstiefe mit Auslägen AB/2 = 20 m und MN/2 = 5 m (ANALYTEC 2000).

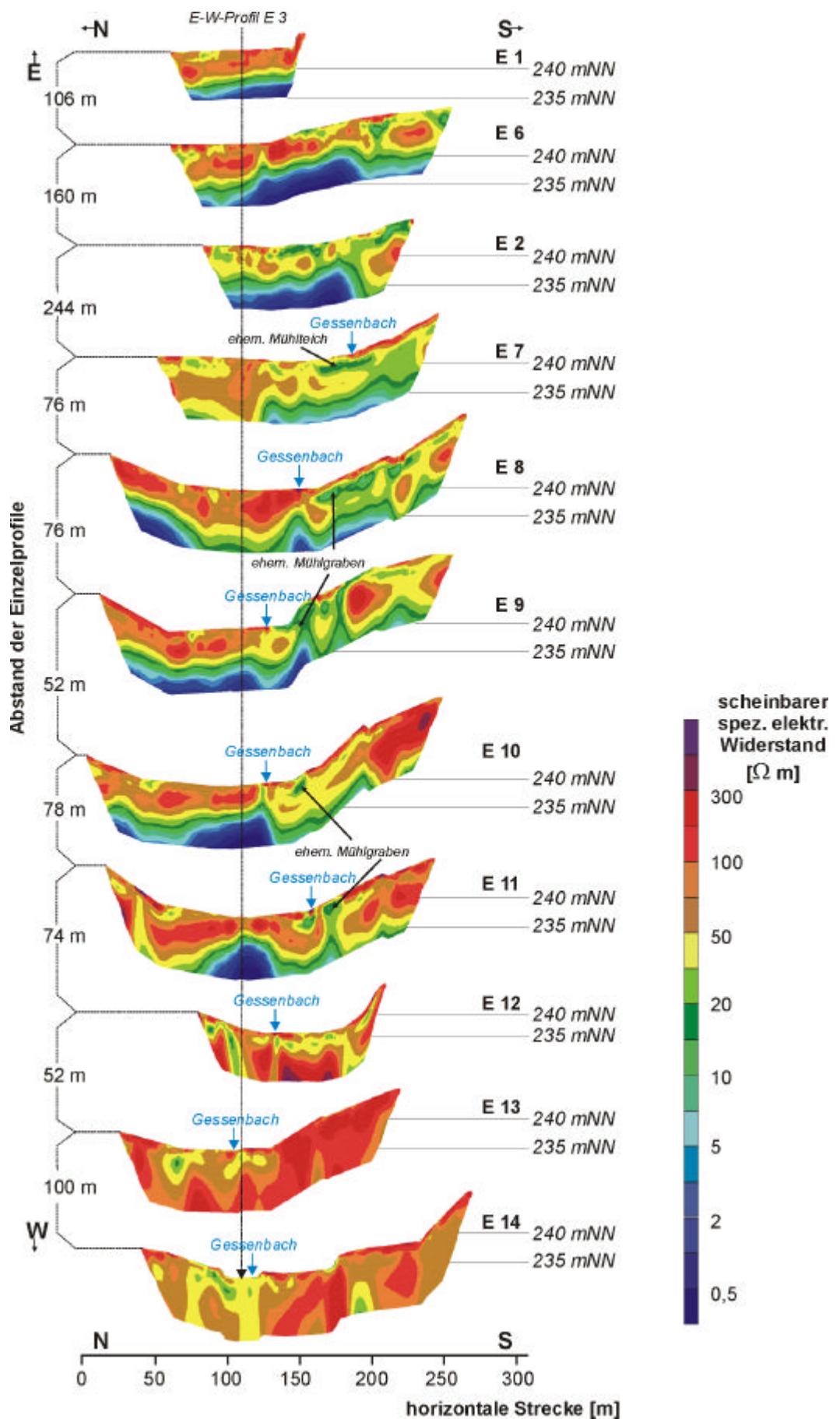


Abb. 45: Geoelektrische N-S-Proflschnitte (E14,...E1, Wenner Sondierungen) im E-Gessental, Lage der Profile vgl. Abb. 44. In den Profilen E10 und E11 ist eine Versickerung aus dem Gessenbach erkennbar.

Scheinbare spez. elektrische Widerstände unter $5 \Omega\text{m}$ wurden in einem bogenförmig ausstreichenden Strukturelement zwischen Badergraben und Gessenbach bestimmt. Dieser nach Süden offene Bogen ist mit anstehendem Unteren Graptolithenschiefen gekoppelt. Die niederohmigen Bereiche in den Oberen und Unteren Graptolithenschiefen werden auf primäre und sekundäre Prozesse zurückgeführt (s.a. GELETNEKY et al. 2002, GELETNEKY & BÜCHEL 1998, FRIEDRICH 1998). S_1 und S_3 sind wie z.T. tonig verwittert. Diese Tone können nach MEYER DE STADELHOFEN (1994) spezifische elektrische Widerstände von 5 bis $10 \Omega\text{m}$ besitzen. Zudem enthalten die Einheiten Eisensulfide, die sowohl dispers im Gestein verteilt als auch makroskopisch erkennbar vorkommen. Diese Bereiche sind vergleichbar mit geringvererzten sulfidischen Zonen, die spez. Widerstände bis $10^{-4} \Omega\text{m}$ besitzen können (RÖSLER 1985). Die durch den Eisensulfidgehalt verursachten niederohmigen Anomalien können durch weitere Prozesse verstärkt werden. Wie aus Untersuchungen von Tiefenwasser (MEYER DE STADELHOFEN 1994) als auch von Salz- und Brackwasser (HODLUR et al. 2002) bekannt ist, kann eine höhere Mineralisation von Grundwasser zu einer Erniedrigung des spez. elektr. Widerstands in grundwasserführenden bzw. wassergesättigten Gesteinen führen. So kann durch mineralisiertes Haldensickerwasser der Nordhalde, welches auf der tonigen grundwasserstauenden Basis der Talsedimente migriert, ebenfalls eine niederohmige geoelektrische Anomalie verursacht werden. Durch die tonige Verwitterung der Ober- und Untersilurischen Gesteine können beide Ursachen wirken, jedoch unter den angegebenen Rahmenbedingungen (z.B. der Erkundungstiefe) geoelektrisch nicht aufgelöst werden. Durch das Auffinden von niederohmigen Infiltrationen aus dem Gessenbach in die quartären Talsedimente (s.u.) sowie von wassergesättigten mineralisierten Bereichen an der Basis der Talsedimente im Sommer 2000 wird die Migration von mineralisiertem Wasser in die tieferen Bereiche der Talsedimente aufgezeigt (vgl. Abschnitte 4.3.1, 8.4). Inwieweit Haldensickerwasser zusätzlich in den C_{org} -reichen Lagen unter reduzierenden Bedingungen verändert wird und ob es in diesen zu einer in-situ Fällung von Eisensulfiden kommt, kann mit geoelektrischen Methoden nicht geklärt werden, muss aber durch weitere Untersuchungen der Präquartärfläche untersucht werden (vgl. Abschnitt 9.5).

Die mittels Multielektrodenanordnungen durchgeführten Sondierungen erfassten die Mächtigkeit und die Widerstandsverteilung der quartären Talsedimente sowie den präquartären Untergrund. Hierbei heben sich die präquartären Metasedimente durch kontrastreiche Anomalien deutlich von den quartären Talsedimenten ab. Es zeigt sich eine gegliederte präquartäre Oberfläche, wobei die Unteren Graptolithenschiefen deutlich durch die geringen scheinbaren spez. Widerstände hervortreten.

7.3. Quartärbasisfläche

Anhand der im Sommer 2000 abgeteuften 145 Bohrungen konnte die Quartärbasisfläche, bzw. die Oberfläche der präquartären Metasedimente des E-Gessentals rekonstruiert werden (Abb. 46). Sie befindet sich im Westen des Hauptuntersuchungsgebietes bei ca. 230 mNN, im Osten bei 250 mNN unter einer ca. 8,4 bis 0,1 m mächtigen quartären Überdeckung. Die Fläche ist im Westen relativ stark gegliedert. Am NE-Hang liegt die Quartärbasis auf Geländehöhen von 260 mNN, am SW-Hang bei ca. 245 mNN. Die Quartärbasis fällt im westlichen Tal flach westwärts ein und verläuft hier nahezu parallel zum rezenten und historischen Verlauf des Gessenbaches sowie zur Geländeoberfläche (vgl. Abschnitt 4.1.2). Ca. 250 m östlich der Verbindungsstraße Grobsdorf-Kauern ist ein Verengungsbereich des Tales zu erkennen. Der nach Norden vorspringende Bereich besteht aus devonischen Tentakulithenschichten. Das Tal ist westlich und östlich des Vorsprungs ca. 150 m breit und wird im Bereich des Vorsprungs auf ca. 10 m eingeengt. Der Gessenbach fließt rezent durch diese Verengung, die vermutlich einen durch den Bach hervorgerufenen Durchbruch darstellt. Im Bereich des Zusammenflusses von Badergraben und Gessenbach deutet sich ein in WNW/ESE verlaufendes ehemaliges Tal unter die heutige Nordhalde an. Das bereits in Abschnitt 4.1.3 erwähnte künstliche Bachbett des Gessenbaches durchschneidet in der Quartärbasisfläche einen über 240 mNN liegenden Vorsprung. Deutlich wird der ursprüngliche ostwärts gerichtete Verlauf des Gessenbaches in diesem Bereich. Dieser Teil befindet sich zzt. ebenfalls unter der Nordhalde.

Der Badergraben im W-Teil des Untersuchungsgebietes verläuft am Nordhang des Gessentals. Die Quartärbasis befindet sich hier zwischen 240 und 245 mNN. Im östlichen Gessental ist die Rekonstruktion der Quartärbasisfläche fragwürdig, da nur im Bereich des heutigen Badergrabens Bohrungen niedergebracht wurden. In den in Abb. 45 dargestellten geoelektrischen Sondierungsschnitten ist am Nordhang des Gessentals im heutigen Verlauf des Badergrabens eine präquartäre Hochfläche erkennbar. Diese wurde erst während der Niederbringung des Schurfes 13 konturiert und abgetragen. Tendenziell verläuft der geländetiefste Bereich der Quartärbasis unter der heutigen Nordhalde. Im E-Gessental deutet sich auch in der Quartärbasisfläche der N/S-verlaufende ehemalige Schmirchauer Bach an.

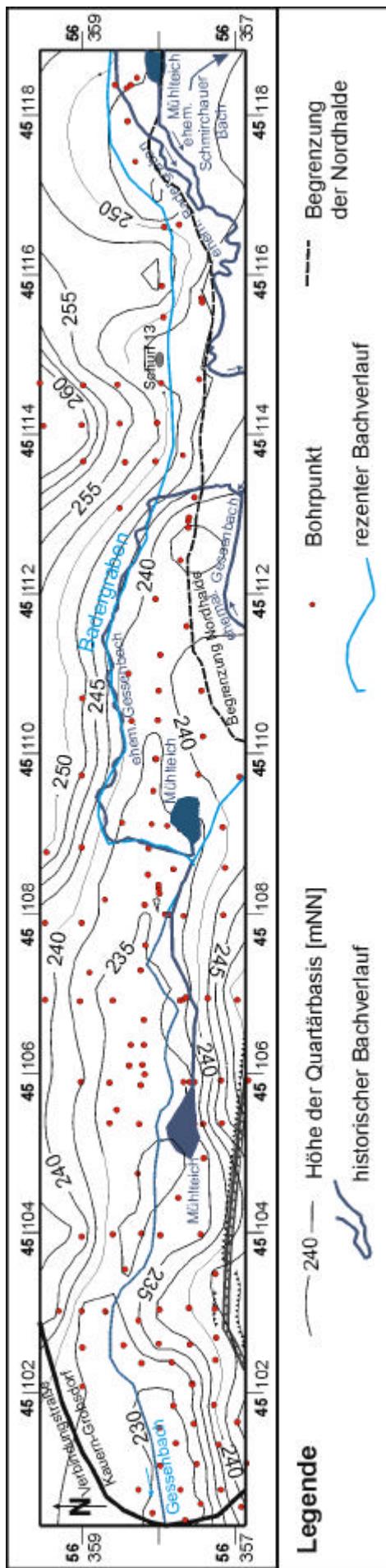


Abb. 46: Quartärbasisfläche des östlichen Gessentals, rekonstruiert aus 144 Bohrpunkten mittel Kriging-Methode aus dem Programmpaket Surfer 7.02; *Golden Software, Inc.*

7.4. Quartäre Sedimente

Die im Bereich des Gessentals anstehenden fluviatilen und umgelagerten 0,1 bis 8,4 m mächtigen quartären Sedimente sowie die anthropogenen Aufschüttungen sind heterogen aufgebaut. Die Genese des Sedimentkörpers im proximalen Bereich einer spätpleistozän bis holozänen Talbildung spiegelt sich in Korngrößenverteilungen sowie in den Mächtigkeitschwankungen wider. Die Sedimente können in unterschiedliche Lithotypen gegliedert werden, die im Folgenden zusammenfassend beschrieben werden (Abb. 47). Die Beschreibung der quartären Sedimente erfolgt anhand der in Abschnitt 3.10 dargestellten Grundlagen. Die Lage der Bohrungen ist in Abb. 10 und Abb. 48 verzeichnet. Die quartären Talsedimente werden, da keine absoluten Altersbeziehungen untersucht wurden, lediglich in einen rel. Altersbezug gestellt.

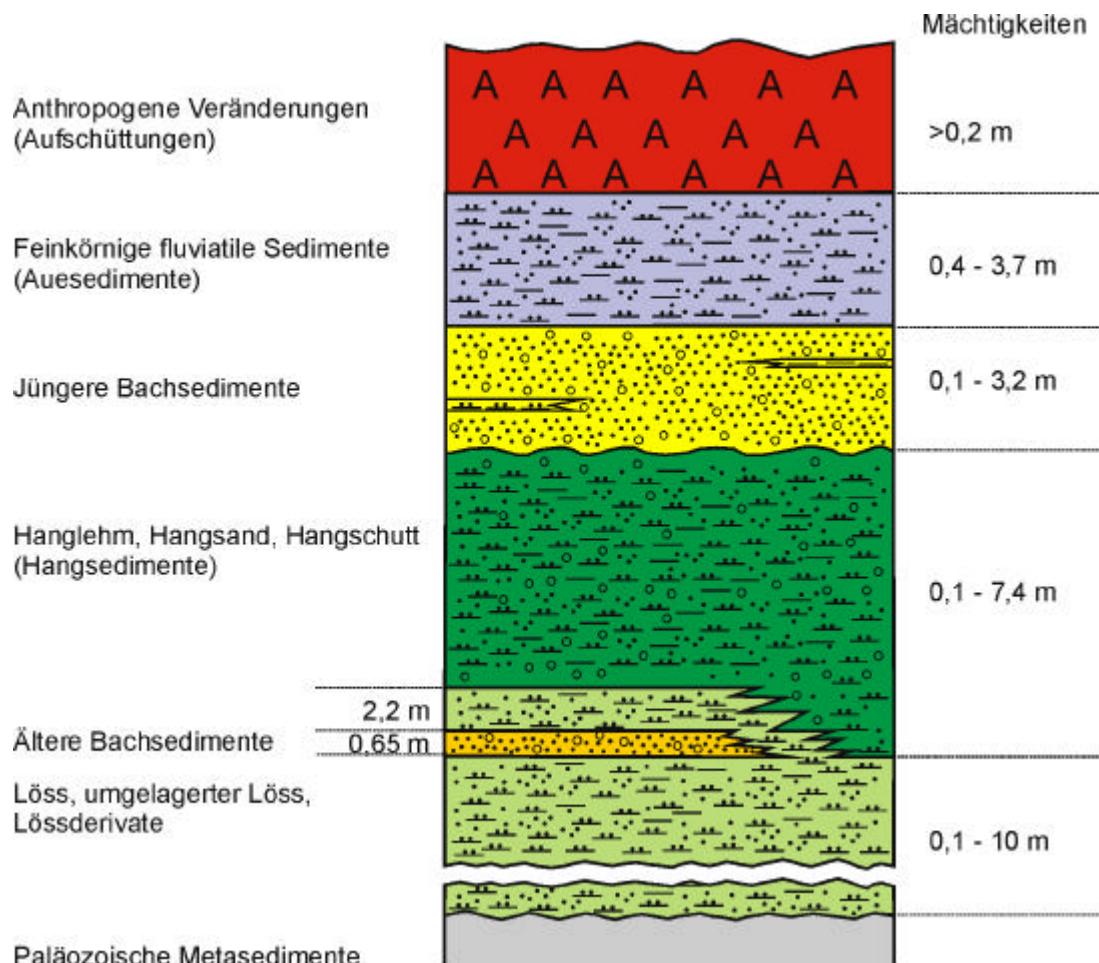


Abb. 47: Normalprofil der quartären Sedimente des östlichen Gessentals im Hangenden der paläozoischen Metasedimente.

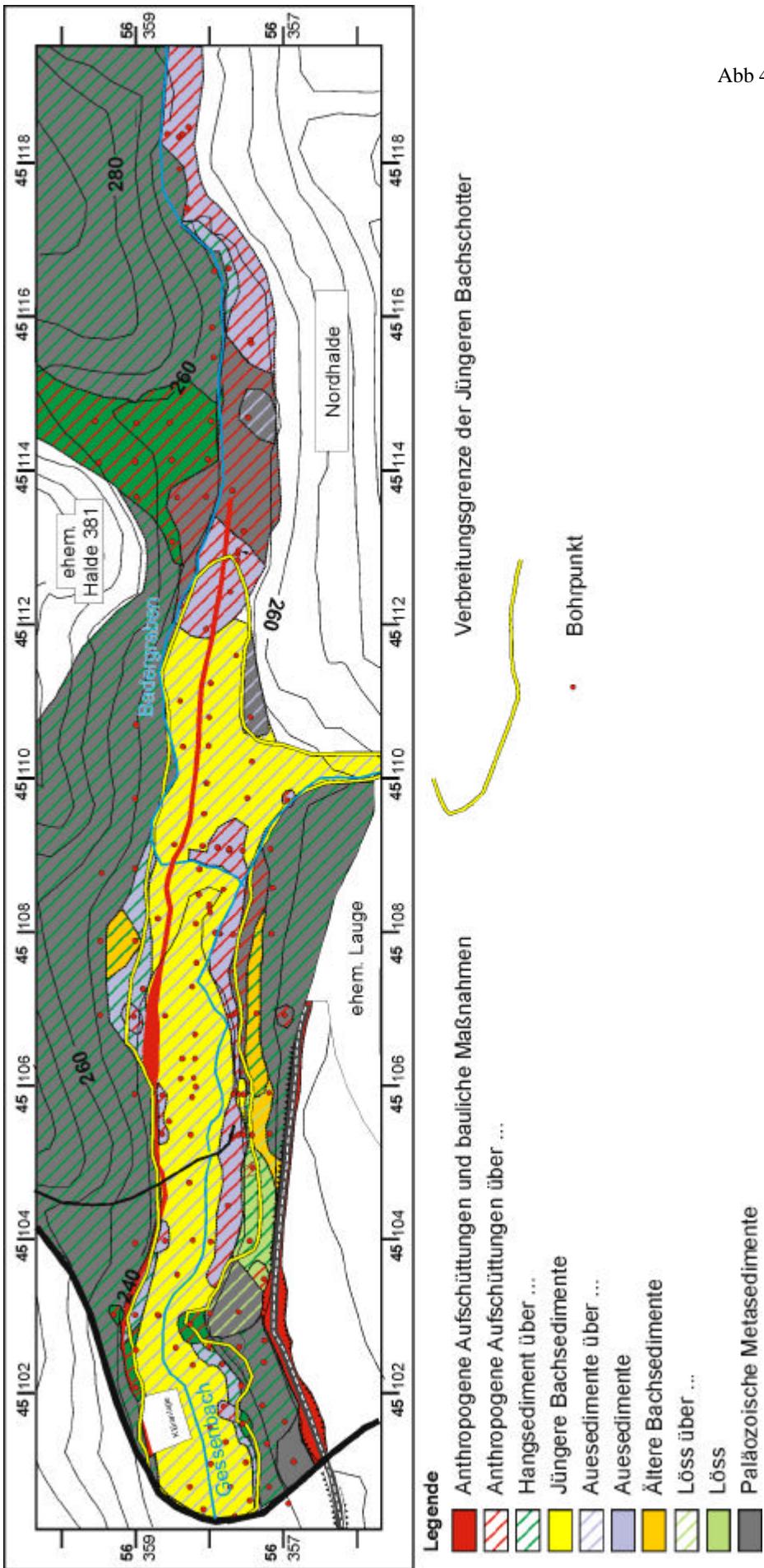


Abb 48: Geologische Karte der quartären Ablagerungen im E-Gessental mit Verbreitungsgrenze der Jüngeren Bachsedimente.

Den Talsedimenten kommt in der betrachteten Prä-Flutungssituation z.B. durch ihre Pufferwirkung auf das saure Haldensickerwasser (Abschnitt 8.4.1) und voraussichtlich im Post-Flutungszeitraum als Grundwasserleiter eine entscheidende Bedeutung zu. Das entwickelte Geländemodell kann als Grundlage für ein kleinräumiges hydrogeologisches Modell genutzt werden (vgl. Abschnitt 9.5).

Die ältesten Sedimente bilden die sowohl am Nord- als auch am Südhang des E-Gessentals anstehenden grobklastischen Sedimente (Ältere Bachschotter, Abb. 48). Diese fluviatilen Sedimente, die während der Anlage des Gessentals abgelagert wurden, werden von Löss bzw. umgelagertem Löss (Schwemmlöss) und Lössderivaten überlagert. Gleichzeitig setzten Einebnungsprozesse ein, welche sich im Auftreten von Hanglehm widerspiegeln. Im Talbereich wurden mit den Jüngeren Bachsedimenten grobklastische fluviatile Sedimente mit unterschiedlichen Mächtigkeiten abgelagert. Überlagert werden die Jüngeren Bachsedimente durch ein feinkörniges bindiges und z.T. organikreiches Sediment, welches aus fluviatilen Auelehmbildungen und umgelagerten Schwemmlössen besteht. Anthropogene Aufschüttungen und Umlagerungen modifizieren die überwiegend im Holozän entstandenen natürlichen Ablagerungen im gesamten Gessental.

7.4.1. Ältere Bachsedimente

Die Älteren Bachsedimente sind im Gessental nur in wenigen Bohrungen und Schürfen eindeutig identifiziert worden (48, 73, 78, 133, 4298/69, 4266/59). Sie befinden sich als Terrassenreste im mittleren Teil des Gessentals sowohl am Südhang (48, 73) als auch am Nordhang (78, 4298/60, 4266/59) sowie im NE-Teil des Gessentals (133) und überlagern unmittelbar die paläozoischen verwitterten Sedimente des Silurs bzw. des Devons. In Bohrung 133 befindet sich die Basis der Sedimente bei 250,8 mNN. Im Hangenden schließt sich ein 1,55 m mächtiges schluffiges Hangsediment an. In den Bohrungen 78 (Basis 240,20 mNN), 48 (237,80 mNN) und 73 (Basis 241,65 mNN) sowie in den Schürfen liegt die Basis der Bachsedimente bzw. der Talsedimente an topographisch niedrigeren Positionen. Hier wird der Schotterkörper ebenfalls von Hangsedimenten überlagert. Die Mächtigkeit der Älteren Bachschotter beträgt hier maximal 0,65 m. Die grauen bis graubraunen überwiegend grobklastischen Sedimente bestehen aus Feinkiesen und Sanden (ca. 20%) mit unterschiedlichem Schluff- (ca. 18%) sowie geringem Ton-Anteil (ca. 5%). Die Kiesanteile liegen bei ca. 50%. Die Kiesfraktion besteht aus kantengerundeten bis eckigen, schwarz bis braungrauen Ton- bzw. Alaunschiefergerölle und verwitterten Diabasen, z.T. mit Limonitkrusten. Untergeordnet treten Quarzite mit Durchmesser im cm-Bereich auf. Bohrung 78 enthielt bei ca. 4 m u. GOK ein umgelagertes, 4 cm großes Granitgeröll. Zwischenlagernd

wurden inkohlte Pflanzenreste identifiziert. Der Geröllbestand der Älteren Bachschotter zeigt einen Querschnitt der lokal anstehenden Gesteine. In den temporären Aufschlüssen (4298/60, 4263/59) konnte beobachtet werden, dass die Älteren Bachschotter unter einer ca. 1 m mächtigen Hanglehmschicht auf Geländehöhen von ungefähr 245 mNN lagern. In Bohrung 48 beträgt die Mächtigkeit der überlagernden Hanglehmschicht 55 cm.

Die fluviatilen Sedimente in Schurf 4298/60 sind grobklastisch. Die kiesigen Sedimente sind eckig bis kantengerundet mit deutlichen Schluff- bzw. Sand-Gehalten. In Schurf 4263/59 waren zwei maximal 10 bis 20 cm mächtige, sandig bis feinkiesige Bachschotter in feinkörniger Matrix aufgeschlossen. Der untere Teil ist grau mit zwischengeschalteten gelblichen Auedimenten. Die Sedimente weisen cm-mächtige gradierte Schrägschichtungen auf.

Im ehemaligen Mündungsbereich des Schmirchauer Baches in den Alten Gessenbach an der Nordseite des Tales im Bereich des heutigen Badergrabens wurden in sechs Bohrungen (138, 138A, 139A, 141, 142, 143A) sowie im Schurf 1919/55 ebenfalls fluviatile klastische Sedimente angetroffen. Die Basis über den paläozoischen Metasedimenten liegt zwischen 247,0 mNN und 243,3 mNN. Die Mächtigkeit der klastischen Bachsedimente schwankt zwischen 2,10 und 0,45 m. Ob diese Sedimente eine ähnliche Altersstellung besitzen wie die Älteren Bachschotter im westlichen Untersuchungsgebiet, ist durch mangelnde lithologische Differenzierbarkeit nicht nachweisbar. Es besteht jedoch kein genetischer Zusammenhang zwischen den Bachsedimenten in diesen Bohrungen und den Älteren Bachschottern in Bohrung 133, deren Liegengrenze sich mindestens 4 m höher befindet. Diese fluviatilen Sedimente können sich somit erst nach der Eintiefung des Tales in den paläozoischen Untergrund gebildet haben.

7.4.2. Löss, Schwemmlöss, Lössderivate

Diese z.T. umgelagerten, entkalkten, primär äolischen während des Saale- und Weichselglazials gebildeten Sedimente können in der Umgebung der ehemaligen Ortschaft Gessen bis 10 m Mächtigkeit erreichen (vgl. Abschnitt 2.4.9). Löss bzw. umgelagerter Löss und Lössderivate konnten nur in wenigen Bohrungen eindeutig identifiziert werden. Es wird vermutet, dass zwischenlagernde feinkörnige Lölse in den Hanglehmen und in den feinkörnigen Auelehmen einen großen Teil der Matrix darstellen (s.u.). In den Bohrungen 33, 34, 36 am Südhang des Gessentals wurde verbraunter und z.T. umgelagerter Löss vorgefunden (Abb. 48). Er überlagert hier direkt präquartäre devonische Metasedimente. Der lehmige, bis 2,2 m mächtige Löss ist gelbbraun bis hellgrau gefleckt und glimmerführend. Zwischengelagert sind max. 2 cm mächtige rotbraune hämatitisierende Bereiche, die intensiven Verwitterungsprozessen unterlagen. Vereinzelte 3 mm bis 2 cm große kantige Tonschiefer zeigen eine Vermischung

mit oberflächennah anstehenden präquartären Gesteinen während der Umlagerungsprozesse. Teilweise sind inkohlte Pflanzen- und Wurzelreste zwischengelagert. Die Korngrößenanalyse des Lösses (Bohrung 33) zeigt eine relativ gute Sortierung mit einer Ungleichförmigkeitszahl von 18 und einem Anteil von 64% Schluff mit Maxima im Mittel- bis Grobschluffbereich (Abb. 49c, Tab. 19).

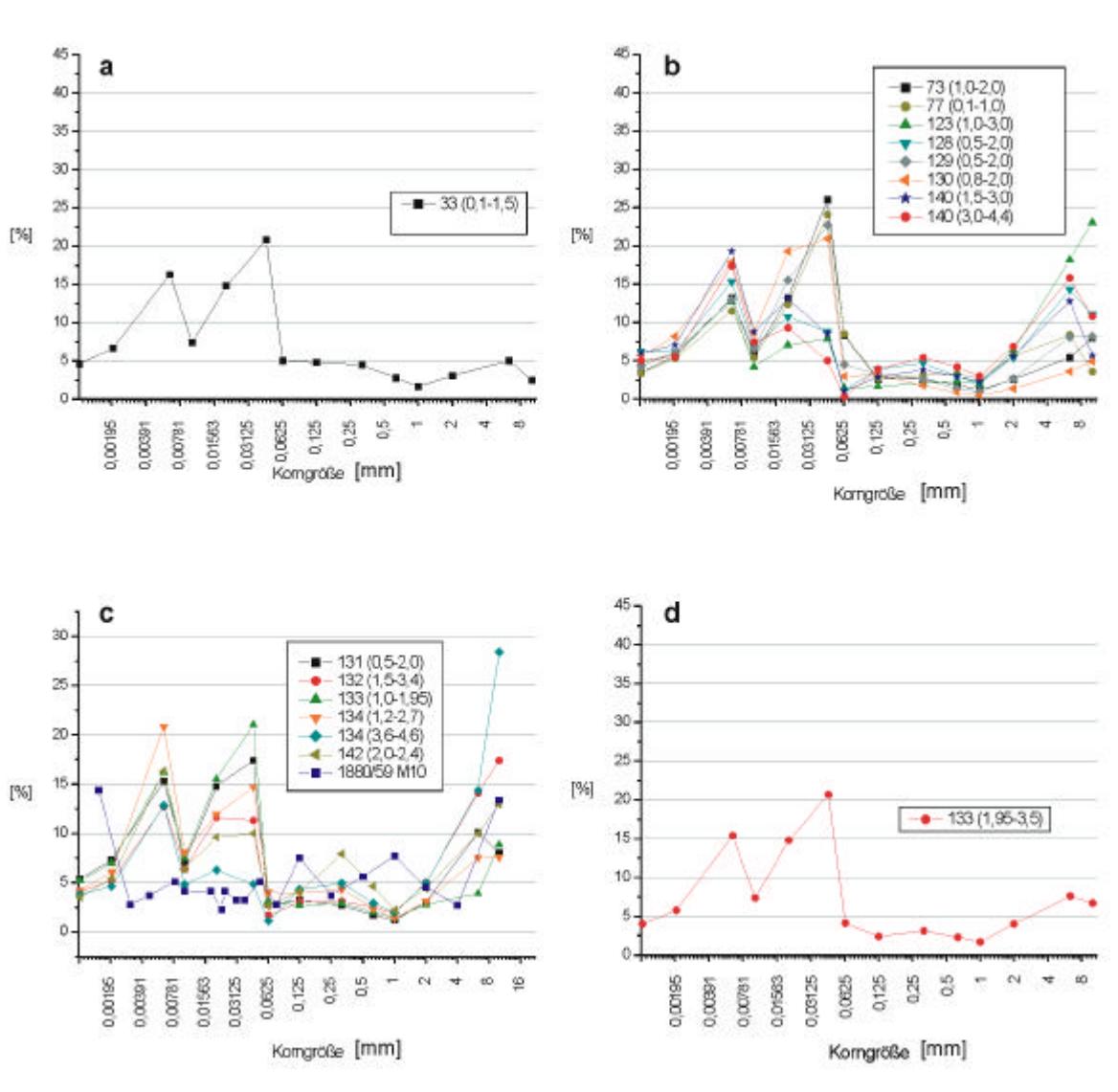


Abb. 49a-e: Siebanalysen des Lösses (a, N=1), der Hangsedimente (b, c, N=15) und einer Aufschüttung (d, N=1) in Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.

In Bohrungen 43 und 46 überlagert umgelagerter Löss die Hangsedimente und Jüngere Bachsedimente, so dass relativ späte Umlagerungsprozesse stattgefunden haben müssen. Der in Bohrungen 48 und 56 erbohrte Löss weist neben Tonschieferbruchstücken zusätzlich bis 3 cm große Diabasbruchstücke auf. In diesen Bohrungen überlagert der Löss neben Hanglehm zusätzlich die Älteren Bachsedimente.

In geoelektrischen Sondierungen zeigen die umgelagerten Lössse und Lössderivate ähnliche spez. elektr. Widerstandswerte wie die Hangsedimente. Diese betragen ca. 50 bis 200 Ωm im Hangbereich. Durch den geringen Kontrast sind sie geoelektrisch nicht von den Hangsedimenten zu trennen.

7.4.3. Hangsedimente (Hanglehm, Hangsand, Hangschutt)

Hangsedimente (Hanglehm, Hangschutt) bestehen nach ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1994) aus bindigem Lockergestein mit Ton-, Schluff- und Sandanteilen sowie weniger als 50 % Kiesen und Steinen. Sie entstehen polygenetisch während des Pleistozäns und Holozäns aus Verwitterungsbildungen, äolischen Schluffen (Löss) oder Sanden durch Bodenkriechen und Abspülungen am Hang.

Nahezu die gesamten Hochflächen und Talhänge des Gessentals sind mit Hanglehmen bedeckt (Bohrungen 6, 7, 12, 14, 17, 18, 20, 23-25, 27, 30, 32, 34, 35, 39, 43, 46-48, 55, 62, 66, 67, 73, 76, 77-79, 84, 85, 93, 94, 96, 110, 122, 123, 127-134, 136, 139A, 140, Abb. 48). Die umgelagerten Sedimente überlagern am Nord- und Südhang die grobkörnigen und feinkörnigen fluviatilen Sedimente sowie die Lössse und sind heterogen beschaffen. Die zwischen 0,1 und 6,1 m, am Nordhang bis 7,4 m (77) mächtigen Hanglehme bestehen überwiegend aus tonig/schluffigem bis feinsandigem, rötlichgrauem bis braunem Material und haben eine lockere bis bindige Konsistenz. Zwischengelagert treten lagenweise bis 2 cm große eckige bis kantengerundete Tonschiefer auf. Linsig bis lagig sind Feinsand- bis Mittelsandbereiche entwickelt. Zudem sind limmonitfleckige, z.T. hämatitisierter und manganfleckige Zonen ausgebildet. Vereinzelt werden inkohlte Pflanzenreste vorgefunden. In feinsandigen Hangschuttbereichen, welche z.T. in den Hangendbereichen der Sedimente ausgebildet sind und z.T. zwischenlagern, können max. 5 cm große quarzitische Kieselschiefer-Bruchstücke, Tonschiefer mit randlichen Bleichungen, dolomitisierte Kalksteine und Diabase eingeschaltet sein (z.B. 12, 14, 27, 46, 62, 102).

Die im E-Gessental anstehenden Hangsedimente wurden mit Hilfe von 16 Korngrößenanalysen untersucht. Hierbei zeigen sich relativ gut sortierte Hanglehme mit bis 70 Gew.-% Schluff nördlich des Schurzes 13 sowie südlich der ehemaligen Laugungsanlage Gessen (vgl. Abb. 49, Abb. 10), die durch Maxima im Mittel- und Grobschluffbereich auf einen hohen Anteil an Löss schließen lassen. Daneben treten Hanglehme mit max. 49 Gew.-% Anteil der Kiesfraktion auf, welche Ungleichförmigkeitszahlen von max. 1.143 (Median 154, Tab. 19) aufweisen. Die Kiesfraktion besteht überwiegend aus eingearbeitetem Verwitterungsschutt der im Hangbereich anstehenden Gesteine (Abb. 49).

Bei einer grobkörnigen Ausprägung sind die Hangsedimente im Talbereich grundwasserführend. In Bohrung 30 unterlagert tonig bis sandiger Hanglehm die Jüngeren Bachsedimente und zeigt, dass die Einebnungsprozesse vor bzw. zeitgleich mit den Aufschotterungsvorgängen im Tal verlaufen. In den Bohrungen 43 und 46 wechseltlagern Hangsedimente mit Lössen (s.o.). Im E-Gessental lagern die Hangsedimente über grobklastischen fluviatilen Sedimenten bis auf Geländehöhen von 248,5 mNN (142). In Bohrung 140 werden anstehende paläozoische Metasedimente auf einer Basishöhe von 243,5 mNN direkt überlagert.

Die Hangsedimente zeigen in den geoelektrischen Widerstandsprofilen einen geringen Kontrast zum Löss und den Auesedimenten. Sie weisen im Hangbereich ein weites Spektrum an scheinbaren spez. Widerständen auf (35-200 Ωm). Im SW-Gessental überlagern die Hangsedimente direkt die Tentakulithenschichten und können durch die höheren Widerstände von den unterlagernden Gesteinen abgegrenzt werden (Abb. 45). Im NE-Gessental lagern Hangsedimente zwischen anthropogenen Aufschüttungen und silurisch/devonischen Gesteinen und weisen mit bis zu 300 Ωm sehr hohe Widerstände auf.

7.4.4. Jüngere Bachsedimente

Im gesamten Westteil sowie im Ostteil des Gessentals befinden sich fluviatile grobklastische Sedimente unter einer über 4 m mächtigen Auelehmschicht sowie unter Hangsedimenten und anthropogenen Aufschüttungen. Die Jüngeren Bachsedimente wurden im mittleren Bereich des Gessentals in Rammkernsondierungen, Schürfen und mit Hilfe von geoelektrischen Methoden nachgewiesen. Außer in einem eng begrenzten Bereich östlich des ehemaligen Schurfes 13, wo sie aufgrund einer anthropogen umgelagerten präglazialen Hochfläche nicht vorgefunden wurden (s.o.), sind diese Sedimente flächenhaft im zentralen Gessental verbreitet. Die rekonstruierte Verbreitungsgrenze der Jüngeren Bachsedimente ist in Abb. 48 dargestellt. Die Bachsedimente überlagern die präglazialen Festgesteine und Auelehme auf Geländehöhen zwischen 232,10 mNN im Westen und 240 bzw. 247 mNN im Osten des Gessentals. Die Mächtigkeiten der Jüngeren Bachschotter liegen zwischen 0,1 und 3,2 m.

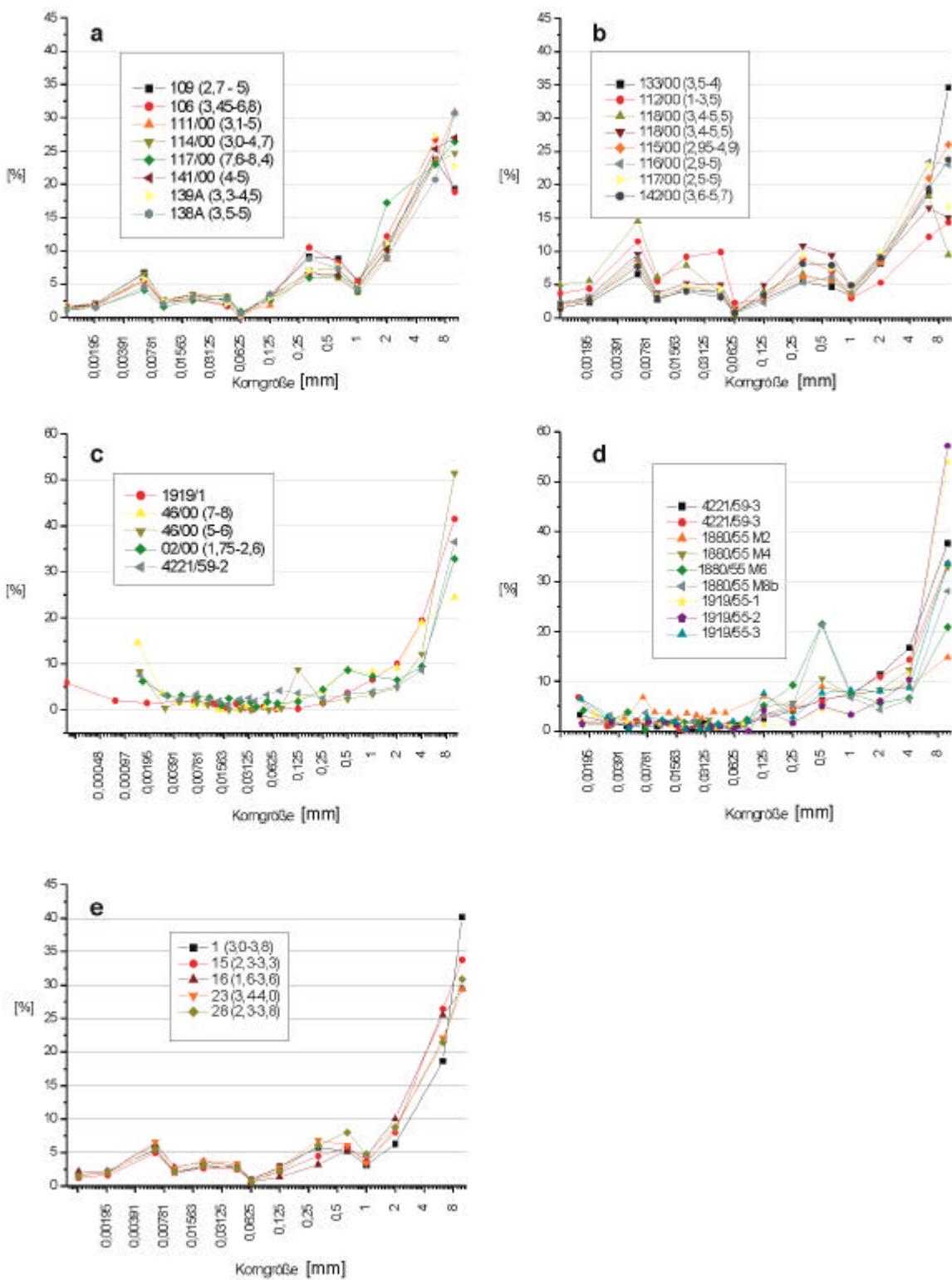


Abb. 50a-e: Siebanalysen der Jüngeren Bachsedimente (N=35) aus Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.

Die grauen bis (gelb)braunen z.T. rostfleckigen grobklastischen Sedimente zeigen eine feinkiesige bis grobsandige Ausprägung. Sie enthalten bis 60 Gew.-% Kies sowie im Mittel 30 Gew.-% Sand. Die Matrix besteht meist aus Schluff (15%) und Ton (5%). Je 5-10 Gew.-%

an Schluff und Sand sowie überwiegend kiesige Anteile charakterisieren die Kornverteilung (Abb. 50a-e). Selten kommen mm- bis cm-mächtige feinsandig-schluffige Zwischenlagen vor. Vereinzelt sind mm-mächtige Tonlagen eingeschaltet, die einen Wechsel im Sedimentationsgeschehen bzw. Überflutungsbereiche zeigen. Kiese mit max. Korngrößen von 3 cm bestehen überwiegend aus eckig bis kantengerundeten Quarzen, Kieselschiefern (Lydite) und wenigen Alaunschiefern, untergeordnet sind verwitterte Diabase und zwischengelagerte Holzstücke zu erkennen. Die größtenteils ungeschichteten Sedimente weisen stellenweise Schichtungen im cm-Bereich auf (z.B. B3). Sie sind meist locker bis höchstens mitteldicht gelagert und schwach bindiger Ausbildung.

Die Sedimente besitzen einen uneinheitlichen Charakter mit geringem Sortierungsgrad. Siebanalysen zeigen einen relativ hohen Ungleichförmigkeitsgrad (50 bis 1.250). Die Bohrungen im westlichen Talzentrum belegen einen höheren Anteil an grobklastischen Sedimenten, während die Proben aus den östlichen Talbereichen einen höheren Gehalt an feinkörnigerem Material aufweisen. Im mittleren und E-Gessental sind die Jüngeren Bachsedimente teilweise durch zwischenlagernde feinkörnige Auesedimente getrennt und bilden hier zwei vermutlich zusammenhängende Einheiten (117, 115, 108, 103, 98A, 97, 95, 88, 80). Die untere Schicht lagert dem bindigen Alaunschieferzersatz des S₁ bei 236,4 mNN auf und ist in Bohrung 117 und 80 grundwasserführend (Abschnitt 5.3.2).

Bei den überwiegend ungesättigten Bachsedimenten im E-Gessental wurden spez. elektr. Widerstände von 75 bis 250 Ωm gemessen (Abb. 45). Die zweidimensionalen Profilschnitte enthalten rinnenförmige 1-5 m mächtige Bereiche mit 150 bis 250 Ωm Widerstand innerhalb der Bachsedimente. Diese Bereiche innerhalb der flächenhaften Ausbildung zeigen den uneinheitlichen Aufbau des fluviatilen Sedimentkörpers. Innerhalb der holozänen Sedimente wird lokales Ausgangsmaterial durch Lateral- und geringe Tiefenerosion überwiegend horizontal um- und abgelagert. Das Fehlen von dunklen Alaunschiefern in der Sandfraktion der Jüngeren Bachschotter führt FISCHER (2002) auf intensive Bleichungsvorgänge im Einzugsgebiet zurück. Die vielfache Umlagerung des Materials kann zu einem hohen Verwitterungsgrad innerhalb des Schotterkörpers führen. Die geringe Sortierung bzw. der hohe Ungleichförmigkeitsgrad ist durch Nachlieferung an feinkörnigen Bestandteilen von den Hängen und Einarbeitung in den Sedimentkörper begründet. Im W-Gessental betragen die Widerstände der grobklastischen fluviatilen Sedimente zwischen 35 und 100 Ωm und liegen, bedingt durch die Grundwassersättigung, in einem deutlich geringeren Niveau.

7.4.5. Feinkörnige fluviatile Sedimente (Auesedimente, Auelehm)

Unter Auelehm wird nach REICHELT (1953) eine feinklastische, meist kalkfreie, mäßig bis stark humose Hochwasserablagerung von Flüssen und Bächen verstanden, die aus wechselnden Schluff-, Feinsand- und Tonanteilen zusammengesetzt ist (SOMMER 2001). Die Sedimentation von Auelehm verläuft diskontinuierlich und ist neben klimatischen Ursachen überwiegend auf anthropogene Eingriffe in den Naturhaushalt (Rodungen, extensive Weidewirtschaft) zurückzuführen (UNGER & KAHLKE 1995, HILLER et al. 1991).

Die feinkörnigen, schluffigen Auesedimente überlagern mit relativ scharfen Grenzen die Bachsedimente im zentralen Gessental (B1, B3, B4, 1-5, 9-11, 15, 16-19, 21-23, 28, 30, 31, 37, 38, 40-45, 48-54, 57-61, 63-65, 67, 72, 75, 79-84, 86, 92, 95, 97-101, 103-109, 111-120, 135, 138, 139, 141, 143A, 145, Abb. 48). Teilweise sind sie den Jüngeren Bachsedimenten zwischengeschaltet (s.o.). Die Sedimente bestehen aus hellbraunem tonig bis sandigem Schluff mit unterschiedlichen Ton- und Sandanteilen. Sie sind locker bis mitteldicht gelagert und z.T. glimmerführend. Eingelagert sind z.T. inkohlte Holz- und Wurzelreste sowie eckige bis kantengerundete Quarzite, bis 2 cm große Kiesel- und Tonschiefer sowie Diabase. Die feinkörnigen Sedimente weisen einzelne Eisenkrusten aus Limonit und Hämatit auf. Tonreiche und feuchtere Partien, die sich unter Grundwassereinfluss im unteren Bereich der Einheit befinden, sind schwarz bis dunkelgrau, z.T. grünlich gefärbt und nur randlich limonitiert. Eine Schichtung ist selten erkennbar. Eingelagert treten cm-mächtige Fein- bis Mittelsandlagen auf. Randlich verzahnen sich diese Sedimente mit Hangsedimenten (54). Die Korngrößenverteilung der Auesedimente zeigt Maxima im Fein- bis Mittelschluffbereich, was evtl. auf einen hohen Anteil an umgelagerten lokalen Lössen schließen lässt. Grobkörnige Teilbereiche der Auesedimente führen zusätzlich erhöhte Anteile an Mittelsand (Bohrungen 75, 111, 116, 118, 119). Im Mittel bestehen die Auesedimente aus über 65 Gew.-%, minimal 35 Gew.-% Schluff-, über 15 Gew.-% Sand- und über 10 Gew.-% Tonanteilen (Abb. 51). Die relativ gute Sortierung zeigt der Median der Ungleichförmigkeitszahl von 15 (Tab. 19). Die Mächtigkeiten der Auesedimente schwanken zwischen 0,4 und 3,7 m, was eine Einebnung des präexistenten Reliefs zur Folge hat. Mächtigkeiten über 3 m existieren im Bereich der Bohrungen 113 bis 116. Die größten Mächtigkeiten der feinklastischen Sedimente mit 3,2 bis 4,7 m werden in anthropogen veränderten Teilbereichen vorgefunden, z.B. im südl. des Gessenbaches verlaufenden ehemaligen Mühlgraben der Gessenmühle (48-51, 57-59, 70-72, 97). Die Basishöhe der feinklastischen Auesedimente beträgt im westlichen Gessental 230,3 mNN. Die Obergrenze der Auesedimente befindet sich im Bereich der Geländeoberkante (GOK) bei max. 234,7 im NW- und zwischen 247 bzw. 250 mNN im E-Untersuchungsgebiet.

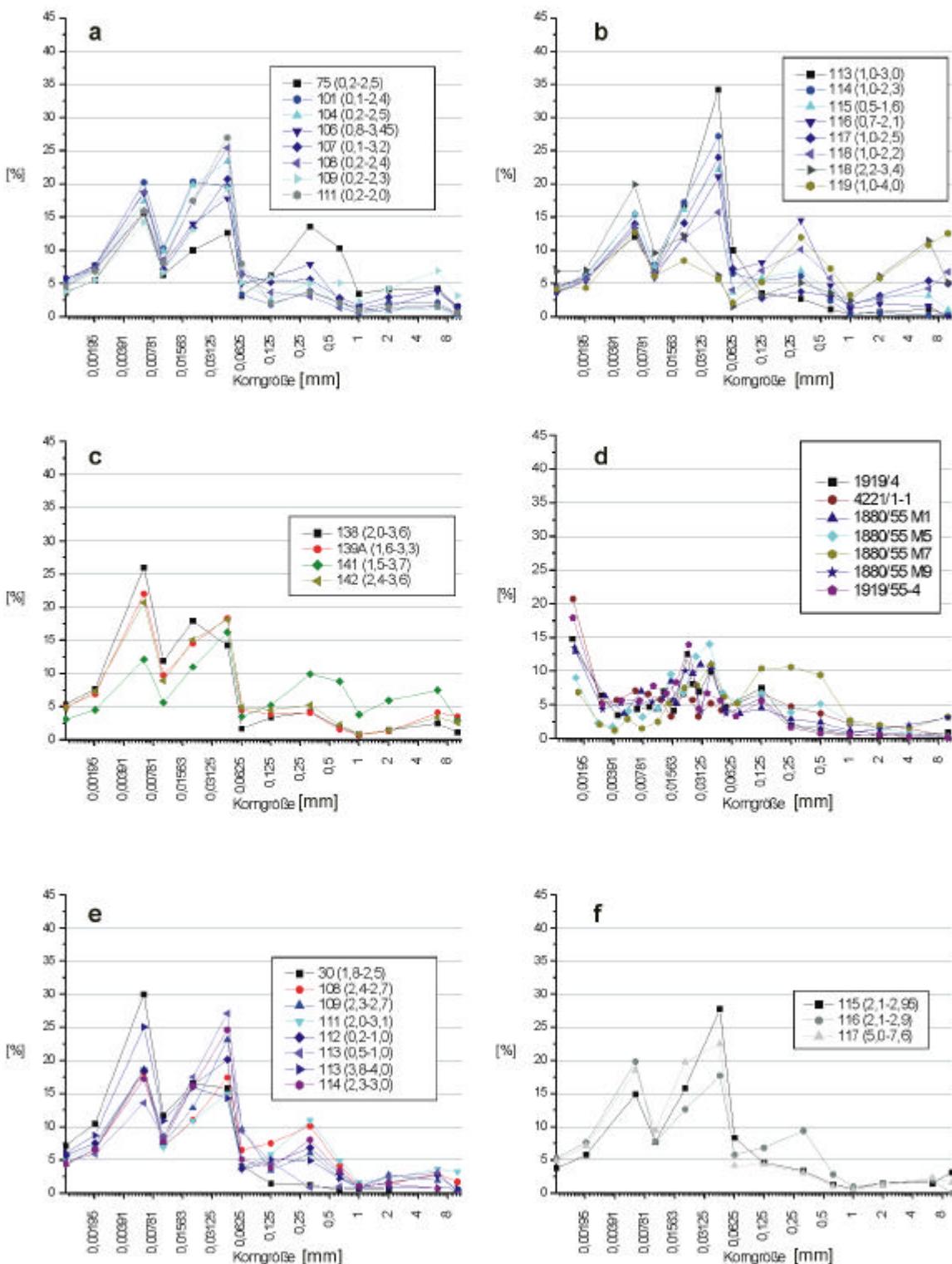


Abb. 51a-f: Siebanalysen der Auesedimente ($N= 38$) aus Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.

Zwischen Auesedimenten befinden sich in den Bohrungen 67, 88 und 91 bei 236,85 mNN bzw. 236,65 mNN bis 30 cm mächtige schwarzbraune Niedermoortorfe. In Bohrung 91 überlagert ein Niedermoortorf in einem Altarm des Baches auf einer Geländehöhe von 237,54 mNN eine dunkle Torfmudde (Untergrenze 236,86 mNN).

Im überwiegend grundwassergesättigten E-Gessental weisen die Auelehme je nach Feuchtigkeitsgrad in den geoelektrischen Profilen spez. elektr. Widerstände von 35 bis 100 Ω m auf (Abb. 45). Eine genaue Abgrenzung zu den unterlagernden feinkörnigeren Jüngeren Bachsedimenten ist in den Profilen nördlich des Badergrabens möglich. Die Abgrenzung zu den Hangsedimenten ist aufgrund des fehlenden Kontrasts in den geoelektrischen Sondierungen nicht möglich. Deutlich werden jedoch feuchtere C_{org} -reiche Partien im Bereich von Aufschüttungen. So sind die verfüllten Mühlgräben und verschütteten Teichsedimente der Gessenmühle deutlich von den Auesedimenten zu unterscheiden. In den Profilen E7 bis E12 befinden sich niederohmige grabenförmige sowie ausgedehnte Zonen mit spez. elektr. Widerständen von 15-35 Ω m in Tiefen von max. 4 m u. GOK. Im grundwassergesättigten W-Untersuchungsgebiet sind geringe Kontraste in den Profilen E12-E14 feststellbar. Die elektr. Widerstände der Auesedimente betragen zwischen 75 und 25 Ω m.

7.4.6. Anthropogene Aufschüttungen und Veränderungen

Im gesamten Gessental kommen z.T. tiefgründige anthropogene Veränderungen in Form von Aufschüttungen, Umlagerungen und Abtragungen vor. Teilweise wurden im Bereich der ehemaligen Gessenmühle künstliche Mühlgräben und Teiche angelegt, die wieder verfüllt wurden (Abschnitt 4.1.2, Abb. 48). Das Auffinden solcher Veränderungen war nur eingeschränkt möglich, da Umlagerungen nur durch historische Karten und durch Luftbilder rekonstruierbar waren.

Einige Aufschüttungen bestehen aus lokalem schluffig bis feinsandigem Material mit bis 5 cm großen, eckigen und regellos verteilten Schieferbruchstücken, teilweise mit Einlagerungen von Ziegelbruchstücken. Die Tiefe der anthropogenen Veränderung bzw. Aufschüttungen betrug 0,2 bis 2,9 m. Die Aufschüttungen wurden hauptsächlich während des Straßen- und Wegausbau, die Umlagerungen größtenteils im Rahmen der Sanierung angelegt bzw. ausgeführt (Bohrungen B2, 1, 14, 20, 21, 29, 32, 36, 37, 40, 44, 46, 57, 61, 67, 74, 80, 88, 95, 106, 117, Abb. 48). In den Bohrungen 48-51, 57-59, 70-72, 81-83 und 97 im südl. des Gessenbaches verlaufenden ehemaligen Mühlgraben zur Gessenmühle wurden Wechsellagerungen von geschichteten Auesedimenten, tonig organikreicher dunkler Mudde, schluffig bis feinsandigen Torfen und Sanden vorgefunden. Der mindestens 2,8 m tiefe vermutlich anthropogen angelegten Graben wurde mit lehmig, schluffigem lokalem Material verfüllt. In diesem Bereich liegen über 4 m mächtige anthropogen umgelagerte Auelehme (s.o.). In den Bohrungen 97-99 wurden 3 m mächtige Wechsellagerungen aus schluffigen Auesedimenten, schluffig-feinsandigen Torfen, grobklastischen fluviatilen Sedimenten und

Tonen erbohrt, die unter einer ca. 1,4 m mächtigen schluffig-feinsandigen Aufschüttung lagerten. In diesem Bereich befand sich ein Mühlteich, welcher während der Bergbauzeit verfüllt wurde. Diese Zonen sind in den Profilen E7 bis E11 zu erkennen. Hierbei treten infolge der geringen spez. elektr. Widerstände von 15-35 Ω m relativ hohe Kontraste, die diese Zonen deutlich von den angrenzenden Auesedimenten abgrenzen, auf. Der Mühlteich hatte eine Ausdehnung von ca. 50 m. Der verfüllte Mühlgraben ist ebenfalls deutlich zu erkennen (Abb. 45). In Bohrung 16 konnte eine tonige Mudde identifiziert werden, in der Glasscherben zwischenlagerten. Die feinsandig, schluffige Aufschüttung in Bohrung 106 wurde vermutlich während des Baus des Abwassersammlers der Kläranlage Ronneburg angelegt. Im gesamten E-Gessental (Bohrungen 117-145) fanden intensive Aufschüttungs- und Umlagerungsarbeiten während der Anlage der Schürfe 13 und 12 statt. Die Mächtigkeit der Aufschüttung beträgt maximal 3,4 m (124). Im Talbereich wurde die präquartäre Oberfläche teilweise eingeebnet und kiesig-sandiges bis schluffiges Material aufgeschüttet (Abb. 49a, b). Im Zuge der Sanierungsarbeiten fanden 1998 im nördlichen Hangbereich (Bohrungen 122-124, 127-134) Konturierungsarbeiten beim Abtrag von ehemaligen Haldenbereichen (Halden der Schürfe 12 und 13) statt.

7.5. Genese der Talsedimente

Die genetische Beziehung und die Altersstellung der Talsedimente kann innerhalb dieser Arbeit aufgrund fehlender absoluter Altersdaten nur relativ angegeben werden. Hierbei ist die Position des Untersuchungsgebietes im Einzugsgebiet der Weißen Elster maßgebend.

Nach einer elsterzeitlichen Eisbedeckung (Abb. 7) befand sich das Untersuchungsgebiet während der Saale- und Weichselvereisung im Einflussbereich periglazialer, denudativ-solifluider Prozesse. In den Glazialen wurden äolische Lösssedimente abgelagert. Von der Saalekaltzeit bis zur Eemwarmzeit fand die Eintiefung der Weißen Elster in die unterlagernden Gesteine statt. Nach HILLER et al. (1991) ist die fluviatile Eintiefung seither nicht wesentlich weiter vorangeschritten. Die untere saalezeitliche Mittel terrasse befindet sich auf einem Niveau von 4-8 m, die weichselzeitliche Niederterrasse 2-5 m über dem rezenten Flussbett, was Geländehöhen von 208 bis 202 mNN im Bereich Gessenbachmündung in die Weiße Elster in Gera entspricht (vgl. Abschnitt 2.4.9). Die rezente Geländehöhe der Mündung des Gessenbaches in die Weiße Elster befindet sich bei ca. 200 mNN. Im Vergleich befinden sich die Älteren Bachsedimente 6 km östlich im proximalen Talbereich des E-Gessentals zwischen 237,3 mNN und 250,8 mNN Basishöhe. Die Höhenlage der Älteren Bachsedimente im Untersuchungsgebiet würde somit für eine postsaale- bis eemzeitliche Anlage des Tals sprechen.

Die zwischenlagernden inkohlten Pflanzenreste deuten eine Entstehung der Älteren Bachsedimente in einer Warmzeit an. Die in den temporären Schürfen (4298/60, 4263/59) bei 245 mNN vorgefundenen zwischenlagernden Auesedimente sprechen dabei gegen ein eemzeitliches Alter, da die Auesedimentation im Bereich der Weißen Elster erst im mittleren Atlantikum einsetzt und neben klimatischen Ursachen mit einer umfassenden Waldrodung in Zusammenhang steht (EHLERS 1994, HILLER et al 1991). Würde es sich bei diesen Sedimenten um echten Auelehm handeln, wäre dieser ein Äquivalent zum Älteren Auelehm des Atlantikums. In diesem Fall müsste die Tiefenerosion im E-Gessental seitdem ca. 12-15 m betragen. Die Jüngeren Bachsedimente befinden sich im E-Gessental auf Höhen zwischen 230 bis 233 mNN. Ob solche Erosionsbeträge in den Verwitterungszonen der paläozoischen Metasedimente erreicht werden, ist nicht eindeutig zu klären. Wenn es sich bei dem lehmigen Sediment in den o.g. Schürfen um ein den Auelehm ähnliches Umlagerungssubstrat aus Löss und Hanglehm handelt, welches den Älteren Bachsedimenten auflagert, ist eine präholozäne, weichselzeitliche bzw. evtl. eemzeitliche Entstehung dieser fluviatilen Sedimente möglich. Somit sind keine eindeutigen Beweise für ein autochthones fluviatiles Sediment mit präholozänen Alter zu finden. Die Lössablagerungen auf den Hochflächen bei Gessen, Lichtenberg und Grobsdorf bildeten sich sowohl saale- als auch weichselzeitlich. Die Lösssedimentation während des Weichselglazials verlief vermutlich zeitgleich mit der Aufschüttung der Niederterrasse. Die Umlagerungen der Lössen und der Hangsedimente erfolgten nach der Anlage des Tals, wobei der Hauptteil wahrscheinlich im Holozän infolge eines höheren Geländegradienten umlagert wurde. Ähnliche Prozesse sind auch für die überwiegend aus Löss bestehenden Hangsedimente zu erwarten.

Die zeitgleich bzw. nach der Tiefenerosion abgelagerten, bis 3,2 m mächtigen Jüngeren Bachsedimente überlagern auf Geländehöhen zwischen 230 und 252 mNN direkt die paläozoischen Metasedimente. Die holozäne Altersstellung dieser Sedimente wird durch die Einlagerung von fossilen Hölzern angezeigt. Der Aufbau des Sedimentkörpers ist z.T. rinnenartig, z.T. flächig und zeigt häufige Bachverlagerungen mit evtl. Lateralerosion. Zwischenlagernd finden sich feinkörnige Auesedimente aus Stillwasserbereichen, Überflutungsebenen und verlandeten Altarmen. Der höhere Anteil an eingelagerten feinkörnigen Sedimenten wird durch die stetige Umlagerung von Hangsedimenten und Lössderivaten begründet.

Die Auelehmsedimentation setzte in den Tälern der Weißen Elster und der Pleiße im mittleren Atlantikum ein, als dieser Raum von Ackerbauern und Viehzüchtern extensiv genutzt wurde (HILLER et al. 1991). Es kam zu einer weiteren Auelehmakkumulation im Subboreal (1350 bis

550 b.p.) und im Jüngeren Subatlantikum, was mit höherer Besiedlungsdichte des ostthüringischen Raumes korreliert. So kam es zur Überdeckung ehemaliger Bachrinnen und zur Nivellierung der Talbereiche und führte dazu, dass im E-Gessental die nahezu gesamten Bachsedimente von Auelehm überlagert wurden. Die Mächtigkeiten der Auesedimente im E-Gessental schwanken zwischen 0,4 und 3,7 m. Die zwischenliegenden Mudden und Torfe deuten relativ warme Klimabedingungen an.

Für eine absolute Einordnung der genetischen Beziehungen und der Altersstellung in das Gesamtgeschehen der ostthüringischen quartären Entwicklung, müssen Bestimmungen absoluter Alter evtl. an zwischenlagernden Hölzern erfolgen. Zudem müssten die Untersuchungen auf das gesamte Gessental ausgedehnt werden.

7.6. Hydrogeologische Kennwerte der Talsedimente

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit auf Grundlage von eigenen Analysen und aufbereiteten Datenreihen aus Korngrößenanalysen der Wismut GmbH zeigen deutliche Unterschiede in der k_f -Wertverteilung, der Ungleichförmigkeit und der Krümmungszahlen innerhalb der einzelnen Lithologien (Tab. 19).

Die k_f -Werte der Jüngeren Bachsedimente weisen neben den o.g. hohen Ungleichförmigkeiten einen Median von $2,94 \cdot 10^{-6}$ m/s auf. Es gibt jedoch auch Bereiche mit höheren Durchlässigkeitsbeiwerten (Maximum $3,8 \cdot 10^{-4}$ m/s in Bohrung 90). Insgesamt zeigt sich, dass geringe k_f -Werte durch hohe Feinkornanteil der Bachsedimente bedingt sind. Wie die Hangsedimente besitzen die Auesedimente infolge des hohen Feinkornanteils geringere k_f -Werte als die Bachsedimente ($1,8 \cdot 10^{-7}$ bzw. $2,5 \cdot 10^{-7}$ m/s).

Die mit Packertests in-situ durchgeführten Versuche von SOLEXPERTS (2000) zeigen vergleichbare Resultate in ähnlichen Größenordnungen. Die ermittelten Werte befinden sich im Maximalbereich der nach BEYER (1964) errechneten Durchlässigkeitsbeiwerte. Die räumliche Verbreitung der k_f -Werte ist durch diese integrierte Betrachtungsweise nicht gegeben. Die Verteilungsdichte der Proben und die Auswahl als Mischproben z.T. aus der gesamten Bachsedimentmächtigkeit lässt keine Rückschlüsse über diskrete Wasserwegsamkeiten in speziellen Zonen der Jüngeren Bachsedimente zu. In den ebenfalls untersuchten Schürfen 1880/59, 4221/59 und 1919 konnten schichtbezogen Proben entnommen werden (Anhang 4). Die hier errechneten Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im maximalen Bereich der Spannbreite der k_f -Werte. Zudem wurde in Schurf 1880/59 innerhalb der ungesättigten Zone ein rinnenförmiger durchlässiger Bereich angeschnitten, welcher wasserführend war. So ist zu vermuten, dass innerhalb der heterogen aufgebauten Bachsedimente Zonen erhöhter Durchlässigkeit existieren, wie sie mittels in-situ Messungen

vorgefunden wurden. Anhand der in Abb. 48 dargestellten Verbreitungsgrenze ist zu erkennen, dass diese vermuteten Zonen auf den Zentralteil des Gessentals beschränkt ist. Speziell in den Jüngeren Bachsedimenten sind genetische vorgeprägte rinnenförmige Zonen erhöhter Durchlässigkeit angetroffen worden, welche die insgesamt niedrigen Durchlässigkeit der Bachsedimente modifizieren kann. Die rinnenförmigen Bereiche können als bevorzugte Fließbahnen im Post-Flutungszeitraum wirken und müssen bei prognostischen hydrogeologischen Betrachtungen beachtet werden (Abschnitt 9.5).

Tab. 19: Korngrößenparameter und die daraus ermittelten kf-Werte nach BEYER (1964). Als Vergleich sind mittels Packertests von SOLEXPERTS(2000) ermittelte Werte aufgeführt.

Einheit	Maximum	Minimum	Median	Aritm. Mittel	Anzahl
Jüngere Bachsedimente					
k _f -Wert [m/s]	3,8x10 ⁻⁴	2,9x10 ⁻⁸	2,94x10 ⁻⁶	1,37x10 ⁻⁵	53
k _f -Wert (SOLEXPERTS 2000) [m/s]	3x10 ⁻⁴	9,2x10 ⁻⁵			4
Ungleichförmigkeit U	1250	14	436	454	53
Krümmungszahl C	30,3	0,06	5	5,9	53
Auesedimente					
k _f -Wert [m/s]	9,95x10 ⁻⁷	3,7x10 ⁻⁹	1,8x10 ⁻⁷	1,9x10 ⁻⁷	49
k _f -Wert (SOLEXPERTS 2000) [m/s]	1 10 ⁻⁵	5 10 ⁻⁶			6
Ungleichförmigkeit U	173	9,3	16	26,2	49
Krümmungszahl C	52,5	0,1	1	2	49
Hangsedimente					
k _f -Wert [m/s]	5,4x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁷	2,5x10 ⁻⁷	2,6x10 ⁻⁷	16
k _f -Wert (SOLEXPERTS 2000) [m/s]	9x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁶			2
Ungleichförmigkeit U	1143	15	154	441	16
Krümmungszahl C	1,6	0,04	0,4	0,6	16
Löss, Lössderivate			Einzelwert		
k _f -Wert [m/s]			2x10 ⁻⁷		
Ungleichförmigkeit U			18		
Krümmungszahl C			1		

8. DIE BESCHAFFENHEIT DES GRUND- UND OBERFLÄCHENWASSERS IM GESSENTAL

In diesem Abschnitt werden die chemischen Analysen des Sickerwassers, des Oberflächenwassers und des Grundwassers vorgestellt. Der chemischen Charakterisierung eines Haldensickerwasseraustritts im NW der Hauptschadstoffquelle Nordhalde folgt die Beschreibung der hydrochemischen Verhältnisse in den Vorflutersystemen Gessenbach (Ober- und Unterlauf), Badergraben und Lammsbach. Hierzu wird die in Abschnitt 4.3 vorgestellte typenbezogene Einteilung nach Grad des Bergbaueinflusses auf die Vorfluter beibehalten und hydrochemisch anhand der 268 Wasserproben definiert. Eine Klassifizierung des oberflächennahen Grundwassers erfolgt nach ähnlichen Kriterien. Es wurden insgesamt 42 Grundwasseranalysen mit den in Abschnitten 3.5 und 3.7 beschriebenen Methoden durchgeführt. Die Kenndaten der Entnahmepunkte sind in Tab. 5 dargestellt, die Analysenergebnisse in Anhang 5.

8.1. Haldensickerwasser

Die Haldensickerwassermessstelle Q4 (e-443) bildet den wichtigsten Haldensickerwasseraustritt im NW der Nordhalde. Der Austritt entwässert die NW-Haldenaufstandfläche, da hier ein der Einschnittsbereich eines ehemaligen Tales im Bereich der ehemaligen Ortslage Gessen überschüttet wurde (Abb. 41, Abb. 16). Er weist in einem Bereich von ca. 80 m an zwei Stellen oberirdische Sickerwasseraustritte auf, welche ca. 70 m auseinanderliegen. Vor den Sickerwasseraustritten sind ganzjährig wassererfüllte Mulden ausgebildet. Das Sickerwasser der Austrittsstellen und Mulden weist ähnliche hydrochemische Eigenschaften auf und wird innerhalb dieser Arbeit zusammengefasst (vgl. Abschnitt 9.2, Anhang 9). Entlang der Sickerwasseraustrittsstelle sickert das Wasser in diskreten Oberflächenrinnen in den Gessenbach. Daneben existieren im gesamten Bereich diffuse oberflächennahe Sickerwege in den Vorfluter. Detaillierte Untersuchungen sind auch bei ZEGGEL (2001) bzw. ZEGGEL et al. (2002) dargestellt., Die relativ geringe Schüttungsmenge ist aufgrund des großräumigen Austritts nicht exakt quantifizierbar. Sie kann jedoch durch die ganzjährig wassererfüllten Mulden mit steig fließenden 0,5-1 l/s abgeschätzt werden (s. Abschnitt 4.3).

8.1.1. Übersicht und Klassifikation

Tab. 20 gibt mit statistischen Kennwerten der physikochemischen Parameter und der wichtigsten Inhaltsstoffe einen Überblick über die Zusammensetzung des Haldensickerwassers an der Messstelle Q4 (Wismut Bez.: e-443, Abb. 10). Die Proben

wurden entlang des ca. 100 m langen Sickerwasseraustritts nicht unmittelbar an den Sickerwasseraustritten Nord und Süd entnommen, da diese teilweise trocken waren. Die Probenahmen wurden z.T. in ständig wassererfüllten Mulden im Vorfeld der Sickerwassermessstelle durchgeführt, die auch von der Wismut GmbH beprobt wurden.

Tab. 20: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe des Haldensickerwassers der Nordhalde an der Messstelle Q4 (Lage s. Abb. 10).

	Anzahl n	Mittelwert x	Median x	Maximum x _{max}	Minimum x _{min}	Std.abw. s	Var.koeff. ? [%]
Messstelle Q 4							
T [°C]	19	11,0	10,3	23,8	0,5	6,0	54
el. Lf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	19	11.595	12.020	12.720	6.220	1.436	12
pH	19	3,0	3,1	3,6	2,4	0,3	12
E _H [mV]	19	571	563	652	432	51	9
O ₂ [mg/l]	15	3,0	2,7	9,0	0,4	1,9	65
Na ⁺ [mg/l]	16	27	27	34	15	4	17
K ⁺ [mg/l]	16	1,6	0,4	5,0	0,0	1,8	117
Ca ²⁺ [mg/l]	16	905	963	1155	428	201	22
Mg ²⁺ [mg/l]	16	1.210	1.250	1.440	690	157	13
Fe _{ges} [mg/l]	16	2.360	2.460	2.760	1.220	360	15
Mn ³⁺ [mg/l]	16	122	126	155	67	22	18
Al ³⁺ [mg/l]	13	246	227	459	103	92	38
NH ₄ ⁺ [mg/l]	16	38	25	144	4	40	106
Cl ⁻ [mg/l]	14	20	21	30	9	6	27
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	16	12.900	13.200	14.100	7.000	1.600	12
NO ₃ ⁻ [mg/l]	12	4,0	2,3	11,2	1,3	3,4	-
PO ₄ ³⁻ [mg/l]	15	0,97	0,65	1,94	0,12	0,60	64
Cu ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	13	2.230	2.200	3.460	1.120	620	28
Ni ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	13	23.300	25.600	27.600	13.400	4.600	20
Zn ²⁺ [mg/l]	16	22	23	25	11	3	14
Si ⁴⁺ [mg/l]	15	41	45	68	6,9	16	38
Cd ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	14	230	230	290	130	46	20
Cr ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	14	31	31	64	2,5	14	46
Ba ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	10	19	19	36	8	7,5	39
Sr ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	10	126	73	520	30	141	112
Co ²⁺ [$\mu\text{g}/\text{l}$]	9	8.520	8.090	11.710	4.830	2.200	26
U _{ges} [$\mu\text{g}/\text{l}$]	12	680	670	1.020	300	185	27

Die Wassertemperaturen liegen mit durchschnittlich 11 °C über der mittleren jährlichen Lufttemperatur, wobei das Sickerwasser direkt am Austritt geringer temperiert ist. Die pH-Werte zeigen ein ständig saures Milieu und schwanken zwischen 2,4 und 3,6. Die E_H-Werte variieren zwischen 430 und 650 mV und zeigen in allen Fällen oxidierende Bedingungen an. Die elektr. Leitfähigkeit (el. Lf) der Proben beträgt ca. 11.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der Medianwert ist um ca. 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ höher, was auf das Vorkommen von geringer mineralisierten Proben infolge von Niederschlägen am 31.01. (6.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und 23.5.2000 (ca. 9.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

zurückzuführen ist. Der Gesamtlösungsinhalt beträgt über 18 g/l. Die Gesamtmineralisation wird überwiegend durch Sulfat-, Fe_{ges}- und die Erdalkaligehalte charakterisiert.

Der Lösungsinhalt wird quantitativ durch unterschiedliche Anteile an Ca²⁺, Mg²⁺ sowie an SO₄²⁻ und Fe_{ges} bestimmt. Die Alkalien Na⁺, K⁺ sowie die Anionen Cl⁻ und HCO₃⁻ kommen nur untergeordnet bis gar nicht vor. Innerhalb der Haupthonenzusammensetzung ist eine relativ geringe Schwankungsbreite, ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten, erkennbar. Mit Ausnahme des K⁺-Ions liegen die Variationskoeffizienten unter 30 %. Die K⁺-Gehalte weisen mit Werten über 100 % eine hohe Variabilität auf (Tab. 20). Das in Abb. 52 dargestellte halblogarithmische Diagramm zeigt die relativ geringen Schwankungsbreiten und die Verteilung der Ionen, die unabhängig von der Gesamtkonzentration sind. Das Wasser wird als Fe-Mg-Ca-SO₄-Typ klassifiziert, was als typische typisches Ausbildung für saure Grubenabwässer gilt.

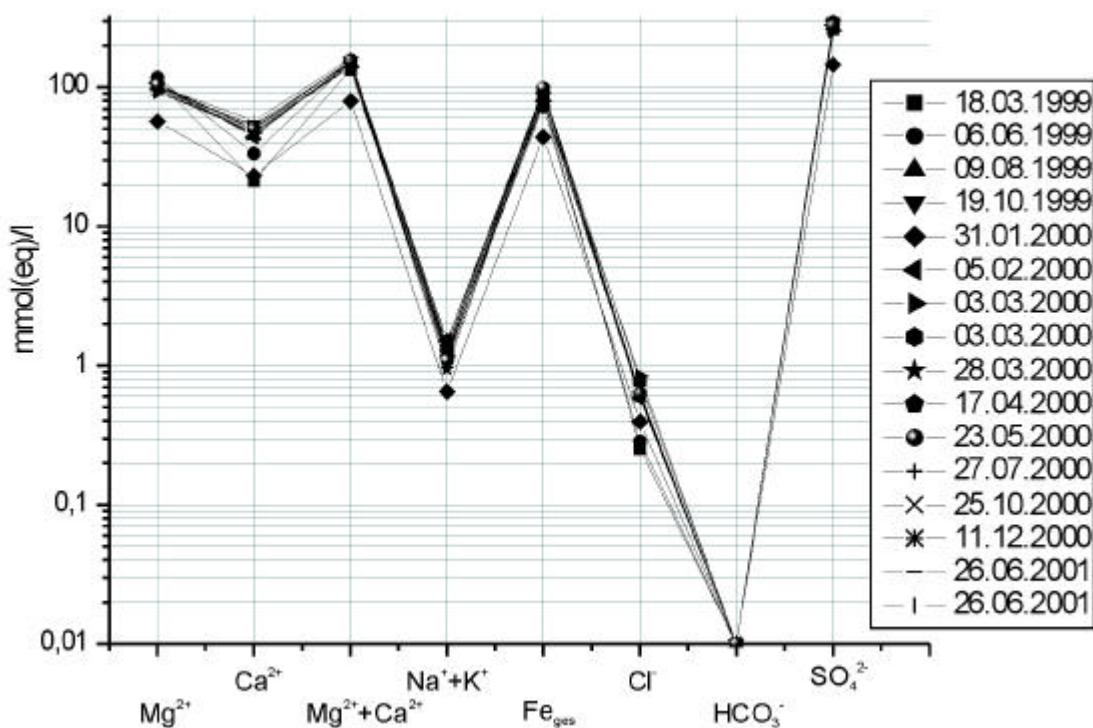


Abb. 52: Halblogarithmische Darstellung der Haupthonenzusammensetzung 1999 - 2001 des Haldensickerwassers an der Messstelle Q4 (e-443) (n=16 Messungen).

Wasserbeschaffenheit der Austrittsstellen

Erdalkalien

Die Erdalkalien Mg²⁺ und Ca²⁺ sind mit Gehalten von 1.400 und 700 mg/l bzw. 1.160 und 430 mg/l als kationische Hauptbestandteile im Haldensickerwasser der Messstelle Q4 vertreten (Abb. 52). Daneben werden Ba²⁺ und Sr²⁺ mit Gehalten von 8 bis 36 µg/l bzw. 30

bis 520 µg/l analysiert. Die relativ hoch konzentrierten Erdalkalien werden abhängig vom pH-Wert aus den Gesteinen der Nordhalde gelöst und transportiert. Dabei werden überwiegend Calcit (CaCO_3) und Dolomit (Ca,MgCO_3) aus dem silurischen Ockerkalk gelöst. Daneben können primäre und sekundäre Tonminerale Erdalkalien beinhalten sowie Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} und Sr^{2+} sorbieren. Die Diabase können den Ca-reichen Anorthit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) enthalten. Apatit ($\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$) enthält ebenfalls Calcium. Ba^{2+} und Sr^{2+} treten als Spurenelemente in den Metasedimenten des Silurs auf.

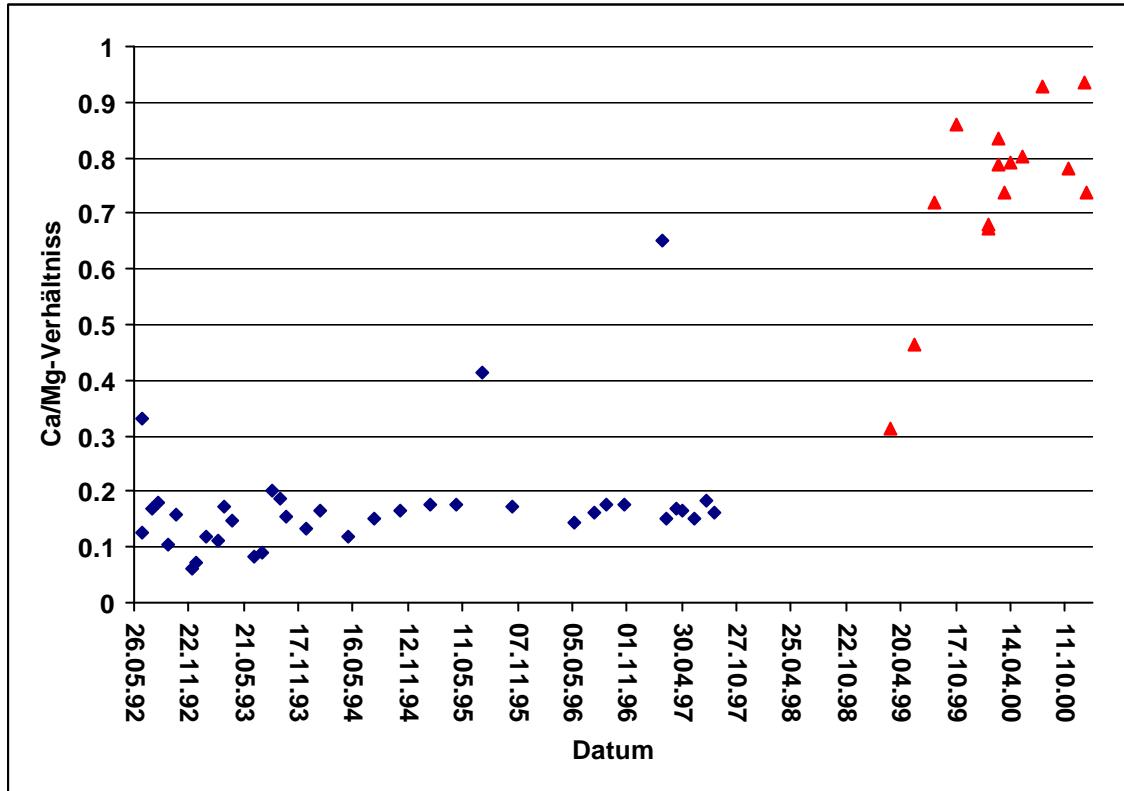


Abb. 53: Zeitliche Variationen der $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse im Sickerwasser der Messstelle Q4 aus Datenreihen der Wismut GmbH (blau) und eigenen Messungen (rot).

Die Mg^{2+} -Gehalte sind in den Proben der Sickerwassermessstelle i.A. höher als die Ca^{2+} -Werte, was einhergeht mit der Abnahme der Löslichkeit der Erdalkalien von Mg^{2+} nach Ca^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} . Das mittlere $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnis zwischen 1992 und 1997 beträgt 0,17, seit 1999 0,73, wobei sich das Verhältnis seit 1999 von 0,3 auf über 0,9 erhöht hat und die Ca^{2+} -Konzentrationen im Sickerwasser tendenziell zunehmen (Abb. 53). Für die Änderung dieser Proportionen können verschiedene Ursachen angenommen werden. Die seit 1992 gleichbleibend geringen $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse sprechen für eine Wechselwirkung des Wassers mit Gesteinen niedriger $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse innerhalb der Nordhalde, z.B. mit dolomitisiertem Ockerkalk. Das seit ca. 30 Jahren in die Nordhalde perkolierende Niederschlagswasser bewegt sich entlang von Sickerwegen, wobei sich ein relatives thermodynamisches Gleichgewicht der $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse eingestellt hat. Das Ausfällen

und Lösen von Sekundärmineralen (z.B. Gips, CaSO_4) auf dem Sickerpfad ist anzunehmen. Die Änderungen könnten durch die Umlagerung der Nordhalde seit 1999 verursacht sein, wobei zunehmend Ca^{2+} -reicheres Wasser zur Staubminderung während des Abtrags aufgebracht wurde. Weiterhin führt die Umlagerung der Nordhalde zur Schaffung neuer Wegsamkeiten, wobei Ca-reichere Gesteine durch saures Sickerwasser eluiert werden. In beiden Fällen wird die Sickerwasserzusammensetzung zunehmend verändert.

Alkalien

Der mittlere Na^+ -Gehalt im Haldensickerwasser der Messstelle Q4 beträgt ca. 28 mg/l, der mittlere K^+ -Gehalt 1,6 mg/l. Die Gehalte an Na^+ und K^+ schwanken im Jahresverlauf gering und weisen Gesamtgehalte zwischen 15 und 34 mg/l bzw. 0,1 und 5 mg/l auf (Abb. 52). Minimalgehalte treten am 31.01.00 infolge von Verdünnungen durch ein Niederschlagsereignis auf. Die relativ geringen Alkali-Gehalte in den Gesteinen der Nordhalde sind in der Sickerwasserzusammensetzung sichtbar. Nennenswerte Anteile an Na-reicher Mineralphasen kommen nur in den devonischen Metadiabasen vor. Kalium ist zudem in geringen Anteilen z.B. in Hellglimmern im verkieselten S_1 zu finden.

Eisen

Die Fe_{ges} -Gehalte im Sickerwasser betragen zwischen 1.220 und 2.750 mg/l. Infolge der in Abschnitt 5.2.4 genannten Eisensulfid-Oxidationsprozesse durch O_2 -haltiges Sickerwasser und Fe^{3+} . Eisen bildet das Hauptkation des Wassers an Messstelle Q4. Anhand der sauren pH- sowie der hohen E_{H} -Werte, ist Eisen hauptsächlich in der Speziation als Fe^{2+} im Sickerwasser vorhanden. Das Eisen stammt aus der Verwitterung von Eisensulfiden, z.T. aus Verwitterungsprodukten, z.B. sekundären Mineralphasen (Jarosit, Ferrihydrit). Jarosit wirkt vermutlich als Zwischenspeicher für Eisen und Sulfat innerhalb der Nordhalde.

Aluminium

Die Aluminiumkonzentrationen in der Messstelle Q4 liegen zwischen 100 und 460 mg/l mit einem Median von 227,4 mg/l. Die infolge der sauren pH-Werte hohen Gehalte im Sickerwasser weisen am 11.12.00 ein Maximum auf. In der Lösung nimmt gelöstes Aluminium als Al^{3+} sowie als Sulfatkomplex (z.B. AlSO_4^+) den größten Anteil ein. Aluminium stammt aus Tonmineralen (Illit), Feldspäten und Hellglimmer (FISCHER 2002).

Mangan

Mit Ausnahme der überdurchschnittlich geringen Mn-Gehalte am 31.01.00 von 67 mg/l, die auf Verdünnung durch Niederschläge zurückzuführen sind, liegen die Mn-Gehalte zwischen

104 und 155 mg/l (Median: 126 mg/l). Mangan kommt überwiegend als Mn^{2+} und als Sulfatkomplex ($MnSO_4$) vor und stammt vermutlich aus sulfidschen Mineralphasen der silurischen Gesteine. Im Gegensatz zu denen beim Eisen stellen sich die thermodynamischen Gleichgewichte kinetisch langsamer ein (MATTHESS 1994, HEM 1992), was z.B. zu einem verzögerten Ausfallen von Mangan als Hydroxid führen kann. Das Sickerwasser ist an Manganmineralphasen untersättigt.

Ammonium

Die Ammonium-Gehalte des Sickerwassers der Nordhaldenmessstelle Q4 unterliegen geringen zeitlichen Schwankungen zwischen 4 und 5 mg/l. Der Median beträgt 4,7 mg/l. Die geringen Schwankungen ab Mai 2000 zeigen relativ konstante NH_4^+ -Gehalte im Sickerwasser. Quelle für NH_4^+ im Sickerwasser könnten die oft in der organischen Substanz der Alaunschiefer gebundenen Stickstoffverbindungen sein. Diese enthalten im Bereich des Gessentals bis zu 0,5 Gew.-% Stickstoff (FISCHER 2002). Zudem erfolgt der NH_4^+ -Eintrag ins Sickerwasser über organische Verbindungen und in geringem Maße durch Niederschläge.

Sulfat

Die Sulfatgehalte im Sickerwasser der Messstelle Q4 liegen zwischen 14.100 und 7.000 mg/l. Der Median beträgt 13.200 mg/l. Nach WISMUT (1995a) ist bei Haldensickerwässern der Nordhalde max. 99,88 mmol% Sulfat an der Zusammensetzung beteiligt. Sulfat wird ähnlich wie Eisen überwiegend bei der Oxidation von primär sulfidischen Mineralphasen in den aeroben Zonen der Halde gebildet. Elektronenakzeptoren im Sickerwasser sind hierbei gelöstes O_2 und Fe^{3+} (vgl. Abschnitt 5.2.4). Die zeitlichen Schwankungen sind gering, wobei die Gehalte vom 31.01.00 um den Faktor 2 geringer sind als die Medianwerte (s.o.). Bezuglich der Gipssättigung ist das Sickerwasser bei sämtlichen Messungen gering übersättigt, bzgl. Jarosit nur z.T. übersättigt.

Chlorid

Die Cl⁻-Gehalte im Sickerwasser der Messstelle Q4 nehmen Werte zwischen 9 und 30 mg/l an. Cl⁻ besitzt somit nur einen geringen Anteil (<0,4 meq%) am Lösungsinhalt. Die Maximalgehalte wurden am 03.03.00 am unmittelbaren Sickerwasseraustritt der nördlichen Sickerwassermessstelle bestimmt, die Minimalgehalte am 18.03.99 nach Niederschlägen. Cl⁻ kommt überwiegend als unkomplexiertes Ion im Sickerwasser vor. Lithogene Hauptquelle für Cl⁻ sind die alaunschieferhaltigen Partien in S₁ und in S₃.

Nitrat

Der mittlere Nitrat-Gehalt der Sickerwassermessstelle Q4 beträgt ca. 4 mg/l, wobei Schwankungen zwischen 11 und 1 mg/l gemessen wurden. Nitrat bildet nur einen kleinen Anteil am Gesamtlösungsinhalt im Sickerwasser und stammt vermutlich aus oxidiertem organischer Substanz auf und innerhalb der Halde.

Phosphat

Die Phosphat-Gehalte im Sickerwasser variieren zwischen 0,1 und 1,9 mg/l und liegen im Mittel bei 1 mg/l. Im Sickerwasser kommt Phosphor nach thermodynamischen Gleichgewichtsmodellierungen hauptsächlich in FeHPO_4^+ und H_2PO_4^- vor. Lithogene Phosphatquellen sind die apatitreichen Partien (Phosphorite) der Alaunschiefer des S₁ und S₃, welche bis zu 1,4 Gew.-% Phosphor aufweisen können (FISCHER 2002). Zudem können die Mineralisierungen von organischem Material sowie die Lösung und Desorption von/an Sekundärmineralen zu den Phosphatgehalten im Sickerwasser der Nordhalde führen.

Uran

Uran kommt im Sickerwasser der Nordhalde an der Messstelle Q4 mit maximal $1 \pm 0,05$ mg/l (18.04.00) und minimal $0,3 \pm 0,02$ mg/l (31.01.00) vor. Der Median beträgt 0,67 mg/l, wobei U⁶⁺ hauptsächlich als Sulfat-Komplex (UO_2SO_4 , $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$) sowie als Uranyl-Ion UO_2^{2+} im Sickerwasser vertreten ist. Primäre Quellen sind die silurischen Schwarzelite und Kalke der Nordhalde, wo Uran primär gelöst wird sowie die evtl. Desorption an sekundären Mineralphasen.

Nickel

Nickel variiert im Sickerwasser der Nordhalde zwischen 17 und 28 mg/l. Die mittleren Ni²⁺-Konzentrationen, welche die Hauptspeziationen bilden, betragen ca. 22 mg/l. Neben Ni²⁺ liegen Sulfatkomplexe (NiSO_4) im Wasser der Messstelle Q4 vor. Lithologische Quellen für die hohen Ni²⁺-Gehalte bilden die silurischen Gesteine S₁-S₃ (Tab. 3).

Zink

Neben Nickel bildet Zink das Hauptspurenelement im Sickerwasser der NW-Nordhalde. Die Gehalte betragen im Mittel 22 mg/l und liegen im Intervall von 24 mg/l (05.02.00) bis 11 mg/l (31.01.00). Außer dem infolge von Niederschlägen verdünnten Minimalwert zeigen sich relativ konstante Werte im Beobachtungszeitraum der Messstelle. Zink kommt in der Lösung hauptsächlich als Zn²⁺ sowie als Sulfatkomplex ZnSO_4 vor. Zink-Gehalte werden wie auch Nickel-Gehalte hauptsächlich durch die Verfügbarkeit in den silurischen Gesteinen der

Nordhalde bestimmt. Zink kann sich in sekundären Mineralphasen z.B. an Hydroxide anlagern und anreichern und z.T. wieder freigesetzt werden.

Silizium

Die Si-Gehalte des Sickerwasser der Messstelle Q4 schwanken zwischen 6,9 mg/l (09.08.99) und 68 mg/l (18.3.99), wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass es sich beim Maximalwert vom 18.03.99 um einen Messfehler handelt. Der Median beträgt 45 mg/l. Die Hauptmenge an Silizium liegt nach MATTHESS (1994) als gelöste Kieselsäure H_4SiO_4 vor. Die Kieselsäure stammt aus den silikatischen Gesteinen der Nordhalde.

Weitere Inhaltsstoffe

Die Kobalt-Gehalte betragen im Sickerwasser der Nordhaldenmessstelle Q4 zwischen 4,8 mg/l (31.0.00) und 11,7 mg/l (17.04.00). Unter den in Tab. 20 aufgeführten E_H -pH-Bedingungen kommt Kobalt überwiegend als Co^{3+} -Spezies vor, welches thermodynamisch nicht stabil ist. Als übersättigte Mineralphase im Sickerwasser tritt bei Modellrechnungen $CoFe_2O_4$ auf (s.u.). Es ist nach MATTHESS (1994) und HEM (1992) bei höheren pH-Werten von einer bevorzugten sorptiven Bindung von Kobalt an Fe- und Mn-Hydroxide auszugehen. Die relativ hohen Kobaltgehalte stammen vermutlich aus den gemeinsam mit Mangan vorkommenden sulfidischen Bestandteilen in Schwarzpeliten.

Cadmium weist Werte zwischen 130 $\mu\text{g/l}$ und 290 $\mu\text{g/l}$ auf und tritt überwiegend als Cd^{2+} auf. Cd^{2+} verhält sich ähnlich wie Zink und stammt aus der Vergesellschaftung mit ZnS in den Schwarzpeliten der Nordhalde.

Der Kupfer-Gehalt im Sickerwasser beträgt im Messzeitraum zwischen 1,1 mg/l (31.01.00) und 3,4 mg/l (17.04.00), der Mittelwert 2,2 mg/l. Die gelösten Spezies im Sickerwasser bilden Sulfatkomplexe ($CuSO_4$) sowie Cu^{2+} . In den Schwarzpeliten kommt Kupfer hauptsächlich in sulfidischer Form vor und wird nach Oxidationsprozessen z.T. in sekundären Mineralphasen z.B. an Eisen-Hydroxiden mitgefällt.

Am 25.05.00 wurde C_{org} (*Dissolved Organic Carbon*) bestimmt und betrug im Sickerwasser der Messstelle Q4 ca. 8 mg/l. Chrom kommt im Mittel mit 25 $\mu\text{g/l}$ im Sickerwasser der Nordhalde (Messstelle Q4) vor. Blei sowie Thorium wurden im Sickerwasser nicht nachgewiesen, bzw. liegen unterhalb von 0,02 $\mu\text{g/l}$ bzw. 10 $\mu\text{g/l}$.

8.2. Oberflächenwasser Typ I, Oberlauf Gessenbach, Badergraben

Das Sickerwasser der Messstelle Q4 stellte eine der Hauptkontaminationsquellen des Gessenbaches dar. Um u.a. diese Einträge und den reaktiven und konservativen Transport im

Oberflächenwasser zu untersuchen, wurden oberstromig des Sickerwasserzutritts zwei und abstromig 11 Probenahmestellen eingerichtet und im Zeitraum 1997 bis 2001 138 Proben analysiert (Abschnitte 3.4, 3.7). Die vollständigen hydrochemischen Messdaten des Oberflächenwassers sind in Anhang 5 dargestellt.

8.2.1. Übersicht und Klassifikation, Oberlauf Gessenbach

Die in Tab. 21 aufgeführten Mittelwerte und Variationskoeffizienten sowie die in den Abb. 55 bis Abb. 58 dargestellten Box und whiskers-Darstellungen geben einen Überblick über die im Untersuchungszeitraum ermittelten Messwerte. Die Variationskoeffizienten in dem anthropogen beeinflussten Vorflutersystem zeigen für einzelne Stoffe z.T. Schwankungen über 300 % (Tab. 21). Die Ursachen dieser Schwankungen liegen neben den quasinatürlichen Systembedingungen (z.B. unterschiedliche Schüttungsmengen, s. Abschnitt 4.3) indirekt an sanierungsbedingten sowie Messstellen-typischen Effekten. So überschreiten die Variationskoeffizienten der an Messstelle G14 bestimmten Ionen, ausgenommen Na^+ , K^+ , Ca^{2+} und Cl den Wert 70%. Variationskoeffizienten gleicher Dimension wurden abgesehen von Schwermetallen mit geringer Messanzahl für die Analysenwerte der Messstelle G15 berechnet. Da die Messstellen erst seit 03/99 (G14) bzw. 08/99 (G15) beprobt werden und der Bachverlauf ab Sommer 2000 verändert wurde, änderten sich die hydrochemischen Ausgangsbedingungen erheblich. Die Heterogenität des Systems kann mit den ermittelten Werten somit zwar erfasst werden, es zeigt sich jedoch, dass z.T. erheblich mehr Proben benötigt werden, um die gesamte Schwankungsbreite in dem sich sanierungsbedingt verändernden System statistisch abgesichert zu betrachten. Aus diesem Grund werden die hydrochemischen Bedingungen nur tendenziell vorgestellt und Modifizierungen durch den Bergbau beschrieben und interpretiert. Eine exemplarische Frachtaustragsberechnung in Abschnitt 8.6 erfolgt stichtagsbezogen.

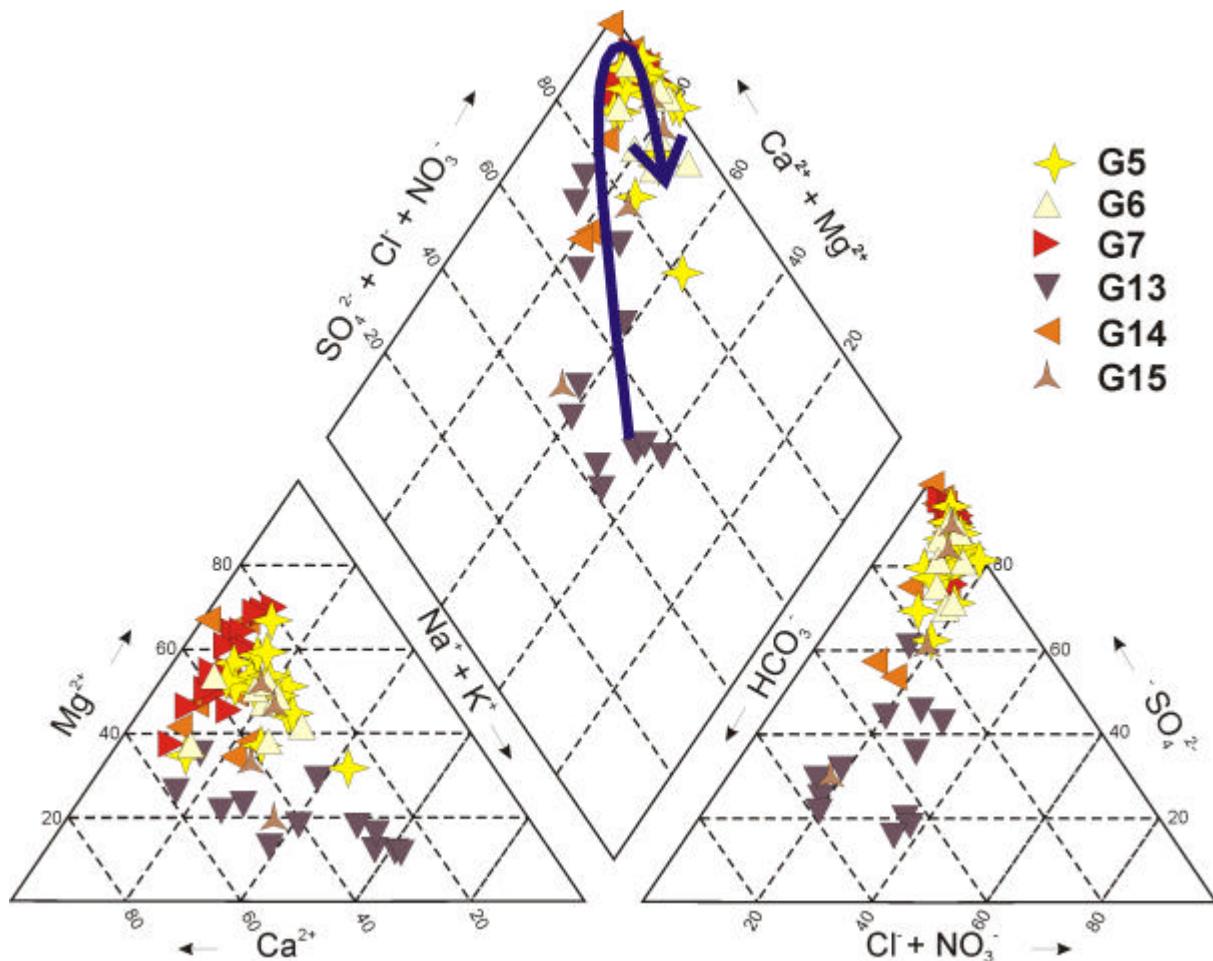


Abb. 54: Ionenverhältnisse des Oberflächenwassers-Typ 1 im Oberlauf des Gessenbaches entlang der Fließstrecke G13-G6, dargestellt im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).

Die unterschiedliche Position der Analysenwerte der vor dem Einflussbereich der Nordhalde liegenden Messstelle G13 wird im Kationendreieck des Piper-Diagramms durch die Ca^{2+} - sowie Na^+ - und K^+ -Anteile charakterisiert (Abb. 54). Im Anionendreieck sind unterschiedliche Anteile an HCO_3^- , SO_4^{2-} sowie Cl und NO_3^- sichtbar. Der Wassertyp vor der Nordhalde zeigt eine $\text{Ca-Na-(Mg)-SO}_4-\text{HCO}_3-\text{SO}_4-(\text{Cl})$ - bzw. $\text{Na-Ca-HCO}_3-\text{SO}_4$ -Ausprägung. Der Wassertyp ändert sich mit Eintritt des Vorfluters in den Einflussbereich des Bergbaus. Es bildet sich infolge des z.T. diffusen Zustroms sauren Haldensickerwassers ein Mg-Ca-Fe-SO_4 -Typ aus (Messstellen G15, G14, G7, z.T. G5 und G6). Je nach Schüttungsmenge im Vorfluter, Beschaffenheit des zufließenden Sickerwassers und Sanierungsfortschrittes verschiebt sich der Wassertyp zeitweise in Richtung höherer HCO_3^- - und Na^+ -Anteilen, wobei die Sulfatanteile dominieren. In dieser Arbeit wird aufgrund der Hauptionenverhältnisse das Oberflächenwasser chemisch dem Vorflutertyp 1 zugeordnet, dessen Charakteristik durch den unmittelbaren Einfluss saurer Grubenwässer geprägt wird.

Tab. 21: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Oberlauf des Gessenbaches (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit).

Messstelle		T [°C]	el. Lf. [µS/cm]	pH	E _H [mV]	O ₂ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Fe _{ges} [mg/l]	Mn ²⁺ [mg/l]	Al ³⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]			
G13	Mittelwert \bar{x}	11,7	1.500	7,4	90	3,5	102	24	122	38	79	0,36	0,12	39	141			
	Anzahl n	14	14	14	12	12	13	13	13	13	13	12	9	13	13			
	Var.koeff. [%]	40	26	5	180	86	62	45	25	34	344	142	76	64	57			
G15	Mittelwert \bar{x}	11,2	2.040	6,4	276	6,3	76	20	177	130	60	3,0	0,51	39	112			
	Anzahl n	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
	Var.koeff. [%]	45	28	8	42	25	20	15	20	59	87	90	97	21	16			
G14	Mittelwert \bar{x}	10,9	3.580	5,4	411	7,8	55	14,2	273	275	284	17,0	19,4	20	89			
	Anzahl n	11	11	11	11	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11			
	Var.koeff. [%]	52	74	28	26	47	36	38	55	84	165	100	141	73	33			
G7	Mittelwert \bar{x}	11,7	3.230	4,8	457	12,1	47	13,5	240	280	144	16,2	19,0	21	85			
	Anzahl n	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	10	17	17			
	Var.koeff. [%]	58	35	29	30	33	37	28	20	45	66	53	145	53	24			
G5	Mittelwert \bar{x}	10,2	2.260	6,3	360	9,9	70	18,6	166	168	42	7,2	1,63	21	109			
	Anzahl n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	11	17	17	17			
	Var.koeff. [%]	55	29	17	40	48	40	41	24	44	90	62	176	67	41			
G6	Mittelwert \bar{x}	9,7	2.050	6,0	325	8,3	71	17,9	163	136	25	6,8	2,7	21	107			
	Anzahl n	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8			
	Var.koeff. [%]	50	25	19	39	19	33	33	20	35	129	58	212	74	21			
	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	244	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	420	NO ₃ ⁻ [mg/l]	22	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	10,6	Cu ²⁺ [µg/l]	Ni ²⁺ [µg/l]	Zn ²⁺ [mg/l]	Si [mg/l]	Cd [µg/l]	Cr [µg/l]	Ba ²⁺ [µg/l]	Sr ²⁺ [µg/l]	Co [µg/l]	U _{ges} [µg/l]
G13	Mittelwert \bar{x}	13	13	12	13	11	43	6,0	33,5	0,03	6,3	20	3,1	54	260	3,2	2,6	
	Anzahl n	43	36	119	82	45	191	11	13	12	12	5	4	7	6	3	6	
	Var.koeff. [%]	960	228	9,2	4,7	510	1.040	1.040	1.46	38	56	122	56	31	23	77	32	
G15	Mittelwert \bar{x}	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	3	1	3	3	2	3	
	Anzahl n	60	71	111	98	74	80	74	80	167	25	52	-	40	18	88	74	
	Var.koeff. [%]	2.440	165	20	0,13	324	13.030	0,13	2,4	11,9	35	18,6	27	283	1.000	126		
G14	Mittelwert \bar{x}	11	8	11	7	11	11	11	11	10	10	3	9	9	7	8		
	Anzahl n	109	98	99	108	142	265	142	127	103	136	103	50	22	153	206		
	Var.koeff. [%]	2.070	17,4	19	0,06	338	2.910	0,06	2,1	8,9	28	161	39	287	580	21		
G7	Mittelwert \bar{x}	17	14	16	10	17	17	17	17	15	17	11	8	7	6	6		
	Anzahl n	43	151	99	160	78	55	55	59	64	63	123	74	25	60	54		
	Var.koeff. [%]	1.160	77	16,1	0,10	118	1.380	0,10	0,84	4,8	10,0	64	31	242	234	21		
G5	Mittelwert \bar{x}	17	17	17	9	13	15	16	16	15	15	8	7	7	5	6		
	Anzahl n	42	98	99	236	183	70	93	62	86	147	36	32	59	84			
	Var.koeff. [%]	1.010	98	18,0	0,02	82	1.080	0,02	0,60	3,85	6,4	1,16	34	253	159	14,0		
G6	Mittelwert \bar{x}	8	6	8	4	6	8	8	8	8	6	2	6	6	4	4		
	Anzahl n	37	30	108	106	124	67	105	46	94	5	43	32	78	55			
	Var.koeff. [%]																	

Wasserbeschaffenheit im Oberlauf des Gessenbaches

Physikochemische Parameter

Die Wassertemperaturen im Oberlauf liegen im Jahresverlauf zwischen 19°C und 2°C und im Mittel bei ca. 11°C. Aus Abb. 28 ist ersichtlich, dass die elektr. Leitfähigkeit im Einflussbereich des Bergbaus von 1.500 µS/cm auf z.T. über 4.000 µS/cm. Die mittlere elektr. Leitfähigkeit als Maß für den Gesamtlösungsinhalt nimmt von 1.500 µS/cm auf 3.200 µS/cm mit Maximalwerten über 5.000 µS/cm (19.10.99) an der Messstelle G7 zu. Die positiven Korrelationskoeffizienten der elektr. Leitfähigkeit mit den gemessenen hydrochemischen Parametern (außer HCO₃⁻ und NO₃⁻) sind Ausdruck für die Beschaffenheit und den hydrochemischen Einfluss des in den Gessenbach fließenden Haldensickerwassers (Tab. 22). Bis zur Messstelle G6 ist eine Abnahme der elektr. Leitfähigkeit auf ca. 2000 µS/cm infolge von Mischungs- und Fällungsprozessen festzustellen.

Die pH-Werte entlang der Fließstrecke im Oberlauf des Gessenbaches zeigen saure Bedingungen innerhalb und kurz nach der Haldenpassage (Messstelle G15, G14, G7) mit einem Minimalwert von 2,96 am 25.07.98 an der Messstelle G7 (Abb. 55). Die Schwankungsbreite der pH-Werte kulminiert im Bereich der Uranbergbauhalden. Die pH-Werte verhalten sich i.A. proportional zu den Schüttungsmengen und sind nach Niederschlägen gewöhnlich neutral bis leicht alkalisch. Abstromig der Nordhalde (Messstelle G7) sind die pH-Werte mit den meisten hydrochemischen Parametern (außer HCO₃⁻ und NO₃⁻) negativ korrielt (Tab. 22). Hieraus lässt sich eine überwiegend pH-Wert kontrollierte Stofffreisetzung über das Haldensickerwasser ableiten. In Messstelle G5 nehmen die signifikanten Korrelationen zwischen den gemessenen Parametern ab, was durch die Mischung mit Wasser des Badergrabens bedingt ist (Tab. 22).

Die Redoxpotenziale zeigen, ausgenommen Messstelle G13, oxidierende Verhältnisse. Niedrige E_H-Werte unter 150 ± 50 mV bzw. -110 ± 50 mV sind durch hohe Abwasseranteile in Messstelle G13 am 23.05.00 bzw. 09.08.99 bedingt. Oxidierende Bedingungen sind im Einflussbereich des Pohlteiches (Messstelle G15) vor den Sanierungsmaßnahmen im Sommer 2000 und im Einflussbereich des sauren Haldensickerwasser der Messstelle Q4 (s.o.) festzustellen (G7, G15). Die mittleren Sauerstoffgehalte nehmen entlang der Fließstrecke von 3,5 mg/l (Messstelle G13) auf ca. 12 mg/l (Messstelle G7) zu. Durch den Zufluss des Badergrabens mit geringen O₂-Gehalten liegen die O₂-Gehalte in den Messstellen G5 und G6 unter 10 mg/l.

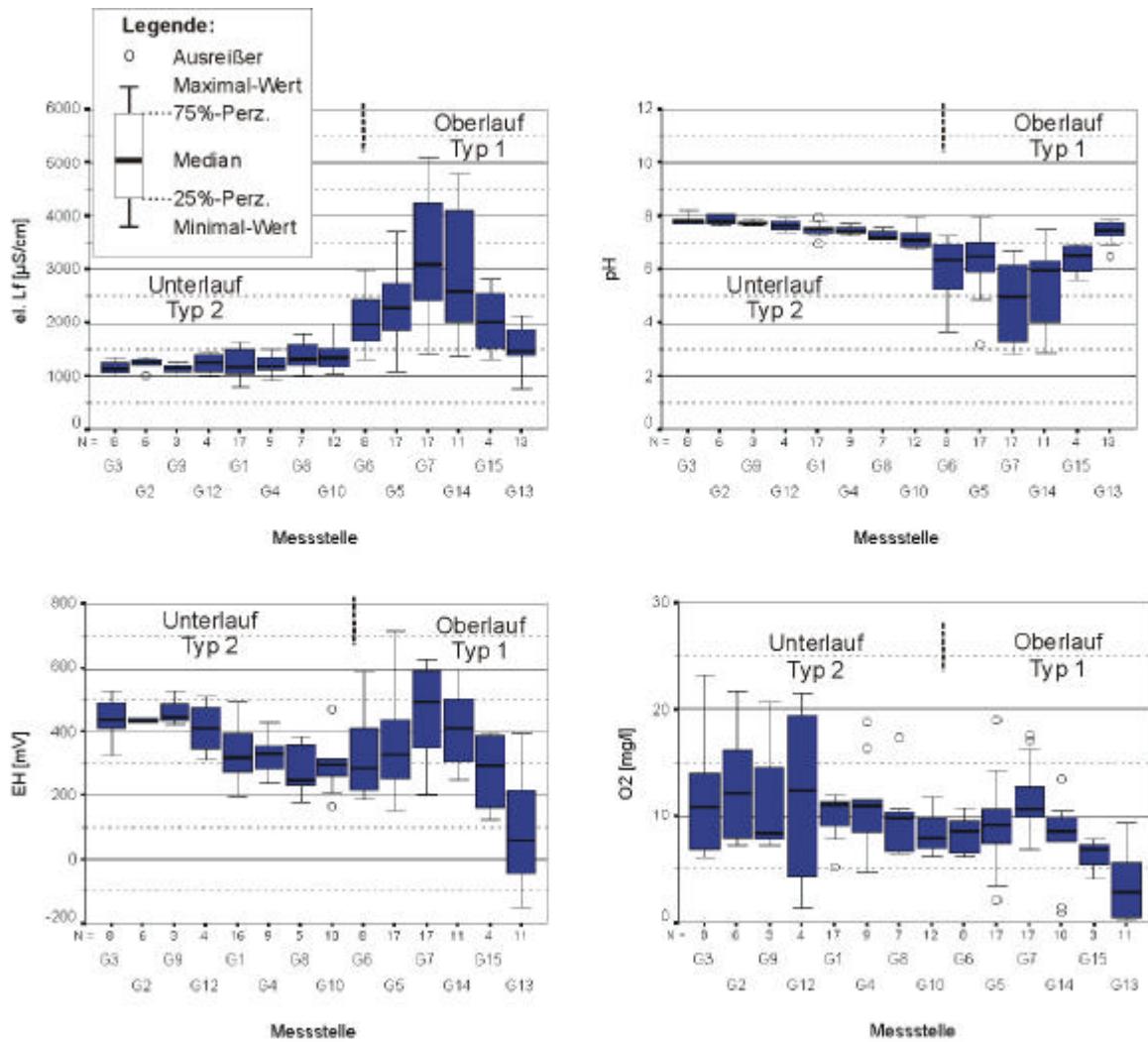


Abb. 55: Box und whiskers-Darstellung der physikochemischen Parameter im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Tab. 22: Korrelationsanalysen der Messstellen G5 (oben), und G7 (links) nach SPEARMEN, dargestellt sind die signifikanten Korrelationskoeffizienten.

G5 G7	el. Lf.	pH	Eh	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{ges}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cu	Ni
el. Lf.	1,00	-,686		0,571		0,799	0,900	0,789	0,735	0,944	-,605			0,745	0,879
pH	-,894	1,00				-,547	-,637	-,792		-,713	0,855			-,736	-,939
Eh	0,779	-,787	1,00												
Na ⁺	0,824	-,738	0,658	1,00	0,841				0,841			-,577			
K ⁺	0,669	-,564		0,748	1,00				0,728			-,550			
Ca ²⁺	0,672	-,536		0,659	0,792	1,00	0,794	0,507		0,826	-,549			0,574	0,575
Mg ²⁺	0,966	-,868	0,866	0,779	0,588	0,569	1,00	0,681		0,961	-,627			0,881	0,779
Fe _{ges}	0,907	-,820	0,703	0,777	0,608	0,706	0,843	1,00		0,767	-,777			0,789	0,975
Cl ⁻	0,801	-,708	0,623	0,907	0,703	0,598	0,760	0,721	1,00	0,527					0,518
SO ₄ ²⁻	0,998	-,894	0,769	0,819	0,664	0,669	0,961	0,914	0,789	1,00	-,642			0,881	0,893
HCO ₃ ⁻	-,756	0,933	-,762	-,645			-,732	-,785		-,756	1,00			-,851	-,857
NO ₃ ⁻	-,842	0,774	-,526	-,780	-,687	-,574	-,758	-,740	-,787	-,823	0,719	1,00			
PO ₄ ³⁻			0,808				0,692						1,00		
Cu	0,870	-,901	0,839	0,593		0,510	0,897	0,806	0,537	0,877	-,871	-,639	0,640	1,00	0,824
Ni	0,973	-,830	0,754	0,721	0,596	0,600	0,949	0,890	0,699	0,975	-,674	-,793		0,880	1,00

Hauptkationen

Als Hauptkationen sind im Oberlauf des Gessenbaches neben den Erdalkalien überwiegend Eisen, Mangan und Aluminium vertreten. Die Erdalkaligehalte (Tab. 22, Abb. 54) zeigen entlang der Fließstrecke im Einflussbereich der Halde eine signifikante Erhöhung. Die Schwankungen der Gehalte werden durch die unterschiedlichen Schüttungsmengen im Vorfluter und nicht durch unterschiedliche Gesamtgehalte im Sickerwasser der Nordhalde hervorgerufen (s.o.). Minimalwerte von 170 ± 9 mg/l für Mg^{2+} und 70 ± 4 mg/l für Ca^{2+} wurden am 31.01.00 infolge der Verdünnung durch hohe Schüttungsmengen im Gessenbach gemessen. Die Mg^{2+} -Konzentrationen in Kauern (Messstelle G13) sind mit Mittelwerten von ca. 38 mg/l relativ konstant. Erhöhte Ca^{2+} -Konzentrationen mit Mittelwerten um 120 mg/l demonstrieren den hohen kommunalen Abwasseranteil. An Messstelle G15 nimmt der Gehalt an Erdalkalien infolge diffuser Zusickerung aus dem Pohlteich zu (Abb. 56). Durch die Zusickerung mineralisierter Haldensickerwässer im Bereich der Sickerwassermessstelle Q4 steigen die Mg^{2+} -Gehalte im Gessenbach während eines Trockenwetterabflusses am 09.08.99 auf maximal 420 ± 21 mg/l (G14) bzw. 480 ± 24 mg/l (G7), die Ca^{2+} Gehalte auf 320 ± 16 mg/l (G14) bzw. 340 ± 17 mg/l (G7) an. Somit tritt dem Gessenbach zwischen den Messstellen G14 bzw. Q4 und G7 diffus mineralisiertes Mg^{2+} -reiches Wasser zu. Die Erdalkaligehalte nehmen nach Zufluss des Badergrabens (Messstellen G5, G6) ab. Die signifikante Korrelation von Mg^{2+} und Ca^{2+} mit SO_4^{2-} (0,96 bzw. 0,83) spricht für eine gemeinsame Quelle. Die Gehalte der Erdalkalien korrelieren negativ mit dem pH-Wert und zeigen somit pH-Wert-bedingte interne Auslaugungsvorgänge der Nordhalde (Tab. 22). Die Änderung des Ca^{2+}/Mg^{2+} -Verhältnisses der Messstelle Q4 wird durch eine absolute Zunahme der Ca^{2+} -Konzentration sowie eine Abnahme der Mg^{2+} -Gehalte in Messstelle G7 bestätigt. Die Ba^{2+} - und Sr^{2+} - Gehalte verhalten sich different der Ca^{2+} - bzw. Mg^{2+} -Gehalte (Abb. 58). Während Ba^{2+} im Wasser aufgrund der hohen Sulfatgehalte als $BaSO_4$ gefällt wird, ist das $SrSO_4$ relativ gut löslich. Das erklärt die relativ hohen Sr^{2+} - und die geringen Ba^{2+} -Werte entlang des Gessenbaches.

Die Konzentrationen der Alkalien Na^+ und K^+ nehmen in den Messstellen des Oberlaufs im Mittel Werte zwischen 100 mg/l und 50 mg/l bzw. 25 mg/l und 14 mg/l an. Die höchsten Na^+ - und K^+ -Gehalte mit den größten Schwankungsbreiten werden in Messstelle G13 durch den hohen Anteil an landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern aus Kauern bestimmt. Durch den Zustrom von Sickerwasser mit geringen Alkaligehalten sinken die Werte im Haldenbereich. Nach dem Zufluss des Badergrabens steigen die Na^+ - und K^+ -Konzentrationen

im Gessenbach auf ca. 70 mg/l bzw. 18 mg/l an. Na⁺- und K⁺-Phasen (z.B. Jarosit) können im Vorfluter übersättigt vorliegen und somit ausgefällt werden (Abb. 56).

Eisen variiert im unmittelbaren Haldenbereich (G15, G14, G7) zwischen 140 und 280 mg/l, während der Vorfluter vor der Halde (G13) im Mittel lediglich 80 mg/l Eisen besitzt. Maximale Fe_{ges}-Gehalte über 400 ± 20 mg/l werden in Messstelle G14 am 19.10.99 erreicht, minimale von ca. 1 mg/l am 11.12.00. Eisen unterliegt einem reaktiven Transport und wird in Abhängigkeit von variierenden pH/E_H-Bedingungen im Vorfluter ausgefällt. In Messstelle G6 wurden mittlere Eisenkonzentrationen von 25 mg/l bestimmt. Mangan weist ein ähnliches Verhalten wie Eisen auf, wobei die Ausfällung als Hydroxid aufgrund kinetischer Effekte verzögert werden kann (s.o.).

Hohe mittlere Aluminiumgehalte von 19 mg/l wurden in den Messstellen G14 und G7 bestimmt. Aluminium ist bei geringen pH-Werten im Wasser löslich. Infolge von pH-Wert Erhöhungen nach Zustrom des Badergrabens sind an den Messstellen G5 und G6 mittlere Aluminiumgehalte von 2 bzw. 3 mg/l gemessen worden. Bei geringen Schüttungen z.B. am 06.06.99 können in Messstelle G5 bis 8 mg/l bei pH-Werten von 4,9 auftreten. Al-Mineralphasen liegen im Oberlauf des Gessenbaches bevorzugt bei geringen Abflüssen z.T. übersättigt vor (Abb. 56).

Der Ammonium-Eintrag im Oberlauf des Gessenbaches ist Resultat der kommunalen und landwirtschaftlichen Abwässer von Kauern, wo die Werte im Mittel 38 mg/l betragen (G13, Tab. 21). Vermutlich infolge von Oxidations- und Umwandlungsprozessen und durch Zufluss von Sickerwasser geringer NH₄⁺-Konzentrationen werden die NH₄⁺-Gehalte im und nach der Nordhaldenpassage des Gessenbaches auf einheitlich 20 mg/l erniedrigt.

Hauptanionen

Das Hauptanion Sulfat weist vor der Nordhalde in Kauern (G13) relativ konstante Mittelwerte von 240 mg/l auf. Im Bereich des Pohlteiches (G15) erhöhen sich die mittleren SO₄²⁻-Gehalte um den Faktor 4 (ca. 950 mg/l), an Messstelle G14 um den Faktor 10 (2.500 mg/l). Die Werte weisen infolge unterschiedlicher Schüttungsmengen im Gessenbach sowie durch einen mengenmäßig geringen punktuellen Oberflächeneintrag aus der Sickermessstelle Q4 in den Gessenbach eine relativ hohe Variationsbreite auf. Die Beprobung eines punktuellen Eintragspfades wurde am 26.06.01 durchgeführt. Der Gehalt an SO₄²⁻ beträgt bis über 10.000 mg/l. Im Oberflächenwasser des Gessenbaches werden die ermittelten Gehalte relativ schnell durch Mischung verdünnt (s.a. ZEGGEL et al. 2002).

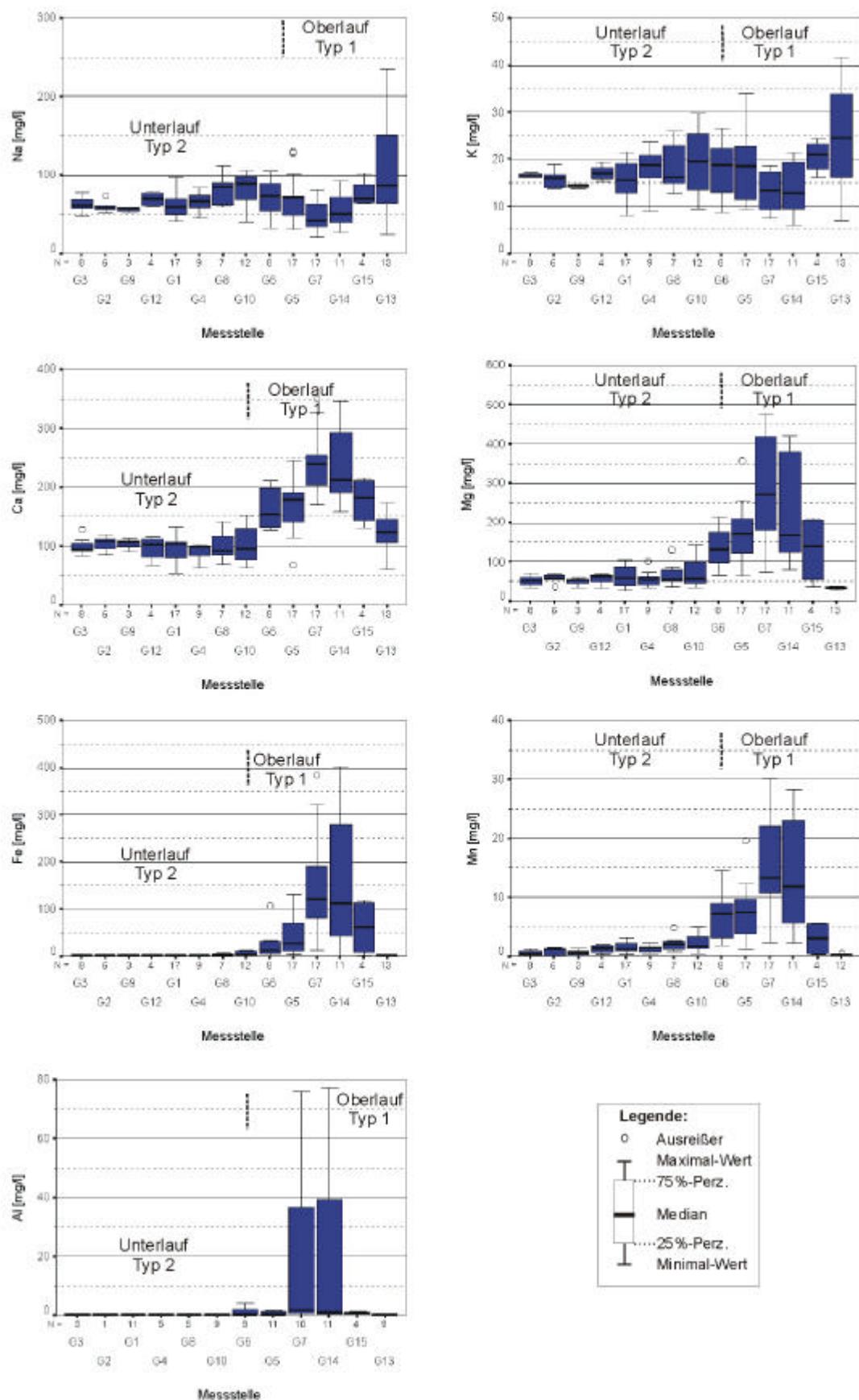


Abb. 56: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkationen im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Infolge von Verdünnungen sowie Fällungsreaktionen (Fe-Sulfat) nimmt der mittlere Sulfatgehalt in den Messstellen G5 (1.200 mg/l) sowie G6 (1.000 mg/l) ab (Tab. 21, Abb. 56, Abschnitt 8.6). Sulfat tritt ähnlich wie in Messstelle Q4 als unkomplexiertes SO_4^{2-} sowie als Sulfatkomplex zusammen mit Mg, Ca und untergeordnet Fe auf.

Höhere Gehalte an Cl sind im Oberlauf des Gessenbaches in Kauern (Messstelle G13) festzustellen. Cl bildet hier neben HCO_3^- und SO_4^{2-} mit bis zu 35 meq% das Hauptanion (Abb. 54). Die hohen Schwankungsbreiten mit Werten zwischen $240 \pm 12 \text{ mg/l}$ am 23.05.00 und $43 \pm 2 \text{ mg/l}$ am 31.01.00 belegen die variierenden anthropogenen Einträge im Bereich der Ortschaft Kauern sowie Verdünnungen durch Niederschlagsmenge und -intensität. Im Bereich der Haldenpassage (G14, G7) nehmen die Schwankungsintervalle und Gehalte infolge der Zumischung von Haldensickerwasser mit geringeren Cl- Gehalten auf Medianwerte von ca. 80 mg/l ab. Nach dem Zufluss des Badergrabens wurden in den Messstellen G5 und G6 des Gessenbaches Mittelwerte von ca. 110 mg/l ermittelt. Cl liegt als unkomplexiertes Ion im Wasser vor und unterliegt nur geringen Fällungsprozessen.

Infolge des Anteils an Abwässern der Ortschaft Kauern sind die Gehalte an HCO_3^- in Messstelle G13 mit einem Median von ca. 500 mg/l und Anteilen von bis 55 meq% relativ hoch. Im weiteren Bachverlauf nehmen die Gehalte pH-Wert-bedingt bis unter die Nachweisgrenze ab. Die hohen Schwankungsbreiten kommen durch unterschiedlich hohe Schüttungsmengen im Gessenbach und somit durch unterschiedliche Anteile an sauren Haldensickerwässern zustande. Bis zur Messstelle G6 steigen die Gehalte infolge von Zumischung von überwiegend alkalischem Oberflächenwasser des Badergrabens. Zudem stehen die HCO_3^- -Konzentrationen im Gleichgewicht mit den atmosphärischen CO_2 -Gehalten. So ist im Oberflächenwasser zusätzlich die Aufnahme von atmosphärischem CO_2 und evtl. die Oxidation von organischem Material zu erwarten (Abb. 56).

Die Medianwerte von Nitrat betragen im Oberlauf des Gessenbaches relativ konstant 4 bis 16 mg/l. Maximalwerte wurden in Messstelle G13 über 70 mg/l (18.03.99, 31.01.00) gemessen und zeigen einen erhöhten Oberflächenabfluss aus der Ortschaft Kauern. An diesen Stichtagen erreichen auch die abstromig gelegenen Messstellen Maximalwerte. Nitrat wird vermutlich über kommunales Abwasser sowie untergeordnet auch über die landwirtschaftliche Nutzung und die Oxidation von organischer Substanz des Gebietes in den Vorfluter eingetragen.

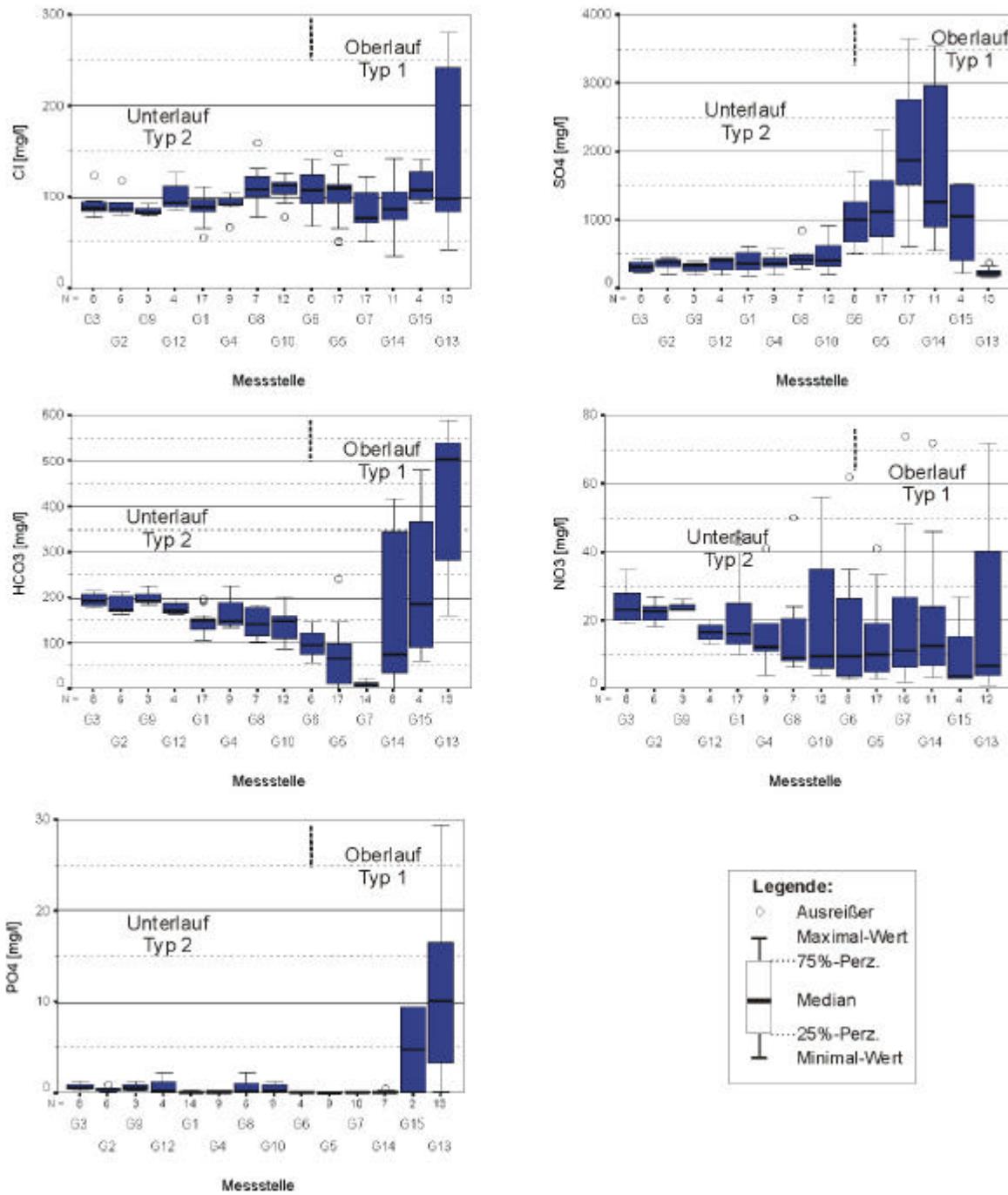


Abb. 57: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptanionen im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Phosphat kommt in mittleren Gehalten von 10 mg/l in Messstelle G13 und von 4 mg/l in Messstelle G15 vor. Es korreliert in Messstelle G13 mit den abwasserbürtigen Stoffen z.B. Na⁺, NO₃⁻ und HCO₃⁻. Bachabwärts liegen die Medianwerte unter 0,3 mg/l. Haupteintragsquelle ist das Abwasser von Kauern. Phosphat wird vermutlich durch (Mit-)Fällung und Sorption an Eisenhydroxiden dem Wasser entzogen. Eine Aufnahme durch Pflanzen sowie Verdünnung könnte eine weitere Ursache für den Rückgang von Phosphat in den Messstellen G14, G7, G5 und G6 sein.

Weitere Inhaltsstoffe

Neben den o.g. Bestandteilen sind im Oberlauf des Gessenbaches Si, U, Ni, Zn, Cu, Co und Cr bestimmt worden. Haupteintragsquelle für diese Inhaltsstoffe bildet das Sickerwasser der Nordhalde an Messstelle Q4 (Abb. 52, Abschnitt 8.1). Maximalwerte für die o.g. Stoffe wurden am 26.06.01 in einem punktuellen oberflächennahen Eintrag im Gessenbach an der Messstelle G14 ermittelt. An diesem Stichtag weisen U ($900 \pm 45 \mu\text{g/l}$), Si ($45 \pm 2,3 \text{ mg/l}$), Ni ($12,2 \pm 0,6 \text{ mg/l}$), Zn ($11,3 \pm 0,6 \text{ mg/l}$), Cu ($1.600 \pm 80 \mu\text{g/l}$), Co ($4,6 \pm 0,2 \text{ mg/l}$) und Cr ($45 \pm 2 \mu\text{g/l}$) maximale Gehalte auf. Daneben treten erhöhte Gehalte in den Messstellen G14, G7, G5 und G6 während Trockenwetterereignissen z.B. am 09.08.99 und am 19.10.99 auf. Nach Niederschlägen sinken die Gehalte der o.g. Stoffe auf 10% der Gehalte bei Trockenwetter. Uran kommt im Untersuchungszeitraum im Oberlauf des Gessenbachs (G14) in mittleren Konzentrationen von $125 \mu\text{g/l}$ vor. Der Medianwert am Messpunkt G14 beträgt ca. $20 \mu\text{g/l}$, der Medianwert an Messstelle G7 ca. $25 \mu\text{g/l}$. Bis zur Messstelle G6 nimmt der Median auf ca. $15 \mu\text{g/l}$ ab.

Die Ni^{2+} -Gehalte im Oberflächenwasser des Gessenbaches werden im Bereich der Nordhalde im Mittel auf 13 mg/l erhöht (Tab. 21) und weichen in Abhängigkeit von der Schüttungsmenge ab. Abstromig der Nordhalde liegen Ni^{2+} -Konzentrationen um 1 mg/l vor (G6, G5), wobei die Abnahme auf (Mit-)Fällungsprozesse an Eisen- und Manganphasen sowie auf Verdünnungen durch den Zufluss des Badergrabens zurückzuführen ist. Ni^{2+} liegt im Vorfluter überwiegend als unkomplexiertes Ion sowie als Sulfatkomplex (NiSO_4) vor.

Die mittleren Silizium-Gehalte im Gessenbach betragen vor der Nordhalde (Messstelle G13) $6,3 \text{ mg/l}$, im Bereich des Sickerwassereinflusses (Messstelle G14) steigen sie auf ca. 12 mg/l an. Die Gehalte nehmen bis Messstelle G6 durch Verdünnung und durch evtl. Fällungsprozesse auf ca. 4 mg/l ab.

Zink-Gehalte betragen in Messstelle G14 im Mittel $2,4 \text{ mg/l}$, in der Messstelle G5 ca. $0,8 \text{ mg/l}$. Zink kommt überwiegend als unkomplexiertes Kation, untergeordnet als gelöster Sulfatkomplex (ZnSO_4) im Wasser vor. Die mittleren Kupfer-Gehalte in den Messstellen mit direktem Haldensickerwassereinfluss variieren zwischen $500 \mu\text{g/l}$ (G15) und $300 \mu\text{g/l}$ (G7). In den Messstellen G5 und G6 betragen die Kupfer-Gehalte ca. $80 \mu\text{g/l}$. Die Maximalkonzentration an Cu^{2+} wurde in Messstelle G15 bei relativ geringen Schüttungsmengen am 09.08.99 mit $1000 \pm 50 \mu\text{g/l}$ bestimmt. Vermutlich gelangte in diesem Bereich Sickerwasser aus dem Pohlteich diffus in den Gessenbach.

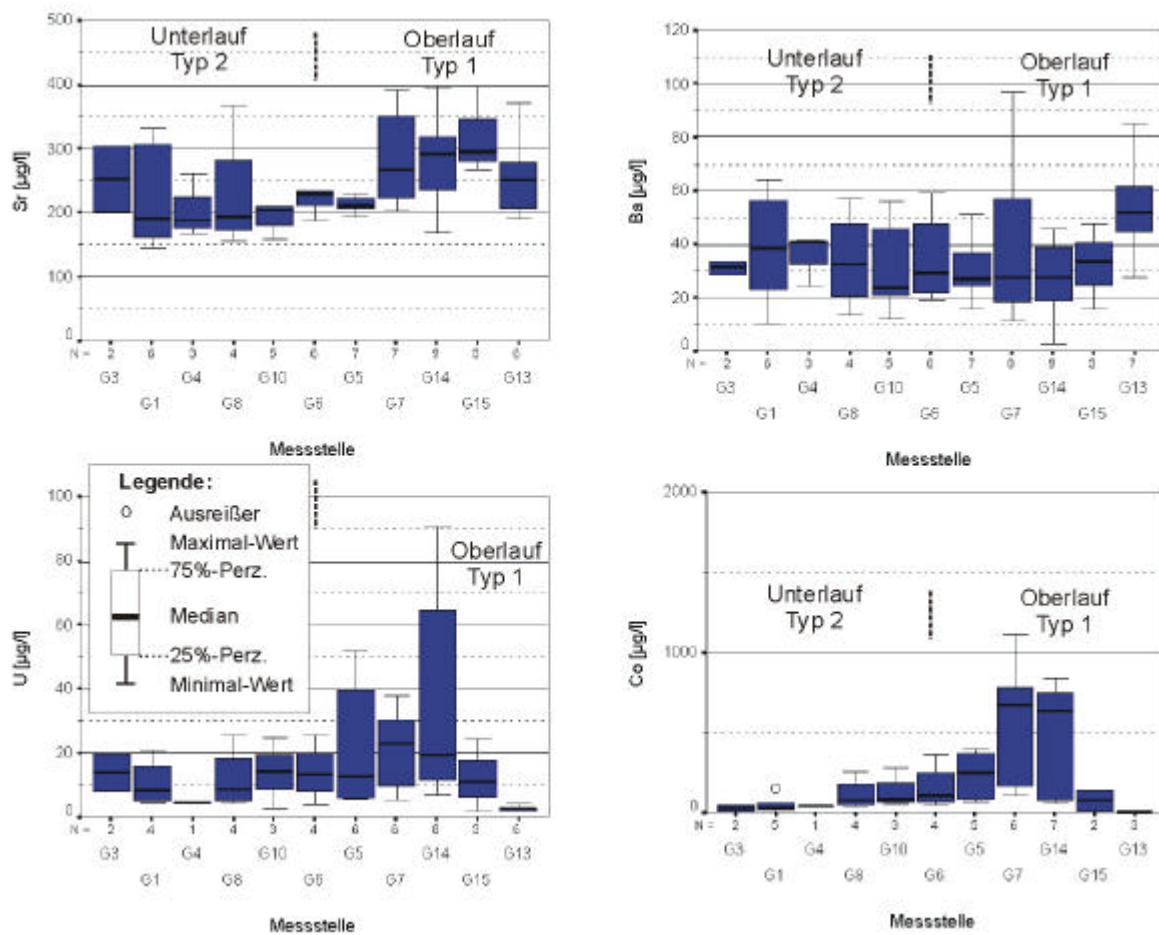


Abb. 58: Box und whiskers-Darstellungen ausgewählter Spurenelemente im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Der Medianwert für Co im Einflussbereich der Nordhalde (G14) beträgt ca. 600 $\mu\text{g/l}$, in Messstelle G5 ca. 230 $\mu\text{g/l}$. Der Kobalt-Gehalt im Oberflächenwasser wird durch Mitfällungen an Eisen- und Manganphasen kontrolliert.

Hydrogeochemische Berechnungen

Die mit Hilfe des thermodynamischen Rechenprogramms PHREEQC (PARKHURST 1995) durchgeführten hydrogeochemischen Modellrechnungen (Abschnitt 3.8) ermöglichen Aussagen über den Sättigungszustand des Oberflächenwassers gegenüber primären und sekundären Mineralphasen. Zudem konnte die Speziesverteilung im Sicker- und Oberflächenwasser errechnet werden.

Sickerwassermessstelle Q4

Thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen mit dem Programm Paket PHREEQC (PARKHURST 1995, PARKHURST & APELLO 1999) an Wasserproben der Messstelle Q4 zeigen Eisen(hydr)oxide, die übersättigt vorlagen. So wurden für Hämatit (Fe_2O_3) und Goethit

(FeOOH) positive Sättigungsindices ermittelt (Abb. 59). Diese Phasen fallen z.T. kinetisch bedingt nicht aus, sondern wandeln sich langsam aus „amorphen Eisenhydroxiden“ um. BINGHAM et al. (1996) beschreiben solche Stoffe als schlecht kristalline Eisenhydroxosulfate (z.B. Schwertmannit $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), welche sich bei pH-Werten zwischen 3 und 4 sowie SO_4^{2-} -Gehalten zwischen 1.000 und 3.000 mg/l bilden. Bei pH-Werten über 5 und höherem Anteil an organischem Material bildet sich nach BIGHAM et al. (1996) Ferrihydrit (z.B. $\text{Fe}_2\text{OH}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) als wasserhaltiges Eisenhydroxid aus.

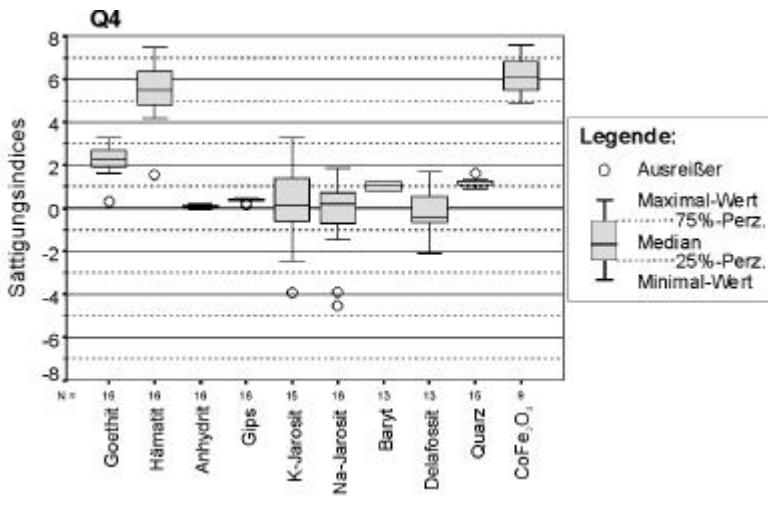


Abb. 59: Sättigungsindices ausgewählter Mineralphasen in der Sickerwassermessstelle Q4 (N= Anzahl der Proben).

Bezüglich der Gips- und Anhydritsättigung ist das Sickerwasser beim überwiegenden Teil der Messungen gering übersättig. Vermutlich wird Gips als sekundäres Ausfällungsprodukt aus der Pyritverwitterung innerhalb der Nordhalde vom Sickerwasser aufgenommen.

Jarosit (Na bzw. $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) liegt in Sickerwasseranalysen z.T. übersättigt vor. Die Phasen werden von BIGHAM (1994) als sekundäre Mineralphasen beschrieben, welche sich bei niedrigen pH-Werten (1,5 bis 3) und SO_4^{2-} -Gehalten über 3.000 mg/l mit Anwesenheit von Na^+ und K^+ bilden. Baryt (BaSO_4) zeigt in allen Modellrechnungen positive Sättigungsindices. Untersuchungen im Grubenwasser brasilianischer Uranbergbaue zeigen ebenfalls Baryt-Übersättigungen, welche u.a. auf höhere Umsatzraten und -geschwindigkeiten der Pyritoxidation gegenüber der Barytfällung zurückgeführt werden (NORDSTROM et al. 1992). Delafossit (CuFeO_2) weist bei hohen Kupfergehalten nur zeitweise (s.o.) einen positiven Sättigungsindex auf. Als ständig übersättigte Mineralphase im Sickerwasser tritt bei Modellrechnungen CoFe_2O_4 auf. Silikatphasen im Sickerwasser der Messstelle Q4 zeigen nach thermodynamischen Gleichgewichtsrechnungen positive Sättigungsindices. Die

Ausfällung solcher Phasen ist kinetisch bedingt sehr langsam und ist somit zu vernachlässigen. Manganmineralphasen liegen im Sickerwasser untersättigt vor.

Messstellen G5 und G7

Die Sättigungsindices für ausgewählte primäre und sekundäre Mineralphasen im Gessenbach abstromig des unmittelbaren Haldensickerwassereinflusses (Messstellen G7, G5, Abb. 10) sind in Abb. 60 dargestellt. Im Vergleich der beiden Messstellen sind die Sättigungsindices in der Messstelle G7 ca. 600 m abstromig der Sickerwassermessstelle Q4 niedriger und weisen geringere Übersättigungen und höhere Spannbreiten auf. Einzelne Mineralphasen sind im sauren und oxidierenden Milieu der Haldensickerwässer löslich und liegen somit in der Lösung untersättigt vor. Der Anteil von Haldensickerwasser im Vorfluter ändert sich zeitlich in Abhängigkeit von der Schüttungsmenge. In Messstelle G5 ca. 330 m abstromig der Messstelle G7 ist das chemische Milieu u.a. durch Zustrom des überwiegend alkalischen Badergrabens verändert. Hier weisen die dargestellten Mineralphasen größtenteils gering variierende positive Sättigungsindices auf.

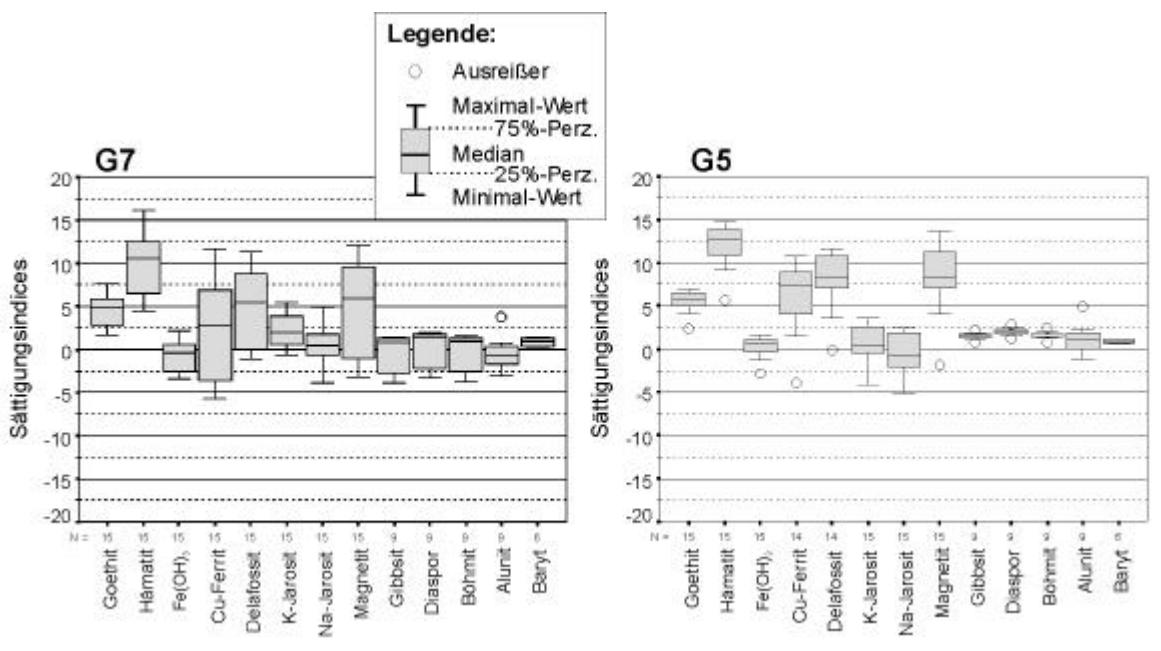


Abb. 60: Sättigungsindices ausgewählter Mineralphasen im Gessenbach (Messstellen G7 und G5; N= Anzahl der Proben).

Für die Bildung der überwiegend übersättigt vorliegenden Eisen(hydr)oxide Goethit, Hämatit, Magnetit und $\text{Fe}(\text{OH})_3$ gelten die unter Abschnitt 5.2.4 genannten Prozesse. Sie wandeln sich nach BIGHAM (1994) sekundär u.a. aus metastabilen Schwertmannit und Ferryhydrat um. Cu-Ferrit und Delafossit liegen ebenfalls übersättigt vor. Aufgrund der großen Oberfläche können die gebildeten Eisenhydroxide verschiedene Stoffe spezifisch und unspezifisch sorbieren und (mit)fällen. Ausfällungen im Vorfluter werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

K-Jarosit (z.B. $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) liegt in den meisten Messungen übersättigt vor, wohingegen die Medianwerte von Na-Jarosit negativ sind (Abb. 60). Nach BIGHAM (1994) wird der Anteil an Jarosit als Fällungsprodukt in sauren Grubenwässern überschätzt. WILLIAMS & SMITH (2000) beschreiben in natürlichen Systemen ebenfalls kinetisch verzögerte Jarositfällungen. Tendenziell sind die Sättigungsindices in Messstelle G5 größer. Baryt (BaSO_4) zeigt an beiden Messstellen positive Sättigungsindices. Die Aluminiumphasen Gibbsit (AlOH_3), Böhmit (AlOH_2), Alunit ($\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$) und Diaspor (AlHO_2) liegen in Messstelle G5 übersättigt vor (positive Medianwerte). Diese Phasen können im betrachteten natürlichen System thermodynamisch gefällt werden, was an den rasch abnehmenden Aluminiumkonzentrationen in Abb. 56 ersichtlich wird. NORDSTROM et al. (1992) beschreiben die Fällung schlecht kristalliner sekundären Al-Hydroxid-Phasen in AMD-beeinflusstem Oberflächenwasser sowie einen Zusammenhang zwischen den erhöhten Sulfatgehalten und Alunit-Fällung.

Ausfällungen im Oberlauf des Gessenbaches

Zur Bestimmung des Schwermetallgehalts von orangefarbenen Eisenockerausfällungen als Wasser-Feststoff-Gemisch im Gessenbach wurden am 18.04.00 exemplarisch vier Proben während einer Normalabflusssituation aus Stillwasserbereichen entnommen. An diesem Tag traten verstärkt Ausfällungen in dem betrachteten Bereich auf. Die vier Probenahmestellen befinden sich zwischen der Badergrabenmündung und der Messstelle G5 (Abb. 10). Vom Badergraben flossen während eines Normalabflusses ca. $6 \pm 1 \text{ l/s}$ alkalisches Wasser (pH-Wert 17.04.00: 8,9) in das relativ saure hochmineralisierte Bachwasser des Gessenbaches (pH-Wert: 5,7).

Zusätzlich wurde am 13.09.00 eine organikreiche Mudde aus dem Randbereich des Gessenbaches entnommen (Abschnitt 3.6). Bei dem Material handelt es sich um eine im Ober- und Unterlauf des Gessenbaches vorkommende schwarze Zone mit Pflanzenresten sowie Schluff- bzw. Tonanteilen. Sie ist vermutlich infolge des hohen Abwasseranteils im Gessenbach im Grenzbereich zwischen oxidierendem Bachwasser und Bachsediment ausgebildet. Hier können infolge des hohen Organikanteils (Blätter etc.) reduzierende Bedingungen auftreten (Abb. 61).

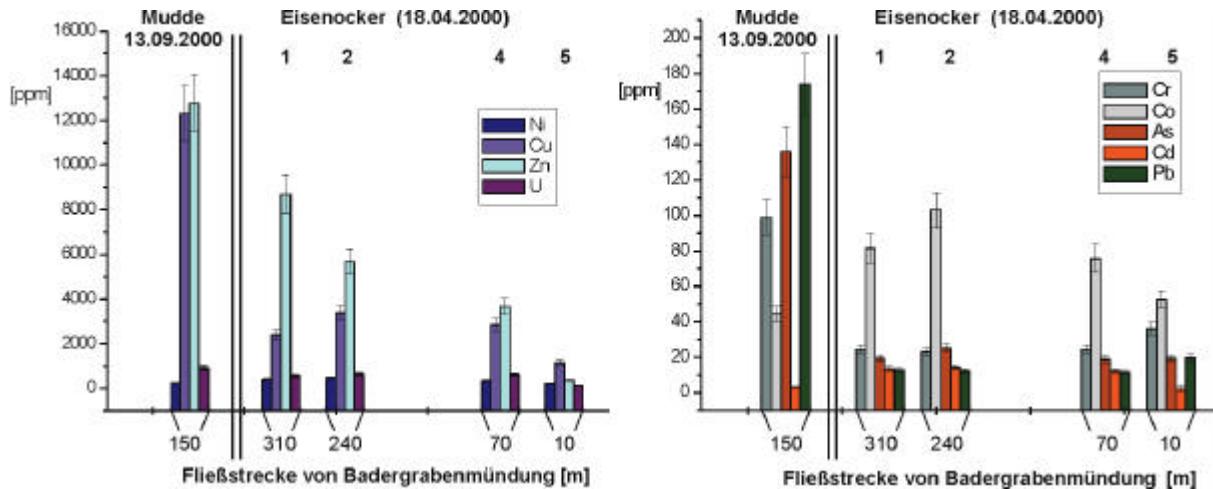


Abb. 61: Königswasseraufschlüsse von Eisenocker-Ausfällungen (1,2,4,5) vom 18.04.00 und von einem organikreichen muddeartigen Sediment vom 13.09.00 im Gessenbach abstromig der Badergrabenmündung

Die orangefarbenen Eisenockerausfällungen treten im Gessenbach infolge von pH-Wert-Erhöhungen auf und bestehen vermutlich überwiegend aus schlecht kristallinen, metastabilen Eisenverbindungen, welche BIGHAM et al. (1996) als Schwertmannit bzw. Ferrihydrit beschreiben. Ähnliche Effekte werden von BROSHEARS et al. (1996) bei künstlicher pH-Wert-Erhöhung in natürlichen Systemen beschrieben. Es ist zu vermuten, dass weitere Mineralphasen, z.B. Al- und Mn-(Hydr-)Oxide, Jarosit etc. in den Fällungsprodukten vorhanden sind. Über die Fließstrecke zeigen sich im Königswasserextrakt der ausgefällten Festphase zunehmende Elementgehalte für Zn, Cu, U und Ni, in geringerem Maß für Co, As, Cd (Abb. 61). Infolge der hohen spez. Oberflächen und der sehr guten Sorptionseigenschaften von schlecht kristallinen Eisenphasen ist eine sorptive Bindung für die meisten Schwermetalle, insbesondere für Zn, Cu, Pb, Cd und U, anzunehmen. Aufgrund der schnellen Sorption und Mitfällung der betrachteten Schwermetalle an Hydroxiden, sind die Schwermetalle überwiegend als Mitfällungsprodukt im Eisenocker zu finden. Ob thermodynamisch übersättigte, jedoch kinetisch gehemmte Phasen wie z.B. CoFe_2O_4 , Delafossit (CuFeO_2), zusätzlich als Fällungsprodukte auftreten, kann nicht abschließend geklärt werden. JOHNSON (1986) beschreibt am Beispiel für Cu und Zn zudem Ionenaustauschprozesse an partikulären Eisenhydroxiden in natürlichen Vorflutersystemen. Das Verhältnis der Konzentration der Schwermetalle in der festen Phase zu der flüssigen Phase (17.4.00, s. Anhänge 5 und 6) zeigt Werte zwischen 10^5 bis 10^3 für Cd, Zn, U und Cu, Werte unter 5×10^2 für Ni und Co. Vermutlich findet bei Ni infolge der hohen Konzentrationen im Wasser des Gessenbaches eine Mitfällung an Eisenhydroxide erst nach längerer Fließstrecke statt.

Die Konzentration der Schwermetalle im Sediment bezogen auf die Konzentration im Wasser für das muddeartige Sediment vom 13.09.00 übersteigt das Konzentrationsverhältnis der ausgefällten Eisenockerverbindungen um 500% für Cu, 150% für Co, 120% für Zn, 50% für Cd, sowie 30% für U und liegt in ähnlichen Bereichen für die Schwermetalle Ni und Cr. Anreicherungen der Schwermetallkonzentrationen in der organikreichen Mudde sind zusätzlich bei den Elementen As und Pb um den Faktor 7 bzw. 9 zu erkennen (Abb. 61). Anzunehmen ist neben Sorption an organische Substanz aufgrund reduzierender Bedingungen im Sediment eine Reduktion der gelösten Mineralphasen und eine Fällung als Sulfid. Die Stabilität und Wirkung dieses Bereiches für den Stoffaustausch wird in Abschnitt 9.4 diskutiert.

8.2.2. Übersicht und Klassifikation, Badergraben Typ 1b

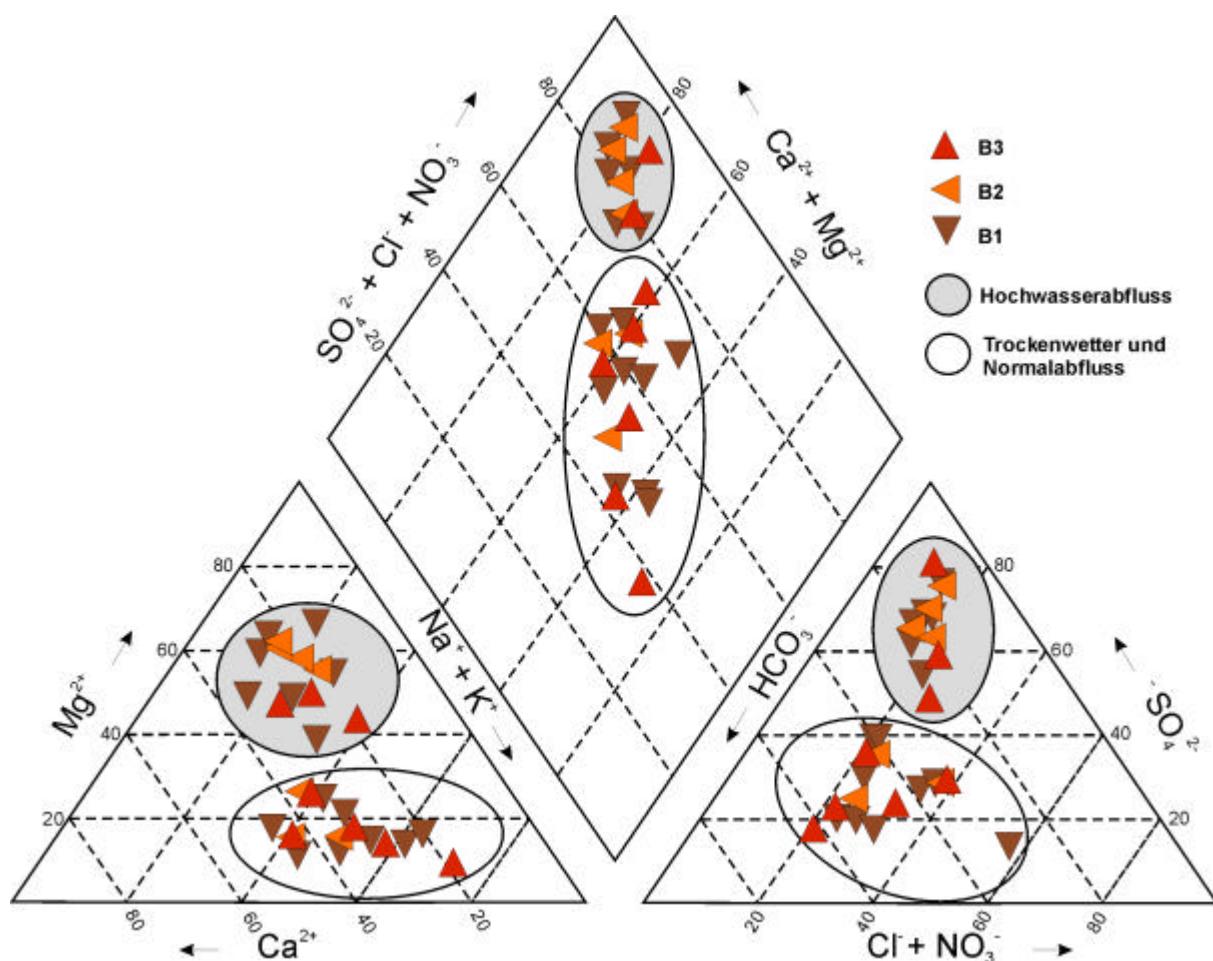


Abb. 62: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 1 im Badergraben entlang der Fließstrecke B3 bis B1, dargestellt im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).

In Tab. 23 sind die Mittelwerte und Variationskoeffizienten der untersuchten Parameter im Badergraben anhand von drei Messstellen B3, B2 und B1 im Gessental aufgeführt (Abb. 10). Abb. 62 bis Abb. 64 geben einen Überblick über die im Untersuchungszeitraum ermittelten Messwerte.

Der Badergraben weist sehr variable hydrochemische Bedingungen auf, welche überwiegend durch das aus dem Stadtgebiet von Ronneburg zufließende Wasser sowie durch die Schüttungsmengen kontrolliert werden. Die in Tab. 23 dargestellten Variationskoeffizienten sind somit relativ hoch und betragen größtenteils über 50 %.

Bei kleinen Schüttungsmengen sind infolge hoher relativer Abwasseranteile im Kationendreieck die Na^+ - und Ca^{2+} -Anteile (09.08.99, 19.10.99, 11.12.00), im Anionendreieck die HCO_3^- und Cl -Anteile dominant. Es ist ein Na-Ca- HCO_3 -Cl-Typ ausgebildet. Bei größeren Schüttungsmengen überwiegen die Mg^{2+} -Anteile und z.T. die Ca^{2+} - sowie SO_4^{2-} Anteile, wobei sich das Wasser als Mg-Ca- SO_4 -Typ klassifizieren lässt. Während einzelner Messtage zeigen sich relativ geringe Änderungen in dem ca. 700 m langen Teilstück des Badergrabens nördlich der Nordhalde.

Wasserbeschaffenheit im Badergraben

Physikochemische Parameter

In Abb. 63 sind die Untersuchungen der ermittelten physikochemischen Parameter in Form von Box und whiskers-Darstellungen angeführt. Die elektrische Leitfähigkeit in den Messstellen B1, B2 und B3 beträgt zwischen 1.570 und 1.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tendenziell ist seit 1997 eine Abnahme in der elektrischen Leitfähigkeit bzw. in der Gesamtmineralisation festzustellen. Die pH-Werte zeigen eine geringe Variabilität und sind mit Werten von ca. 8 überwiegend alkalisch. Die E_{H} -Werte im Wasser des Badergrabens sind oxidierend und betragen im Mittel über 250 mV. Minimalwerte wurden am 11.12.00 mit 50 ± 50 mV, Maximalwerte am 19.10.99 mit 450 ± 50 mV in der Messstelle B1 ermittelt. Die Sauerstoffkonzentrationen liegen im Mittel zwischen 7,6 und 8,8 mg/l. Die Korrelation zwischen den einzelnen Parametern in der Messstelle B1 ist aufgrund der uneinheitlichen Abwasseranteile insgesamt relativ niedrig (Tab. 24).

Tab. 23: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Lammsbach/Badergraben (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit)

Messstelle		T [°C]	el. Lf. [µS/cm]	pH	Eh Korr. [mV]	O ₂ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Fe _{ges} [mg/l]	Mn ²⁺ [mg/l]	Al ³⁺ [mg/l]
B3	Mittelwert \bar{x}	9,9	1.570	8,1	270	8,5	116	24	100	76	0,4	0,2	n.b.
	Anzahl n	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	n.b.
	Var.koeff. [%]	55	38	5	45	37	41	54	48	93	158	41	n.b.
B2	Mittelwert \bar{x}	9,2	1.770	8,0	240	8,8	85	17	108	138	0,3	0,2	n.b.
	Anzahl n	7	7	7	5	7	7	7	7	7	7	7	n.b.
	Var.koeff. [%]	41	40	6	39	48	27	27	31	72	75	33	n.b.
B1	Mittelwert \bar{x}	10,9	1.720	7,9	290	7,6	104	22	104	101	1,0	0,5	n.b.
	Anzahl n	16	17	17	16	17	15	15	15	15	15	15	n.b.
	Var.koeff. [%]	53	36	5	36	68	41	41	34	93	157	103	n.b.
L3	Mittelwert \bar{x}	9,5	780	6,9	390	4,4	12	1	120	21	0,02	0,003	0,01
	Anzahl n	6	5	6	6	4	6	6	6	6	6	6	5
	Var.koeff. [%]	4	9	8	16	22	29	38	5	9	74	59	101
L1	Mittelwert \bar{x}	9,1	870	8,1	340	11,9	25	8	95	41	0,2	0,03	0,03
	Anzahl n	16	17	16	16	12	16	16	16	16	16	16	10
	Var.koeff. [%]	45	17	49	18	15	44	29	9	41	116	75	136
L2	Mittelwert \bar{x}	8,6	930	7,8	360	11,1	25	7	100	42	0,1	0,10	0,08
	Anzahl n	15	16	15	14	13	16	16	16	16	16	16	11
	Var.koeff. [%]	55	16	7	16	16	42	30	7	33	57	54	112
	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	Ni ²⁺ [µg/l]	Si [mg/l]	Ba ²⁺ [µg/l]	Sr ²⁺ [µg/l]	U _{ges} [µg/l]	
B3	Mittelwert \bar{x}	24	130	410	330	10,0	1,6	26	12	3,7	39	260	64
	Anzahl n	8	8	8	8	8	7	8	8	7	5	5	4
	Var.koeff. [%]	54	34	99	30	88	71	164	89	51	24	55	157
B2	Mittelwert \bar{x}	16	130	640	290	12,3	0,8	6,2	13	2,7	33	240	94
	Anzahl n	7	7	7	7	7	7	7	7	6	4	4	3
	Var.koeff. [%]	32	28	68	22	74	54	52	67	36	17	58	131
B1	Mittelwert \bar{x}	25	150	470	340	8,7	1,4	9,0	28	3,4	43	250	62
	Anzahl n	15	15	15	16	14	12	15	14	12	8	7	7
	Var.koeff. [%]	70	61	84	27	79	104	73	134	60	45	46	159
L3	Mittelwert \bar{x}	0,01	45	180	150	63	n.b.	0,04	19	4,7	22	250	0,5
	Anzahl n	4	6	6	6	6	n.b.	4	1	4	3	3	2
	Var.koeff. [%]	173	11	9	7	14	n.b.	51	48	6	21	25	84
L1	Mittelwert \bar{x}	0,14	58	200	200	38	n.b.	0,18	7	4,2	43	240	1,7
	Anzahl n	15	16	16	16	16	n.b.	15	9	14	5	5	3
	Var.koeff. [%]	89	31	24	20	28	n.b.	51	107	19	31	30	60
L2	Mittelwert \bar{x}	0,17	57	220	190	38	n.b.	0,10	10	3,9	40	240	1,4
	Anzahl n	16	16	16	16	16	n.b.	14	11	14	6	6	4
	Var.koeff. [%]	114	30	20	16	33	n.b.	55	94	16	46	29	61

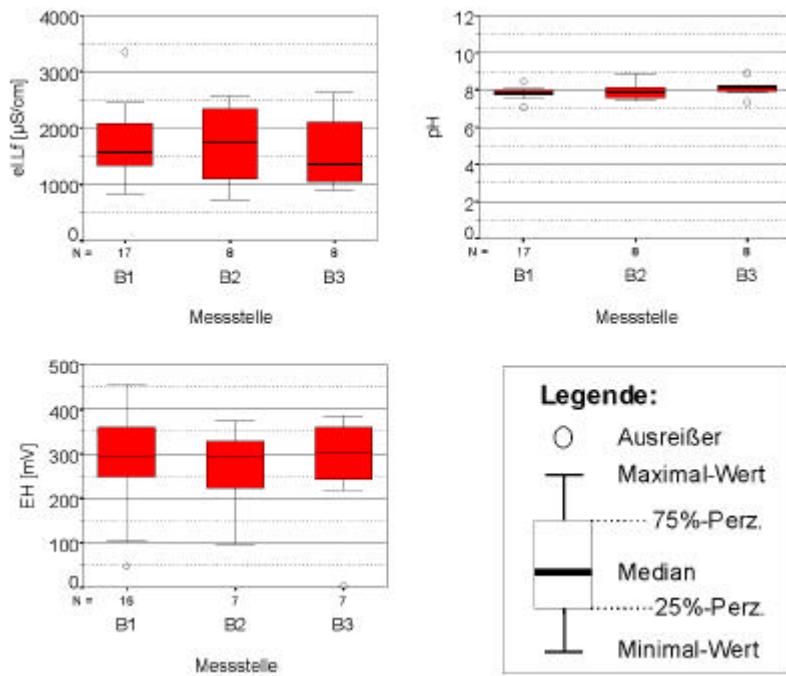


Abb. 63: Box und whiskers-Darstellungen physikochemischer Parameter im Badergraben (Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen).

Hauptkationen

Ausgewählte Hauptkationen im Badergraben sind in Abb. 64 dargestellt. Die Ca^{2+} -Konzentrationen weisen im Badergraben relativ konstante Werte um 100 mg/l auf, während die Mg^{2+} -Konzentrationen größere Spannbreiten mit Medianwerten zwischen 50 und 100 mg/l besitzen. Bei höheren Abflüssen und im Winter zeigt Mg^{2+} entlang der Fließstrecke ansteigende Werte. Ba^{2+} und Sr^{2+} verhalten sich ähnlich wie Mg^{2+} und Ca^{2+} . Die Sr^{2+} -Gehalte weisen mit Medianwerten von ca. 200 $\mu\text{g/l}$ relativ hohe Werte auf, ähnlich den Konzentrationen im Gessenbach.

Die Alkalien Na^+ und K^+ im Badergraben zeigen mittlere Konzentrationen zwischen 120 und 100 mg/l bzw. zwischen 17 und 24 mg/l. Bei höheren Abflüssen am 27.01.99, am 09.08.99 und am 23.10.99 sind die Werte für Alkalien vermutlich bedingt durch kommunales Abwasser aus der Stadt Ronneburg erhöht. Die Na^+ -Werte korrelieren mit den Cl^- -Werten (Tab. 24), was auf den winterlichen Einträgen von Streusalz beruht. Die Alkaligehalte im Badergraben übersteigen die Alkalikonzentrationen im Oberlauf des Gessenbaches.

Die mittleren Fe_{ges} -Konzentrationen im Badergraben liegen zwischen 0,4 mg/l (B3) und 1 mg/l (B1). Am 09.08.99 betragen sie in der Messstelle B3 ca. $0,3 \pm 0,03$ mg/, in der Messstelle B1 ca. 700 m westlich $6,3 \pm 0,3$ mg/l, was zum Einen auf einen Zutritt von Fe-haltigem Wasser hinweist, zum Anderen führen die relativ langsame Fließgeschwindigkeit und geringe Wassermengen zu einer Erhöhung der Verdunstung. Inwieweit Eisen über

Sickerwege aus der südlich gelegenen Nordhalde oder aus Richtung Norden in den Badergraben gelangt, kann nicht eindeutig geklärt werden. Wegen der Kanalisierung zwischen der Eisenbahnstrecke und wenige 100 m vor der Probenahmestelle B2 (vgl. 4.1.4) ist in diesem Abschnitt ein nennenswerter diffuser Zutritt auszuschließen. Ein Zutritt von höher mineralisiertem Wasser in den Badergraben, wie in Abschnitt 4.4 angedeutet, lässt sich mit Hilfe der Fe_{ges}-Konzentrationen nicht nachweisen.

Silizium wird im Badergraben im Mittel mit Werten zwischen 2 und 4 mg/l bestimmt. Die Mangangehalte betragen bis zu 0,5 mg/l.

Hauptanionen

SO₄²⁻, HCO₃⁻ sowie Cl⁻ sind die Hauptanionen im Badergraben (Abb. 64). Die Sulfatgehalte betragen zwischen 410 und 640 mg/l. Die Höchstwerte von 1.400 mg/l (B3) und 1.100 mg/l (B2) wurden während eines Niederschlagsereignisses am 18.03.99 gemessen. Die hohen Schwankungen und die an einzelnen Stichtagen ähnlichen Werte sprechen für anthropogene Sulfatquellen aus Ronneburg.

Tab. 24: Korrelationsanalysen der Messstellen G13 (oben), und B1 (links) nach SPEARMEN.

G13 B1	el. Lf.	pH	E _H	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{ges}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cu	Ni	U _{ges}
	1,00			0,852	0,731				0,846		0,736		0,643			
pH		1,00														
E _H			1,00		-,673		0,645					0,779				
Na ⁺	0,543		0,534	1,00	0,780				0,973		0,863	-,599	0,835			
K ⁺				0,782	1,00				0,747		0,940	-,789	0,940			
Ca ²⁺	0,682	0,611				1,00				0,808					-,673	
Mg ²⁺	0,761						1,00									
Fe _{ges}		-,567		0,707	0,854			1,00								
Cl ⁻	0,721			0,814					1,00		0,824		0,813			
SO ₄ ²⁻	0,700					0,636	0,936			1,00					-,636	
HCO ₃ ⁻				0,818	0,807			0,850	0,518		1,00	-,711	0,956			
NO ₃ ⁻		0,551										1,00	-,789			
PO ₄ ³⁻				0,614	0,668			0,579					1,00			
Cu														1,00		
Ni					0,811			0,710			0,631		0,560		1,00	
U _{ges}		0,857				0,829				0,829	-,821					1,00

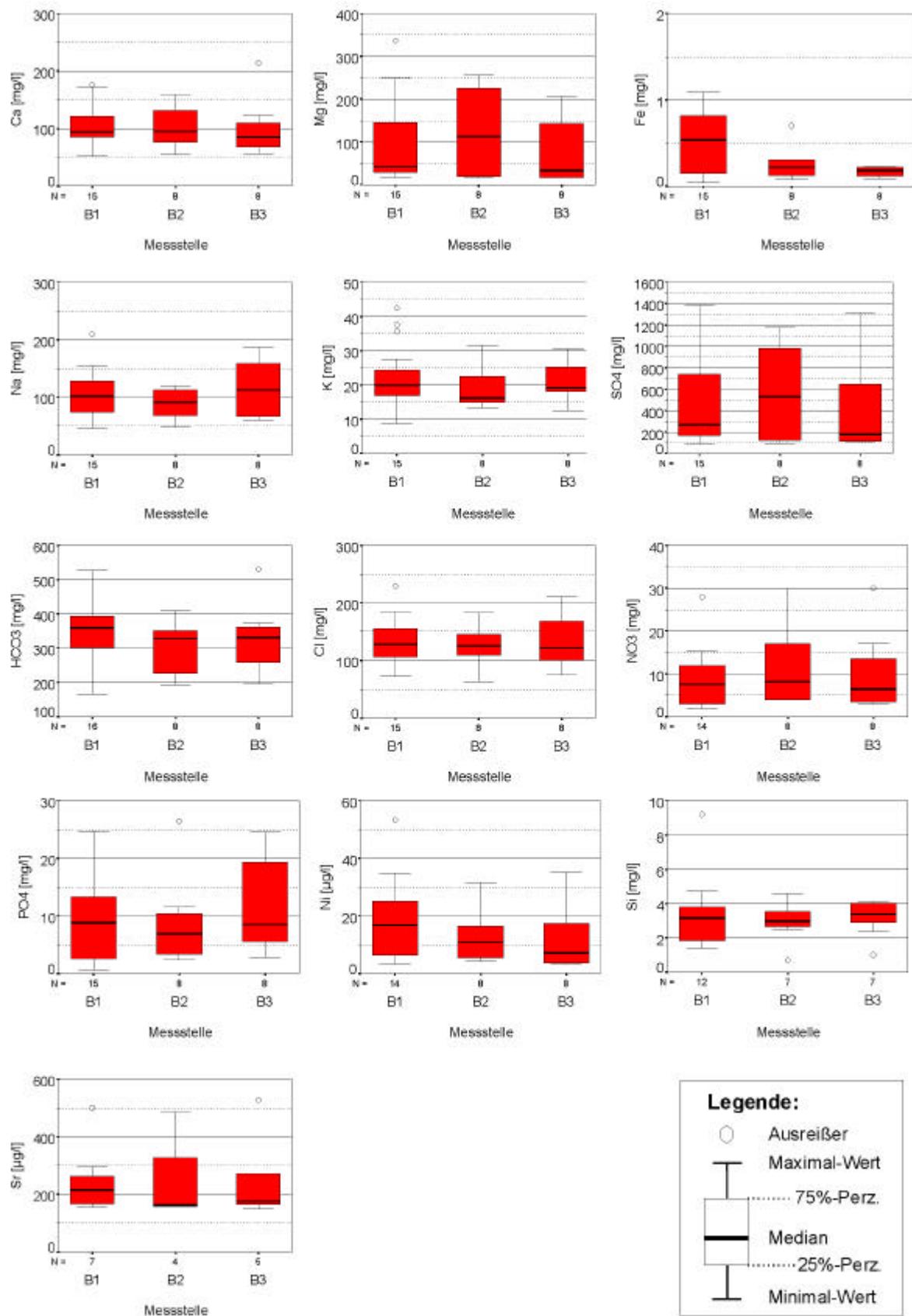


Abb. 64: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkationen und -anionen sowie der Schwermetalle im Badergraben. Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Die HCO₃⁻-Werte im Badergraben nehmen von Messstelle B3 bis zur Messstelle B1 von 330 auf 340 mg/l nicht signifikant zu. An einzelnen Stichtagen (z.B. 09.08.99) sind dagegen auf

der Fließstrecke Erhöhungen der HCO_3^- -Werte festzustellen. Ob die Aufnahme von HCO_3^- in Trockenwettersituationen durch die Aufnahme von CO_2 erfolgt, ist nicht eindeutig zu klären. Die Mittel der Cl⁻-Gehalte befinden sich auf der betrachteten Fließstrecke im Badergraben zwischen 130 und 150 mg/l. Am 09.08.99 ist eine geringe Zunahme von 134 ± 7 mg/l auf 150 ± 9 mg/l festzustellen, was ebenfalls als Hinweis auf dem Badergraben zufließendes Wasser oder auf Verdunstung dienen könnte. Die Cl⁻-Gehalte sind i.A. in der gleichen Größenordnung wie im Gessenbach vorhanden. In den Wintermonaten sind die erhöhten Gehalte durch Streusalzeinsatz im Stadtgebiet von Ronneburg zu erklären (Tab. 24). Die Phosphatgehalte in Messstelle B3 betragen im Mittel 25,7 mg/l, was eine Hinweis für Anteile an Abwasser aus Ronneburg ist. Auf der weiteren Fließstrecke, werden die PO_4^{3-} -Gehalte vermutlich mit Hilfe von Pflanzen und org. Material abgebaut bzw. zwischengespeichert. Nitrat kommt mit Gehalten von ca. 10 mg/l im Badergraben vor.

Weitere Inhaltsstoffe

Die Nickelkonzentrationen betragen im Mittel 10 bis 13 µg/l. Maximalwerte treten am 09.08.99 mit 150 ± 8 µg/l auf. Uran ist im Badergraben nur in Spuren vorhanden. Die Urangehalte liegen zwischen 60 und 90 µg/l. Am 17.04.00 wurden während erhöhter Schüttungen in Messstelle B3 und B1 über 230 µg/l Uran gemessen (Anhang 5).

Insgesamt ergeben sich aus den hydrochemischen Resultaten keine eindeutigen Hinweise auf dem Badergraben zufließendes Wasser aus der Nordhalde in dem Bereich zwischen den Messstellen B1 und B2. Sämtliche gefundenen Indizien lassen sich mit anderen Effekten erklären (z.B. Verdunstung im Oberflächengewässer). Somit sind effluente Bedingungen im Badergraben im Bereich der Messstelle B1 unwahrscheinlich.

8.3. Oberflächenwasser Typ II, Unterlauf Gessenbach und Lammsbach

Außerhalb des bergbaubedingten Grundwasserabsenkungstrichter besitzen der Unterlauf des Gessenbaches und der Lammsbach ein differenziertes hydrochemisches Regime. Sie wirken als echte Vorfluter, die an das regionale Grundwasserregime hydraulisch angebunden sind. In den in Abschnitt 3.4 dargestellten Messstellen wurden regelmäßig Wasserproben entnommen. Die vollständigen hydrochemischen Messdaten des Oberflächenwassers und der Zuflüsse sind in Anhang 5 dargestellt.

8.3.1. Übersicht und Klassifikation, Unterlauf Gessenbach

Die in Tab. 25 und Tab. 26 aufgeführten Mittelwerte und Variationskoeffizienten der untersuchten Parameter sowie Abb. 55 bis Abb. 58 und Abb. 65 geben einen Überblick über die im Untersuchungszeitraum ermittelten Messwerte im Unterlauf des Gessenbaches.

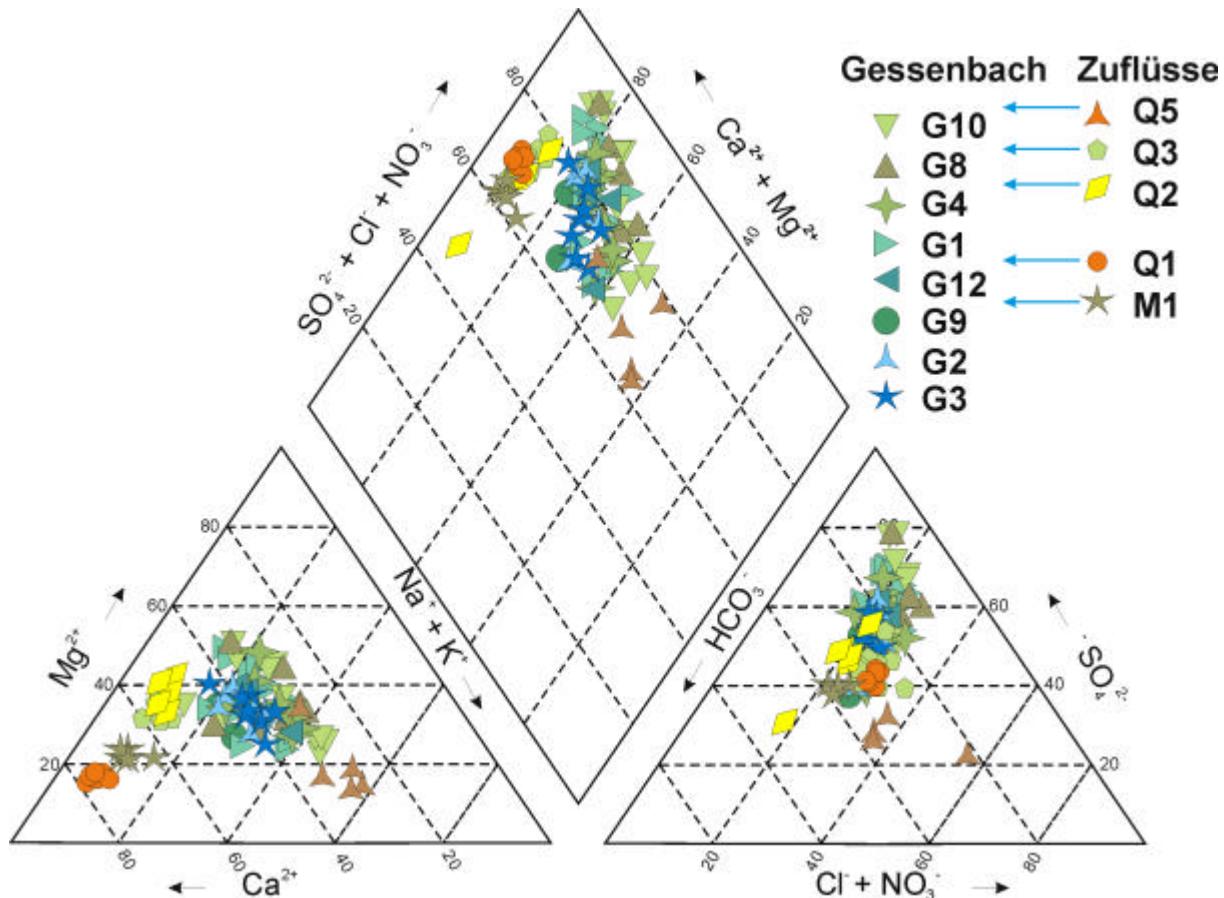


Abb. 65: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 2 entlang der Fließstrecke G10 bis G3, Unterlauf des Gessenbaches mit Quell- und Drainagewasser-Zutritten im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).

Insgesamt ist eine Abnahme des Gesamtlösungsinhaltes im Gessenbach feststellbar. Die Variationskoeffizienten nehmen i.A. entlang der Fließstrecke ab und sind bei Gera am geringsten (Messstellen G12, G9, G2, G3). In den Messstellen G10, G8, G4 und G1 betragen die Variationskoeffizienten unter 40%, z.T. unter 20%. Die Schwankungen der Stoffgehalte sind somit in größerer Entfernung zum Ronneburger Uranbergbaugebiet relativ konstant. Nur für einzelne Stoffe treten Variationskoeffizienten bis zu 150% (z.B. Eisen), vergleichbar mit Probenahmestellen des Oberlaufes, auf. Die Schwankungen sind Folgen des unmittelbaren Bergbaueinflusses sowie der Schüttungsmengenvariabilität der Kläranlage Ronneburg (Q5=KA, vgl. Abschnitt 3.4). Die beprobten Zuflüsse in den Gessenbach weisen außer für Elementgehalte im Bereich der Nachweigrenzen sowie bei geringer Messwertanzahl Variationskoeffizienten unter 25 % auf.

Die unterschiedliche Lage der hydrochemischen Ergebnisse der Vorflutermessungen im Piper-Diagramm (Abb. 65) wird im Kationendreieck durch die Anteile an Mg^{2+} -, Ca^{2+} - sowie untergeordnet der Na^+ -Anteile bestimmt. Die Probenahmestellen G10, G4 und G1 weisen bis 1999 tendenziell höhere Mg^{2+} - als Ca^{2+} -Anteile auf. Ab 2000 nehmen die relativen Ca^{2+} -Anteile entsprechend der Ergebnisse im Oberlauf zu (Abschnitt 8.2). Im Anionendreieck werden die Messstellen im östlichen Teil des Unterlaufes (G10, G8, G4, G1) überwiegend durch SO_4^{2-} -Anteile bestimmt. Gleichzeitig nehmen die Anteile an HCO_3^- sowie in geringem Maß die Cl^- und NO_3^- -Anteile zu. Insgesamt herrschen Mg - Ca - Na - SO_4 - HCO_3^- bzw. Ca - Mg - Na - HCO_3 - SO_4 -Wassertypen vor. Das in den Gessenbach fließende Wasser zeigt überwiegend Ca^{2+} -dominierte Wassertypen wobei die Mg^{2+} -Anteile in der Reihenfolge Q1, M1, Q3, Q2 zunehmen (Abb. 65). Im Anionendreieck ist die Lage durch SO_4^{2-} - und HCO_3^- -Anteile bestimmt. Wassertyp ist hier ein Ca - Mg - SO_4 - HCO_3^- -Wasser. Ausnahme bildet der Zufluss der Kläranlage Ronneburg (Q5), der hohe Anteile an Alkalien und nur untergeordnet Ca^{2+} und Mg^{2+} aufweist. Die Anionengehalte werden durch schwankende Anteile an SO_4^{2-} und Cl^- bzw. NO_3^- , untergeordnet durch HCO_3^- bestimmt. Die Wasserprobe vom 17.04.00 weist höhere Gehalte an Erdalkalien sowie Cl^- und NO_3^- auf.

Tab. 25: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Unterlauf des Gessenbaches, Typ 2 (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit).

Messstelle		T [°C]	el. Lf. [µS/cm]	pH	Eh Korr. [mV]	O ₂ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Fe _{ges} [mg/l]	Mn _{ges} [mg/l]	Al _{ges} [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]
G10	Mittelwert \bar{x}	11,6	1.390	7,0	312	9,4	82	19,3	103	71	4,4	2,2	0,04	5,4	108
	Var.koeff. [%]	67	20	10	32	43	24	35	30	50	106	64	128	57	12
G8	Mittelwert \bar{x}	9,3	1.380	7,1	281	9,7	80	18,5	101	68	2,6	2,2	0,04	7,6	113
	Var.koeff. [%]	46	19	6	28	37	22	26	24	43	95	59	151	97	21
G4	Mittelwert \bar{x}	10,8	1.210	7,4	320	11,4	65	17,8	90	57	0,25	1,30	0,03	7,6	92
	Var.koeff. [%]	40	15	5	19	36,4	19	24	15	33	77	41	86	154	11
G1	Mittelwert \bar{x}	9,2	1.240	7,5	321	11,2	61	15,3	97	62	0,92	1,54	0,02	6,1	91
	Var.koeff. [%]	53	20	3	26	32	24	25	22	40	154	51	85	134	22
G12	Mittelwert \bar{x}	11,8	1.230	7,7	410	12,0	69	17,1	97	56	0,09	1,20	n.b.	5,6	100
	Var.koeff. [%]	40	14	3	18	67	11	9	19	23	73	53	n.b.	100	16
G9	Mittelwert \bar{x}	13,2	1.140	7,8	485	12,1	56	14,3	104	49	0,06	0,62	n.b.	1,2	85
	Var.koeff. [%]	34	9	1	10	50	5	3	9	20	14	81	n.b.	84	6
G2	Mittelwert \bar{x}	9,8	1.210	n.b.	432	13,3	15,9	15,9	104	56	0,11	0,90	0,01	3,9	92
	Var.koeff. [%]	42	9	n.b.	10	36	11	11	11	19	141	64	n.b.	114	14
G3	Mittelwert \bar{x}	9,1	1.140	7,7	442	12,1	62	16,4	94	52	0,1	0,50	0,0	4,7	92
	Var.koeff. [%]	51	10	6	13	43	14	12	13	22	100	96	34	87	14
	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	Cu ²⁺ [µg/l]	Ni ²⁺ [µg/l]	Zn ²⁺ [mg/l]	Si [mg/l]	Cd [µg/l]	Cr [µg/l]	Ba ²⁺ [µg/l]	Sr ²⁺ [µg/l]	Co [µg/l]	U _{ges} [µg/l]	
G10	Mittelwert \bar{x}	490	140	19,6	1,1	9,7	333	0,14	4,3	1,9	1,1	32	220	140	13,9
	Var.koeff. [%]	48	25	85	183	60	72	75	33	86	12	52	32	72	64
G8	Mittelwert \bar{x}	460	145	17,5	0,82	7,5	279	0,11	4,1	1,3	2,6	34	228	111	11,7
	Var.koeff. [%]	39	22	83	126	55	64	82	23	90	70	47	36	78	72
G4	Mittelwert \bar{x}	360	164	16	0,32	4,4	191	0,04	4,3	0,69	1,8	36	205	n.b.	n.b.
	Var.koeff. [%]	30	18	62	167	66	47	67	16	55	n.b.	22	20	n.b.	n.b.
G1	Mittelwert \bar{x}	390	149	21	0,28	4,2	228	0,07	4,1	0,95	1,8	38	220	52	10,6
	Var.koeff. [%]	35	17	54	174	50	59	84	20	55	46	51	32	103	61
G12	Mittelwert \bar{x}	356	176	16	0,69	4,1	162	0,04	4,4	0,91	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Var.koeff. [%]	29	8	15	126	44	56	52	14	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
G9	Mittelwert \bar{x}	303	200	24	0,64	4,7	105	0,03	4,5	0,38	0,56	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Var.koeff. [%]	26	9	6	76	33	70	3	13	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
G2	Mittelwert \bar{x}	348	183	22	0,40	4,6	153	0,05	4,0	0,48	0,94	n.b.	n.b.	29	n.b.
	Var.koeff. [%]	22	10	13	73	42	48	67	14	28	n.b.	n.b.	n.b.	76	n.b.
G3	Mittelwert \bar{x}	310	194	24	0,70	5,5	111	0,1	4,2	0,3	1,2	31	250	n.b.	13,8
	Var.koeff. [%]	23	7	21	57	54	70	113	15	21	16	8	20	n.b.	43

Tab. 26: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe in den Zuflüssen zum Gessenbach (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit KA=Kläranlage Ronneburg südlich von Grobsdorf).

Messstelle		T [°C]	el. Lf. [µS/cm]	pH	Eh Korr. [mV]	O ₂ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Fe _{ges} [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]
Q5	Mittelwert \bar{x}	12,5	1.120	7,1	352	7,3	111,4	28	71	31	0,06	1,2
(KA)	Anzahl n	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4
	Var.koeff. [%]	42	14	3	12	6	7	14	18	58	31	49
Q3	Mittelwert \bar{x}	8,8	849	7,2	391	11,8	19,2	1,29	103	39	0,04	0,05
	Anzahl n	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	7
	Var.koeff. [%]	24	12	8	16	30	19	20	5	10	121	89
Q2	Mittelwert \bar{x}	6,2	536	6,5	425	12,1	11,9	1,5	56	26	0,11	0,13
	Anzahl n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3
	Var.koeff. [%]	55	9	5	10	47	9	24	10	17	95	12
Q1	Mittelwert \bar{x}	9,5	1.070	7,2	419	10,1	19,3	2,1	172	24	0,01	0,03
	Anzahl n	16	15	16	16	14	14	14	14	14	11	7
	Var.koeff. [%]	20	4	2	17	18	12	12	3	6	98	98
M1	Mittelwert \bar{x}	11,8	980	7,9	423	10,6	20	6,0	145	30	0,05	0,99
	Anzahl n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Var.koeff. [%]	32	16	3	5	61	8	101	3	2	90	180
		Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	Ni ²⁺ [µg/l]	Zn ²⁺ [mg/l]	Si [mg/l]	Ba ²⁺ [µg/l]	Sr ²⁺ [µg/l]	U _{ges} [µg/l]
Q5	Mittelwert \bar{x}	140	183	208	22	6,8	13,5	0,20	5,9	19,6	235	12,4
(KA)	Anzahl n	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	3
	Var.koeff. [%]	25	45	19	79	27	77	136	18	19	31	133
Q3	Mittelwert \bar{x}	66	203	157	44	0,09	36	0,01	6,4	71	221	0,27
	Anzahl n	12	12	12	12	12	8	7	12	5	5	3
	Var.koeff. [%]	5	14	9	34	30	37	83	7	25	21	20
Q2	Mittelwert \bar{x}	28	124	112	17,8	0,08	6,9	0,03	3,6	35	104	0,89
	Anzahl n	6	6	6	6	2	4	5	6	2	2	1
	Var.koeff. [%]	17	10	38	34	13	37	142	9	33	3	0
Q1	Mittelwert \bar{x}	51	240	206	112	0,10	18,1	0,01	5,4	28	243	1,6
	Anzahl n	14	14	14	14	6	2	7	12	5	5	3
	Var.koeff. [%]	3	4	2	4	71	61	56	4	41	19	21
M1	Mittelwert \bar{x}	57	209	247	55	0,35	n.b.	0,01	4,8	n.b.	n.b.	n.b.
	Anzahl n	5	5	5	5	5	n.b.	5	5	n.b.	n.b.	n.b.
	Var.koeff. [%]	13	1	5	4	89	n.b.	52	12	n.b.	n.b.	n.b.

Wasserbeschaffenheit im Unterlauf des Gessenbaches

Physikochemische Parameter

Die Wassertemperaturen im Unterlauf des Gessenbaches betragen zwischen 9 und 13°C (Abb. 55). Zeitweise ist ein Einfluss von höher temperierten kommunalen Abwasser der Kläranlage Ronneburg sowie aus den Ortschaften Collis und Gera feststellbar. Im Unterlauf des Gessenbaches nimmt die Gesamtmineralisation im Vorfluter entlang der Fließstrecke nach Gera zu. Die pH-Werte steigen im Mittel von 7 auf Werte über 7,7. Es herrschen oxidierende Verhältnisse vor. Im Bereich der Zuflüsse treten elektrische Leitfähigkeiten zwischen 530 µS/cm (Q2) und 1.100 µS/cm (Q5) sowie neutrale bis leicht alkalische pH-Werte auf. Die geringsten E_H-Werte weist die Probenahmestelle Q5 mit Mittelwerten von 350 mV auf (Abb. 55, Tab. 26).

Hauptkationen

Die Hauptkationengehalte sind entlang der Fließstrecke im Unterlauf des Gessenbaches in Abb. 56 und in Tab. 25, die Gehalte der Zuflüsse in Tab. 26 dargestellt. Insgesamt sind relativ konstante Werte mit kleineren Schwankungsintervallen als im Oberlauf zu erkennen. Die Hauptinhaltsstoffe weisen untereinander hohe Korrelationskoeffizienten auf. Die Erdalkalien Mg²⁺ und Ca²⁺ im Gessenbach weisen Medianwerte von ca. 50 bis 70 mg/l bzw. 100 mg/l auf. Höhere und variierende Einträge stammen aus dem bergbaubeeinflussten Oberlauf sowie aus der Kläranlage Ronneburg. Die gute Korrelation mit der elektrischen Leitfähigkeit zeigt die Erdalkalien als Hauptlösungsanteil. Die Korrelationskoeffizienten in Messstelle G10 sind vergleichbar mit denen im Oberlauf des Gessenbaches. Ausnahme bilden die negativen Korrelationskoeffizienten mit Na⁺, was auf den Eintrag aus der Kläranlage Ronneburg zurückzuführen ist. Positive Korrelationen sind in den Probenahmestellen G10 und G1 mit SO₄²⁻ zu erkennen. Die Zuflüsse zeigen geringere Magnesiumgehalte als das Bachwasser. Die Ca²⁺-Konzentrationen sind in den Messstellen Q1 und M1 höher als im Vorfluter. Die Quelle Q1 hat ihr Einzugsgebiet SE der Ortschaft Thränitz (Abb. 5) und entwässert landwirtschaftliche Nutzflächen über devonischen und karbonischen Einheiten. Die Härte liegt mit Werten um 30° dH um den Faktor 2 höher als die in Abschnitt 5.1.1 angegebenen Richtwerte, ein Resultat der Beeinflussung des Wassers durch Düngung und kalkhaltige Lösse und Lössderivate. Die Erhöhung der mittleren Ca²⁺-Gehalte in Messstelle M1 ist vermutlich anthropogen bedingt. Ba²⁺ und Sr²⁺ weisen im Unterlauf des Gessenbaches und in

den Zuflüssen mit 30 µg/l bzw. 200 µg/l nahezu konstante Werte auf. Nur an der Probenahmestelle Q2 wurden infolge Verdünnung geringere Sr²⁺-Gehalte bestimmt.

Tab. 27: Korrelationsanalysen der Messstellen G1 (oben), und G10 (links) nach SPEARMEN.

G1 G10	el. Lf.	pH	E _H	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{ges}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cu	Ni
el. Lf.	1,00					0,855	0,919	0,485	0,561	0,939					0,862
pH		1,00				-,492		-,529	-,493				0,557		
E _H		0,806	1,00												
Na ⁺				1,00	0,728				0,510						
K ⁺				0,783	1,00						0,650	-,772	0,624		
Ca ²⁺	0,680			-,818	-,664	1,00	0,870	0,505	0,525	0,893		0,489	-,600		0,818
Mg ²⁺	0,802			-,664		0,860	1,00	0,527		0,964			-,681		0,871
Fe _{ges}	0,855					0,643	0,699	1,00		0,524	-,520		-,626		0,668
Cl ⁻				0,762					1,00						
SO ₄ ²⁻	0,886					0,853	0,951	0,839		1,00			-,605		0,895
HCO ₃ ⁻	-,616			0,755	0,790	-,895	-,769	-,692		-,790	1,00		0,776		
NO ₃ ⁻												1,00		0,518	
PO ₄ ³⁻	-,685					-,762		-,837		-,745	0,887	-,782	1,00		-,733
Cu											-,627			1,00	
Ni	0,869					0,587	0,699	0,909		0,804	-,650		-,828	0,673	1,00

Die Alkalien Na⁺ und K⁺ besitzen in der östlichsten Messstelle G10 Maximalgehalte mit Mittelwerten von 80 bzw. 20 mg/l. In Richtung Gera nehmen die Alkaligehalte um ca. 25 % ab. Haupteintragsquelle sind die Abwässer aus der KA Ronneburg. Die übrigen Zuflüsse und der Lammsbach, welcher zwischen den Messstellen G8 und G4 dem Gessenbach zutritt, weisen eine Zehnerpotenz geringere Na⁺ und K⁺-Gehalte auf. Gut korrelieren die Na⁺- und Cl⁻-Konzentrationen der Messstellen G10 und G1, was auf die Herkunft als Salz schließen lässt.

Eisen als reaktives Hauptelement des Oberlaufes ist während Trockenwettersituationen nur als Spurenelement mit Werten < 0,25 mg/l im Unterlauf des Gessenbaches zu finden. Allerdings werden bei höheren Schüttungsmengen und Fließgeschwindigkeiten im Gessenbach (z.B. 27.01.99, 18.03.99, 31.01.00) Eisen-Konzentrationen zwischen 2 bis 10 mg/l in Messstelle G10 und bis 4 mg/l in Messstelle G1 bestimmt. Während dieser Abflusssituationen wird Fe vermutlich aufgrund turbulenten Fließens und erhöhter Fließgeschwindigkeiten an der Fällung gehindert und weiter transportiert. Ob partikuläre Transportprozesse hierbei eine entscheidende Rolle spielen, kann nur vermutet werden, wird aber bei BENOIT & ROZAN (1999) beschrieben. GAMMONS et al. (2000) und KENNEDY et al. (1974) zeigen die Existenz partikulärer Eisenverbindungen kleiner als 0,45 µm. Die erhöhten Eisenkonzentrationen in Messstelle G10 (3 mg/l) am 09.08.99 sind wahrscheinlich auf die ungewöhnlich niedrigen E_H-Werte im Oberlauf des Gessenbaches zurückzuführen.

Die mittleren Mangan-Konzentrationen nehmen im Unterlauf des Gessenbaches mit zunehmender Entfernung vom Uranbergaugebiet von 2 mg/l (G10) auf 0,5 mg/l (G3) ab. Die Mangangehalte der Zuflüsse liegen größtenteils unter 0,1 mg/l. Die Mangankonzentrationen sind i.A. im Vorfluter höher als die Eisenkonzentrationen, was in der verzögerten anorganischen Ausfällung von Mangan- gegenüber Eisenhydroxiden begründet ist. Dieser Effekt ist in AMD-beeinflussten Oberflächengewässern bekannt (u.a. HEM 1992). Während eines Hochwasserereignisses am 02.03.99 wird Mangan in Messstelle Q2 mit ca. 1 mg/l gemessen, wo es evtl. aus der Bodenzone bzw. aus organischem Material freigesetzt wird.

Die Aluminium-Konzentrationen betragen unter 0,04 mg/l und nehmen tendenziell bis zur Mündung des Gessenbaches in die Weiße Elster ab. Die Gehalte in Quell- und Drainagezuflüssen liegen weitgehend unterhalb der Nachweisgrenze. Während des Starkregens vom 02.03.99 wird Aluminium mit Konzentrationen von 0,3 mg/l ebenfalls aus der Bodenzone mobilisiert.

NH_4^+ weist im Unterlauf des Gessenbaches Werte zwischen 4 und 8 mg/l auf. NH_4^+ wandelt sich unter oxidierenden Bedingungen zu Nitrat um. Die Konzentrationen in den Zuflüssen überschreiten im Mittel nur in den Messstellen Q5 und M1 den Wert von 1 mg/l und liegen in den übrigen Messstellen unter 0,1 mg/l. Diese Werte sind auf anthropogene Einträge zurückzuführen.

Hauptanionen

Die Hauptanionengehalte im Unterlauf sind geringer als im Oberlauf des Gessenbaches (Abb. 57, Tab. 25). Die Anionen einiger Quell- und Drainagezuflüsse sind in Tab. 26 dargestellt. SO_4^{2-} als Hauptanionenbestandteil des Vorfluters weist mittlere Werte zwischen 480 und 310 mg/l entlang der Fließstrecke auf. Haupteintragsquelle für SO_4^{2-} ist neben dem Oberlauf des Gessenbaches der Zulauf der Kläranlage Ronneburg (KA) mit mittleren Werten von 180 mg/l, aber z.T. höheren Schüttungsmengen. Die überwiegend geringeren Zuflüsse aus Quellen und Drainagen besitzen Konzentrationen von ca. 200 bis 240 mg/l. Q2 zeigt geringere mittlere Sulfatgehalte von ca. 120 mg/l. Schüttungsmenge und SO_4^{2-} -Konzentrationen sind proportional im Unterlauf des Gessenbaches. Die am 08.08.98 ermittelten niedrigen Sulfatkonzentrationen im gesamten Unterlauf wiedersprechen den erhöhten Konzentrationen im Oberlauf und sind auf hohe Abgabemengen der KA Ronneburg zurückzuführen.

Die Medianwerte von HCO_3^- steigen entlang der Fließstrecke im Unterlauf des Gessenbaches bis Gera von 140 mg/l (G10) auf ca. 200 mg/l (G9, G2, G3) an. Die HCO_3^- -Gehalte der Zuflüsse Q1, Q2 und Q3 liegen zwischen 110 mg/l (Q2) und 200 mg/l (Q1). Hohe Eintragsmengen von HCO_3^- in den östlichen Oberlauf (G10) aus der Kläranlage (Q5) sind

infolge positiver Korrelation mit den Erdalkalien und Alkalien zu vermuten. Abstromig (G1) wird die Korrelation geringer (Tab. 27). Der Gehalt an HCO_3^- im Grundwasser steht im Zusammenhang mit den vorherrschenden CO_2 -Partialdrücken und mit dem pH-Wert. Zudem kann durch Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen CaCO_3 gelöst werden, was für Messstelle Q1 infolge des ebenfalls höheren Ca^{2+} -Gehalt zutrifft. Messstelle Q2 ist ein oberflächennaher Drainagezufluss der Talaue, welcher nur nach längeren Regenperioden Wasser führt. Trotz niedrigerer pH-Werte führt die geringere Verweilzeit im Untergrund zu geringen HCO_3^- -Werten.

Cl^- weist im Unterlauf des Gessenbaches mittlere Konzentrationen zwischen 110 und 90 mg/l auf. Cl^- schwankt im gesamten Gessenbach relativ gering infolge eines konservativen Ausbreitungsverhaltens. Höhere Konzentrationen sind nur abstromig der KA Ronneburg (Q5: Mittelwert 140 mg/l) zu messen, wo sie infolge perennierender Schüttungen in den Messstellen G10 und G8 erhöht sind. Die natürlichen Cl^- -Gehalte der Gegend repräsentieren die Zuflüsse Q3 und Q1 mit 50 bis 60 mg/l.

Die NO_3^- -Werte liegen zwischen 15 und 25 mg/l, wobei die höchsten Konzentrationen im W-Gessenbach (G9, G2, G3) bestimmt wurden. Durch die Aufnahme unterschiedlicher landwirtschaftlicher und diverser anthropogener Zutände über das Oberflächen- und Grundwasser wird NO_3^- im Gessenbach angereichert. Die zutretenden Quell- und Drainagewässer weisen mittlere NO_3^- -Konzentrationen von ca. 17 mg/l (Q2) bis über 110 mg/l (Q1) auf. Die hohen Konzentrationen in den Messstellen Q1 und M1 (Mittelwert: 54 mg/l) geben Hinweise auf intensive landwirtschaftliche Nutzung.

Die PO_4^{3-} -Gehalte sind in den Zuflüssen nur im Zulauf aus der Kläranlage in höheren Gehalten von über 6 mg/l vertreten. Aus diesem Grund werden die maximalen PO_4^{3-} -Konzentrationen im Gessenbach an den Messstellen G10 und G8 bestimmt. Die Phosphatkonzentrationen schwanken insgesamt zwischen 0,3 und 1 mg/l. Infolge unbestimmter vermutlich anthropogener Quellen nehmen die PO_4^{3-} -Gehalte in den Messstellen G12 und G3 auf Mittelwerte von 0,7 mg/l zu.

Weitere Inhaltsstoffe

Die Gehalte an Schwermetallen (Zn, Ni, Cu, Co, U, Cd, Cr) im Unterlauf des Gessenbaches sind aus Tab. 26 ersichtlich. Tendenziell nehmen die Konzentrationen im Vorfluter von der Messstelle G10 bis zur Mündung des Gessenbaches in die Weiße Elster ab. Die Urankonzentrationen im Unterlauf des Gessenbaches mit mittleren Werten von 13 $\mu\text{g/l}$ und Maximalgehalten von $25 \pm 1 \mu\text{g/l}$ liegen nicht über den Konzentrationen der Kläranlage Ronneburg.

8.3.2. Übersicht und Klassifikation, Lammsbach

Tab. 23 gibt einen Überblick über statistische Kennwerte (Mittelwerte und Variationskoeffizienten) und die Messwertanzahl der untersuchten Parameter im Lammsbach, einem vom Bergbau unbeeinflussten Vorfluter. Abb. 66 bis Abb. 68 zeigen die im Untersuchungszeitraum entlang des im ca. 960 m langen Abschnitts (Messstellen L3, L1, L2) ermittelten Messwerte.

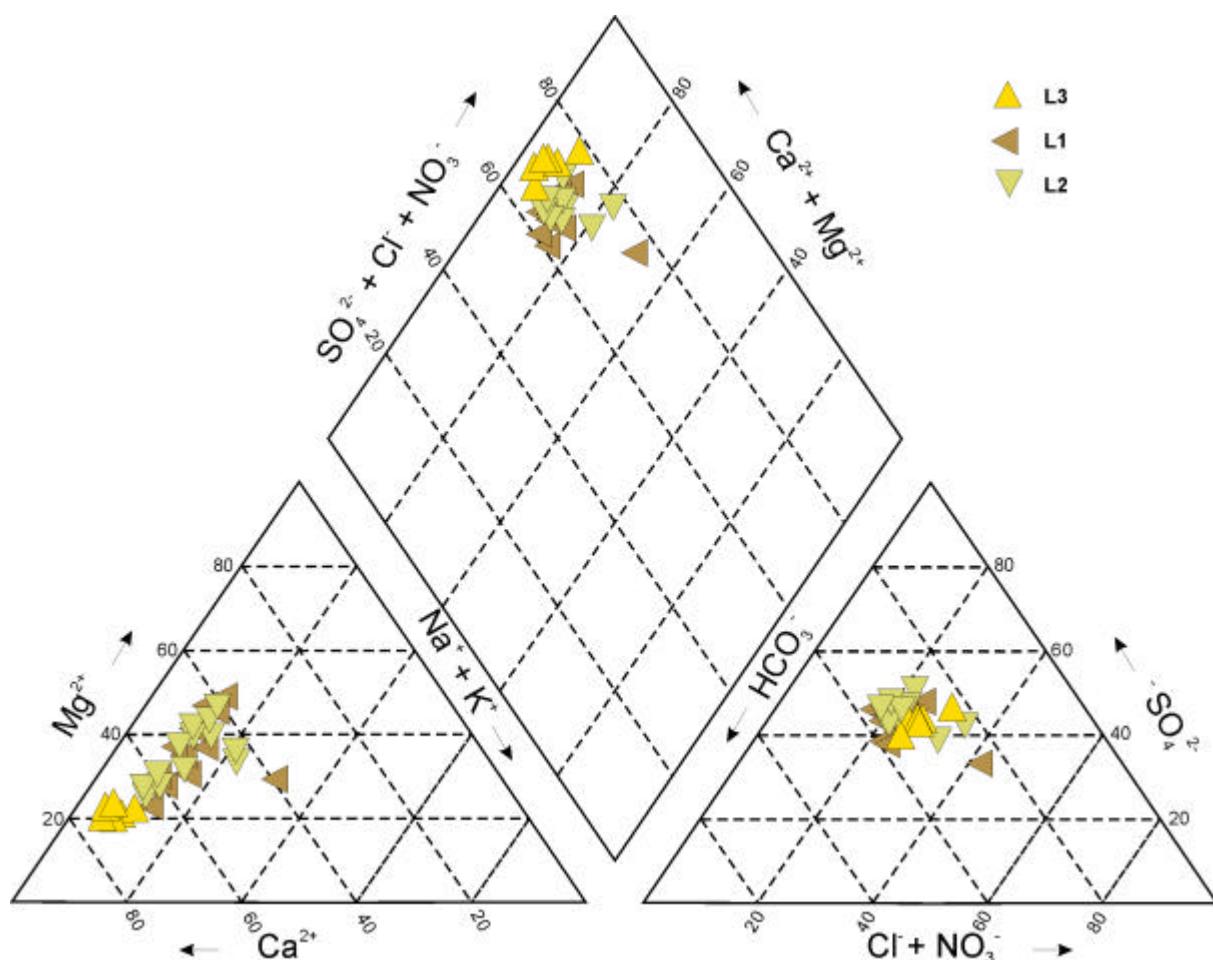


Abb. 66: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 2, entlang der Fließstrecke L3 bis L2 im Lammsbach im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).

Die errechneten Variationskoeffizienten betragen für die Haupthonenbestandteile unter 20 %, was auf relativ konstante hydrochemische Verhältnisse, besonders im beprobten Quellwasser L3, an gelösten Inhaltsstoffe hinweist. Die Variationskoeffizienten nehmen in den temporären Vorflutermessstellen L1 und L2 zu. Gering konzentrierte Elemente (Spurenstoffe) weisen Variationskoeffizienten über 90 % auf (Tab. 23).

Im Piper-Diagramm zeigt sich im Kationendreieck eine Entwicklung von einem Wasser mit hohen Ca^{2+} -Anteilen (L3) welches entlang der 960 m langen Fließstrecke zunehmend von Mg^{2+} - Anteilen dominiert wird (Abb. 66). SO_4^{2-} , HCO_3^- und Cl^- und NO_3^- -Anteile sind in

den meisten Messungen mit nahezu gleichen Anteilen im Wasser als Hauptionen vertreten. Das Wasser in der Quellregion ist als Ca-SO₄-HCO₃-Wassertyp klassifiziert. Das Wasser in den Messstellen L1 und L2 weist Ausprägungen als Ca-Mg SO₄-HCO₃⁻, z.T. als Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Wassertyp auf.

Wasserbeschaffenheit im Lammsbach

Physikochemische Parameter

Die mittleren elektrischen Leitfähigkeiten nehmen von der Quellregion bis in die Mündung in den Gessenbach von 780 auf 960 µS/cm um ca. 20% zu (Abb. 67). Die elektrische Leitfähigkeit korreliert signifikant mit den Hauptinhaltsstoffen. Die Gesamtmineralisation ist relativ gering und repräsentiert einen vom Bergbau unbeeinflussten Vorfluter. Die pH-Werte in den Messstellen im Unterlauf des Lammsbaches (L1, L2) besitzen leicht alkalische Werte um 8. Die Quellregion L3 weist mit 6,9 geringere mittlere pH-Werte auf, die nur geringen Schwankungen unterliegen. Die E_H-Werte befinden sich zwischen 390 und 340 mV und zeigen oxidierende Bedingungen (Abb. 67). Die Temperaturschwankungen sind in der Quellregion am geringsten. Die Wassertemperaturen betragen im Jahresverlauf zwischen 9 und 10°C (Tab. 23).

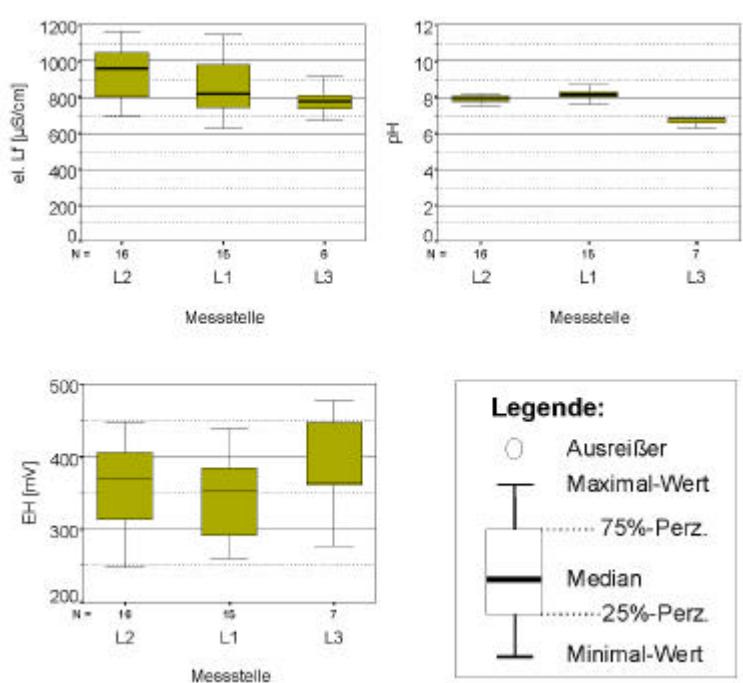


Abb. 67: Box und whiskers-Darstellungen der physikochemischen Parameter im Lammsbach (Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen).

Haupkationen

Ca^{2+} bildet das Hauptkation der Quellmessstelle L3 im Lammsbach (L3), wobei die mittleren Gehalte 120 mg/l betragen. Die hier vermutlich existierende Überlaufquelle weist neben geogen erhöhten Ca^{2+} -Gehalten infolge der CaCO_3 -haltigen Gesteine (devonische Kalkknotenschiefer und Lässer) vermutlich auch anthropogen verursachte landwirtschaftliche Ca^{2+} -Einträge auf. Ca^{2+} wird entlang der Fließstrecke im Lammsbach bis zur Messstelle L2 durch zufließendes Grund und Oberflächenwasser verdünnt. Die Mg^{2+} -Konzentrationen sind in der Quellregion am geringsten und nehmen entlang der Fließstrecke im Mittel auf über 40 mg/l zu. Maximalgehalte sind am 14.04.98 sowie am 02. und 18.03.99 während höherer niederschlagsbedingter Schüttungen mit über 50 mg/l bestimmt worden (Anhang 5, Abb. 25). Quelle für Mg^{2+} -Einträge bilden zum einen Zuflüsse aus dem Stadtgebiet von Naulitz (vgl. Abb. 10), zum anderen ein Zustrom oberflächennahen Grundwassers aus den östlichen Quellregionen des Lammsbaches (vgl. Abschnitt 4.4). Die Sr^{2+} -Gehalte betragen ca. 240 $\mu\text{g/l}$. Ein zusätzlicher Eintrag entlang der Fließstrecke ist nicht feststellbar. Die mittleren Ba^{2+} -Konzentrationen betragen zwischen 20 und 40 $\mu\text{g/l}$.

Na^+ - und K^+ -Konzentrationen nehmen im Lammsbach von der Quellregion bis zur Mündung in den Gessenbach im Mittel von 12 auf 25 mg/l bzw. von 1 auf 7 mg/l signifikant zu. Die Zunahme findet vor der Messstelle L1 bei ca. 470 m Fließstrecke statt und ist ähnlich der Erdalkalien auf anthropogene und geogene Quellen zurückzuführen. Gute Korrelationen mit den übrigen Hauptionen zeigen eine gemeinsame Eintragsquelle an.

Fe_{ges} ist mit mittleren Konzentrationen von 0,02 mg/l (L3) bis 0,1 mg/l (L2) nur untergeordnet im Quell- und Oberflächenwasser vertreten. Eisenhydroxidausfällungen entlang des Lammsbaches (z.B. bei Messstelle G1) weisen auf den Zustrom eines geogen bedingten relativ Fe-reichen Grundwassers im Lammsbachtal hin.

Die NH_4^+ -Werte betragen im Mittel unter 0,3 mg/l. In der Quellregion liegen die Werte größtenteils unter der Nachweisgrenze und nehmen entlang der Fließstrecke zu.

Die mittleren Silizium-Gehalte im Quellwasser übersteigen mit 4,7 mg/l die Gehalte im Vorfluter von ca. 4 mg/l (L1, L2). Silizium stammt aus Prozessen bei Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen innerhalb des Grundwasserleiters im Einzugsgebiet der Quelle.

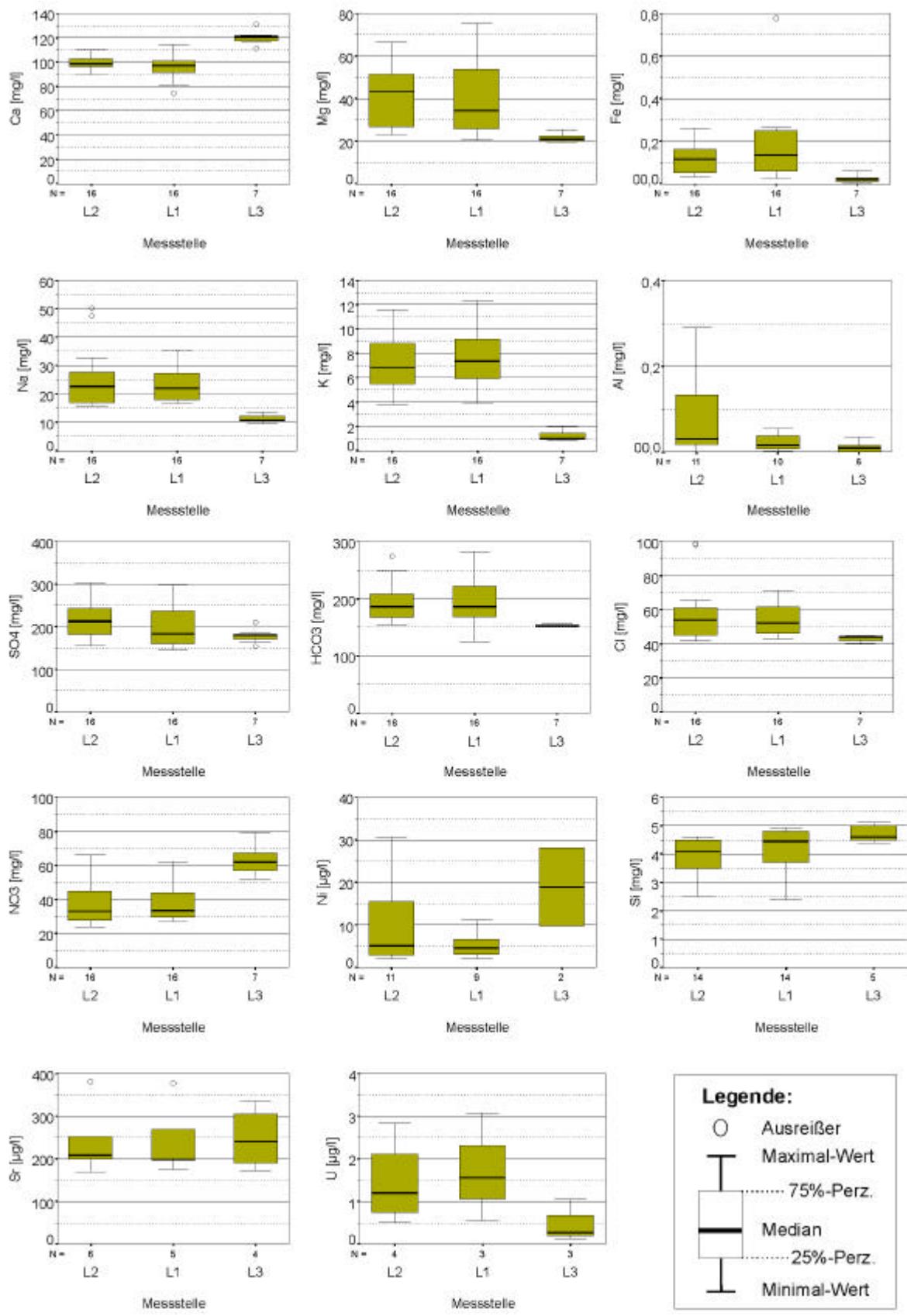


Abb. 68: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkationen und -anionen sowie ausgewählter Spurenelemente im Lammsbach. Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.

Hauptanionen

Hauptanionen bilden SO_4^{2-} , HCO_3^- und untergeordnet Cl^- und NO_3^- (Abb. 68). Die mittleren SO_4^{2-} -Konzentrationen nehmen von der Quelle L3 (180 mg/l) bis zur Mündung (L2) (220 mg/l) zu. Maximalwerte treten im Sommer 1998 sowie während hoher Schüttungen auf, Minimalwerte im Sommer 1998. Die SO_4^{2-} -Gehalte übersteigen in geringem Maß die in Abschnitt 5.1.1 beschriebenen natürlichen Hintergrundkonzentrationen, was auf die Lösung von CaSO_4 -haltigen Gesteinen zurückzuführen ist.

Mittlere HCO_3^- -Konzentrationen zwischen 150 mg/l (L3) und 200 mg/l (L1, L2) repräsentieren die Lösung von CaCO_3 (z.B. aus Löss und paläozoischen Kalksteinen, S₂, D₃). Zudem steht das Grundwasser im Gleichgewicht mit den CO₂-Partialdrücken der Gasphase. Cl^- ist im Mittel mit 45 mg/l im Quellwasser mit ca. 60 mg/l an den Messstellen L1 und L2 bestimmt worden. Die Quellregion zeigt somit die regionalen Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser an. Die Zunahme um ca. 30 % ist auf Zuflüsse von Oberflächenwasser zurückzuführen.

Die NO_3^- -Konzentrationen liegen im Mittel bei 60 mg/l in der Messstelle L3, bei Werten von ca. 40 mg/l in den Messstellen L1 und L2. Die höheren NO_3^- -Werte haben ihren Ursprung in der landwirtschaftlichen Nutzung des Einzugsgebietes der Quellregion des Lammsbaches.

Die Phosphatgehalte betragen unter 0,3 mg/l und nehmen ebenfalls im Unterlauf des Lammsbaches (L1, L2) zu.

Weitere Inhaltsstoffe

In Tab. 23 sowie in Anhang 5 sind die gemessenen Spurenelemente aufgeführt. Die Mn_{ges}- sowie die Al_{ges}-Konzentrationen weisen größtenteils Konzentrationen unter 0,1 mg/l auf. Die Nickel-Konzentrationen betragen unter 20 µg/l, die mittleren Urankonzentrationen unter 2 µg/l. Die Kupfer-Gehalte liegen unter 10 µg/l.

8.4. Oberflächennahes Grundwasser im E-Gessental

Das oberflächennahe Grundwasser im E-Gessental wurde im Sommer 2000 während eines Bohrprogramms beprobt. Es wurden fünf Bohrungen temporär mit Grundwassermessstellen ausgebaut (02, 4, 80, 95, 117 vgl. Abb. 10, Abb. 38). In drei Messstellen davon (außer 95 und 117) konnten mindesten vier Proben entnommen werden. Die übrigen Grundwassermessstellen wurden z.T. direkt im Bohrloch mittels einer Schlauchpumpe beprobt (vgl. Abschnitt 3.5). Hierbei konnten z.T. nur eine bzw. zwei Grundwasserproben gewonnen werden.

Innerhalb des bergbaubedingten Grundwasserabsenkungstrichters wurden in den Grundwassermessstellen 80, 117 und 145 schwebende Grundwasservorkommen innerhalb, bzw. an der Basis der Talsedimente beprobt (Typ 1). Außerhalb und im Randbereich des bergbaubedingten Absenkungstrichters konnten Grundwasserleiter innerhalb der Talsedimente beprobt werden (Typ 2). Ausgewählte hydrochemische Messdaten der Grundwasseranalysen sind in Tab. 28 sowie in Anhang 5 aufgeführt.

8.4.1. Übersicht und Klassifikation, Grundwasser Typ 1

In den Messstellen 80, 117, 145 sowie in den Schürfen 1880/55 und 4222/59 (zwei Einzelproben) wurden insgesamt 11 Proben entnommen, die in Abb. 69 dargestellt und in Tab. 28 und im Anhang 5 detailliert aufgelistet sind. Die Lage im Kationendreieck des Piper-Diagramms wird durch die Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Anteile definiert. Im Anionendreieck zeigt SO_4^{2-} den höchsten relativen Anteil. Das Grundwasser des Typ 1 kann als ein Mg-Ca-SO₄-Typ klassifiziert werden. Die Variationskoeffizienten wurden nur für die Messstelle 80 bestimmt (Tab. 28). Die Variationskoeffizienten liegen i.A. unter 20 %. Für einzelne Stoffe, z.B. Fe_{ges} , NH_4^+ und U_{ges} betragen sie über 80%, was u.a. durch die relativ geringe Messwertanzahl begründet ist.

Wasserbeschaffenheit im Grundwasser, Typ 1

Physikochemische Parameter

Die pH-Werte im oberflächennahen Grundwasserleiter im Bereich des Absenkungstrichters zeigen neutrale (117, 145) und saure Werte (80: 5,6). Die beiden in temporären Schürfen entnommenen Einzelproben zeigen saure pH-Werte von 5,7 (1880/55) bzw. 4,55 (4222/59). Die elektrischen Leitfähigkeiten betragen in Messstelle 80 im Mittel 1880, in den Messstellen 117 und 145 3.500 $\mu S/cm$ bzw. 4.570 $\mu S/cm$. In den Schürfen besitzen die elektr. Leitfähigkeiten ca. 5.000 $\mu S/cm$. Die E_H -Werte sind oxidierend, die höchsten Werte sind im Schurf 4222/59 mit ca. 500 ± 50 mV, die niedrigsten in Messstelle 145 mit ca. 200 ± 50 mV festzustellen. Die Sauerstoffgehalte sind gering und betragen zwischen 5 mg/l (80) und 0,7 mg/l(117). Die saueren pH-Werte und die hohe Gesamtmineralisation in den Schürfen sind Indize für ein in die Talsedimente infiltrierendes saures Haldensickerwasser (Tab. 28). Das Wasser der Messstelle 80 zeigt ebenfalls niedrige pH-Werte und hohe Gesamtmineralisation, was auf einströmendes Haldensickerwasser, bzw. auf evtl. versickerndes mineralisiertes Bachwasser zurückzuführen ist.

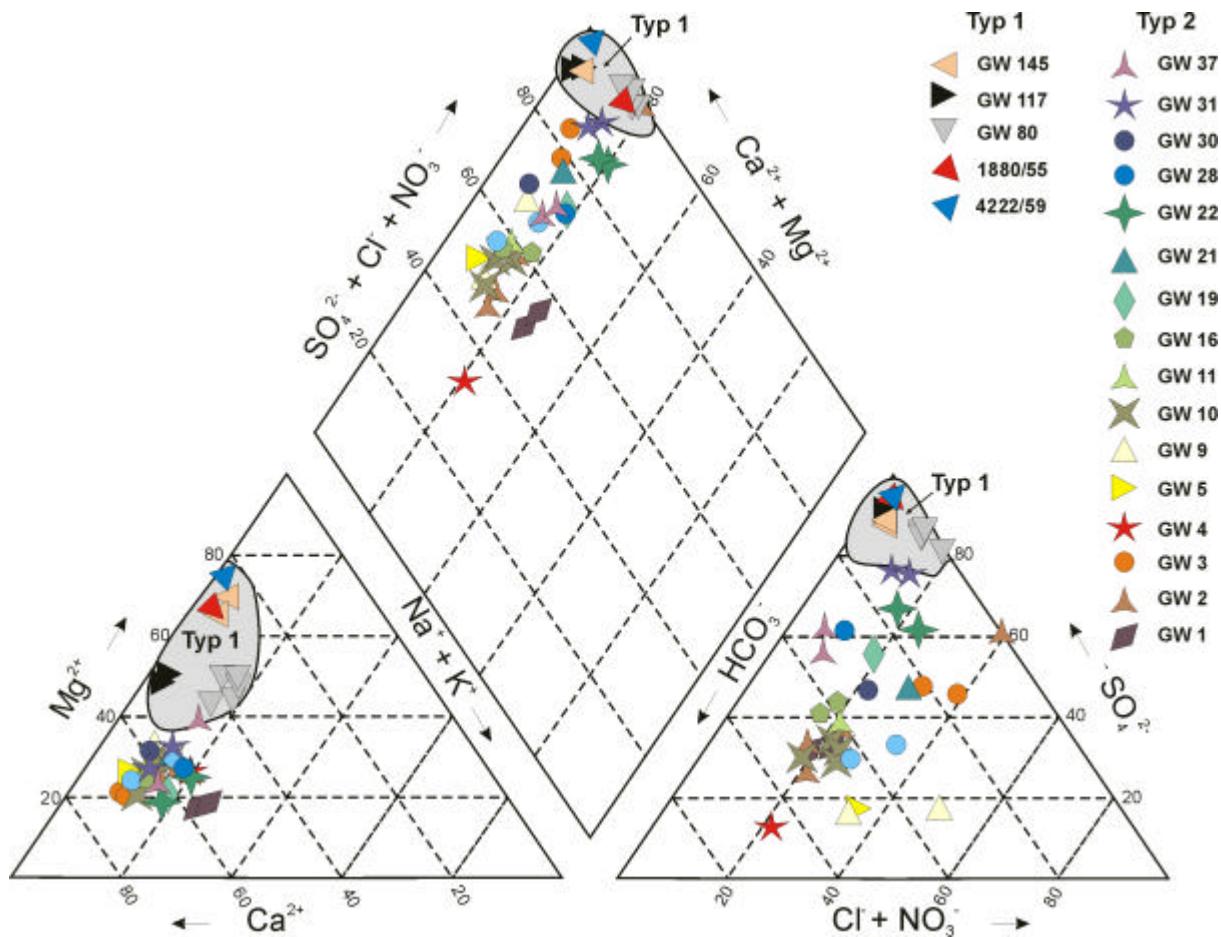


Abb. 69: Ionenverhältnisse im oberflächennahen Grundwasser (GW) und Schürfen (1880/55, 4222/59) im Gessental im Piper-Diagramm. Deutlich werden die unterschiedlichen Grundwassertypen: Typ 1 im Bergbaueinfluss und der variable Typ 2 außerhalb des direkten Bergbaueinflusses (Lage der Messstellen s. Abb. 38).

Das Wasser in den Messstellen 117 und 145 unterscheidet sich durch die neutralen bis leicht saueren pH-Werte von den übrigen Messstellen. In diesem Bereich der Nordhalde liegt vermutlich ein anderer Sickerwassertyp vor, u.U. finden im Talsediment durch höhere CaCO_3 -Gehalte Pufferreaktionen statt.

Hauptkationen

Die Erdalkalien Mg^{2+} sowie Ca^{2+} sind mit über 90 meq% als Hauptbestandteile im oberflächennahen Grundwasser vertreten (Anhang 5, Tab. 28). Die Mg^{2+} -Konzentrationen liegen in den Messstellen 117 und 145 bei 350 mg/l bzw. 580 mg/l. In Messstelle 80 betragen die Mg^{2+} -Gehalte zwischen 100 und 150 mg/l. Die Schürfe weisen mit 600 ± 30 (1880/55) bzw. 830 ± 41 mg/l (4222/59) relativ hohe Gehalte an Mg^{2+} auf. Die Ca^{2+} -Gehalte der Messstellen 117 und 145 betragen 550 ± 27 mg/l bzw. 380 ± 19 mg/l und liegen damit in ähnlicher Größenordnung wie die Proben in den Schürfen. Messstelle 80 ist mit 150 mg/l Ca^{2+} geringer konzentriert. Ba^{2+} und Sr^{2+} -Konzentrationen wurden nur in der Probe des Schurfes 1880/55

bestimmt und betrugen hier 110 µg/l bzw. 660 µg/l. Vermutlich stammen die hohen Gehalte an Erdalkalien aus dem Sickerwasser der Nordhalde. Eine anteilige Versickerung des Gessenbaches oberstromig der Messstelle 80 ist nicht auszuschließen.

Na⁺-Konzentrationen betragen in den Grundwassermessstellen und den Schürfen zwischen 60 und 7 mg/l, die K⁺-Gehalte zwischen 1 und 13 mg/l. Die Fe_{ges}-Gehalte der Messstellen 80 und 117 und im Schurf 4222/59 betragen unter 7 mg/l. In der Grundwassermessstelle 145 wurden mit $86 \pm 4,3$ mg/l, im Schurf 1880/55 310 ± 16 mg/l relativ hohe Eisenkonzentrationen bestimmt. Die Quelle für die hohen Eisenwerte in den letztgenannten Proben sind Pyritverwitterungsprozesse der Nordhalde. Die Gehalte an Eisen liegen unter den an der Sickerwassermessstelle Q4 (Abschnitt 8.1) ermittelten Konzentrationen, was auf Pufferreaktionen im Talsediment deutet. Dafür sprechen auch die relativ hohen Mn_{ges}-Werte mit 17 bzw. 66 mg/l. Silizium kommt in Konzentrationen von 7 mg/l in der Messstelle 80 und im Schurf 4222/59 vor. Im Schurf 1880/55 wurden über $17 \pm 0,8$ mg/l bestimmt.

Hauptanionen

Als Hauptanion ist SO₄²⁻ mit über 80, z.T. über 90 meq% in den Grundwasserproben im oberflächennahen Grundwasser im Bereich des Absenkungstrichters enthalten. Die Gehalte an SO₄²⁻ betragen in den Messstellen 145 und 117 über 2600 mg/l, im Wasser der Schürfe 1880/55 und 4222/59 über 4100 mg/l. Nur in den Proben der Bohrung 80 wurden im Mittel mit 880 geringere SO₄²⁻-Konzentrationen festgestellt. Es ist zu vermuten, dass die Sulfatgehalte aus Prozessen der Pyritverwitterung stammen. Die in den übrigen Messstellen nur untergeordnet auftretenden HCO₃⁻-Konzentrationen sind in Messstelle 145 mit 245 ± 13 mg/l am höchsten. In diesem Bereich tritt vermutlich Sickerwasser aus der Nordhalde in die Talsedimente ein, welches Ca²⁺-und HCO₃⁻-reicher ist. Evtl. spielen hier Pufferreaktionen mit CaCO₃-haltigen Talsedimenten eine Rolle. Cl kommt in Konzentrationen von 85 mg/l, NO₃⁻ in Konzentrationen von ca. 20 mg/l in Messstelle 80 vor. Die höchsten Nitratgehalte zeigt die Probe im Schurf 4222/59 mit 92 ± 5 mg/l.

Weitere Inhaltsstoffe

Weitere Inhaltsstoffe im Grundwasser im Bereich des Absenkungstrichters sind Zn, U_{ges}, Ni und Cu (Tab. 28, Anhang 5). Die höchsten Gehalte weisen hierbei Ni mit ca. 3 mg/l im Wasser des Schurfs 4222/59 vor. In dieser Probe beträgt die Cu-Konzentration ca. 100 µg/l. Höhere Zn-Gehalte weist mit über 5 mg/l das Wasser in der Messstelle 80 auf. Die übrigen Proben zeigen Ni im µg/l-Bereich, z.T. unterhalb der Nachweisgrenze sowie Zn-Gehalte unter 1 mg/l. Die Urangehalte in den Grundwassermessstellen liegen unter 1 µg/l.

Tab. 28: Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und Inhaltsstoffe im oberflächennahen Grundwasser des E-Gessentals in ausgewählten Messstellen (el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit, Lage der Grundwassermessstellen vgl. Abb. 38).

Messpunkt	el. Lf. [µS/cm]	pH	E_H [mV]	O_2 [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{2+} [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	Fe_{ges} [mg/l]	Mn^{2+} [mg/l]	NH_4^+ [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{2-} [mg/l]	HCO_3^- [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2^- [mg/l]	Zn^{2+} [mg/l]	Si [mg/l]	U_{ges} [µg/l]	
TYP 2																				
1	Mittelwert \bar{x}	1.438	6,6	227	2,6	61	1,5	121,7	23,1	11,6	5,2	0,9	79,2	181	325	5,5	-	0,07	4,5	0,03
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	1	1	1
2	Mittelwert \bar{x}	1.013	7,0	216	2,8	22	2,3	72,8	21,3	6,8	2,2	0,7	47,9	106	2,06	1	0,02	0,2	3,8	0,002
	Anzahl n	5	4	5	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	2	2	2	2	2
	Var.koeff. [%]	37,9	3,1	17,3	69,2	12,4	15,9	15,9	11,3	144,2	14,4	25,6	13,1	25,5	17,8	0,0	39,5	58,9	1,3	20,0
3	Mittelwert \bar{x}	998	6,5	237	3,5	16	2,3	110,0	21,4	1,8	2,6	0,4	99,3	190	94,6	15	-	0,09	4,2	0,003
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	-	1	1	1
9	Mittelwert \bar{x}	619	7,0	234	0,6	11	2,2	61,8	20,2	0,8	1,1	0,4	51,9	44	137	45,5	0,04	0,2	4,3	0,007
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
10	Mittelwert \bar{x}	637	7,0	238	1,8	12	1,7	61,7	15,8	7,4	2,5	1,4	43,5	81	156	1	0,02	0,2	3,8	0,006
	Anzahl n	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	4	5	5	3	1	2	3	2	2
	Var.koeff. [%]	24,9	3,5	50,5	120,3	4,7	38,8	12,9	9,3	110,9	12,1	19,8	3,4	8,8	16,2	-	37,5	101,6	17,3	23,1
16	Mittelwert \bar{x}	840	6,8	211	0,8	13	3,2	63,8	17,4	7,4	1,3	1,9	35,4	122	145,4	2	0,08	40	4,5	-
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	-
22	Mittelwert \bar{x}	764	6,0	228	3,3	18	1,8	56,0	13,0	1,8	11,7	0,8	26,6	163	43,9	18	0,08	0,2	5,1	0,02
	Anzahl n	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
23	Mittelwert \bar{x}	916	7,0	249	2,2	13,8	3,1	77,3	21,2	0,01	6,2	0,7	43,4	98	153,6	48,5	0,2	0,1	2	0,01
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1
31	Mittelwert \bar{x}	1.277	6,7	210	2,0	42,7	3,9	198,2	60,3	18	6,9	3,2	84,2	658	122,5	1	0,02	0,1	6,7	0,01
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
37	Mittelwert \bar{x}	783	6,7	244	3,6	13,5	3,2	53,0	18,3	0,06	0,8	0,5	13,2	141	98,8	1	0,01	0,1	5	0,03
	Anzahl n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
TYP 1																				
80	Mittelwert \bar{x}	1.803	5,6	346	5,0	61,0	13,8	150,3	119,4	6,7	5,5	3,1	85,4	882	13,3	21,0	0,1	5,5	7,0	0,007
	Anzahl n	5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	4	4	3	2
	Var.koeff. [%]	13,1	14,9	40,0	30,7	9,1	16,6	22,6	14,7	87,2	10,6	57,9	11,2	16,9	23,0	7,8	58,0	83,4	23,2	85,7
117	Mittelwert \bar{x}	3.510	6,8	342	0,7	21,4	10,0	557,4	355,2	3,8	n.b.	n.b.	26,6	2632	249	n.b.	n.b.	0,8	2,6	n.b.
	Anzahl n	2	2	2	1	3	3	2	3	3	n.b.	n.b.	3	2	1	n.b.	n.b.	2	1	n.b.
145	Mittelwert \bar{x}	4.570	6,8	192	2,6	49,0	6,2	376,5	578,9	85,9	17,7	7,6	114,7	3112	267	2	0,01	0,03	3,7	0,009
	Anzahl n	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1
1880/55	Mittelwert \bar{x}	4.870	5,7	208	2,4	7,8	1,5	576,9	570,7	311	66,6	19,2	4,6	4150	63,2	3	<0,3	0,04	17	n.b.
	Anzahl n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	n.b.
4222/59	Mittelwert \bar{x}	5.210	4,6	496	0	14,1	2,8	446,8	826,6	0,13	3,6	0,3	17,0	4600	8,9	92	0,019	0,72	7,6	n.b.
	Anzahl n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	n.b.

8.4.2. Übersicht und Klassifikation, Grundwasser Typ 2

Oberflächennahes Grundwasser konnte aus sechzehn, größtenteils temporären Messstellen in den Talsedimenten des Gessentals gewonnen werden (Abschnitt 3.5, Abb. 38, Abb. 69). Es handelt sich hierbei außer für die Grundwassermessstellen 02 sowie 10 um Einzel- bzw. Doppelproben, welche im Juni bis August 2000 entnommen wurden. Aus diesem Grund sind nur tendenzielle Aussagen zur Grundwasserbeschaffenheit am Zeitpunkt der Probenahme gestattet. Für räumlich und zeitlich abgesicherte Untersuchungen, wäre ein höherer Probenumfang nötig. Die Messwerte der gesamten Wasserproben sowie Variationskoeffizienten der Grundwassermessstellen 10 und 2 sind in Tab. 28 sowie in Anhang 5 aufgeführt. Die relativ hohen Variationskoeffizienten für einzelne Elemente werden durch die geringe Messwertanzahl verursacht.

Die Lage der Wasserproben im Piper-Diagramm zeigt variable Zusammensetzungen. Während im Kationendreieck sämtliche Wasserproben durch hohe Ca^{2+} - und vereinzelt durch Mg^{2+} -Anteile charakterisiert werden, zeigen sich im Anionendreieck schwankende SO_4^{2-} - bzw. HCO_3^- -Anteile. Zudem sind bei einzelnen Proben relativ hohe Anteile an Cl^- und NO_3^- zu verzeichnen. Als Wassertypen kommen $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{HCO}_3-\text{SO}_4$ und $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$ z.T. $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{Cl}-\text{NO}_3$ nebeneinander vor.

Wasserbeschaffenheit im Grundwasser, Typ 2

Physikochemische Parameter

Die physikochemischen Parameter der Wasserproben sind in Tab. 28 dargestellt. Die elektrischen Leitfähigkeiten schwanken zwischen 1.440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (01) und 619 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (9). Die pH-Werte liegen zwischen 7 und 6. Die E_H -Werte betragen 210 bis 250 mV und zeigen oxidierende Bedingungen an. O_2 -Gehalte wurden mit Schwankungen zwischen 0,6 bis 3,6 mg/l ermittelt.

Hauptionen

Die Hauptkationen- und anionengehalte wurden mit Ausnahme in den Messstellen 2 und 10, mit ein bis zwei Stichproben pro Messstelle im Sommer 2000 bestimmt. Für die Messstellen 10 und 02 liegen vier Werte der hydrochemischen Zusammensetzung vor. Die Grundwasserfließrichtung ist in Richtung des Vorfluters Gessenbach gerichtet (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Die temporäre Messstelle 31 weist neben relativ hohen Leitfähigkeiten die höchsten Gehalte der Parameter Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe_{ges} , Mn_{ges} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , und HCO_3^- auf. Es ist zu vermuten,

dass in diese Messstelle im Sommer 2000 Bachwasser aus dem Gessenbach infiltriert und sich zeitweise influente Verhältnisse ausbilden. Die hohen Mg^{2+} - und SO_4^{2-} -Anteile der Messstelle 37 am Rand des Absenkungstrichters zeigen ebenfalls den Einfluss von Vorfluterwasser an. Ob die hohen Na^+ - und erhöhten Cl^- -Werte innerhalb der Messstelle 1 durch die nahe Straße bedingt sind, ist nicht zu klären.

Die überwiegende Zahl der Grundwassermessstellen weist Ca^{2+} -Gehalte von 60 bis 70 mg/l auf. Die HCO_3^- -Gehalte in den Messstellen 16, 13 und 3 betragen über 100 mg/l bei gleichzeitig hohen Ca^{2+} -Werten und zeigen somit den Einfluss kalkhaltigen Aquifermaterials, bzw. kalkhaltiger Bodensubstrate. Im Wasser der Messstellen 10, 2, 3 sind die SO_4^{2-} -sowie die Ca^{2+} -Gehalte erhöht (80 bis 180 mg/l). Ob hier zeitweise influente Bedingungen oder andere Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen auftreten, ist aufgrund der geringen Stichprobenanzahl nicht entscheidbar. Die Messstelle 9 zeigt neben der geringen Gesamtmineralisation relativ hohe Gehalte an NO_3^- ($45,5 \pm 2,2$ mg/l).

Insgesamt weist der Talgrundwasserleiter eine uneinheitliche Wasserbeschaffenheit auf, welche durch möglicherweise influente Bedingungen, z.T. durch unterschiedlich Einträge bestimmt ist. Ein direkter Einfluss des Bergbaus ist außer bei den Grundwassermessstellen in der Nähe des Vorfluters nicht feststellbar.

8.5. Chemische Klassifizierung

Die in Abschnitt 4.3 angeführte Klassifizierung der Vorfluter hat zu einer hydraulischen Definition der Vorfluterbereiche 1 (Oberlauf des Gessenbaches, Badergraben) und 2 (Unterlauf des Gessenbaches, Lammsbach) geführt. Hauptgesichtspunkt für die Einteilung ist die Abkopplung des Bereichs von den natürlichen hydrogeologischen Systemen und die Beeinflussung der Fließsystem durch saure Grubenabwässer (AMD) sowie durch kommunale und landwirtschaftliche Abwässer. Diese Beeinflussung zeigt sich in der hydrochemischen Klassifizierung der Vorfluter und des Grundwassers (Abb. 70). Für die Vorfluter des **Wassertyps 1** gelten folgende hydrogeochemischen Merkmale:

- Ausbildung eines $Mg\text{-}Ca\text{-}Fe\text{-}SO_4$ -Wassertyps bzw. eines $Mg\text{-}Ca\text{-}SO_4$ -Wassertyps im direkten Bergbaueinflussbereich (Oberlauf des Gessenbaches)
- Auftreten hoher Gesamtmineralisationen mit elektr. Leitfähigkeiten $>1500 \mu S/cm$ und niedrigen pH-Werten (überwiegend <5)
- Ausbildung eines Reaktionsraumes für die Fällung von Eisen, Mangan, Aluminium (Hydr)Oxid-Phasen und $Fe\text{-}SO_4$ -Hydroxidphasen im Vorfluter
- Mitfällungen für Schwermetalle incl. Radionuklide

Das Grundwasser des Typs 1 weist zusätzliche hydrochemische Merkmale auf:

- Geringere Mineralisation und Schwermetallgehalte durch Pufferreaktionen, Ausfällung von Fe_{ges}
- Vorkommen schwebender Grundwasserleiter in der ungesättigten Zone mit deutlichem Haldensickerwassereinfluss und Ausbildung als Mg-Ca-SO₄-Typ
- hydrochemische Beeinflussung durch influente Vorfluterbereiche

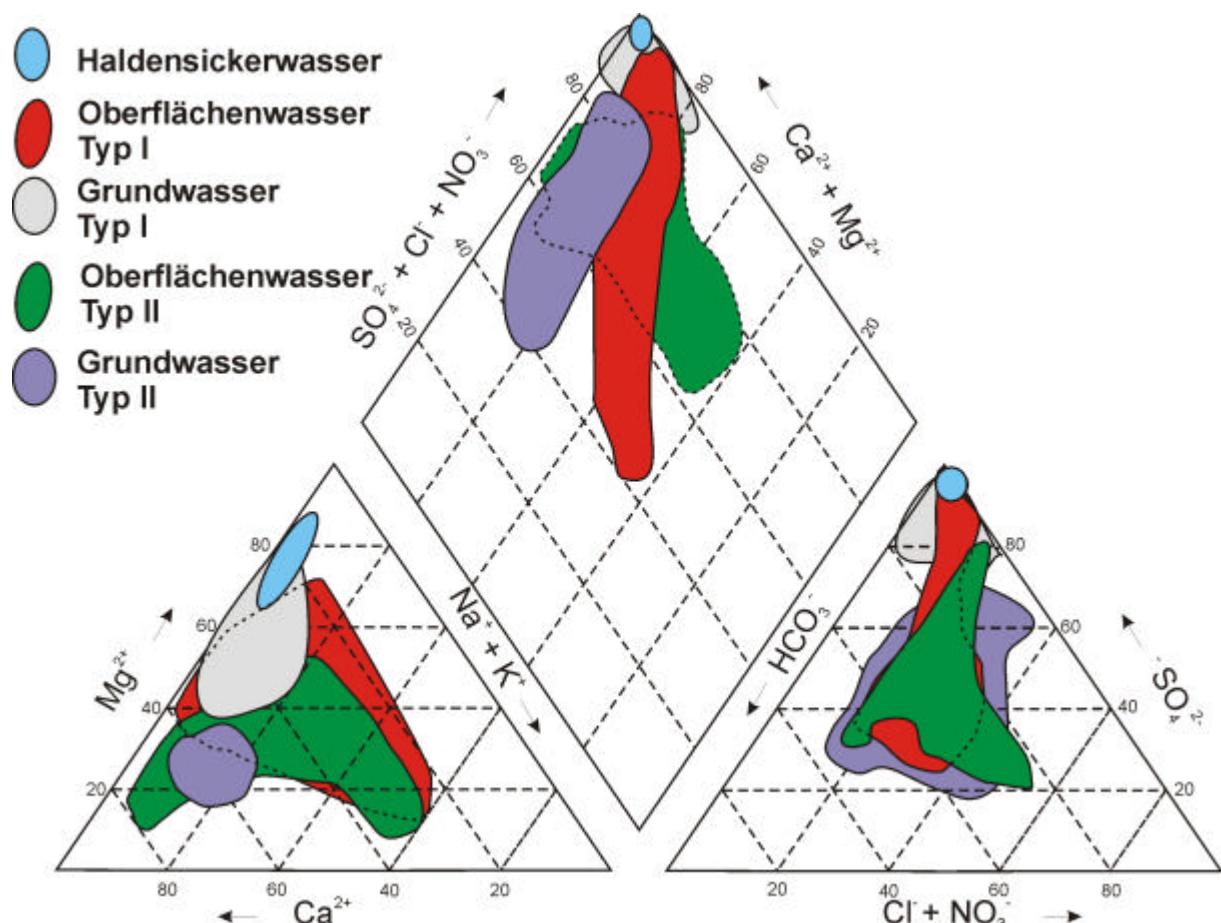


Abb. 70: Schematische Darstellung der im Einzugsgebiet des Gessenbaches auftretenden unterschiedlichen Oberflächen- und Grundwassertypen im Piperdiagramm (Typ I: Oberlauf Gessenbach, Badergraben bzw. Grundwasser im Bereich des bergbaubedingten Absenkungstrichters; Typ II: Unterlauf Gessenbach, Lammsbach bzw. Grundwasser außerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichters).

Der Badergraben und die Messstelle G13 im Oberlauf des Gessenbaches sind nur infolge der hydraulischen Abkopplung vom regionalen Grundwasserregime sowie untergeordnet durch saure Grubenwässer beeinflusst. Besonders der Badergraben zeigt ein deutlich anderes hydrochemisches Verhalten mit alkalischen Wässern und des bei niedrigen Schüttungsmengen ausgebildeten Na-Ca-HCO₃-Cl Wassertyps. Der Zufluss in den Oberlauf des Gessenbaches induziert somit durch die Mischung der beiden Wassertypen

Fällungsreaktionen. Somit beeinflusst der Badergraben die hydrochemische Entwicklung des Oberlaufes des Gessenbaches entscheidend.

Der **Wassertyp II** (Unterlauf des Gessenbaches, Lammsbach) zeigt eine hydrochemisch unterschiedliche Ausbildung infolge des Zustroms natürlichen, geringmineralisierten Grundwassers und variierender Mengen an Kläranlagenwasser. Es ist durch folgende hydrochemische Merkmale gekennzeichnet:

- Ausbildung als Mg-Ca-Na-SO₄-HCO₃- bzw. Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄-Wassertyp
- geringere Gesamtmineralisationen mit elektr. Leitfähigkeiten überwiegend < 1.500 µS/cm und pH-Werten > 5
- geringe Gehalte an Schwermetallen incl. Radionukliden, Hinweise auf Bergbaueinfluss z.B. durch Mn-Konzentrationen
- effluente Bedingungen und Zutritt von natürlichem Grundwasser
- unterschiedlicher dynamischer Einfluss von kommunalen und landwirtschaftlichen Abwässern

Für den Lammsbach gelten zusätzlich:

- Ausbildung als Ca-Mg SO₄-HCO₃-, z.T. als Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Wassertyp
- geringe Gesamtmineralisation mit elektr. Leitfähigkeiten kleiner 1.000 µS/cm und pH-Werten größer 7
- Ausbildung als Vorfluter ohne hydrochemischen Bergbaueinfluss

Für das Grundwasser des Typs 2 gelten tendenziell die gleichen Bedingungen wie für den Vorflutertyp 2, wobei infolge weiterer Quellen, z.B. die Na und Cl-Gehalte erhöht sind.

8.6. Austrag aus dem Untersuchungsgebiet

Im Folgenden wird der gelöste Frachtaustrag über den Vorfluter als wichtigster Pfad aus dem Arbeitsgebiet beispielhaft anhand von Einzeltagen beschrieben. Die Einzeltage repräsentieren den Frachtaustrag für die Hauptelemente Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻ und Fe_{ges} sowie für Ni_{ges} als Beispiel für Schwermetalle über das Oberflächenwasser zu unterschiedlichen Abflusssituationen. Grundlage bildeten die Einzelanalysen sowie die Abflussmessungen an den repräsentativen Stichtagen 19.10.99 (Trockenwetterabfluss), 18.03.99 (Normalabfluss) und 02.03.99 (Hochwasser) aus Abschnitt 4.3 und Abschnitt 8.1 und 8.3. Der Frachtaustrag ist das Produkt aus den gemessenen Stoffkonzentrationen im Wasser und den Schüttungsmengen im Vorfluter und der Zuflüsse.

8.6.1. Gelöster Stoffaustrag während Trockenwetterabfluss im Gessental

Der Frachtaustrag am 19.10.99 wird exemplarisch für eine Trockenwetterabflusssituation vorgestellt und ist in Abb. 71 bis Abb. 75 dargestellt.. Haupteintragsquelle bildet die Messstelle Q4 im nordwestlichen Randbereich der Nordhalde mit 24 kg/h SO_4^{2-} , 3,4 kg/h Fe_{ges} , 1,7 kg/h Mg^{2+} , 1,5 kg/h Ca^{2+} sowie 36 g/h Nickel. Die Frachten an Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} und Ni nehmen im Gessenbach über die Fließstrecke im Haldenbereiches kontinuierlich zu. Die Zunahme der Mg^{2+} -Fracht nach der Haldenpassage demonstriert einen nicht reaktiven (konservativen) Stofftransport im Vorfluter. Ob die Abnahme der Ca^{2+} -Gehalte um mehr als 30% nach dem Zufluss des Badergrabens auf Fehlbestimmungen oder der Fällung von Ca-Mineralphasen zurückzuführen ist, ist nicht eindeutig zu klären. Die Abnahme der SO_4^{2-} -Frachten um ca. 50% nach Zufluss des Badergrabens und insbesondere die Fe_{ges} -Frachten zeigen einen reaktiven Stofftransport. Hierbei wird SO_4^{2-} vermutlich in Schwertmannit und Jarosit eingebaut (Abschnitt 8.2). Die Fe_{ges} -Gehalte nehmen von 3,4 kg/h im Bereich der Nordhalde auf 1 kg/h nach 1000 m Fließstrecke bzw. 0,1 kg/h nach ca. 2000 m Fließstrecke nach der Nordhalde ab, was eine Abnahme um ca. 96% der gelösten Fe_{ges} -Fracht bedeutet. Die im gleichen Bereich erfolgende Abnahme der Ni-Frachten um ca. 75 % sind Folge von (Mit)-Fällungsprozessen. Somit zeigt sich die Ausbildung einer über 2.000 m langen Ausfällungszone Fe_{ges} , Ni und z.T. für SO_4^{2-} während Trockenwetterabflüssen. Diese Zone bildet einen metastabilen Zwischenspeicher für die überwiegend aus der Nordhalde stammenden reaktiven Stoffe.

Dagegen können sich die nicht reaktiv verhaltenden Stoffe (z.B. Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- und z.T. Ca^{2+}) entlang des Vorfluters konservativ bis zur Mündung des Gessenbaches ausbreiten. Die Gesamtstofffrachten nehmen entlang des betrachteten Bereiches des Gessenbaches durch Zuflüsse zu. Quellen sind, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, die Kläranlage Ronneburg sowie untergeordnet der Badergraben. Der Austrag während Trockenwetterbedingungen am 19.10.99 beträgt 3 kg/h Mg^{2+} , 6 kg/h Ca^{2+} und 20 kg/h SO_4^{2-} . Die gemessenen Ni- und Fe-Frachten weisen im Unterlauf des Gessenbaches Werte von ca. 10 g/h auf und sind damit um den Faktor 15 bzw. 100 gegenüber dem quasinatürlichen Hintergrund (Lammsbach) erhöht.

8.6.2. Gelöster Stoffaustrag während Normalabflusses im Gessental

Bei einer Normalabflusssituation am 18.03.99 stellt sich die gelöste Frachtaustragssituation gegenüber der dem Trockenwetterabfluss differenziert dar (Abb. 71 bis Abb. 75). Während die gelöste Stofffracht vor der Nordhalde um den Faktor 10 höher als zur Trockenwettersituation ist, zeigen sich innerhalb der Nordhaldenpassage nur geringfügig

erhöhte Frachten. Für Ca^{2+} beträgt der Zutrag aus dem NW-Bereich der Nordhalde nur die Hälfte. Durch den Zutrag aus der Nordhalde wird die Stofffracht der Erdalkalien und von SO_4^{2-} über die gesamte Fließstrecke erhöht. Ein konservatives Stoffverhalten charakterisiert den Vorfluter unter dieser Abflusssituation. Der durch kommunale Abwässer beeinflusste Badergraben ist an diesem Tag mit ca. 20 bis 25 % der Gesamtfracht an den o.g. Stoffen im Mündungsbereich in den Gessenbach beteiligt. Durch den Zutrag aus der Kläranlage Ronneburg wird die Stofffracht an Ca^{2+} , Mg^{2+} und SO_4^{2-} verdoppelt, durch den Zutrag aus dem Lammsbach noch einmal erhöht. Im Vergleich mit dem Badergraben ist die Stofffracht des Lammsbaches an diesem Tag doppelt so hoch. Die Gesamtstofffracht im Gessenbach beträgt an der letzten Messstelle mit 16 kg/h Ca^{2+} -Fracht ca. 300% mehr, mit 13 kg/h Mg^{2+} - und 77 kg/h SO_4^{2-} -Frachten ca. 400% mehr als bei einer Trockenwettersituation. Mindestens 2/3 der Gesamtfracht stammt zeitweise aus der Kläranlage Ronneburg. Die nicht dargestellten Na^+ - und K^+ -Frachten weisen mit 5,9 kg/h und 1,2 kg/h ein ähnliches Niveau wie zu Trockenwetterabflüssen auf.

Sowohl Fe_{ges} als auch Ni zeigen ein anderes Verhalten. Während die Fe_{ges} -Fracht aus der Nordhalde während des Normalabflusses gering erhöht ist, ist die gelöste Gesamtfracht bis ca. 200 m abstromig der Nordhalde um die Hälfte, ca. 1.000 m nur noch um 10 % niedriger. Die Frachten verringern sich an diesem Stichtag entlang der betrachteten Fließstrecke gering und betragen am letzten Messpunkt 0,6 kg/h. Die Stofffracht ist gegenüber der Trockenwettersituation um 600 bis 700 % erhöht. Die Fe_{ges} -Fracht verringert sich auf der betrachteten Fließstrecke gegenüber dem Oberlauf um ca. 50 %. Während dieser Abflusssituation findet im Gessenbach sowohl für Fe_{ges} als auch für Ni ein erhöhter Austrag statt. Obwohl der Zufluss aus der Nordhalde unverändert ist, erhöht sich die Austragsmenge aus dem Gebiet um ca. 400 % und beträgt 47 g/h. Der Austrag für Mn, Al_{ges} ist an diesem Tag um den Faktor 4, für Cu um den Faktor 2 erhöht. Vermutlich wird infolge der etwas höheren Fließgeschwindigkeit die Ausbildung der o.g. Ausfällungszone verhindert bzw. weiter bachabwärts verschoben.

8.6.3. Gelöster Stoffaustrag während Hochwasser im Gessental

Das am 02.03.99 aufgetretene Hochwasserereignis konnte nur im Unterlauf des Gessenbaches sowie im Badergraben erfasst werden (Abb. 71 bis Abb. 75). Trotzdem lassen sich hierbei Rückschlüsse über den generellen Frachtaustrag ziehen. Die Frachten an Ca^{2+} , Mg^{2+} und SO_4^{2-} zeigen gegenüber dem Normal- und Niedrigwasserabfluss einen Anstieg um 500 % der Ca^{2+} -Fracht, 300 % der Mg^{2+} - und SO_4^{2-} -Frachtanteile. Insgesamt weisen die Austragsmengen am 02.03.99 mit ca. 90 g/h Ca^{2+} , 43 kg/h Mg^{2+} sowie 280 kg/h SO_4^{2-} -Fracht

Maximalwerte auf. Die aus dem Lammsbach zutretenden Anteile an Erdalkalien und Sulfat zeigen ebenfalls Erhöhung um bis zu 500 %, wobei ein großer Teil aus dem östlichen Bereich des Lammsbaches, vermutlich aus der Ortschaft Naulitz, stammt. Die Erhöhung für die Alkalien Na^+ und K^+ beträgt 800 bzw. 700 %. Die Ni-Frachten zeigen am 02.03.99 eine Erhöhung um 1.000 % und betragen ca. 0,1 kg/h. Der Frachtanteil für gelöstes Fe_{ges} weist bei der betrachteten Hochwassersituation einen gegenläufigen Trend und ist gegenüber der Normalabflusssituation um den Faktor 10 niedriger. Der gelöste Austrag beträgt 70 g/h, in einer Messung vor dem Zutritt des Lammsbaches ca. 100 g/h. Der Anteil der gelösten Eisenfracht aus dem Lammsbach ist an diesem Tag vergleichbar mit den o.g. Stoffen um den Faktor 7 erhöht. Da keine Messungen im Oberlauf erfolgten, kann ein geringerer Zutritt an Fe_{ges} als zu den o.g. Situationen aus dem Bereich der Nordhalde nicht ausgeschlossen werden. Weitere Gründe für eine Erniedrigung des Austrags über die gelösten Anteile könnte ein in dieser Arbeit nicht betrachteter erhöhter Austrag von Fe_{ges} über die partikuläre Fracht im Gessenbach sein. Vermutlich wurde die ablaufende Hochwasserwelle beprobt, wobei ein Austragspeak aus dem Gessenbach schon stattgefunden hat. Eventuell treten dem Gessenbach sehr hohe Anteile an Fe-armen Regenwasser über den Badergraben und die Kläranlage Ronneburg zu. Für eine Klärung des Einflusses von Hochwassersituationen im Gessenbach für den Stoffaustrag müssen weitere Untersuchungen folgen.

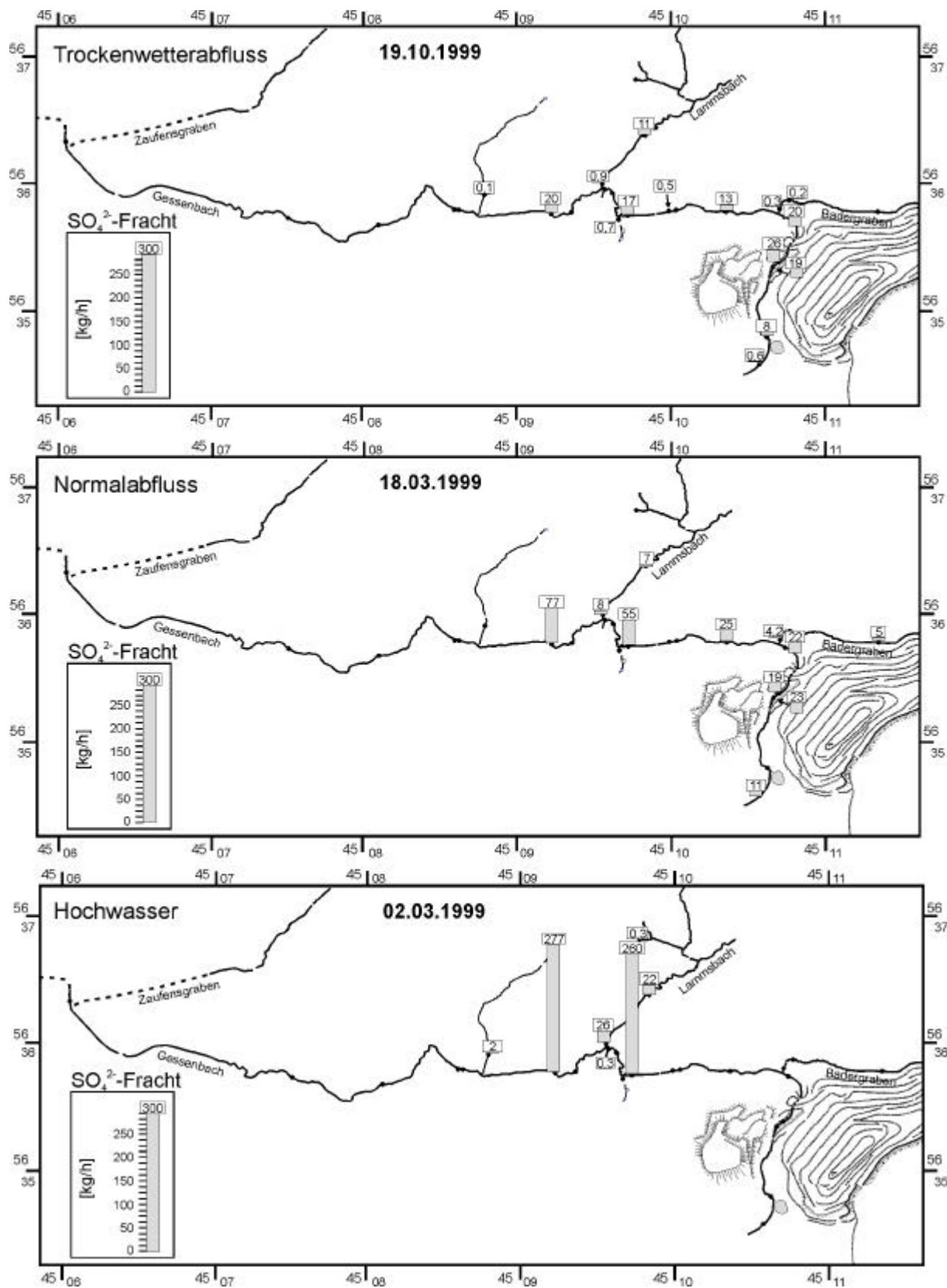


Abb. 71: Gelöste SO_4^{2-} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.

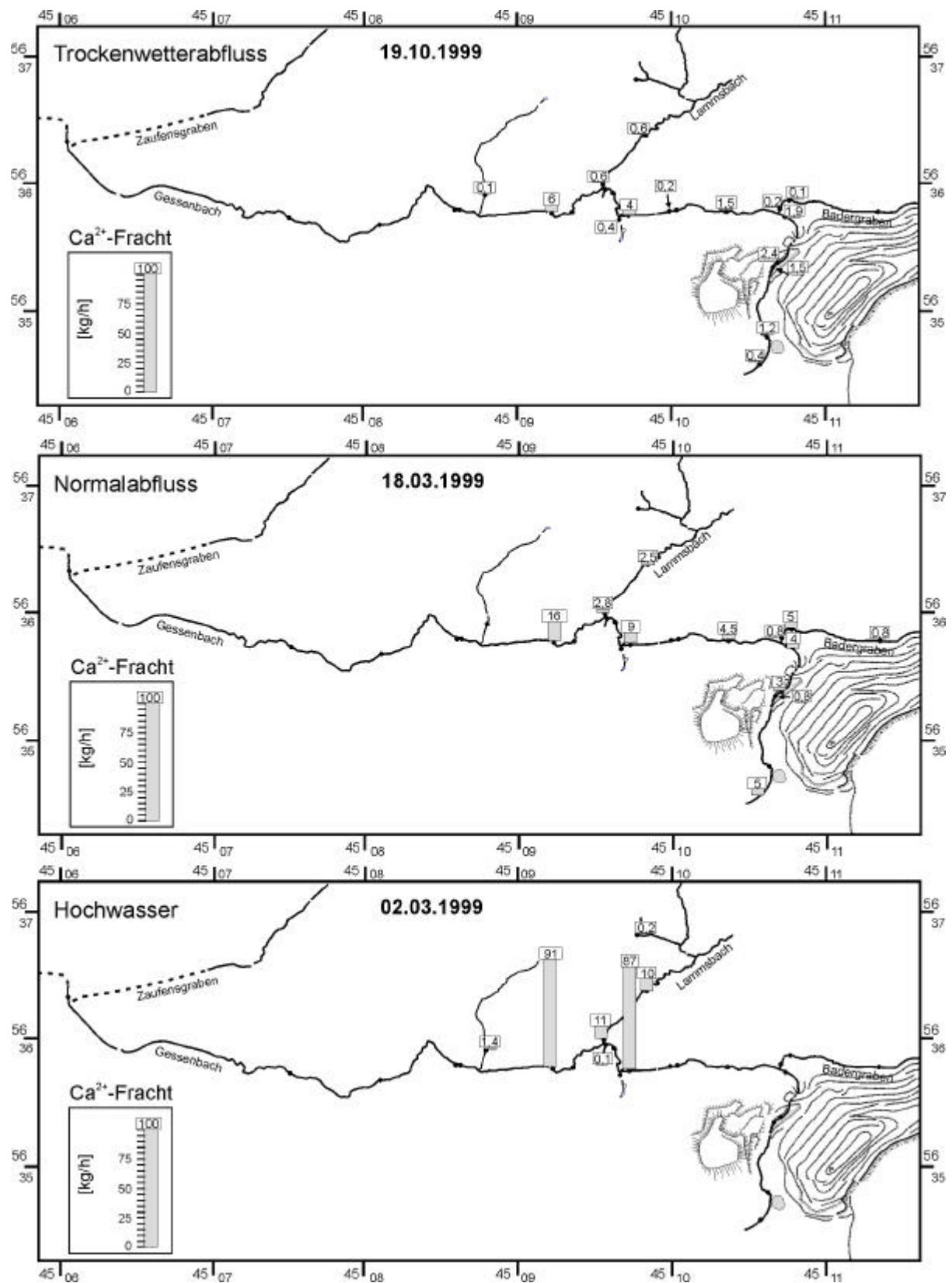


Abb. 72: Gelöste Ca^{2+} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.

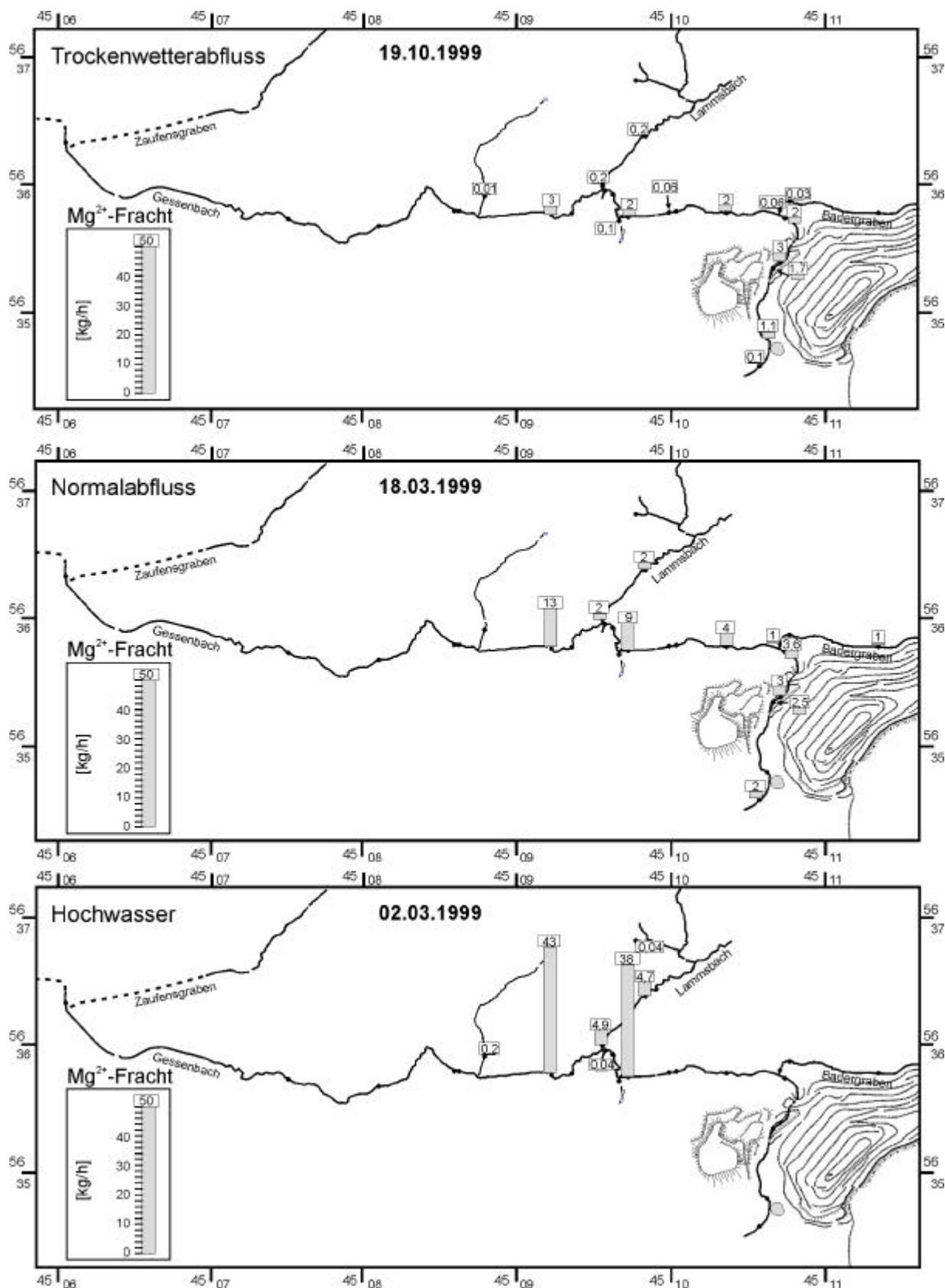


Abb. 73: Gelöste Mg^{2+} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.

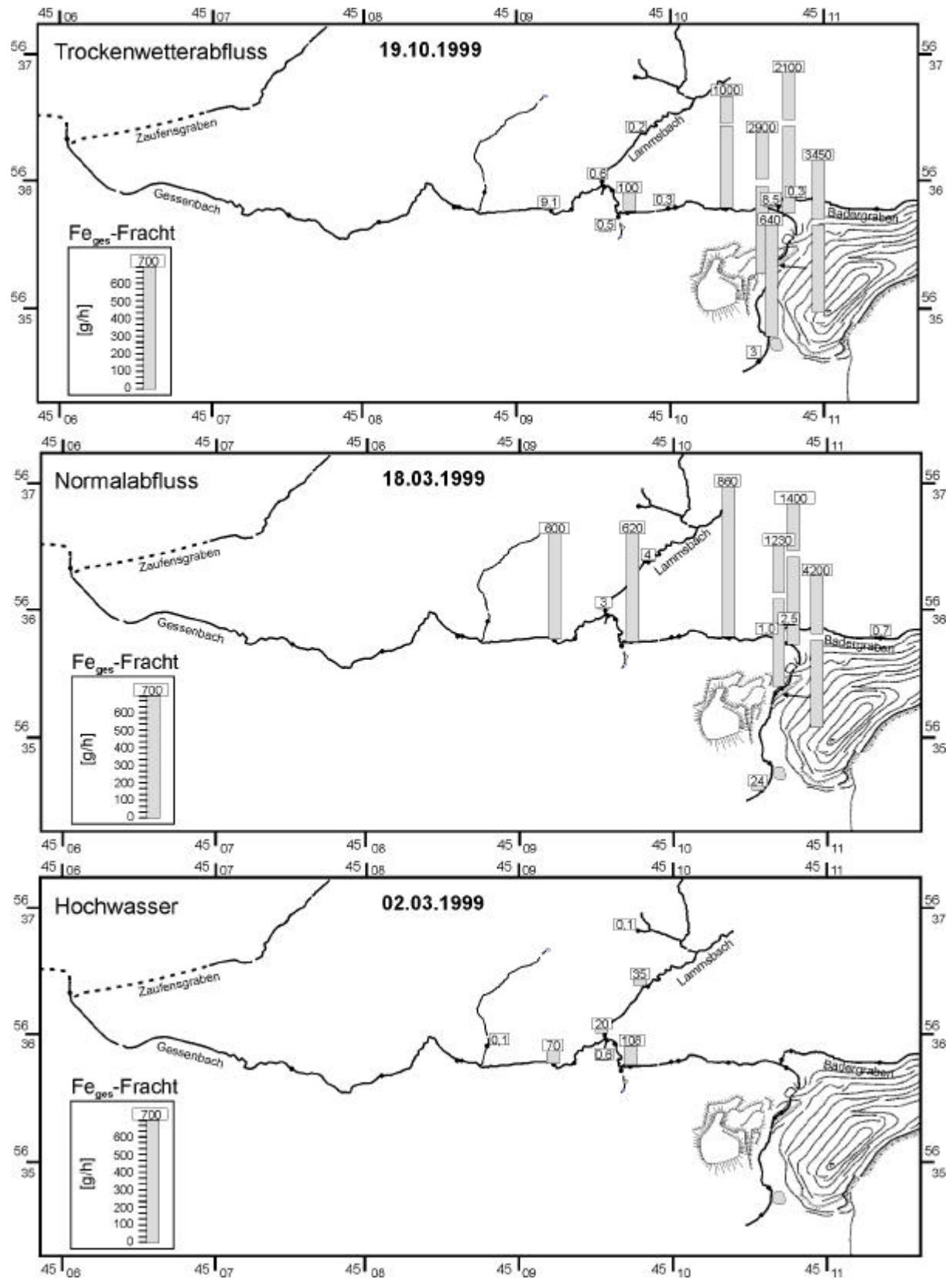


Abb. 74: Gelöste Fe_{ges}-Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.

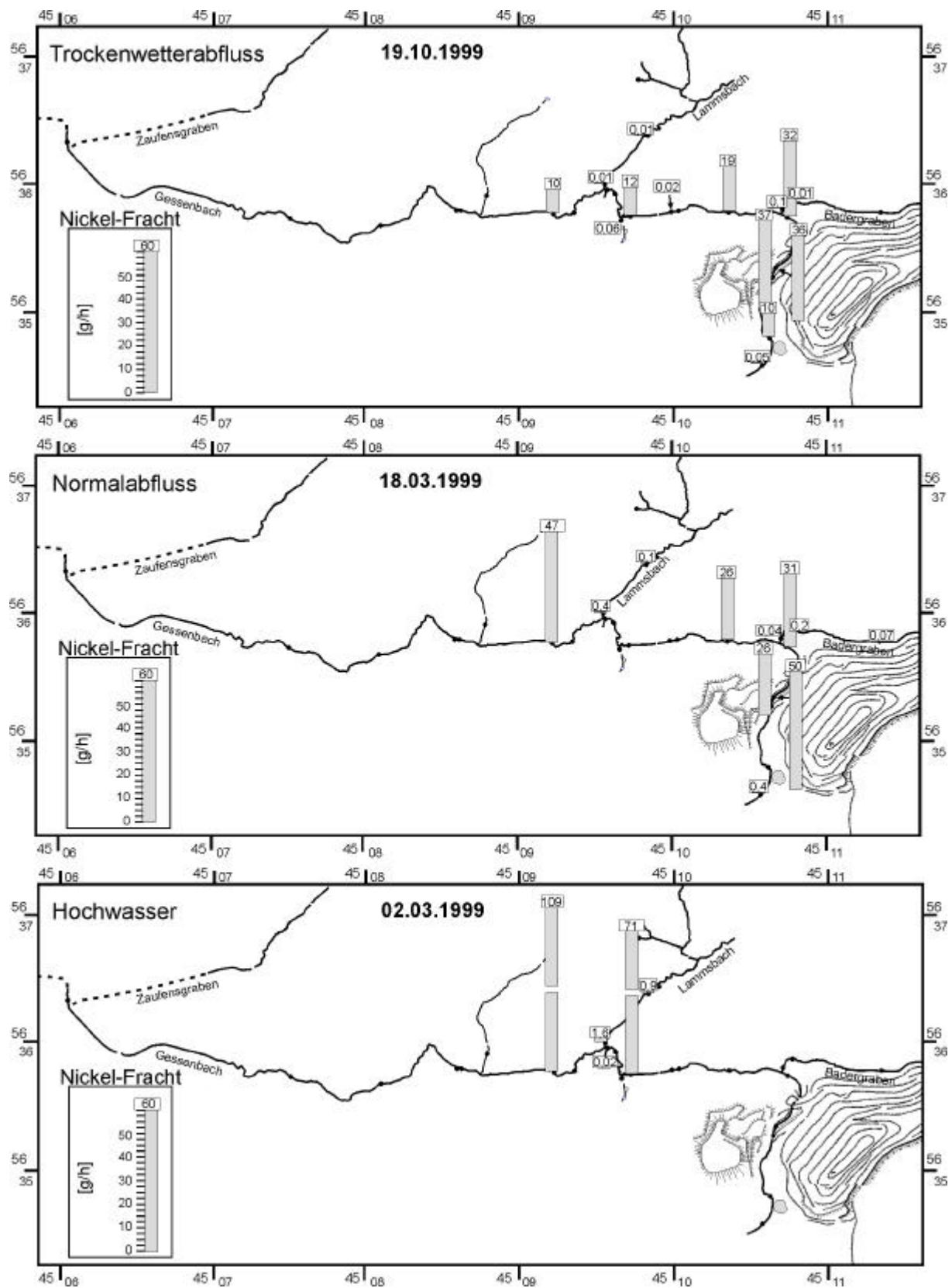


Abb. 75: Gelöste Ni-Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.

9. DISKUSSION UND SYNTHESE DER UNTERSUCHUNGEN

9.1. Gessental

Anhand der hydrologischen/hydrogeologischen Untersuchungen wird das Einzugsgebiet des Gessenbaches als ein durch intensive Bergbaueinflüsse des Uranbergbaus sowie durch anthropogene Nutzung beeinflusstes System beschrieben. Der Naturraum sowie das hydrogeologische Potenzialgefälle des Grundwassers in Richtung des Oberlaufes des Gessenbaches/Badergrabens im E-Gessental wurden nach dem Auffinden der Uranlagerstätte verändert. Im orohydrografischen Einzugsgebiet des Gessenbaches befindet sich ein großer Teil der Altlasten des Uranbergbaus, wovon der Tagebau Lichtenberg, die Abraumhalden mit sulfidhaltigen Schwarzpelen und der unterirdische Grubenbau von größter Bedeutung sind (Abschnitt 2.1, 2.2). Infolge der seit 1990 laufenden Sanierung finden intensive Erkundungs- und Sanierungsprogramme statt, deren Ziel es ist, einen mit präbergbaulichen Zeiten vergleichbaren naturnahen Zustand herzustellen. Unter diesem Gesichtspunkt finden im Gessental großräumige Massenverlagerungen der bergbaubedingt umgelagerten schwarzpelistischen Gesteine statt. Zudem wird das durch Auffahrungen und Abbaubereiche verritzte paläozoische Gebirge abgeworfen und verfüllt. Das infolge von bergbaubedingter Grundwasserabsenkung oxidierenden Bedingungen ausgesetzte unverritzte und verritzte paläozoische Gebirge wird seit 1998 passiv geflutet. Im Gessental werden in den Jahren 2003 bis 2005 kontaminierte Grubenwässer des unterirdischen Uranbergbaus austreten. Die durch sanierungsbegleitende Untersuchungen und Gutachten prognostizierten Mengen sollen mittels verschiedener Systeme gefasst, aufbereitet und über das Einzugsgebiet des Wipsebaches in Richtung Weiße Elster abgegeben werden (Abschnitt 5.2).

Die im Vorfeld der Flutung angesiedelten hydrologischen und hydrogeologischen Untersuchungen führen zu einer prozessbezogenen Beschreibung der Dynamik des rezenten bergbauinduzierten Stoffeintrags und Stoffaustrags. Ein Großteil der bisherigen Untersuchungen im Arbeitsgebiet des Gessentals befasst sich mit lagerstättenkundlichen Fragestellungen (z.B. SZUROWSKI et al. 1991, WISMUT 1985). Daneben existieren eine Vielzahl von Arbeiten zu sanierungsrelevanten Fragestellungen wie z.B. der Quantifizierung und der zeitlichen Einordnung des Flutungswasseraustritts (u.a. PAUL et al. 1998, C&E 1997, BRENK SYSTEMPLANUNG 1995, BCE 1995, ECKART 1993). Untersuchungen zur hydrochemischen Zusammensetzung der Flutungswässer wurden überwiegend durch begleitende Laboruntersuchungen und Modellierungen erhalten (z.B. DEISSMANN et al. 1995) und auf die natürlichen Systeme übertragen. Das im Jahr 1993 erstellte Umweltkataster der

Wismut zeigt eine hydrologische Bestandsaufnahme des Gessenbaches anhand einer Stichtagsprobenahme im Sommer 1992 und die Einteilung nach Schadstoffklassen für Uran, Radium und Schwermetalle (SCHMIDT & REICHARDT 1993). Die von diesen Autoren vorgestellte Einteilung zeigt den Gessenbach als einen bergbaubeeinflussten Vorfluter mit unterschiedlich hohen Gehalten an Schwermetallen, sowie geringen Gehalten an den betrachteten Radionukliden. Im Rahmen von Umweltberichten (WISMUT 1998a, b, 1999, 2000, 2001) gibt die Wismut GmbH die Auswirkungen der Sanierung u.a. im Oberlauf des Gessenbaches und im E-Gessental wieder. Diese nur stichtagsbezogenen Einzelergebnisse bzw. summarischen Betrachtungen liefern jedoch nur Einzelbefunde über den Zustand des betrachteten Systems. Die bisher nicht beachteten dynamischen Aspekte wurden innerhalb dieser Arbeit einbezogen und sowie für einzelne chemische Inhaltsstoffe erweitert. Das System Halde-Vorfluter wird hierbei in zeitlicher Abhängigkeit z.B. von Niederschlagsereignissen gestellt und die z.T. erheblichen Änderungen im Austragsverhalten diskutiert (Abschnitt 9.3). Insgesamt beleuchten die bisherigen Arbeiten nur Teilbereiche der Sanierung, bzw. die zu erwartenden Änderungen im Rahmen spezieller Fragestellungen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die für das Gessental relevanten Ergebnisse zusammengefasst, in einen historischen (vorbergbaulichen) Zusammenhang gestellt und um detaillierte geologische, sedimentologische, hydrogeologische und hydrologische Betrachtungsweisen erweitert.

9.2. Bergbauhalden als Stoffquellen

Die Auswirkungen einer Uranbergbauhalde (Nordhalde) als komplexe Hauptschadstoffquelle auf ein definiertes hydrologisch/hydrogeologisches System (Gessental) wurde in dieser Arbeit detailliert untersucht. Die Nordhalde bildet ein Fallbeispiel für eine im Rahmen der Sanierung des ostthüringischen Uranbergbaugeschäfts gut erkundete Halde. Zur Findung der optimalen Sanierungsoption wurden Gutachten und Untersuchungen für die Erstellung von Wasserbilanzen, Freisetzungspotenzialen etc. angefertigt (u.a. LEFEBVRE et al. 2001a, b, C&E 1997, WISMUT 1997a, 1995a, 1994a, b), welche verschiedene Sanierungsvarianten berücksichtigten (z.B. in-situ-Verwahrung und Haldenabdeckungen) und die Verbringung der Halde in den Tagebau Lichtenberg aufgrund einer zu erwartenden langfristigen Stofffreisetzung in das sich verändernde System des Gessentals favorisierten. Hierbei bildet, wie bei vergleichbaren Halden, das Haldensickerwasser infolge der Aufnahme von Schwermetallen und Radionukliden als Produkt der mikrobiell induzierten Sulfidoxidation den Hauptbelastungspfad (WISOTZKY 2001, DAI-YONG et al. 1995, ELPATYEVSKAYA, 1995).

Ziel der o.g. Untersuchungen war es trotz intensiver Erkundung nicht, die Nordhalde in ihrer komplexen Heterogenität zu erfassen, sondern die Halde in sanierungsbezogene Einheiten zu klassifizieren, um sie gezielt in den Tagebau Lichtenberg zu verlagern. Somit bildet die Halde auch in dieser Arbeit das Modell einer komplexen Schadstoffquelle für den Gessenbach, deren Auswirkungen auf die Vorfluter des Gessentals und auf die oberflächennahen Einheiten über einen mehrjährigen Zeitraum untersucht wurden.

Erweitert zum Monitoringprogramm der Wismut GmbH führen die in Abschnitt 4.3 und 8 angeführten Untersuchungen der nordwestlichen Nordhalde über die Geländeaufnahmen von ZEGGEL et al. (2001), bzw. ZEGGEL (2001) hinaus zu einer Charakterisierung und genetischen Einordnung der Beschaffenheiten des Haldensickerwassers. Das Sickerwasser zeigt im gesamten Untersuchungszeitraum eine Ausprägung als hochmineralisiertes, insbesondere an Al, Ni, Zn, Co, U und Si angereichertes, saueres Fe-Mg-Ca-SO₄-Wasser mit relativ konstanten Schüttungsmengen. Dieser Wassertyp gilt nach RITCHIE (1994) als typisches saures Grubenabwasser (AMD). Nach thermodynamischen Gleichgewichtsmodellierungen bilden die kationischen Bestandteile im Sickerwasser der Nordhalde überwiegend sulfatkomplexierte Spezies sowie unkomplexierte Ionen. Das Sickerwasser steht z.T. im Gleichgewicht mit Fe-SO₄-Phasen, was auf Ausfällungen von z.B. Jarosit innerhalb des Haldenkörpers hindeutet, was auch Ergebnisse von DEISSMANN et al. (1995) zeigen. Die festgestellte Veränderung des Ca²⁺/Mg²⁺-Verhältnisses weist auf Modifikationen der Sickerwege und den Sanierungsfortschritt hin. CRAVOTTA (1994) zeigt, dass die Stoffgehalte neben der Verwitterung primärer Mineralphasen zusätzlich aus der Lösung von sekundären Mineralphasen (Fe-SO₄-Phasen) stammen können. Eine Freisetzung sorbierter Schwermetalle ist anzunehmen. ALPERS et al. (1994) zeigen temperaturabhängige Zwischenspeicherungen für Zn und Cu in sekundären Mineralen der sauren Grubenwässer. Die Rolle der einzelnen Sekundärminerale als Zwischenspeicher in Halden ist noch nicht vollständig geklärt. Der gezielte Einbau von reaktiven geochemischen Zonen wird z.B. während der Sanierung und Abdeckung von Halden eingesetzt (z.B. SCHNEIDER et al. 2002), muss aber noch auf Langzeitstabilität untersucht werden. Die Stoffgehalte der durch Stichtagsbeprobungen ermittelten Sickerwasser-Beschaffenheiten liefern die Eingangsdaten für die Modellierung der im Gessenbach auftretenden Prozesse.

Die Sickerwassermessstelle Q4 (e-443) repräsentiert nur einen Teilstrom des Sickerwassers der Nordhalde. C&E (1997) beschreiben, dass ein Großteil des Sickerwassers der Nordhalde den unterirdischen Streckenauffahrungen sowie den quartären Talsedimenten diffus zuströmt. Da dieses Sickerwasser nur indirekt in Grundwassermessstellen in den Talsedimenten beprobt

wurde, ist die Zusammensetzung nur näherungsweise beschreibbar. Die Ergebnisse in Abschnitt 8.4.1 deuten durch die neutralen pH-Werte und die geringen Fe-Gehalte auf einen anderen Sickerwasser-Typ im NE der Nordhalde hin. Eventuell spielen zusätzlich Pufferreaktionen mit CaCO₃-haltigen Talsedimenten, wie sie von LAHL (2001) beschrieben werden, eine Rolle, die zu dieser chemischen Zusammensetzung des oberflächennahen schwebenden Talgrundwassers führen. Neben der Nordhalde befindet sich oberstromig der Messstelle Q4 ein weiterer, diffuser Sickerwasserzutritt aus dem Pohlteich (Abschnitt 8.2). Dieser Sickerwasserzutritt wurde im Sommer 2000 saniert.

9.3. Bergbaubeeinflusstes Oberflächen- und Grundwasser

9.3.1. Klassifizierung des Oberflächen- und Grundwassers

Für den Stoffaustausch sowie für prozessorientierte Betrachtungen des Oberflächen- und Grundwassers sind neben den hydrologischen Gegebenheiten und den Wasserhaushaltsbedingungen die hydrogeologischen Randbedingungen von entscheidender Bedeutung. Das E-Gessental bildet ein System ohne hydraulische Ankopplung an das lokale Grundwasserregime. Es verhält sich abweichend anderen in der Literatur beschriebenen Systemen mit direktem Grundwasseranschluss (z.B. FOOS 1997). Das E-Gessental liefert ein Fallbeispiel für den in dieser Arbeit nach hydraulischen und hydrogeochemischen Gesichtspunkten dargestellten Typ 1 (Abschnitt 4.3, 8.2). Die Entkopplung vom grobräumigen und lokalen hydrogeologischen Regime, grundsätzliche Verminderung der Abflussverhältnisse zwischen oberirdischen und unterirdischen Abflüssen (A_O/A_U -Verhältnisses), die Abkopplung der Vorfluter von natürlichen Quellen, die Speisung der Vorfluter vorwiegend durch kommunale Abwässer und Niederschlagswasser sowie influente Verhältnisse in den Talsedimenten definieren dieses System hydraulisch. Hydrochemisch wird er als Vorfluter durch Haldensickerwasser sowie durch anthropogene kommunale Abwässer beeinflusst. Im Gegensatz dazu bilden die Vorfluter des Typs 2 Systeme mit direkter Ankopplung an das hydrogeologische Regime ohne direkten Zustrom von bergbaubeeinflusstem Wasser mit effluenten Verhältnissen. Der Lammsbach und der überwiegende Teil der im Unterlauf des Gessenbaches auftretenden Zuflüsse repräsentieren quasinatürliche Verhältnisse, welche nur gering durch kommunale Abwässer beeinflusst sind. Chemisch ähneln sie den bei SCHMIDT & REICHARDT (1993) beschriebenen niedrigmineralisierten Ca-Mg-HCO₃-Typen, die als typische Grundwasservorkommen im Ronneburger Horst gelten.

9.3.2. Prozessorientierte Betrachtungen im Gessenbach

Bei den Betrachtungen der hydrochemischen Beschaffenheiten entlang des Gessenbaches wurden neben Mischungsprozessen, Fällungs-, Mitfällungs-, Sorptions- und z.T. Lösungsprozesse elementbezogen berücksichtigt. Während bei den Untersuchungen von JEONG (2001) und BRUNO et al. (1998) bergbauinduzierte Grundwasserprozesse maßgebliche Bedeutungen haben, ist die Beeinflussung von Oberflächengewässern durch saure Grubenwässer ebenfalls Untersuchungsgegenstand in der Literatur (YU & HEO 2001, BENVENUTI et al. 1997, BENCALA et al. 1990, BROSHEARS et al. 1996, NORDSTROM 1982). Das Oberflächengewässer im E-Gessental, der Oberlauf des Gessenbaches, bildet das Hauptaustragsmedium für schwermetallhaltiges Haldensickerwasser. Das den Talsedimenten zufließende Haldensickerwasser wird nur z.T. in schwebenden Grundwasservorkommen gesammelt. Es zeigt sich ein deutlicher Einfluss von Haldensickerwasser, wobei im E-Gessental mineralisiertes Mg-Ca-SO₄-Wasser vorkommt. Teilweise können die Einflüsse versickernden Bachwassers aufgezeigt werden. Der größte Teil des Haldensickerwassers fließt dem tiefen Grundwasser in den zzt. in Flutung befindlichen Grubenbauen zu, was ebenfalls von C&E (1997) vermutet wurde. Die dem Gessenbach zutretenden Mengen an Sickerwasser bewirken im Vorfluter eine pH-Wert-Erniedrigung und eine Erhöhung der Gesamtmineralisation. Der Wassertyp ändert sich von einem abwasserbeeinflussten Wasser mit hohen Ca²⁺-, Na⁺-, HCO₃⁻ und SO₄²⁻-Konzentrationen zu einem Mg-Ca-Fe-SO₄-Typ. Solche bergbaubeeinflussten Wassertypen werden in unterschiedlichen Fallbeispielen z.B. von BENVENUTI et al. 1997, BROSHEARS et al. 1996 und BENCALA et al. 1990 beschrieben.

Abstromig der Nordhalde ändert sich der Wassertyp durch Mischung und Verdünnung sowie (Mit)Fällungs- und Sorptionsprozesse, z.B. durch zufließendes nahezu bergbauunbeeinflusstes Oberflächenwasser des Badergrabens, HCO₃⁻-Aufnahme aus der Luft und Oxidation von NH₄⁺. Die u.a. von YU & HEO (2001), FOOS (1997), KIMBALL et al. (1994) und FUGE et al. (1994) beschriebenen pH-Wert-kontrollierten Prozesse in Vorflutern können bestätigt werden. Ausfällungen von schlecht kristallinen Eisen(hydr)oxiden sowie Eisen-Sulfat-Phasen, wie von BIGHAM et al. (1996) und MURAD et al. (1994) gezeigt werden, treten im Gessenbach in vergleichbarer Weise auf. Daneben sind bei Untersuchungen an Ausfällungssedimenten die Mitfällungen von Schwermetallen an sekundären Eisenphasen zu erkennen, was BOWELL & BRUCE (1995) gleichsam aufzeigten. Dynamische Untersuchungen solcher Systeme wurden von YU (1996) und WEBSTER et al. (1994) durchgeführt, wobei die beschriebenen jahreszeitlichen Effekte sowie die Veränderungen der hydrochemischen Bedingungen im Gessenbach in einer vergleichbaren Weise auftreten.

CHAPMAN et al. (1983) zeigen die wichtigsten Prozesse in AMD-beeinflussten Oberflächengewässern und die Bedeutung bei der Anwendung thermodynamischer Berechnungen für Sättigungszustände in Oberflächengewässern. YU (1996) weist auf die Schwierigkeiten bei der thermodynamischen Betrachtung durch die bevorzugte Fällung von kinetisch begünstigten metastabilen Phasen hin. Diese Phasen sind z.T. nicht in thermodynamische Datenbanken implementiert. Die bekannten thermodynamisch kontrollierten Prozesse konnten in dieser Arbeit bestätigt werden. In den Proben des Haldensickerwassers und des Vorfluters wurden qualitative thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen durchgeführt, um die Prozesse im Vorfluter zu beschreiben. Diese qualitativen Berechnungen im natürlichen System demonstrieren das o.g. Auftreten von übersättigten Eisen(hydr)oxid- und Aluminiumphasen, Jarosit, Baryt, Gips und Si-Phasen als wichtigste übersättigte Phasen im Haldensickerwasser der Nordhalde. Gleichgewichtsmodellierungen im Gessenbach abstromig der Nordhalde zeigen vergleichsweise höhere Übersättigungen dieser Mineralphasen.

Im Unterlauf des Gessenbaches können Tracer den Einfluss des Bergbaus und der Landwirtschaft nachweisen. HEM (1992) zeigt, dass das Auftreten von Mn in Konzentrationen von 1 mg/l typisch für AMD-beeinflusste Vorfluter ist. Die im Unterlauf des Gessenbaches ermittelten Mn-Konzentrationen liegen bedingt durch die kinetisch verzögerte Ausfällung von Mangan in dieser Größenordnung. Nitrat als Anzeiger für landwirtschaftliche Abwässer (MATTHESS 1994) sowie Phosphat für kommunale Abwässer kommen in höheren Konzentrationen im Oberflächenwasser vor und zeigen den anthropogenen Einfluss auf die Vorfluter. Die Bedeutung von Seltenen-Erden-Elementen (SEE) für prozessorientierte Betrachtungen wurde bisher in der Literatur wenig beachtet. Die Auswirkungen des Sickerwassers der Nordhalde kann mit Hilfe dieser in der Hydrogeologie bisher noch nicht standardmäßig verwendeten SEE als Tracer beobachtet werden. Erfolgreiche Ansätze wurden von GELETNEKY et al. (2001) und MERTEN et al. (in Vorb.) vorgestellt.

Der Einfluss von bergbaubeeinflusstem Wasser auf den Vorfluter Badergraben ist nicht eindeutig zu klären. Hinweise geben zum einen die durch hydrogeologische Kartierungen ermittelten Erhöhungen der Leitfähigkeiten und pH-Werte kurz vor dem Zufluss in den Gessenbach (Abschnitt 4.4), zum anderen die Zunahme von Fe_{ges} während einzelner Messtage (8.2.2). Ein Einfluss von Haldensickerwasser der Nordhalde ist nicht auszuschließen. Es kann mit Hilfe der Grundwassermessstellen kein direkter Grundwasserzufluss in den Badergraben gezeigt werden. Die Zunahmen der Gesamtmineralisation sowie der Fe_{ges} -Konzentration kann

z.B. durch Verdunstungseffekte, Aufnahme von atmosphärischem CO₂ sowie durch einen von ZEGGEL (2001) vermuteten Zufluss aus dem nördlichen Talbereich zurückgeführt werden.

9.4. Austrag aus dem Bergbaugebiet

Austräge aus dem Gessenbach in die Weiße Elster erwähnt HÄNSEL (1995) für die Stoffe U, Ag, Fe, untergeordnet für Cd, Zn, Cu, Sb, Mo, Ti, Y und gering für Pb, Ni, Co und As. Im betrachteten Vorflutersystem des Gessenbaches zeigt sich ein dynamisch differierendes Austragsverhalten gelöster Stoffe in Abhängigkeit von der Abflusssituation, wobei der Austrag aus dem E-Gessental ausschließlich über das Oberflächenwasser und zzt. nicht über das Grundwasser stattfindet. Der Eintrag an Stoffen aus dem Haldenbereich variiert dagegen weniger. Haupteintragsstoffe in abnehmender Rangfolge sind SO₄²⁻, Fe_{ges}, Mg²⁺, Ca²⁺ und Ni²⁺. Unter der Annahme, dass die an Messstelle Q4 (e-443) bestimmte Wasserbeschaffenheit des hypodermischen Abflusses an der Haldenbasis repräsentativ für die Beschaffenheit des NW-Teils der Halde ist, kann der Lasten- bzw. Frachtaustrag in das Gessental abflussbezogen errechnet werden. Während eines Trockenwetterabfluss stammen 90% der Ca²⁺-Fracht sowie über 98,5 % der Mg²⁺-, SO₄²⁻-, Fe_{ges}- und Ni²⁺-Fracht aus dem Bereich der Nordhalde. Bei Normalabflusssituationen stammen lediglich 80 % der Anteile von Ca²⁺, Mg²⁺ und SO₄²⁻ aus der Nordhalde, wobei der Frachtaustrag an Eisen und Nickel aus der Halde nicht geringer wird. Für das Jahr 1995 würden nach WISMUT (1997a) somit ca. 63% der Mg²⁺-Last, über 96 % des Fe_{ges}-Anteils, 57% des SO₄²⁻-Anteils und 42 % des Uran-Anteils, welche an Messpunkt e-416 (G5) bestimmt wurden, aus dem nordwestlichen Haldenbereich über den Gessenbach konvektiv ausströmen. Diffusive und retardierende Prozesse sind bei dieser Bilanzrechnung nicht berücksichtigt.

Bei Trockenwetterabfluss zeigt sich im Gessenbach abstromig der Nordhalde für verschiedene bergbaubedingt eingetragene Stoffe ein unterschiedliches Transportverhalten. Fe_{ges}, Al_{ges}, Mn_{ges}, PO₄³⁻ z.T. SO₄²⁻ und untergeordnet Na⁺, K⁺ und Ca²⁺ sowie die meisten Schwermetalle unterliegen aufgrund von pH-Wert-bedingten Fällungs- bzw. Mitfällungsreaktionen einem reaktiven Transport innerhalb der gelösten Stoffanteile. Einige Stoffe, wie Mg²⁺, Cl und Sr²⁺ unterliegen einem konservativen Transport. Die hohen Eisen- und Aluminiumgehalte, die pH-E_H-kontrollierten Bedingungen und die Sorptionseigenschaften von sekundären Phasen kontrollieren die Stoffkonzentrationen im Vorfluter. In einem Fallbeispiel eines AMD-beeinflussten Vorfluters zeigt FOOS (1997) ein ähnliches Verhalten für die betrachteten Hauptelemente. Unterschiede im Transportverhalten für HCO₃⁻, Na⁺ und K⁺ sind auf die differenten Randbedingungen zurückzuführen. Ähnliche Ergebnisse erzielten YU (1996) und ELPATYEVSKAYA (1995) in vergleichbaren

Oberflächengewässern. Während Niedrigabflusssituationen kommt es zur Ausbildung einer Fällungszone im Gessenbach, deren Längenausdehnung abhängig von zufließenden Wassermengen des Badergrabens und der Kläranlage Ronneburg ist. Dieser metastabile Fällungsbereich besteht überwiegend aus sekundären wasser- und sulfathaltigen Fe- und Al-Phasen (s.o.), welche Schwermetalle und Radionuklide sorbieren. Diese Zonen können beispielsweise 96% der Fe- und 75 % der Ni-Frachten binden. Für die übrigen betrachteten Schwermetalle zeigen sich ein ähnliches, nicht differenziertes Verhalten. Die Ausbildung solcher Zonen wird bei Untersuchungen von CHAPMAN et al. (1983) ebenfalls beschrieben, wobei z.B. für Zn ein konservatives Ausbreitungsverhalten angenommen wurde, was auf unterschiedlichen Ausgangssituationen beruht.

Die metastabilen Fällungszonen werden bei höheren Schüttungsmengen verlagert bzw. abgeführt. Die untersuchten Normalabflussverhältnisse zeigen, dass die Stofffrachten für den gelösten Anteil einzelner Elemente infolge unterschiedlicher Transportverhalten um 400 % höher sein können. Die Kläranlage Ronneburg bildet zeitweise die Hauptquelle für Mg^{2+} , Ca^{2+} und SO_4^{2-} . Während solcher Situationen verhalten sich die Frachten an Fe_{ges} und Ni grundsätzlich anders. Infolge des hohen Abflusses können sich die metastabilen Fällungsbereiche nicht bzw. erst außerhalb des Betrachtungsraumes ausbilden. Die Gesamtfrachten im Betrachtungsraum verringern sich im Gegensatz zur Trockenwettersituation nur um ca. 50%, obwohl sich der Eintrag über die Nordhalde nur geringfügig erhöht. Die von WISMUT (1997b) durchgeföhrten Vergleiche zwischen dem Sickerwassermesspunkt e-443 (Q4) zu e-416 (G5) im Gessenbach zeigen, dass ca. 7 % (1994)-9,5% (1995) des Mg^{2+} -Anteils, 32 bzw. 86% des Fe_{ges} -Anteils, 8 bzw. 11% des SO_4^{2-} -Anteils und 4 bzw. 12% des U-Anteils, welche an Messstelle G5 bestimmt wurden, auf den Haldensickerwasserpunkt Q4 zurückzuföhren sind. Auffällig sind die unterschiedlichen Fe_{ges} -Anteile zwischen 1994 (Normaljahr) und 1995 (Nassjahr). Die in dieser Arbeit aufgezeigten Untersuchungsergebnisse weisen in die gleiche Richtung.

Bei einer exemplarischen Betrachtung einer Hochwassersituation wird der Stoffaustrag der Hauptelemente proportional zum Abfluss erhöht. Die Anteile an gelöster Fe-Fracht während des Hochwasserereignisses sind um den Faktor 10 niedriger. Neben einer, infolge fehlender Messwerte nicht auszuschließenden Eintragsverminderung aus der Nordhalde, ist ein erhöhter Stoffaustrag über die partikuläre Phase im Vorfluter anzunehmen. In dieser Arbeit wurden prozessorientierte Untersuchungen der gelösten Phase im Vorfluter durchgeföhr. Nicht betrachtet bei den exemplarischen Austragsuntersuchungen wurde der Austrag über die feste, partikuläre Fracht. Diese Frachten dürfen bei einer exakten Austragsuntersuchung nicht

vernachlässigt werden, da sie bei bestimmten Situationen die Hauptanteile verschiedener Stoffe transportieren. ANDERSON et al. (1998) zeigen, dass der Transport von Uran im Flusssystem bevorzugt über die partikuläre Phase stattfindet. BENOIT & ROZAN (1999) beschreiben neben einem 8-fach höheren Anteil an Fe_{ges} in der kolloidalen Phase gegenüber der gelösten Phase ein überwiegendes Auftreten von Eisen als Fe(OH)₃. GAMMONS et al. (2002) zeigen ähnliche Effekte bei Untersuchungen in *wetlands* für die Stoffe z.B. Cu, Mn. Die Sorption an Fe-Hydroxiden, Tonmineralen und organischen Sorbenten kann somit bei Hochwasserabflüssen den Stofftransport entscheidend modifizieren. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten, der hohen Gesamtmineralisation und der höheren pH-Wert-Kontraste ist zu vermuten, dass bei Niedrigwasser der Anteil der partikulären Fracht an der Gesamtfracht geringer ist.

In den Bachsedimenten des Gessenbaches existieren Bereiche, welche als Zwischenspeicher für Schwermetalle fungieren (Abschnitt 8.2). In muddeartigen organikreichen Zonen übertreffen die Schwermetall- und Radionuklid-Gehalte die Gehalte in eisenreichen Ockerbildungen um bis zu 500 % für Cu, 150 % für Co, 120 % für Zn, 50 % für Cd und 30 % für U. Sie befinden sich in ähnlichen Größenordnungen für Ni und Cr. Anreicherungen sind für As und Pb zu verzeichnen. Solche Zonen werden vermutlich durch hohe organische Anteile in den kommunalen Abwässern gebildet. Ob in diesen Zonen reduzierende Bedingungen zu einer Festlegung von Schwermetallen und Radionukliden führen, ist nur zu vermuten. Daneben ist das Sorptionsvermögen organischer Verbindungen bekannt (z.B. ZOUMIS et al. 2000). Diese Zone ist annähernd vergleichbar mit natürlichen und künstlichen *wetlands* und reaktiven Wänden, welche zur Verminderung des Stoffaustauschs eingesetzt werden. Die Stabilität der muddeartigen Sedimente, welche sich vermutlich infolge des hohen Abwasseranteils in den Vorflutern ausbilden, ist noch nicht geklärt. Auch ist die Wirkung solcher reduzierenden Zonen in Vorflutersystemen auf den Stoffaustausch noch weiter zu untersuchen. Diese Bereiche können als metastabiler Zwischenspeicher für eine Vielzahl an Schwermetallen wirken, welche den Transport von Substanzen temporär festlegen und verzögern können.

9.5. Talsedimente im östlichen Gessental

Im Bereich der ostthüringischen Uranlagerstätte ist sowohl die geologische Lagerstättenausbildung als auch die Geochemie und Tektonik der paläozoischen Metasedimente sehr gut untersucht (Abschnitt 2.4, 2.5). Die quartäre Entwicklung des Gessentals fand in der Literatur und während der Erkundungs- und Abbauphase der Uranerze wenig Beachtung. Der Stand der Forschung ist in Abschnitt 2.4.9 zusammengefasst. Die

Talsedimente des Gessentals werden beim Übertritt des Flutungswassers an die Oberfläche (Post-Flutungszeitraum) eine wichtige Transfer- und evtl. eine Speicherfunktion annehmen. Die präquartäre Basis der Talsedimente wurde mit Hilfe einer entwickelten Quartärbasiskarte beschrieben und interpretiert. Die Ausbildung der Verwitterungszone in den präquartären Metasedimenten unterhalb der Talsedimente wurde in Abschnitt 7.3 auf Grundlage von Bohrungen und geophysikalischen Messungen beschrieben. Die niederohmig ausgebildete tonreiche Partie im E-Gessental ist eng an Ausstriche des Oberen und Unteren Graptolithenschiefers gekoppelt (GELETNEKY et al. 2002, GELETNEKY & BÜCHEL 1998, FRIEDRICH 1998). In Abschnitt 7.2 wird die genetische Ausbildung dieser Bereiche diskutiert und mit primären und sekundären Sulfidgehalten sowie mit mineralisiertem Sickerwasser der Nordhalde in Verbindung gebracht. Die Altersstellung der Ausbildung dieser Zone ist mit den bisherigen Methoden nicht eindeutig nachzuweisen. Zusammenhänge zwischen der Bildung des Bereiches und migrierendem Haldensickerwasser der Nordhalde sind nicht auszuschließen. Hierbei besteht die Möglichkeit einer rezenten Fällung von Inhaltsstoffen des Haldensickerwassers in Form von sulfidischen Verbindungen. Diese Prozesse wären vergleichbar mit syngenetischen Prozessen während der Ausbildung der Lagerstätte. Die natürliche Rückhaltung und Festlegung kontaminierten Sickerwassers würde somit zur Ausbildung einer geochemischen Barriere führen. Für die Klärung dieser Fragen werden neben Gesamtgesteinsanalysen auch die Untersuchung der Ausbildung solcher Zonen in natürlichen Analogbereichen, wie z.B. im Lammsbachtal angestrebt. Daneben muss die Stabilität dieser potenziellen Barrieren sowie die Wechselwirkung mit dem Flutungswasser beachtet werden.

Die Entwicklung eines genetisch/sedimentologischen Geländeländemodells des E-Gessentals wurde in Abschnitt 7.5 vorgestellt. Auf der Grundlage von 150 Bohrungen sowie geophysikalischen Kartierungen und Sondierungen und historischen Erkundungen (Abschnitte 7.2, 7.4, 4.1.2) wurden die quartären Talsedimente als Wechsellagerung von Älteren und Jüngeren Bachsedimenten mit Aue- und Hangsedimenten beschrieben. Das resultierende Modell stellt die ältesten Talsedimente mittels genetischer Analogieschlüsse in das Holozän bzw. Pleistozän. Jüngste Ablagerungen bilden die anthropogenen, meist bergbaubedingten Veränderungen. Die genaue Altersstellung kann auf der Basis eines Vergleiches mit dem Tal der Weißen Elster nicht ermittelt werden. Hierfür müssen weitere Untersuchungen, z.B. absolute Altersbestimmung in den Sedimenten erfolgen.

Die heterogene Verteilung von Durchlässigkeitsbeiwerten lässt sich infolge der genetisch/sedimentologische Ausbildung der Talsedimente im E-Gessental erklären. Die

Jüngeren Bachsedimente zeigen in rinnenförmigen Strukturen Durchlässigkeitsbeiwerte von 4×10^{-4} bis 3×10^{-8} m/s, wobei der Mittelwert bei 1×10^{-5} m/s liegt. Dagegen besitzen sowohl die Auesedimente als auch die Hangsedimente um ca. zwei Größenordnungen niedrigere k_f -Werte. Die mittels Siebanalysen untersuchten k_f -Werte befinden sich in ähnlicher Größenordnung wie die von SOLEXPERTS (2000) mit Packertests ermittelten Werte. Die jüngeren Talsedimente sind im zentralen E-Gessental verbreitet und werden im Postflutungszeitraum vermutlich Grundwasser führen. Das genetisch/sedimentologische Modell des E-Gessentals liefert somit Eingangsdaten für modelltechnische Betrachtungen des Postflutungszeitraums. Weitere Untersuchungen sollten die Wechselwirkungen der bisher nur in Teilbereichen gesättigten Talsedimente mit dem Flutungswasser aufzeigen, um prognostische Betrachtungen für den Zeitraum nach der Flutung anzustreben. Die Umlagerung der Nordhalde bildet neue Möglichkeiten für Untersuchungen der ursprünglichen Ausbildung des Gessentals und zur Erstellung eines erweiterten geologischen/genetischen Modells des Tals.

Das Gessental wird in den nächsten Jahren durch den Bau von Rigolen, Auffangsystemen für Flutungswässer sowie durch Landschaftsgestaltungsmaßnahmen gravierenden Änderungen unterliegen. Die Ankopplung des Gessenbaches an das natürliche hydrogeologische System wird die Grundwassersituation verändern. Die in Kürze abgeschlossenen Umlagerungsmaßnahmen der Nordhalde führen zu einem veränderten System, welche in ein natürliches Gleichgewicht überführt werden muss.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Aufnahme und Beschreibung der Prozesse und der Dynamik des bergbauinduzierten Stoffeintrags und –austretts aus einer Uranbergbauhalde während einer Prä-Flutungssituation in ein z.T. entwässertes Talsystem wurden im 30 km² großen Einzugsgebiet des Gessenbaches (Gessental) zwischen 1997 und 2001 hydrologische/hydrogeologische Felduntersuchungen durchgeführt. Das Gessental befindet sich im westlichen Teilbereich des ostthüringischen Uranbergbaugebietes und bildet nach der Flutung des Untertagebergbaus das Hauptaustrittsgebiet für hochmineralisierte Flutungswässer.

Zur Erfassung der Beschaffenheiten des Oberflächen- und Grundwassers wurden entlang des Gessenbaches und seiner Vorfluter vier hydrogeologische Kartierungen durchgeführt, 26 Messstellen installiert und über einen Zeitraum von 4 Jahren stichtagsbezogen 270 Wasserproben entnommen und analysiert. 20 temporäre Grundwassermessstellen im E-Gessental zwischen Ronneburg und Grobsdorf wurden im Sommer 2000 beprobt. Zur Bestimmung der Auswirkungen des Haldensickerwassers der Nordhalde auf die Talsedimente wurden mit Hilfe von 150 Bohrungen im E-Gessental sedimentologische und hydrogeologische Gelände- bzw. Laboruntersuchungen durchgeführt. Unterstützt von geoelektrischen Sondierungen und Kartierungen konnte ein geologisch/hydrogeologisches Geländemodell der Talsedimente erstellt werden.

Der Oberlauf des Gessenbaches und der Badergraben zwischen Ronneburg und Grobsdorf bilden infolge der bergbaubedingten Entwässerung ein vom lokalen hydrogeologischen Regime und von natürlichen Quellen abgekoppeltes Vorflutersystem. Dieses System wird nur durch anthropogene kommunale und landwirtschaftliche Abwässer gespeist und durch Sickerwasser aus Uranbergbauhalden beeinflusst. Die Vorfluter gehören einem über dem bergbaubedingten Absenkungstrichter schwebendem Oberflächenwassertyp mit z.T. influenten Verhältnissen im östlichen Gessental an. Im Gegensatz dazu sind der Unterlauf des Gessenbaches und der Lammsbach Vorflutertypen mit hydraulischer Ankopplung an das Grundwasserregime, ohne direkten Zustrom von Haldensickerwasser und bilden effluente Verhältnisse aus. Die Ergebnisse erlauben im Einzelnen folgende Aussagen:

- Im E-Gessental tritt sulfat- und eisenhaltiges, schwermetallreiches sowie radionuklidführendes saures Sickerwasser überwiegend aus Haldenbereichen sowohl in das Oberflächen- und Grundwasser als auch in die Talsedimente ein. Das saure Haldensickerwasser stammt aus der mikrobiell induzierten Oxidation reduzierter Mineralphasen (hauptsächlich Pyrit, Markasit) der paläozoischen Schwarzpelite.

- Das als *acid mine drainage* (AMD) bezeichnete Sickerwasser bewirkt im Vorfluter Gessenbach eine pH-Wert-Erniedrigung sowie eine Erhöhung der Gesamtmineralisation und führt entlang der Fließstrecke zu einer Änderung des hydrochemischen Wassertyps.
- Sickerwasser der Nordhalde tritt über diskrete unterirdische Sickerwege in die größtenteils ungesättigten Talsedimente des E-Gessentals ein. Die schwebenden Grundwasservorkommen weisen durch Einflüsse von Haldensickerwasser sowie versickerndem Bachwasser eine Mg-Ca-SO₄-Ausprägung auf. Es ergeben sich geophysikalische und geochemische Hinweise auf eine potenzielle natürliche geochemische Barriere an der Basis der Talsedimente. Der größte Teil des Haldensickerwassers fließt dem tiefen Grundwasser in den zzt. in Flutung befindlichen Grubenbauen zu. Außerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichters fehlt eine Bergausignatur im Grundwasser. Es bestehen Hinweise auf anthropogenen, z.B. landwirtschaftlichen Einfluss.
- Die aufgrund des Zutritts von AMD resultierende hydrochemische Ausbildung (Mg-Ca-Fe-SO₄-Typ) wird durch Mischungsprozesse, pH-Wert- kontrollierte Fällungs- und Mitfällungsreaktionen im Gessenbach, welche sich abflussbezogen abstromig der Nordhalde entlang eines sog. Reaktionsraumes ausbreiten, verändert. Es bilden sich Ausfällungen sekundärer überwiegend schlecht kristalliner Eisen(hydroxid)-Phasen im Vorfluter, welche Schwermetalle sorbieren. Entlang des Gessenbaches unterliegen Fe_{ges}, Al, Mn, PO₄³⁻, SO₄²⁻ und untergeordnet Na⁺, K⁺, Ca²⁺ sowie die betrachteten Schwermetalle einem reaktiven, Mg²⁺, Cl und Sr einem eher konservativen Transport.
- Thermodynamische Modellrechnungen an Oberflächenwasserproben zeigen, dass die gelösten Inhaltsstoffe überwiegend unkomplexiert bzw. als Sulfatkomplexe vorliegen. Im Sickerwasser der Nordhalde und im Oberflächenwasser des Gessenbaches lässt sich der o.g. Reaktionsraum durch zunehmende Übersättigungen von sekundären Eisen- und Aluminium-(Hydr)oxid-Sulfat-Phasen entlang der Fließstrecke des Gessenbaches rechnerisch nachbilden.
- Die Ausbildung des Reaktionsraumes im Gessenbach wird infolge von Niederschlägen durch die Abflusshöhe kontrolliert. Bei Trockenwetter bilden sich metastabile Ausfällungszonen mit hohen Gehalten an Eisen(hydr)oxiden. Während erhöhter Schüttungsmengen verschiebt sich der Reaktionsraum bachabwärts. Die höchsten Austräge aus dem Gebiet finden während Hochwassersituationen statt. Der Gessenbach bildet den Hauptaustragspfad für gelöste bergbaubürtige Stoffe.
- Der Stoffaustag aus dem Untersuchungsgebiet wird durch metastabile Zwischenspeicher im Randbereich der Vorfluters modifiziert. Schwermetalle und Radionuklide werden in

diesen temporären Zwischenspeichern festgelegt und zurückgehalten. Die Stabilität und geochemische Barrierewirkung solcher Zonen ist nicht genau bekannt.

- Die Talsedimente im E-Gessental bestehen überwiegend aus holozänen fluviatilen und umgelagerten klastischen Sedimenten. Ein sedimentologisch/geologisches Modell der holozänen Sedimente zeigt einen proximalen Talbereich mit gegliederten Wechsellagerungen von grobklastischen Älteren und Jüngeren Bachsedimenten mit feinklastischen Aue- und Hangsedimenten sowie umgelagerten Löss. Die Jüngeren Talsedimente weisen interne rinnenförmigen Strukturen auf.
- Die Ermittlung der hydrogeologischen Parameter zeigt eine heterogene Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) innerhalb der Talsedimente. Aus dem entwickelten sedimentologisch/geologischen Geländemodell können bevorzugte Fließwege abgeleitet werden. Höhere k_f -Werte im Mittel von 10^{-5} m/s weisen die Jüngeren Bachsedimente, geringere im Mittel unter 10^{-6} m/s die Auesedimente, Hangsedimente und Lösse auf.

Die hydrogeochemischen prozessorientierten Untersuchungen zeigen eine Möglichkeit, die Signatur einer definierten Schadstoffquelle über die Vorflut und die Talsedimente zu verfolgen. Das in ein System ohne hydraulische Ankopplung an das hydrogeologische Regime eintretende Haldensickerwasser führt zur Ausbildung von temporären vermutlich metastabilen geochemischen Barrieren, welche den Transport und den Austrag von Schadstoffen verzögern kann. Systeme mit hydraulischer Ankopplung an das Grundwasser weisen eine höhere Transferwirkung auf. Veränderungen der hydrogeologischen Randbedingungen durch die zukünftig austretenden Flutungswässer des Uranbergbaus werden zu einer Veränderung der geochemischen Ausgangsbedingungen führen und die Transferwirkung vermutlich erhöhen. Die Untersuchungen liefern die Eingangsdaten für zukünftige Analysen des Post-Flutungszeitraumes im Gessental. Gegenstand solcher Untersuchungen sollten die sich verändernden Stabilitätsbedingungen sein.

11. LITERATUR

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. - Geol. Jb., **G2**: 3-157; Hannover.
- ALLISON, J.D., BROWN, D.S. & C. NOVO-GRADAC (1991): MINTEQA2/PRODEFA2, A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version 3.0 Users's manual. - EPA/600/3-91/021, U.S. Environment protection Agency; Athens, Georgia.
- ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (1994): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**, 681 S.; Washington D.C.
- ALPERS, C.N., NORDSTROM, D.K. & J.M. THOMPSON (1994): Seasonal variations of Zn/Cu ratios in acid mine water from iron mountain, California. - In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**: 324-344; Washington D.C.
- ANDERSSON, P.S., PORCELLI, D., WASSERBURG, G.J & J. INGRI (1998): Particle transport of ^{234}U - ^{238}U in the Kalix River and in the Baltic Sea. - Geochim. Cosmochim. Acta, **60**: 385-392.
- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 331 S.; Hannover.
- BAACKE, D., KLUGE, A., SCHLÖSSER, D. & E. HEINRICH (1997): Migration von Seltenen Erden und Präzipitation in Sintern schwermetallreicher Grubenwässer. In: KLUGE, A. & P. BEUGE (Hrsg.): Geochemische Indikationen in den Geo- und Umweltwissenschaften. Beiträge zur Tagung junger Geochemiker 1997. - Wissenschaftliche Mitteilungen Institut für Geologie TU Bergakademie Freiberg, Sonderheft, **7**: 149-156.
- BAACKE, D., KLUGE, A., MARTIN, M. & P. BEUGE (1996): Geochemische Prozesse beim Stofftransport in Stollensystemen gefluteter Grubenbaue. - In: MERKEL, B., DIETRICH, P.G., STRUCKMEIER, W. & E. LÖHNERT (Hrsg.): Grundwasser und Rohstoffgewinnung. – GeoCongress, **2**: 1-6; Köln.
- BALL, J.W. & D.K. NORDSTROM (1991): WATEQ4F-User`s manual with revised thermodynamic data base and test cases for calculationspeciation of major, trace and redox elements in natural waters.- US Geol. Surv., Open-File Rep., **90-129**: 185 S.; Denver.
- BARTHEL, F.H. (1993): Die Urangewinnung auf dem Gebiet der ehemaligen DDR von 1945 bis 1990. - Geol. Jb., **A142**: 335-346; Hannover.
- BENEK, R. (1990): Über jungpaläozoische Seitenverschiebungen in Mitteleuropa. - Schriftr. geol. Wiss., **17**: 559-568.
- BENEK, R. (1958): Tektonische Untersuchungen aus dem Raum der Pohlener Störung südlich Gera. - Geologie, **7**: 494-518.
- BENCALA, K.E., MCKNIGHT, D.M. & G.W. ZELLWEGER (1990): Characterization of transport in an acidic and metal-rich mountain stream based on a lithium tracer injection and simulations of transient storage. - Water Res. Res, **26**: 989-1000.
- BENNER, L.H., COLDEWEY, W.G., KORIES, H., WAGNER, A. & H.-J. WENZEL (1992): Mathematische Modelle zur Simulation des Stoffaustrages aus Halden und des Stofftransports im Grundwasser/TWB. - DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, **17**, 119 S., 119 An., 29 Tab.; Essen.
- BENOIT, G. & T.F. ROZAN (1999): The influence of size distribution on the particle concentration effect and trace metal partitioning in rivers. - Geochim. Cosmochim. Acta, **50**: 113-127.
- BENVENUTI, M., MASCARO, I., CORSINI, F., LATTANZI, P., PARRINI, P. & G. TANELLI (1997): Mine waste dumps and heavy metal pollution in abandoned mining district of Boccheggiano (Southern Tuscany, Italy). - Environm. Geol., **30**: 238-243.
- BERCKHEMER, H. (1990): Grundlagen der Geophysik. - 201 S.; Darmstadt.
- BGR (1993): Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland, 1:1.000.000. - GK 1000; Hannover.
- BIEHLER, D. & W.E. FALCK (1999): Simulation of the effects of geochemical reactions on groundwater quality during planned flooding of the Königstein uranium mine, Saxony, Germany. - Hydrogeol. J., **7**: 284-293.
- BIERNS DE HAAN, S. (1991): A review of the rate of pyrite oxidation in aqueous systems at low temperature. - Earth Science Reviews, **31**: 1-10.

- BIGHAM, J.M., SCHWERTMANN, U. & G. PFAB (1996): Influence of pH on mineral speciation in a bioreactor simulating acid mine drainage.- *Appl. Geochem.*, **11**: 845-849.
- BIGHAM, J.M. (1994): Mineralogy of ochre deposits formed by sulfide oxidation.- In Jambor, J.L. & D.W. Blowes (eds.): The environmental geochemistry of sulfide mine-wastes.- *Min. Assoc. Canada*, **22**: 103-132.
- BILZ, R. (1994): Die Zechstein-Uranerzlagerstätte bei Berga/Elster in Ostthüringen. - *Fundgrube*, **30**: 5-65.
- BLUMENSTENGEL, H. (1995): Devon. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): *Geologie von Thüringen*: 121-146; Stuttgart.
- BOREK, S.L. (1994): Effect of huminity on pyrite oxidation. - In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation.- *ACS Symposium Series* **550**: 31-44; Washington D.C.
- BOWELL, R.J. & I. BRUCE (1995): Geochemistry of iron ochres and mine waters from Levant Mine, Cornwall. - *Appl. Geochem.*, **10**: 237-250.
- BROSHEARS, R.E., RUNKEL, R.L., KIMBALL, B.A., MCKNIGHT, D.M. & K.E. BENCALA (1996): Reactive solute transport in an acidic stream: experimental pH increase and simulationof controls on pH, Aluminum, and iron. – *Environ. Sci. Technol.*, **30**: 3016-3024.
- BRUNE, S. (2000): Nachweis und Interpretation rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen im Ronneburger Uranbergaugebiet.- *Diss. Univ. Jena*, 99 S.
- BRUNO, J., DURO, L., PABLO DE J, CASAS, I., AYORA, C., DELGADO, J., GIMENO, M.J., PENA, J., LINKLATER, C., PEREZ DEL VILLAR, L. & P. GOMEZ (1998): Estimation of the concentrations of trace metals in natural systems: The application of codissolution and coprecipitation approaches to El Berrocal (Spain) and Poços de Caldas (Brazil). – *Chem. Geol.*, **151**: 277-291.
- BUSCHMANN, B., LINNEMANN, U., SCHNEIDER, J. & T. SÜSS (1995): Die cadomische Entwicklung im Untergrund der Torgau-Doberlug Synklinale. - *Z. geol. Wiss.*, **23**: 728-749; Berlin.
- CARIUS, S. (1995): Zur Stratigraphie der paläozoischen Schichtenfolge (Lederschiefer/Ashgill bis Tentakulitenschiefer/unteres und mittleres Devon) im bereich der NE Flanke des Bergaer Antiklinoriums bei Ronneburg (Geraer Vorsprung). - *Z. geol. Wiss.*, **23**: 751-759; Berlin.
- CESNOVAR, R. & H. PENTINGHAUS (1997): Anthropogener und geogener Einfluss auf die regionale Hydrogeochemie durch Öffnung der Braunkohlelagerstätten: Mineralogische Signatur des Abraums in Cospuden. - *Berichte der DMG, Europ. J. Mineral (Beiheft)*, **9**: 71.
- CHAPMAN, B.M., JONES, D.R. & R.F. JUNG (1983): Processes conrolling metal ion attenuuation in acid mine drainage streams. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 1957-1973.
- CRAVOTTA III, C.A. (1994): Secondary iron-sulfate minerals as sources of sulfate and acidity. - In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - *ACS symposium series* **550**: 345-364; Washington D.C.
- DAI-YONG, H., JIAN, L. & YOU-YI, W. (1996): Site investigation and experimental study of black rock strata weathering, South China. – *Water-rock Interaction*: 249-253.
- DAHLKAMP, F.J. (1993): *Uranium Ore Deposits*. - 460 S.; Berlin, Heidelberg.
- DAVIES, C.W. (1938): The extent of dissociatian of salts in water.- VIII. An equation for the mean ionic activity coefficient of an electrolyte in water, and a revision of the dissociation constant of some sulphates.- *J. Chem. Sov.*, **2**: 2093-2098; London.
- DAVIES, J.A. & A.I.M. RITCHIE (1986): A model of oxidation in pyritic mine wastes. I. Equations and approximate solution. - *Appl. Math. Modelling*, **10**: 314-322.
- DAVIS, S.N. & R.J.M. DE WIEST (1967): *Hydrogeology*. - 463 S. New York-London-Sydney.
- DEGNER, T., BAACKE, D. & A. KLUGE. (1998): Geochemische Probleme bei der zukünftigen Nutzung von wasserabführenden Bergwerkstollen im Freiberger Revier. - In: KLUGE, A. & P. BEUGE (Hrsg.): *Geochemische Indikationen in den Geo- und Umweltwissenschaften. Beiträge zur Tagung junger Geochemiker 1997*. - *Wiss. Mit. Inst. Geologie TU Bergakademie Freiberg, Sonderheft*, **7**: 188-195.
- DEISSMANN, G., PLÜGER, W.L. & S. KISTINGER (1995): Effects of redox- and pH-changes on contaminants in acid mine waters from the Ronneburg mine (Thuringia, Germany): A comparative laboratory study. - In: MERKEL, B., HURST, S., LÖHNERT, E.P. & W. STRUCKMEIER (eds.): *Uranium Mining and*

Hydrogeology I, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, October 1995. - Geocongress, **1**: 111-120; Köln.

DREYER, M.C.S. & R. RÖHLING (1993): Ein Modell zur Bewertung von Halden des Uranbergbaus mit Hilfe von Spinnen (Araneae) und Heuschrecken (Orthoptera) im Hinblick auf Sanierungsmöglichkeiten. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 166-174; Gera.

ECKART, M. & M. PAUL (1995a): Modellentwicklung und deren Anwendung zur Bewertung von Grundwasserproblemen der Ronneburger Uranlagerstätte.- In: MERKEL, B., HURST, S., LÖHNERT, E.P. & W. STRUCKMEIER (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology I, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, October 1995. - Geocongress, **1**: 131-136; Köln.

ECKART, M. & M. PAUL (1995b): Modellentwicklung und deren Anwendung zur Bewertung von Grundwasserproblemen der Ronneburger Uranlagerstätte. - Z. geol. Wiss., **23(5/6)**: 655-664; Berlin..

ECKART, M. (1993): Probleme bei der Flutung im Ronneburger Bergaugebiet.- Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 74-81; Gera.

ECKART, M., MOCKER, D., JAHN, S. & K. POLLMER. (1998): Beschreibung der Reaktions- und Transportvorgänge in Halden durch das Mehrmigrantenstofftransport-Zweiphasenströmungsmodell TENSIC - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. - Geocongress, **5**: 439-448; Köln.

EGGLESTON, C.M., EHRHARDT, J.-J. & W. STUMM (1996): Surface structural controls on pyrite oxidation kinetics: An XPS-UPS, STM, and modeling study. - American Mineralogists, **81**: 1036-1056.

EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - 358 S.; Stuttgart.

EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. - Schriftr. Geol. Wiss., **2**: 1-263; Berlin.

EISSMANN, L. (1994): Grundzüge der Quartärgeologie Mitteldeutschlands (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Südbrandenburg, Thüringen).- In: EISSMANN, L. & T. LITT (Hrsg.): Das Quartär Mitteldeutschlands. - Altenb. Naturw. Forsch., **7**: 55-135.

EISSMANN, L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. - Altenb. Naturw. Forsch., **8**: 1-98.

ELLENBERG, J. (1995): Neotektonik. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 418-422; Stuttgart.

ELLENBERG, J. (1998): Der ordovizische Hauptquarzit in Thüringen - Ein Fan-Delta-Bildung. - Geowiss. Mitt. Thüringen, **6**: 7-20; Weimar.

ELPATYEVSKAYA, V.P. (1995): Dump drainage as a factor of soil and river water transformation. – Water-Rock Interaction: 871-874.

EVANGELOU, V.P. & Y.L. ZHANG (1995): A Review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. - Environm. Science and Techn., **25**: 141-199.

FALK, F. & H. WIEFEL (1995): Ordovizium. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 91-110; Stuttgart.

FLÖTGEN, F., HURST, S., GLÄSER, K. & K.H. JOHANNSEN (1995): Die Auswirkungen des Uranbergbaus auf die Grundwassersituation im Feistaat Sachsen. - In: MERKEL, B., HURST, S., LÖHNERT, E.P. & W. STRUCKMEIER (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology I, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, October 1995. - Geocongress, **1**: 157-164; Köln.

FOOS, A. (1997):Geochemical modeling of coal mine drainage, Summit County, Ohio. – Environm. Geol., **31**: 205-210.

FRANZLE, O. (1988): Periglaziale Formung der Altmoränengebiete Schleswig-Holsteins. - Berliner geographische Abhandlungen, **47**: 23-45.

FREEZE, R.A. & J.A. CHERRY (1979): Groundwater.- 604 S.; Englewood Cliffs, N.J.

FUGE, R., PEARCE, F.M., PEARCE, N.J.G. & W.T. PERKINS (1994): Acid mine drainage in Wales and influence of ochre precipitation on water chemistry. - In: ALPERS, C.N. & D.W. LOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**: 261-274; Washington D.C.

FUHRMANN, R. (1976): Die stratigraphische Stellung der Lösse in Mittel- und Westsachsen. - Z. Geol. Wiss., **4**: 1241-1270.

- GABRIEL, B., ZIEGLER, G., SCHULTZE, M., KUNZMANN, R., BUFE, J., FISCHER, H., POHL, A., SCHWARZE, R. & N. BÜHNEMANN (1989): Das Grundwasser. Einfluss der Landwirtschaftlichen Produktion. - Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra, Forschungsbereich Erfurt: 122 S.; Erfurt.
- GAMMONS, C.H., MULHOLLAND, T.P. & A.K. FRANDSEN: A comparison of filtered vs. Unfiltered metal concentrations in treatment wetlands.- Mine Water Environm., **2**:111-123.
- GATZWIELER, R. & D. MAGER (1993): Altlasten des Uranbergbaus - Der Sanierungsfall WISMUT. - Geowiss., **11**: 164-172.
- GATZWIELER, R. & R. MARSKI (1996): Haldensanierung - ein interdisziplinäre Herausforderung. - Geowiss., **14**: 461-466.
- GATZWIELER, R., HÄHNE, R., ECKART, M., MEYER, J. & S. SNAGOWSKY (1997): Prognosis of the flooding of the uranium mining sites in East Germany with the help of numerical box-modeling. - In: VESELIC, M. & P.J. NORTON (Hrsg.): Mine water and the environment. - 6th Intern. Mine Water Assoc. Congr. 8.-12.9.1997, **1**: 57-64; Bled., Slovenia.
- GATZWIELER, R., JAKUBICK, A.T. & F. HELZ (1996): WISMUT-Sanierung - Konzepte und Technologien. - Geowiss., **14**: 448-451.
- GATZWIELER, R. & A.T. JAKUBICK (1998): Hydrogeological predictions in the remediation of the decommissioned WISMUT facilities. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. - Geocongress, **5**: 1-13; Köln.
- GATZWIELER, R., PAUL, M., ENGELER, H.J. & G. SCHULZE (1997): Geologie, Bergbau und Sanierung des Ostthüringer Uranerzbergbaureviers. - In: LÜTZNER, H. & G. SEIDEL (Hrsg.): 149. Hauptvers. DGG, Regionale Geologie von Mitteleuropa, Exkursionsführer - Schriftenr. Deutsche Geol. Ges., **3**: 239-264; Jena.
- GEIPEL, G., BERNHARD, G., BRENDLER, V. & H. NITSCHE (1996): Sorption of Uranium (VI) an rock material of a mine tailing pile: solution speciation by fluorescence spectroscopy. - Radiochim. Acta **74**: 235-238.
- GEIPEL, G., unter Mitarbeit von BERNHARD, G., THIEME, M., GRAMBOLE, G. & H. NEUBERT (1994): Verhalten radiotoxischer Schadstoffe in Hinterlassenschaften des Uranbergbaus als Grundlage für Sanierungskonzepte. - Schlussbericht BMFT Forschungsvorhaben 02 S 7533, 196 S.
- GEISE, S. (2000): Die Sanierung der ehemaligen Uranerzbergwerke und –aufbereitungsanlagen in Ostthüringen – Grundwasserüberwachung während der Sanierung. - Geowiss. Mitt. Thüringen, **8**: 31-41; Weimar.
- GELETNEKY, J., PAUL, M., MERTEN, D. & G. BÜCHEL (2002): Impact of acid rock drainage in a discrete catchment area at the former uranium mining site Ronneburg (Germany). - In: NELSON, J.D., CINCILLA, W.A., FOULK, C.L., HINSHAW, L.L. & V. KETELLAPER (Hrsg.): Tailings and Mine Waste 02. - Proc. 9th Intern. Conf. on Tailings and Mine Waste, 01/2002: 67-74, Fort Collins, Colorado, USA.
- GELETNEKY, J., MERTEN, D. & G. BÜCHEL (2001): Seepage water from uranium mining dumps in Eastern Thuringia, Germany: A hydrogeochemical study.- EUG 11, Strasbourg, J.. Conf.. Abs., **6**: 44, Cambridge.
- GELETNEKY, J. & G. BÜCHEL (1999): Hydrogeological case study of the Gessental valley: A pre-flooding scenario at the Ronneburger Uranium mining site (Thuringia, Germany).- EUG 10, Strasbourg, J. Conf. Abs., **4**: 510; Cambridge.
- GELETNEKY, J. & G. BÜCHEL (1998): Hydrogeological evaluation of a pre-flooding scenario: a case study of a tributary in the catchment area of the former Uranium mining region of Ronneburg, Thuringia. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 555-564; Köln.
- GOULD, W.D., BÉCHARD, G. & L. LORTIE (1994): The nature and role of microorganism in the tailings environment. - In: JAMBOR, J.L. & D.W. BLOWES (Hrsg.): Short course handbook on environmental geochemistry of sulfide mine-waste, Mineralogical Association of Canada, **22**: 150-163; Waterloo.
- GRÄBE, R. (1961): Die Grundwasserverhältnisse im Ostthüringischen Schiefergebirge. Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen und Kartierungen im Kreise Lobenstein. - Freib. Forschungsh., **C117**: 1-45; Berlin.
- HÄHNE, R. (1992): Kontamination von Grund- und Oberflächenwässern im Ronneburger Uranbergbaurevier. - Wasser, Luft und Boden, **36**: 24-26; Mainz.

- HÄHNE , R. (1995): Sicherung und Verwahrung von Bergbauhalden im Raum Ronneburg unter besonderer Berücksichtigung des Gewässerschutzes. - Z. geol. Wiss., **23**: 643-653; Berlin.
- HÄHNE, R., ECKART, M., MARSKI, R. & J. WOLF (1998): Die wasserhaushaltliche Wirkung der Abdeckung und Landschaftsgestaltung von Halden und Absetzanlagen. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. - Geocongress, **5**: 45-56; Köln.
- HÄNDEL, D. (1982): Zur Problematik holozäner Flusschotter. - Z. Geol. Wiss., **10**: 811-825.
- HÄNSEL, C. (1995): Bestandsaufnahme der Schwermetallsituation in den Gewässersystemen von Mulde und Weiße Elster im Hinblick auf die zukünftige Gewässergüte. Teilprojekt 1: Weiße Elster und Pleiße sowie Bitterfelder Muldestausee. –Abschlussbericht, Sächsische Akademie der Wissenschaften: 126 S.; Leipzig.
- HECHT, G. (1995): Grundwässer. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 455-494; Stuttgart.
- HEINZE, M. & H. SÄNGER (1996): Die Durchwurzelung künstlicher Rohböden auf Halden. - Geowiss., **14**: 467-469.
- HEISE, W. (1929): Die tektonische Stellung der Merseburger Buntsandsteinplatte. - Jb. Hallesch. Verb., N.F. 8:
- HELLING, C. & V. DUNGER (1998): Seepage water balance of the mixed tailings site IAA Dresden Coschütz/Gittersee by means of the two-dimensional model BOWAHALD. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 57-66; Köln.
- HEM, J.D. (1992) Study an interpretation of chemical characteristics of natural water.- US Geol. Surv. Water Supply Pap., 2254: 263 S., Washington.
- HEMPEL, G. (1995): Variszische Tektonik.- In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 166-180; Stuttgart.
- HILLER, A., LITT, T. & L. HESSMANN (1991): Zur Entwicklung der jungquartären Tieflandstäler im Saale-Elbe-Raum unter besonderer Berücksichtigung von ¹⁴C-Daten. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **41**: 26-46.
- HODLUR, G.K., RAVI PRAKASH, M., DESHMUKH, S.D. & V.S. SINGH (2002): Role of some salient geophysical, geochemical, and hydrogeological parameters in the exploration of fresh groundwater in a brackish terrain. - Environm. Geol., **41**: 861-866.
- HORNBURG, V. & LUER, B. (1999): Vergleich zwischen Total- und königswasserextrahierbaren Elementgehalten in natürlichen Böden und Sedimenten. J. Plant Nutr. Soil Sci., **162**: 131-137.
- HORNIG, W., PUFF, P., SCHLEGEL, G., SEIDEL, G. & A. STEINMÜLLER (1981): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der DDR (Blätter Eisenberg (5037) und Langenberg (5038). - 201 S.; Zentr. Geol. Inst.; Berlin.
- HUNDT, R. (1945): Geologische Wanderungen im Gebiet der Weißen Elster und ihrer Nebenflüsse. - In: HUNDT, R. (Hrsg.): Osthüringer Geologie. - Ortsgruppe Gera des TGV Jena, **1**: 17-28; Gera.
- HUNDT, R. (1959) Erdgeschichte der Geraer Landschaft. - 63 S.; Gera.
- JAKUBICK, A.T., GATZWEILER, R., MAGER, D. & A. ROBERTSON (1997): The Wismut waste Pile Remediation Program of the Ronneburg Mining District. - 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C. Canada, May 31-June 6.
- JEONG, C.H. (2001): Mineral-water interaction and hydrogeochemistry in the Samkwang mine area, Korea. – Geochem. Journ., **35**: 1-12.
- JOHNSON, C.A.: The regulation of trace element concentration in river and estuarine waters contaminated with acid mine drainage: The adsorption of Cu and Zn on amorphous Fe oxyhydroxides.- Geochim. Cosmochim. Acta, **50**: 2433-2438.
- JOHNSON, J. (2001): Database llnl.dat.- Geochemists workbench, Lawrence Livermore National Laboratory
- JACOBS, F. & H. MEYER (1992): Geophysik – Signale aus der Erde. - 167 S.; Stuttgart, Leipzig.
- KALKA, H., MÄRTEN, H., HAGEN, J. & R. MÜNZE (1998): Geochemical infiltration model for the simulation of reactive transport in mining dump sites. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 470-479; Köln.

KENNEDY, V.C., JONES, C. & G.W. ZELLWEGER (1974): Filter pore size effects on the analysis of Al, Fe, Mn and in water.- Water Res. Res, **10**: 785-790.

KIEßIG, G. & C. KUNZE (1996): Wasserbehandlung und RückstandsentSORGUNG. - Geowiss., **14**: 481-485.

KIMBALL, B.A., BROSHEARS, R.E., MCKNIGHT, D.M. & K.E. BENCALA (1994): Effects of instream pH modification on transport of sulfide-oxidation products. - In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**: 224-243; Washington D.C.

KISTINGER, S. (1995): Vorhersage der sich nach der Flutung des Ronneburger Uranbergwerks einstellenden Grundwasserverhältnisse. - In: MERKEL, B., HURST, S., LÖHNERT, E.P. & W. STRUCKMEIER (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology I, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, October 1995. - Geocongress, **1**: 309-314; Köln.

KISTINGER, S., DEIBMANN, G., PETTIT, C.M. & G.M. WIATZAKA (1998): Prediction of the longterm release of the contaminants from the Ronneburg uranium mine after flooding on the basis of hydrological and hydrogeochemical model calculations. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 106-114; Köln.

KÖGEL, W. (1991): Zur Bergbaugeschichte und Entwicklung der Bergbautechnologie. - Emser Hefte, **4**: 10-19.

KÖHLER, M. & H. SÄNGER (1998): Biotic and abiotic factors influencing the long-term stability of covers on waste rock piles in the uranium mining district of Saxony and Thuringia. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 347-355; Köln.

KRAMER, W. & G. JUST (1995): Seltene Elemente in spätvariszischen mafischen Ganggesteinen und Effusiva im Bereich der Uranlagerstätten des Westerzgebirges und Ostthüringen. - Z. Geol. Wiss, **23**: 561-572; Berlin.

KRETSCHMER, E.P. (1945): Die Wasserversorgung der Stadt Gera einst und jetzt. - In: HUNDT, R. (Hrsg.): Ostthüringer Geologie. - Geol. Verein f. Gera u. Umgeb., **2**: 12-22; Gera.

LANGBEIN, R. & G. SEIDEL (1995): Zechstein. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 180-187; Stuttgart.

LANGE, G. (1995): Die Uranlagerstätte Ronneburg. - Z. geol. Wiss., **23**: 517-526; Berlin.

LANGE, G., DIETEL, W., SCHUSTER, D. & H. MOTZ (1998): Geologie der Uranlagerstätten Culmitzschen und Ronneburg. - Lapis, **23**: 65-74.

LANGE, G., MOTZ, H., REICHARDT, C. & H. SCHMIDT (1999): Stratigraphie und Tektonik des gefalteten Paläozoikums nördlich und nordöstlich von Ronneburg. - Beitr. Geol. Thüringen, N.F. **6**: 199-157; Jena.

LANGE, G., MÜHLSTEDT, P., FREYHOFF, G. & B. SCHRÖDER (1991): Der Uranerzbergbau in Thüringen – ein geologisch-bergmännischer Überblick. - Erzmetall, **44**: 162-171.

LANGE, G. & G. FREYHOFF (1991): Geologie und Bergbau in der Uranlagerstätte Ronneburg/Thüringen. - Erzmetall, **44**: 264-269.

LEE, J.-S., JOHN, H.-T., KIM, J.-S., KIM, K.-W. & H.-S. MOON (1998): Enrichment of potentially toxic elements in areas underlain by black shales and slates in Korea. - Environ. Geochem. Health, **20**: 135-147.

LEFEBVRE, R., HOCKLEY, D., SMOLENSKY, J. & A. LAMONTAGNE. (2001): Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 1: Conceptual model and system characterization. - J. Contam. Hydrol., **52**: 137-164.

LEFEBVRE, R., HOCKLEY, D., SMOLENSKY, J. & A. LAMONTAGNE (2001): Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 2: Applications of numerical simulation. - J. Contam. Hydrol., **52**: 165-186.

LEWANDOWSKI, J., LEITSCHUH, S. & V. KOß (1997): Schadstoffe im Boden: Eine Einführung in Analytik und Bewertung.- 339 S.; Berlin.

LIEBE, K.T. (1878a): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1:25.000, Section Ronneburg. - 29 S., Neumannsche Kartenhandlung; Berlin.

LIEBE, K.T. (1878b): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1:25.000, Section Gera. - 29 S., Neumannsche Kartenhandlung; Berlin.

- LINNEMANN, U. & B. BUSCHMANN (1995a): Der Nachweis der cadomischen Diskordanz in einer Tiefbohrung bei Gera und deren Bedeutung für das proterozoische-paläozoische Standardprofil im Schwarzburger Sattel. - Geowiss. Mitt. Thüringen, **3**: 1-11; Weimar.
- LINNEMANN, U. & B. BUSCHMANN (1995b): Die cadomische Diskordanz im Saxothurinikum (oberkambrisches-tremadocische overlap-Sequenzen). - Z. geol. Wiss., **23**: 707-727; Berlin.
- LOWSEN, R.T. (1982): Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen. - Chem. Rev., **82**: 461-497.
- LOWSON, R.T. & P.L. BROWN (1995): Geochemistry contribution to the rehabilitation of the Wismut uranium mines, Germany. – In: AUSIMM (1995): Adding Value To Our Resources – Our Future. - Annual Conference Newcastle March 1995, Newcastle, AusIMM Publication, **95/1**: 192 S., Victoria.
- LÜTZNER , H., ANDREAS, D., MÄDLER, J., MICHAEL, J., VOIGT, H., WERNEBURG, R., JUDERSLEBEN, G. & J. JUNGWIRTH (1995): Siles und Rotliegend. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 188-277; Stuttgart.
- MATTHESS, G. & K. UBELL (1983): Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 1: Allgemeine Hydrogeologie Grundwasserhaushalt. - 438 S., Berlin, Stuttgart.
- MATTHESS, G (1994): Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 2: Die Beschaffenheit des Grundwassers.- 499 S., Berlin, Stuttgart.
- MEINEL, G. (1993): Mögliche Beziehungen zwischen Uranlagerstätten und der Kratonisierung am Beispiel Thüringens. - Geowiss. Mitt. Thüringen, **1**: 59-63; Weimar.
- MEINEL, G. (1993a): Die Bildung der Gangmineralisationen Thüringens. - Geowiss. Mit. Thüringen, Beih.: 1-111; Weimar.
- MEINEL, G. (1995): Magmatismus und Metamorphose. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 180-187; Stuttgart.
- MEYER DE STADELHOFEN, C. (1991): Anwendung geophysikalischer Methoden in der Hydrogeologie. - 230 S.; Berlin, Heidelberg.
- MOSES, C.O., NORDSTROM, D.K., HERMAN, J.S. & A.A. MILLS (1987): Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and ferric iron. - Geochim. Cosmochim. Acta, **51**: 1561-1571.
- MOTZ, H. (1992): Überschiebungstektonik und Schichtlücken im Ronneburger Erzfeld. - Zbl. Geol. Paläont. **T1**:182-183.
- MÜLLER, H. (1991): Verschwundene Dörfer in Ostthüringen. - Der Heimatbote, Vogtländisches Kulturmagazin, **8**: 32-36; Gera.
- MÜLLER, A., HANISCH, C., ZERLING, L., LOHSE, M. & A. WALTHER (1998): Schwermetalle im Gewässersystem der Weißen Elster. Natürliche und anthropogene Elementverbindungen im Sediment, im Schwebstoff und in der gelösten Phase. - Abh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig, 58: 199 S.; Berlin.
- MÜNZE, R., SCHULZ, H., FUNKE, L., EHRLICHER, U., JAHN, S., LINDNER, T. & W. LÖBNER (1998): Quantification of radionuclides and heavy metals release from mining waste rock material on the basis of a data analysis of hydrostatic and infiltration column experiments. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 288-297; Köln.
- MURAD, E., SCHWERTMANN, U., BIGHAM, JERRY M. & L. CARLSON (1994): Mineralogical characteristics of poorly crystallized precipitates formed by oxidation of Fe^{2+} in acid sulfate waters. – In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**: 190-200; Washington D.C.
- NICHOLSON, R.V., GILLHAM, R.W. & E.J. REARDON (1988): Pyrite oxidation in carbonate-buffered solution: 1. Experimental kinetics. - Geochim. Cosmochim. Acta, **52**: 1077-1085.
- NOACK, U., BAUER, S. & P. ROTH (1993): Orientierende Gewässergütebeurteilung von Vorflutern im Uranerzbergbaugiet der WISMUT bei Ronneburg. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 137-142; Gera.
- NORDSTROM, D.K. (1982): Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. - In: KITTRICK, J.A. (Hrsg.): Acid Sulfate Weathering. - Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., **10**: 37-57.
- NYAVOR, K., EGIEBOR, N.O. & P.M. FEDORAK (1996) Suppression of microbial pyrite oxidation by fatty acid amine treatment. - Sci. Total Environ., **182**: 75-83.

- PARKHURST, D.L. & C.A.J. APPELO (1999): User`s guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculation. - U.S. Geol. Surv., Wat. Resour. Inv. Rep., **99-4259**: 326 S.; Denver, Col.
- PARKHURST, D.L. (1995): User`s guide to PHREEQC: A computer model for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculation. - U.S. Geol. Surv., Wat. Resour. Inv. Rep., **95-4227**: 143 S.; Denver, Col.
- PARKHURST, D.L. & C.A.J. APPELO (1980): User`s guide to PHREEQE: A computer program for geochemical calculation. - U.S. Geol. Surv., Wat. Resour. Inv., **80-4227**: 210 S.; Washington, D.C.
- PAUL, M., SÄNGER, H.-J., SNAGOWSKI, S., MÄRTEN, H. & M. ECKART (1998): Prediction of the flooding process at the Ronneburg site – Results of an integrated approach. - In: MERKEL, B. & C. HELLING (eds.): Uranium Mining and Hydrogeology II, Proceedings of the International Conference and Workshop, Freiberg, September 1998. – Geocongress, **5**: 401-410; Köln.
- PEIFFER, S. (1997): Umweltgeochemische Bedeutung der Bildung und Oxidation von Pyrit in Gewässersedimenten. - Bayreuther Forum Ökologie **47**, 104 S.
- PFEIFER, H., BLUMENSTENGEL, H. & H. WIEFEL (1995): Dinant (Unterkarbon). - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 147-166; Stuttgart.
- PLANT, J.A., SIMPSON, P.R., SMITH, B. & B.F. WINDLEY (1999): Uranium ore deposits - Products of radioactive earth. - In: BURNS, P.C. & R. FINCH (eds.): Uranium: Mineralogy, Geochemistry and the Environment. - Rev. Mineral., **38**: 255-319, Washigton D.C.
- PLEßOW, A.J. (1999): Verfahren zur Bestimmung der Migrationsformen von Spurenelementen in Sickerwässern und Porenlösungen sulfidhaltiger Abraumhalden. - Akademische Abhandlungen Geowissenschaften, 158 S. (Diss. Univ. Göttingen).
- PREIN, A. (1993): Sauerstoffzufuhr als limitierender Faktor für die Pyritverwitterung in Abraukippen von Braunkohletagebauen. - Mitt. Inst. Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlicher Wasserbau der Universität Hannover, **79**, 126 S., 74 Abb., 8 Tab.
- PROKORP, R., HOFFMANN, M., PIETZSCH, G., STELZIG, R. & H. UHLE (1991): SDAG Wismut: Der Uranerzbergbau in der ehemaligen DDR. - Glückauf, **127**: 345-357; Essen.
- REICHELT, G. (1953): Über den Stand der Auelehmforschung in Deutschland. - Petermanns Geogr. Mitt., **97**: 245-261.
- RITCHIE, A.I.M. (1994): The waste-rock environment. - In Jambor, J.L. & D.W. Blowes (eds.): The environmental geochemistry of sulfide mine-wastes.- Min. Assoc. Canada, **22**: 133-161.
- RÖSLER, R. (1985): Geoelektrik – Allgemeine Grundlagen. - In: MILITZER, H. & F. WEBER (Hrsg.): Geoelektrik, Geothermik, Radiometrie, Aerogeophysik. - Angewandte Geophysik, Bd. **2**: 13-29; Berlin.
- RÖSLER , H.-J. & C.-D. WERNER (1979a): Petrologie und Geochemie der variszischen Geosynkinalmagmatite Mitteleuropas Teil I.- Freib. Forschungsh., **C336**: 1-265; Leipzig.
- RÖSLER , H.-J. & C.-D. WERNER (1979b): Petrologie und Geochemie der variszischen Geosynkinalmagmatite Mitteleuropas Teil II.- Freib. Forschungsh., **C344**: 1-295; Leipzig.
- ROGOZ, M. (1994): Computer Simulation of the Process of flooding up a group of mines. - 5th Intern. Mine Water Congr., Sept. 1994: 369-377; Nottingham, U.K.
- ROGOZ, M. & E. E. POSYLEK (1982): Prediction of water inflow to mines using modified trend methods.-Proc., 1st Intern. Mine Water Congress, Budapest, Hungary: 258-377; Budapest..
- ROSENKRANZ, E. (1961): Geomorphologische Untersuchungen an der Hauptterrasse im Tal der Weißen Elster. - 143 S., Diss., FSU Jena
- ROSENKRANZ, E. (1965): Die Hauptterrasse im Tal der Weißen Elster und ihre Altersstellung. - Wiss Z. d. Univ. Jena: Math.-Nat. R., **14**: 11-24.
- ROSENKRANZ, E. (1969): Die geomorphologische Entwicklung am Ost- und Südostrand des Thüringer Beckens seit dem Tertiär- Ein Beitrag zur Erforschung der Großformen. - 212 S., Habil.-Schr, FSU Jena.
- RUSSE, B. (1991): Zur Geologie und Tektonik des Schiefergebirges. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **18**: 20-24; Gera.
- RUSSE, B. (1995): Probleme der Überschiebungstektonik im Ronneburger Erzfeld. - Z. Geol. Wiss., **23**: 769-776; Berlin.

- SÄNGER, H. (1993): Beitrag zum Vorkommen von Makromyceten auf ausgewählten Bergehalden des Uranerzbergbaus in Ostthüringen unter Beachtung ihrer Eignung als Bioindikatoren. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 143-165; Gera.
- SCHMIDT, H. & C. REICHARDT (1993): Ergebnisse zum WISMUT-Umweltkataster im Uranerzbergbaugebiet Ronneburg. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 7-39; Gera.
- SCHNEIDER, P., OSENBRÜCK, K., NEITZEL, P.L. & K. NINDEL (2002): In-situ mitigation of effluents from acid waste rock dumps using reactive surface barriers – a feasibility study. - Mine Water Environm., **21**: 36-44.
- SCHROEDER, P.R., DOZIER, T.S., ZAPPI, P.A., MCENROE, B.M., SIESTROM, J.W. & P.L. PEYTON (1994): The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model. - Engineering Documentation for Version 3, EPA/600/R-94/168b, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. - 221 S.; Washington DC.
- SCHULZE, G. (1993): Bestandsaufnahme und stoffliche Charakterisierung der stofflichen Auswirkungen des Uranerzbergbaus und der Uranerzaufbereitung (Standort Seelingstädt) am Beispiel des Wasserpades. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **20**: 40-73.
- SCHUSTER, D. (1995): Uranvererzung im Bereich von Ganggesteinen im nordöstlichen Ronneburger Erzfeldes. - Z. geol. Wiss., **23**: 553-559; Berlin.
- SEIDEL, G. (1995): Saxonische Tektonik.- In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 373-377; Stuttgart.
- SINGER, P.C. & W. STUMM (1970): Acidic mine drainage: The rate determining step. - Science **167**: 1121-1123.
- SINGH, R.N., DENBY, B. & S.M. REED (1985): The effect of groundwater re-establishment on the settlement of opencast mine backfills in the United Kingdom. - Intern. Journ. of Mine Water, **4**: 803-816; Granada (Spanien).
- SOMMER, T. (2001): Auswirkungen anthropogener Überprägung von Flußauen auf deren Grundwasserdynamik und -beschaffenheit am Beispiel der Unstrut. - Proc. DGFZ, H. **20**: 1-163; Dresden.
- STACKEBRAND, W. & H.-J. FRANZKE (1989): Alpidic reactivation of the variscan consolidated lithosphere. The activity of some fracture zones in Central Europe. - Z. geol. Wiss., **17**: 699-712; Berlin.
- STEINMÜLLER, A. (1961): Pleistozäne und holozäne Schwemmkessel im Buntsandstein des mittleren Saaletals. - Geogr. Ber., **6**: 197-213.
- STEINMÜLLER, A. (1994): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25000 von Thüringen (Blatt Osterfeld, Nr. 4937). - 276 S., TLfG; Weimar.
- STUMM, W. & J.J. MORGAN (1981): Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. - 780 S.; New York.
- SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (1993): Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. - Z. angew. Geol., **39**: 20-22.
- SUKHIJA, B.S., REDDY, D.V., NAGABHUSHANAM, P., HUSSAIN, S. & V.Y. GRI (1996): The use of environmental isotopes and chloride as natural tracers to investigate the effect of depressurisation of a coastal aquifer for lignite mining, India. - hydrogeol. J., **4**: 70-88.
- SZUROWSKI, H., RÜGER, F. & W. WEISE (1991): Zu den Bildungsbedingungen und der Mineralisation der Uranlagerstätte. - Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, **18**: 25-43; Gera.
- TELFORD, W.M., GELDART, L.P. & R.E. SHERIFF (1990): Applied Geophysics. - 770 S.; Cambridge.
- TONNDORF, H. (1994): Metallogenesis of Uranium in the eastern German Zechstein. - Abh. Sächs. Akad. Wiss., Math. Naturwiss. Kl., **58**: 3.
- UNGER, K.P. & R.-D. KAHLKE (1995): Thüringen. - In: BENDA, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands: 199-219; Berlin, Stuttgart.
- UNGER, K.P. (1995): Quartär. - In: SEIDEL, G. (Hrsg.): Geologie von Thüringen: 392-422; Stuttgart.
- VAN BERG, W. (1987): Hydrochemische Stoffumsetzung in einem Grundwasserleiter - beeinflußt durch eine Steinkohlenbergehalde. - Bes. Mitt. Dtsch. Gewässerkundl. Jb., **49**: 175 S.
- VIEHWEG, M. (1995): Regionale Verteilung der Uranlagerstätten Sachsen und Thüringen. - Z. geol. Wiss., **23**: 547-552; Berlin.

- VOGEL, D., PAUL, M., SÄNGER, H.-J. & S. JAHN (1996): Probleme der Wasserbehandlung am Sanierungsstandort Ronneburg. - Geowiss., **14**: 486-489.
- WEBSTER, J.G., NORDSTROM, D.K. & K.S. SMITH (1994): Transport and natural attenuation of Cu, Zn, As, and Fe in the acid mine drainage of Leviathan and Bryant Creeks. - In: ALPERS, C.N. & D.W. BLOWES (eds.): Environmental geochemistry of sulfide oxidation. - ACS symposium series **550**: 244-260; Washington D.C.
- WEISE, W., PAUL, M., JAHN, S. & U. HDEPFNER (1996): Geochemische Aspekte der Haldensanierung am Standort Ronneburg. - Geowiss., **14**: 470-475.
- WILLIAMS, T.M. & B. SMITH (2000): Hydrochemical characterization of acute acid mine drainage at Iron Duke mine, Mazowe, Zimbabwe. - Environm. Geol., **29**: 272-278.
- WILLIAMSON, M. & J.D. RIMSTIDT (1994): The kinetics and electrochemical rate determining step of aqueous pyrite oxidation. - Geochim. Cosmochim. Acta, **58**: 5443-5454.
- WINDE, F. (1998): Zur Bedeutung fluvialer Prozesse für den gelösten Stofftransfer im Uranbergbaugebiet Ostthüringen – untersucht am Beispiel des Lerchenbaches im Bereich der Culmitzschaue bei Seelingstädt. - In: FRÜHAUF, M. & U. HARDENBICKER (Hrsg.): Geowissenschaftliche Umweltforschung in Mitteldeutschland. - Beitr. 3. Tagung Geogr. Umweltforschung Mitteldeutschland, 6.11.1997 Halle/Saale: 11-32; Halle.
- WISMUT (1999): Chronik der Wismut, CD-Rom, 2738 S.; Chemnitz.
- WISOTZKY, F. (2001): Acid Mine Drainage und dessen Minderung durch Zugabe von alkalisch wirkenden Zuschlagsstoffen. - Habil.-Schr., Fak. f. Geowiss., Ruhr-Univ. Bochum: 166 S.; Bochum.
- WISOTZKY, F. & P. OBERMANN (1995): Hydrochemie der Pyritoxidation am Beispiel des Rheinischen Braunkohlenreviers. - In: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENKUNDE (Hrsg.): Grundwassergüteentwicklung in den Braunkohlengebieten der neuen Länder **1**: 167-183.
- WISOTZKY, F. (1994): Untersuchung zur Pyritoxidation in Sedimenten des Rheinischen Braunkohlereviers und deren Auswirkungen auf die Chemie des Grundwassers. - Bes. Mitt. Z. Dt. Gewässerk. Jb., **58**, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 153 S.; Essen.
- WISOTZKY, F. (1996): Hydrogeochemische Reaktionen im Sicker- und Grundwasserbereich von Braunkohlentagebaukippen. - Grundwasser, **3-4**: 129-136.
- WOLKERSDORFER, C. (1996) Hydrogeochemische Verhältnisse im Flutungswasser eines Uranbergwerks – Die Lagerstätte Niederschlema/Alberoda. - Clausthaler Geowiss. Diss, 50: 216 S., Clausthal-Zellerfeld
- WUNDERLY, M.D., BLOWES, D.W., IRIND, E.O. & C.J. PTACEK (1996): Sulfide mineral oxidation and subsequent reactive transport of oxidation products in mine tailings impoundments: A numerical model. - Water Res. Research, **32**: 3173-3187.
- YU, J.Y. (1996): Precipitation of Fe and Al compounds from the acid mine waters in the Drogiae Area, Korea: A qualitative measure of equilibrium modeling applicability and neutralization capacity. - Aquatic Geochem., **2**: 81-105.
- YU, J.Y. & B. HEO (2001): Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. - Appl. Geochem., **16**: 1041-1053.
- ZAGWIJN, W.H. (1985): An outline of quaternary stratigraphy of the Netherlands. - Geologie en Mijnbouw, **64**: 17-24.
- ZEGGEL, L., ČELETNEKY, J. & D. MERTEN (2002): Haldensickerwasser aus einer Uranbergbauhalde: Die Sickerwassermessstelle Q4. - In: SCHAFMEISTER, M.-J. & T. MEYER (Hrsg.): Grundwasserressourcen im Spannungsfeld zwischen Erschließung und Naturschutz. - Schriftenr. DGG, **19**: 133; Hannover.
- ZIMMERMANN, E. (1897): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1:25.000, Blatt Gera. - 89 S., S. Schropp'schen Hof-Landkartenhandl.; Berlin.
- ZIMMERMANN, E. (1930): Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25.000, Blatt Gera. - 81 S., Preußische Geologische Landesanstalt; Berlin.
- ZOUMIS, T., CALMANO, W. & U. FÖRSTNER (2000): Demobilization of heavy metals from mine waters. - Acta hydrochim. hydrobiol., **28**: 212-218; Weinheim.

11.1. Unveröffentlichte Unterlagen

- ANALYTEC (2000): Zwischenbericht Geophysik – Geophysikalische Messungen zur Erkundung der quartären Lagerungsverhältnisse in einem Bergbausanierungsgebiet. - Analytec Dr. Steinhau, Projekt-Nr.: M-099/99: 23 S., Chemnitz (unveröff.).
- BCE (1995): Studie zur Errichtung eines Wasserfassungssystems im Gessental. - Erläuterungsbericht, Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt, 42 S., (unveröff.).
- BRENK SYSTEMPLANUNG (1995): Fortsetzung der Tagebauverfüllung. - Bericht zum TV 9205-5/R2 im Rahmen des Vertrages: Bewertungskriterien und Vorgaben für die Sanierung bergbaulicher Altlasten in den Ländern Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt, BMU-Vorhab.: St. Sch. 4012/1, Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Aachen, (unveröff.).
- C&E (1997): Wasserhausrechtliche Untersuchungen im Bereich der Nordhalde, Teil I: Untersuchung zum Istzustand. - Consulting und Engineering GmbH, Internes Gutachten; 19.01.1997, Aue (unveröff.).
- DMT (2001): Planungsunterlagen für ein Grundsystem und Ausbauvarianten zur Wasserfassung und –ableitung in den potentiellen Austrittsgebieten des Grundwassers im Gessental und Lammsbachthal.- Erl.-Ber. u. Kostenschätzung zur Vorpl. - Deutsche Montan Technologie GmbH, Bearb.- Nr.: 2/201102/0/01/3.1/12933, 40 S., Essen (unveröff.).
- DUNGER, V. (1997): Dokumentation des Modells BOWAHALD-2D zur zweidimensionalen Simulierung des Wasserhaushalts von wasserungesättigten Bergehalden und Deponien unter Berücksichtigung der Abdeckschichten. – 89 S., Freiberg (unveröff.).
- FENGLER, H.-J. (1997): Die Uranerzlagerstätte Ronneburg - Exkursionsführer: Geologie, Bergbau und Sanierung des Osthüringer Uranerzbergbaugebiet. -Exkursion B6 der 149. Jahrestagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Jena am 02.10.1997; 61 S.; Chemnitz (unveröff.).
- FRIEDRICH, C. (1998): Kleinräumige geophysikalische Vermessung an Halden im Bereich Ronneburg mit Hilfe der Geoelektrik und des Bodenradars. - Diplomarb., 159 S., TU Clausthal-Zellerfeld (unveröff.).
- FISCHER, C. (2002): Oberflächenquantifizierung an Schwarzpelen unterschiedlicher Verwitterungsgrade. - Diss. Inst. f. Geowiss., Univ. Jena: 117 S., FSU Jena (unveröff.).
- GELETNEKY, J. & G. BÜCHEL (1999) Hydrogeologische Untersuchungen im Gessenbachtal. Bisher erhobene Daten und erste Zwischenergebnisse.- Bericht, 59 S., Univ. Jena (unveröffentl.).
- GLÄSER, W. & S. WOHNЛИCH (1998): Hydrogeochemische Prozesse in Braunkohletagebaukippen Mitteldeutschlands. - Zwischenbericht zum DFG Projekt GI 233/1-3, Wo 396/3-3. (unveröff.).
- KLOTH, J.U. (2000): Hydrogeochemische Untersuchungen an ausgewählten Lithoeinheiten der Ronneburger Uranbergbauregion. - Diplomarb., Inst. f. Geowiss., Univ. Jena, 61 S., FSU Jena (unveröff.).
- LAHL, K. (2001): Elutionsversuche an ausgewählten quartären Sedimenten sowie an Ockerkalkzersatzmaterial aus dem Gessental bei Ronneburg (ehemaliges osthüringisches Uranbergbaugebiet). - Diplomarb., Inst. f. Geowiss., Univ. Jena, 88 S., FSU Jena (unveröff.).
- LOKE, M.H. (1999): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. - Handbuch zu RS2DINV 2.04; Penang, Malaysia.
- MEINHOLD, G. (2001): Die Finne-Störung am Südwesthang des Ronneburger Horstes (Blatt Gera 5138). -Dipl. Kart., Inst. f. Geowiss., Univ. Jena, 83 S. (unveröff.).
- MERTEN, D, GELETNEKY, J. & G. BÜCHEL (in Vorb.): Acid mine drainage in a former uranium mining site, Eastern Thuringia, Germany.: detremination of rare earth elements by inductively coupled plasma mass spectrometry.- Eingereicht bei J. An. At. Spectrom.
- MÜNZE, R. SCHULZ, H. & M. FUNKE (1997): Abschlußbericht: Quantifizierung der Radionuklidfreisetzung aus Haldenmaterial unter Berücksichtigung der geochemischen Prozesse auf der Basis einer Datenanalyse der hydrostatischen und infiltrativen Kolonnenversuche (Ronneburger Haldenmaterial), IAF Radioökologie GmbH Dresden, im Auftrag der WISMUT GmbH, Juli 1997, Chemnitz (unveröff.).
- OBERMANN, P., VAN BERK, W. & F. WISOTZKY. (1993): Endbericht über die Untersuchungen zu den Auswirkungen der Abraumkippen im Rheinischen Braunkohlenrevier auf die Grundwasserbeschaffenheit. - Ruhr-Universität Bochum, 181 S. (unveröff.).
- SCHÖNBUCHNER, H. (in Vorb.): Mobilität und Boden-Pflanze-Transfer von Schwermetallen auf/in uranhaltigen Haldenböden.- Diss., Inst. f. Ernährungswiss., Univ. Jena; Jena (unveröff.).

SMILDE, P. (1995): Programmsystem Suvey.- Software zur geodätischen Vermessung, Univ. Mainz, Inst. f. Geowiss (unveröff.).

SOLEXPERTS (1997): Hydrogeologische Testarbeiten bei Ronneburg: Schlußbericht. - Internes Gutachten, Solexperts AG: 72 S.; Schwerzenbach, Schweiz (unveröff.).

USAKO (1991): Geologisch-hydrogeologische Stellungnahme und Gefährdungseinschätzung für den Deponiestandort der Stadt Ronneburg. - Anlage 1: Entwurfsplanung zur Sanierung und Rekultivierung der Hausmülldeponie der Stadt Ronneburg, Gutachten, Büro für Umweltsanierungskonzepte, SDAG Wismut-Geschäftsbereich Umweltengineering, 20 S., Gera (unveröff.).

VDLUFA (1991): Die Untersuchung von Böden.- Methodenbuch, Bd. 1; Darmstadt.

VEB HYDROGEOLOGIE (1980): Hydrogeologischer Bericht Thränitz. - mit gutachtlicher Stellungnahme Stadtgebiet Gera. - Bericht des VEB Kombinat GFE, Arbeitsstelle Jena, Nordhausen, 43 S. (unveröff.).

WENGEL, M. (2001): Isolierung und Charakterisierung von gelösten Schwermetallkomplexen mit organischen Liganden aus Oberflächengewässern des Ronneburger Uranbergbaureviers.- Diplomarb., Inst. f. Geowiss., Univ. Jena, 81 S., FSU Jena (unveröff.).

WISMUT (2001): Umweltbericht der Wismut 2000 – Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit an den Standorten der WISMUT GmbH im Jahre 2000. - CD-Rom Unternehmensleitung der Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (2000): Umweltbericht der Wismut 1999 – Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit an den Standorten der WISMUT GmbH im Jahre 1999. - CD-Rom Unternehmensleitung der Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1999): Umweltbericht der Wismut 1998 – Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit an den Standorten der WISMUT GmbH im Jahre 1998. - CD-Rom Unternehmensleitung der Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1998a): Exkursionsführer zum Uranbergwerk Ronneburg und zum Aufbereitungsstandort Crossen/Helmsdorf. - Exkursionsführer: Uranium mining and hydrogeology II, Freiberg, 15-17.09.1998 in Freiberg, Redaktion: PAUL, M. & B. BRÜCKNER, Wismut GmbH, Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1998b): Umweltbericht der Wismut 1997 – Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit an den Standorten der WISMUT GmbH im Jahre 1997. - CD-Rom Unternehmensleitung der Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1997a): Umweltbewertung zum Sanierungsvorhaben Verbringung der Nordhalde (1. Teilabschnitt) in das Tagebaurestloch Lichtenberg. - In: WISMUT (1997): Abtrag der Nordhalde, 1. Teilabschnitt bis 300 mNN und Einbau in das Restloch des Tagebaus Lichtenberg in 1,2 m- Scheiben. - gesonderte Unterlage: 108 S. 28.11.1995; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1997b): Umweltbericht der Wismut 1996 – Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit an den Standorten der WISMUT GmbH im Jahre 1996. - CD-Rom: 119 S. Unternehmensleitung der Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1995a): Nordhalde – Darstellung des Istzustandes und Bewertung des Gefährdungspotentials. - 35 S., Bericht v. 31.05.1995; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1994a): Entwurf Sanierungskonzept Standort Ronneburg.- Stand März 1994, interne Antragsunterlagen Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1994b): Sanierungskonzept Standort Ronneburg.- Stand Dezember 1994, interne Antragsunterlagen Wismut GmbH; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1994c): Projekt zur Hohlraumerkundung und Verfüllung im Grubenfeld Ronneburg NW. - Interne Antragsunterlagen, Sanierungsbetrieb Ronneburg, Stabsstelle, Z.-Nr.: SOP-325: 8 S; Chemnitz (unveröff.).

WISMUT (1992): Ergebnisbericht – Analyse von Mineralogie, Spurenelementchemismus und Spurenelementfixierung in Sedimenten der Vorfluter Gessenbach, Wipse und Sprotte .- Bearbeiter URST Umwelt und Rohstofftechnologie GmbH Greifswald, 20.11.1992; Greifswald (unveröff.).

WISMUT (1985): Katalog der Gesteinseigenschaften- Eine kurzgefaßte petrographische, mineralogische, geochemische und physikochemische Charakteristik der Gesteine im Ronneburger Raum. – Teil 1: Zentralgebiet des Ronneburger Erzfelds, Teil 2: Flanken des Ronneburger Erzfelds.- Bearb: SZUROWSKI, H., 165 S.; Gera (unveröff.).

ZEGGEL, L. (2001): Untersuchungen zur Hydrologie und Beschaffenheit von Grund- und Oberflächenwasser im Gessental bei Ronneburg (ehemaliges ostthüringisches Uranbergbaurevier).- Diplomarb., Inst. f. Geowiss., Univ. Jena, 104 S., FSU Jena (unveröff.).

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Lage des ostthüringischen Uranbergbaugebietes und der Wasserscheide zwischen der Weißen Elster im Westen und der Pleiße im Osten mit dem ca. 74 km ² großen Ronneburger Revier im Norden und dem ca. 85 km ² großen Seelingstädter Revier im Süden.....	10
Abb. 2	Einteilung des Ronneburger Reviers nach Grubenfeldern. Das Ronneburger Uranbergbaurevier war bis 1993 aufgeteilt in den Sanierungsbereich Drosen mit den ehemaligen Betriebsteilen Korbußen, Beerwalde und Drosen nördlich der Autobahn A 4 und dem Sanierungsbereich Ronneburg mit den Betriebsteilen Schmirchau, Reust, Lichtenberg und Paitzdorf südlich der Autobahn A4. Die Betriebsteile weisen im Sanierungszeitraum teilweise unterschiedliche Flutungsmanagements auf....	11
Abb. 3:	Höhenschichtenkarte des Untersuchungsgebietes (Einzugsgebiet des Gessenbaches: gestrichelte Linie) und angrenzender Gebiete, berechnet aus Rasterdaten (DGM 10, Höhengenaugkeit ± 1 m bis ± 2 m, Gitterweite 10 m) des Thüringer Landesvermessungsamtes aus dem Jahr 1998. Die Höhen sind in mNN angegeben.....	15
Abb. 4:	Regionalgeologische Position des ostthüringischen Uranbergbaureviers (BGR 1993, veränd.).....	18
Abb. 5:	Abgedeckte geologische Karte des Ronneburger Uranbergbaureviers. Schnitt E-E' s. Abb. 8, Schnitt A-A' s. Abb. 32, Ausschnitt des Hauptuntersuchungsgebiet östliches Gessental s. (nach FENGLER 1997, LANGE et al. 1999, veränd.).....	19
Abb. 6:	Unterer Graptolithenschiefer mit alterierten Krusten und weißem Bleichungszonen aus dem Bereich des ehemaligen Schurf 13 im Gessental bei Ronneburg.....	24
Abb. 7:	Eisrandlagen in Thüringen und Sachsen (EISSMANN 1975, veränd.).....	32
Abb. 8:	Schematischer Schnitt durch das Ronneburger Revier. Schnittlinie aus Abb. 5 (FENGLER 1997, LANGE et al. 1999, veränd.).....	36
Abb. 9:	Schematische Darstellung der Oxidations- und der Vererzungszone (Zementationszone) im Ronneburger Uranbergbaurevier, nicht maßstabsgetreu (SZUROWSKI et al. 1991, LANGE & FREYHOFF 1991, veränd.).....	39
Abb. 10:	Lage der Probenahmestellen und der Bohrpunkte im Gessental.....	46
Abb. 11:	Stromlinien zwischen den Elektroden (A, B) und den Sonden (M, N) in einem geschichteten Medium. Die Stromdichte nimmt nach unten ab (BERCKHEMER, 1990, MEYER DE STADELHOFEN 1991).....	60
Abb. 12:	Messprinzip der Geoelektrik für die geoelektrische Kartierung mittels Schlumberger-Anordnung. mit $\overline{AS} = \overline{BS}$ und $\overline{MS} = \overline{NS}$ bzw. $\overline{A'S} = \overline{B'S}$ und $\overline{M'S} = \overline{N'S}$. Der Abstand der Elektroden A und B beträgt ein Mehrfaches des inneren Abstandes zwischen den Sonden M und N. Nach der Sondierung am Punkt S wird unter Beibehaltung der Elektroden und Sondensymmetrie an Punkt S' sondiert.....	61
Abb. 13:	Messprinzip der Geoelektrik für die geoelektrische Sondierung mittels Wenner-Anordnung. mit $\overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB}$. Somit können Aussagen über die am Sondierungspunkt S ermittelte Widerstands-Tiefenbeziehung getroffen werden.....	62
Abb. 14:	Messprinzip der Geoelektrik als Multielektrodenmessung. Mit Hilfe eines Multi-Core-Kabel werden die Elektroden äquidistant gesteckt und rechnergesteuert eine große Anzahl unterschiedlicher symmetrische Vierpunktanordnungen gemessen, wobei sich Lage der Sondierpunkte S ₁ , S ₂ S ₃ ,...,S _x verändert (ANALYTEC (2000), veränd.).....	64
Abb. 15:	Orohydrografisches Einzugsgebiet des Gessenbaches/Badergrabens im Ronneburger Uranbergbaugebiet sowie Kontur des bergbaubedingten Absenkungstrichters des Grundwassers (Stand 1996, nach Unterlagen der WISMUT GmbH) mit den prognostizierten potenziellen Flutungswasser-Austrittsstellen nach PAUL et al. (1998).....	67
Abb. 16:	Schematisierte Lage des Straßen- und Gewässernetzes sowie der ehemaligen Ortslagen im östlichen Gessental Stand 1942, rekonstruiert aus Unterlagen der Wismut GmbH sowie der topograph. Aufnahme des Königl. Preuß. Generalstabes (1908), Stand 1942.....	68
Abb. 17:	Vermessenen Punkte zur Erstellung eines Gefälleprofils sowie zur Raum und Höhenlage der Messpunkte und Bohrungen (35: B1, 36: B2, 15: B3, 5: B4) im östlichen Gessental vom März 1999	71
Abb. 18:	Profil des Sohlengefälles im Oberlauf des Gessenbach bzw. im Unterlauf des Badergrabens, ca. 1:7 überhöht.....	72
Abb. 19:	Monatsniederschlag der Stationen Gera-Leumnitz, Ronneburg und Gera-Untermhaus 1997 bis 2001 gegenüber dem durchschnittlichem Monatsniederschlag zwischen 1981-2001.....	74
Abb. 20:	Gesamtmenge an betrieblichen Abwässern im Sanierungsbetrieb Ronneburg sowie dem Wipsebach zugeführtes Fremdwasser aus der Weißen Elster (nach WISMUT 1997b, 1998b, 1999, 2000, 2001)....	77
Abb. 21:	Durchschnittlicher Wochenniederschlag der Niederschlagsmessstation Ronneburg sowie stichtagsbezogene Abflussmessungen im Badergraben (B3) und im Gessenbaches (G7, G5) zwischen 12/88 und 12/99 aus Datenreihen der Wismut GmbH und des Deutschen Wetterdienstes.....	82

Abb. 22(1)a-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Gessenbach (blau) sowie der Zuflüsse (rot), Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.....	86
Abb. 23: Tagesniederschlag der DWD-Station Gera/Leumnitz sowie stichtagsbezogene Abflussmessungen der Messstelle G2 (Wismut-Bezeichnung e-019) im Gessenbach zwischen 08/97 und 02/00 01/97 aus Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes sowie Abflussmessungen der Wismut GmbH (dunkelblau) und eigenen Messungen (türkis).....	90
Abb. 24e-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Badergraben, Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.	91
Abb. 25(2)e-h: Stichtagsbezogene Schüttungsmessungen im Lammsbach, Lokation der Messstellen vgl. Abb. 10.	98
Abb. 26: Temperaturverteilung des Gessenbaches, des Badergrabens und des Lammsbaches am Stichtag 14.01.98. Deutlich wird der Einfluss der Kläranlage Ronneburg und die Erhöhung der Wassertemperatur des Badergrabens kurz vor Mündung in den Gessenbach.....	100
Abb. 27: pH-Werte des Bereiches (s.o.) am 14.01.98 mit den niedrigsten Werten im Gessenbach zwischen Nordhalde und ehem. Gessenhalde aufgrund diffus zutretenden Sickerwassers.....	100
Abb. 28: Kartierung der elekt. Leitfähigkeiten am 14.01.98 mit Erhöhung im Gessenbach zwischen Nordhalde und ehem. Gessenhalde und im Badergraben kurz vor Einmündung in den Gessenbach.....	101
Abb. 29: Elektr. Leitfähigkeitsverteilung am 24.11.98 mit einer Erhöhung im Badergraben infolge von Eisbildung.....	103
Abb. 30: Spannbreiten und Mittelwerte für die Ergiebigkeit (E) und Transmissivität (T) ausgewählter lithologische Einheiten aus Thüringen (nach HECHT 1995, veränd.).	106
Abb. 31: Schematische Darstellung der Grundwasserleiter im Gebiet Bergaer Sattel und in der Zeitzer Schmöllner Mulde mit der Crimmitschauer Störung als hydraulisch wirksames Element (WISMUT 1994a, b, veränd.).	107
Abb. 32: Schnitt durch das Ronneburger Revier mit dem grundwasserleitenden Komplex des Silurs, Schnittlage aus Abb. 5 (WISMUT 1999, veränd.).	109
Abb. 33: Wasserwegsame Störung zwischen silurischen Kieselschiefern und sapropelitischen Alaunschiefern im Sprottetal (Wismut-Bohrung 1443 im Jahr 1999, 145-148 m u. GOK).	109
Abb. 34: Verteilung des Hohlraums vor der Flutung in der ostthüringischen Uranbergbauregion (nach GATZWEILER et al. 1997).....	114
Abb. 35: Absenkungstrichter im Ronneburger Revier rekonstruiert nach Unterlagen der Wismut GmbH, Stand 12/1996.	116
Abb. 36: Grundwasserisohypsen unter dem östlichen Gessental vom 5.5.1963 (a), bzw. 5.12.1963 (b), rekonstruiert aus Unterlagen der Wismut GmbH.....	125
Abb. 37: Grundwasserdruckfläche von Beschaffenheitsmessstellen der Wismut GmbH nördlich der ehemaligen Gessenhalde außerhalb (e-1272: H: 5635508,0, R: 4510338,9 Höhe 268,10mNN,) und innerhalb (e-1312: H:5635782,9, R: 4510761,3, Höhe: 242,4 mNN; e-1314: H: 5635745,7, R: 4511558, Höhe: 247,8 mNN; e-1274: 5635644,8, R: 4510691,1 Höhe 261,3 mNN) des Absenkungstrichters.....	127
Abb. 38: Grundwassergleichen in den quartären Grundwasserleitern im E-Gessental. Temporäre gesättigte Bereiche in den größtenteils ungesättigten Talsedimenten (blau) sind 43/00: 237,22 mNN (19.6.00), 80/00: 234,9 mNN am 27.06.00, 95/00: Abb. 39, 117/00: 235,74 mNN am 15.8.00, 145/00: 246,8 mNN am 28.8.00, Schurf 1880/55: 23.05.00 , Schurf 4222/59: GW-Druckfläche 18.03.99, GW-Druckfläche n.b.....	128
Abb. 39: Zeitreihen der Grundwasserdruckflächen im östlichen Gessental in temporären Grundwassermessstellen (Lage der Messstellen aus Abb. 38).....	129
Abb. 40: Schrägaufnahme von W auf die Nordhalde und das Gessental, Stand 1992 (WISMUT 1995a).....	133
Abb. 41: Aufsicht auf die Nordhalde mit eingetragenen Messstellen sowie der Kontur der Haldenaufstandsfläche und die Lage des bergbaubedingten Absenkungstrichters bis 1997 (nach WISMUT 1997, veränd.).	134
Abb. 42: Abgedeckte geologische Karte des E-Gessentals, nach Unterlagen der Wismut GmbH.	144
Abb. 43: Idiomorphe Pyritkristalle auf Alaunschiefer im Ockerkalkzersatzmaterial (Tiefe 235,7 –234,7 mNN) aus Bohrung 1123/00 (R: 4511862, H: 5635751, Höhe: 244, 7 mNN, LAHL, 2001).....	145
Abb. 44: Schlumberger-Kartierung des östlichen Gessentals des paläozoischen Untergrundes in ca. 8 m Erkundungstiefe mit Auslagen mit AB/2 = 20 m und MN/2 = 5 m (ANALYTEC 2000).....	149
Abb. 45: Geoelektrische N-S-Profil schnitte (E14,...E1, Wenner Sondierungen) im östlichen Gessental, Lage der Profile vgl. Abb. 44.....	151
Abb. 46: Quartärbasisfläche des östlichen Gessentals, rekonstruiert aus 145 Bohrungen der Wismut 2000.....	153
Abb. 47: Normalprofil der quartären Sedimente des östlichen Gessentals im Hangenden der paläozoischen Metasedimente.....	155
Abb. 48: Geologische Karte der quartären Ablagerungen im E-Gessental mit Verbreitungsgrenze der Jüngeren Bachsedimente.....	155

Abb. 49a-e: Siebanalysen des Lösses (a, N=1), der Hangsedimente (b, c, N=15) und einer Aufschüttung (d, N=1) in Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.....	159
Abb. 50a-e: Siebanalysen der Jüngeren Bachsedimente (N=35) aus Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.....	162
Abb. 51a-f: Siebanalysen der Auesedimente (N= 38) aus Bohrungen und Schürfen im E-Gessental, Lage der Bohrungen vgl. Abb. 10.....	165
Abb. 52: Halblogarithmische Darstellung der Hauptionenzusammensetzung 1999-2001 des Haldensickerwassers an der Messstelle Q4 (e-443) (n=16 Messungen).....	173
Abb. 53: Zeitliche Variationen der $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse im Sickerwasser der Messstelle Q4 aus Datenreihen der Wismut GmbH (blau) und eigenen Messungen. (rot).....	174
Abb. 54: Ionenverhältnisse des Oberflächenwassers-Typ 1 im Oberlauf des Gessenbaches entlang der Fließstrecke G13-G6, dargestellt im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).....	180
Abb. 55: Box und whiskers-Darstellung der physikochemischen Parameter im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	183
Abb. 56: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkationen im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	186
Abb. 57: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptanionen im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	188
Abb. 58: Box und whiskers-Darstellungen ausgewählter Spurenelemente im Oberlauf (Messstellen G13 - G6, Typ 1) und im Unterlauf des Gessenbaches (Messstellen G10 - G3, Typ II). Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	190
Abb. 59: Sättigungsindices ausgewählter Mineralphasen in der Sickerwassermessstelle Q4.....	191
Abb. 60: Sättigungsindices ausgewählter Mineralphasen im Gessenbach (Messstellen G7 und G5).....	192
Abb. 61: Königswasseraufschlüsse von Eisenocker-Ausfällungen (1,2,4,5) vom 18.04.00 und von einem organikreichen muddeartigen Sediment vom 13.09.00 im Gessenbach abstromig der Badergrabenmündung.....	194
Abb. 62: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 1 im Badergraben entlang der Fließstrecke B3 bis B1, dargestellt im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).....	195
Abb. 63: Box und whiskers-Darstellungen physikochemischer Parameter im Badergraben (Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen).....	198
Abb. 64: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkat- und -anionen sowie der Schwermetalle im Badergraben. Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	200
Abb. 65: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 2 entlang der Fließstrecke G10 bis G3, Unterlauf des Gessenbaches mit Quell- und Drainagewasser-Zutritten im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).....	202
Abb. 66: Ionenverhältnisse im Oberflächenwasser-Typ 2, entlang der Fließstrecke L3 bis L2 im Lammsbach im Piper-Diagramm (Lage der Messstellen s. Abb. 10).....	210
Abb. 67: Box und whiskers-Darstellungen der physikochemischen Parameter im Lammsbach (Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen).....	211
Abb. 68: Box und whiskers-Darstellungen der Hauptkationen und -anionen sowie ausgewählter Spurenelemente im Lammsbach. Lage der Messstellen s. Abb. 10, N= Anzahl der Messungen.....	213
Abb. 69: Ionenverhältnisse im oberflächennahen Grundwassers (GW) und Schürfen (1880/55, 4222/59) im Gessental im Piper-Diagramm. Deutlich werden die unterschiedlichen Grundwassertypen: Typ 1 im Bergbaueinfluss und der variable Typ 2 außerhalb des direkten Bergbaueinflusses	216
Abb. 70: Schematisierte Darstellung der im Einzugsgebiet des Gessenbaches auftretenden unterschiedlichen Oberflächen- und Grundwassertypen im Piperdiagramm (Typ 1: Oberlauf Gessenbach, Badergraben bzw. Grundwasser im Bereich des bergbaubedingten Absenkungstrichters; Typ 2: Unterlauf Gessenbach, Lammsbach bzw. Grundwasser außerhalb des bergbaubedingten Absenkungstrichters).....	221
Abb. 71: Gelöste SO_4^{2-} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.....	226
Abb. 72: Gelöste Ca^{2+} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.....	227
Abb. 73: Gelöste Mg^{2+} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.....	228
Abb. 74: Gelöste Fe_{ges} -Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.....	229
Abb. 75: Gelöste Ni-Frachten im Einzugsgebiet des Gessenbaches bei Trockenwetterabfluss (19.10.99), Normalabfluss (18.03.99) und Hochwasser (02.03.99) im Jahr 1999.....	230

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Sanierungsprojekte innerhalb des ostthüringischen Uranbergbaugebietes aufgeteilt nach den bis 1998 getrennt geführten Sanierungsbetrieben Ronneburg	12
Tab. 2:	Stratigrafische Übersicht des Ronneburger Uranbergbaugebietes nach FENGLER (1997)	20
Tab. 3:	Ausgewählte geochemische Durchschnittszusammensetzung der silurischen Gesteine der Ronneburger Uranbergbaugebiete (WISMUT 1985).....	38
Tab. 4:	Verteilung der Uranvererzung auf die stratigraphischen Einheiten nach LANGE et al. (1999),.....	40
Tab. 5:	Kompartimente und Lage der Probenahmestellen im Grund- und Oberflächenwasser.	48
Tab. 6:	Physikochemische Gelände und Laborparameter und verwendeter Gerätetyp zur Messung	50
Tab. 7:	Methoden der Wasseranalytik, Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten	51
Tab. 8:	Wasserhaushalt einzelner Teileinzugsgebiete im Gessental.....	73
Tab. 9:	Wasserführung in ausgewählten Vorflutern mit summarischer Einleitmenge 1994.....	77
Tab. 10:	Beschaffenheit des Grubenwassers im Ronneburger Revier sowie der potenziell austretenden Wässer im Bereich des Gessen- und Wipsebaches	122
Tab. 11:	Beschaffenheit ausgewählter Haldensickerwässer im Ronneburger Revier 1994.....	123
Tab. 12:	Daten zur Nordhalde (WISMUT 1997a).....	132
Tab. 13:	Lithologische Zusammensetzung der Nordhalde (WISMUT 1995a, 1997a).....	136
Tab. 14:	Ausgewählte geochemische Durchschnittszusammensetzung der Nordhalde (WISMUT 1995a).....	137
Tab. 15:	Stichtagsprobenahme (April/Mai 1995) an den Haldensickerwassermessstellen e-453 (Pohlteich), e-443 (Nordhalde W-Seite, Q4), e-473 (Tagebau Lichtenberg N-Seite), (WISMUT 1997a, 1995a, C&E 1997, BCE 1995).....	139
Tab. 16:	Abflussanteile der Nordhalde für ein sog. Nassjahr 1995 und ein sog. Trockenjahr 1994 (WISMUT 1997a).....	139
Tab. 17:	Ausgewählte maximale Schwermetallgehalte im Grundwasser der Nordhalde (WISMUT 1995a):.....	140
Tab. 18:	Scheinbare spezifische elektrische Widerstandsbereiche der im Gessental anstehenden präklastischen lithologischen Einheiten	149
Tab. 19:	Korngrößenparameter und die daraus ermittelten kf-Werte nach BEYER (1964). Als Vergleich sind mittels Packertests von Solexperts 2000 ermittelte Werte aufgeführt.....	170
Tab. 20:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe des Haldensickerwassers der Nordhalde an der Messstelle Q4 (Lage s. Abb. 10).	172
Tab. 21:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Oberlauf des Gessenbaches (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit).	181
Tab. 22:	Korrelationsanalysen der Messstellen G5 (oben), und G7 (links) nach SPEARMEN, dargestellt sind die signifikanten Korrelationskoeffizienten.....	183
Tab. 23:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Lammsbach/Badergraben (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit).....	197
Tab. 24:	Korrelationsanalysen der Messstellen G13 (oben), und B1 (links) nach SPEARMEN.....	199
Tab. 25:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe im Unterlauf des Gessenbaches, Typ 2 (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit).....	204
Tab. 26:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und ausgewählter Inhaltsstoffe in den Zuflüssen zum Gessenbach (T: Temperatur, el. Lf.: elektr. Leitfähigkeit KA=Kläranlage Ronneburg südlich von Grobsdorf).	205
Tab. 27:	Korrelationsanalysen der Messstellen G1 (oben), und G10 (links) nach SPEARMEN	207
Tab. 28:	Statistische Kennwerte der physikochemischen Parameter und Inhaltsstoffe im oberflächennahen Grundwasser des E-Gessentals in ausgewählten Messstellen	218

DANK

Herrn Professor Dr. Georg Büchel, Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Jena, danke ich für die Anregung zu dieser Dissertation, die wissenschaftliche Begleitung und freundliche Betreuung und das stete Interesse an ihren Fortgang sowie dessen Forcierung, seine Diskussionsbereitschaft und die Anstellung im Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller Universität Jena

Herrn Prof. Dr. Martin Sauter danke ich für die Diskussionsbereitschaft im Rahmen der Uranbergbau-Projekte sowie für viele fruchtbare Gespräche.

Der Wismut GmbH danke ich für die intensive Zusammenarbeit, der Überlassung von Datenmaterial und die Einsichtsnahme in interne Unterlagen und der Diskussion der wissenschaftlichen Ergebnisse. Ohne eine solche Kooperation und Unterstützung wäre die Erstellung der Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Stellvertretend für alle Mitarbeiter, die zum Fortgang der Untersuchungen beigetragen haben, danke ich Herrn H.-J. Fengler, Herrn Dr. M. Paul, Herrn Dr. D. Vogel und Herrn M. Gengnagel.

Herrn Dr. Dietmar Steinhau, ANALYTEC, Chemnitz, danke ich für die Diskussion der geoelektrischen Ergebnisse und die Überlassung von Datenmaterial.

Herrn Steffen Giese und Herrn Dr. Bernd König, Thüringer Landesanstalt für Umwelt Jena, danke ich für die Hilfestellungen, wertvolle, z.T. umfangreiche Gespräche und die Unterstützung der Arbeit. Herrn Dr. G. Ziegler, TLUG Jena, danke ich für die Überlassung von Datenmaterial.

Herrn Dr. Dirk Merten, Frau Dr. Andrea Herch, Frau Kerstin Horn, Herrn Stefan Senitz, Herrn Dr. Michael Pirrung, Lehrstuhl Angewandte Geologie, danke ich für die stete Unterstützungen bei Gelände- und Laborarbeiten, ständige Diskussionsbereitschaft. Frau Ines Kamp, Frau Gerit Weinzierl, Frau Ulrike Buhler, Hydrogeochemisches Labor des Instituts für Geowissenschaften möchte ich für Geländeunterstützung und die Bestimmung von Wasserproben danken.

Prof. Dr. R. Gaupp, Dr. Baas van der Klaauw, Dr. Cornelius Fischer, Lehrstuhl Allgemeine Geologie danke ich für wertvolle Anregungen und Diskussionen. Allen weiteren Mitarbeitern des Instituts für Geowissenschaften, die mich im Fortgang meiner Arbeiten unterstützten, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Frau Prof. Dr. Erika Kothe für die Diskussion der Ergebnisse. Allen Teilnehmern in den Uranbergbauprojekten der Friedrich-Schiller Universität Jena für die vielen intensiven Gespräche.

Dem Thüringer Ministerium danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Bei den wissenschaftlichen Hilfskräften, Kathrin Lahl, Martin Mayer, Beate Müller, Steffen Römhild Claudia Siehler, Christian Siebert, Susanne Stöckel bedanke ich mich für die Mitarbeit im Gelände und Labor.

Helga Assing danke ich für die Erstellung von Abbildungen, unendlich vielen Korrekturen und Verbesserungsvorschlägen, Anmerkungen und Diskussionen,..... !

Anhang 1: Vermessung

Anhang 2: Geoelektrische Messwerte der Schlumberger-Sondierungen

Anhang 3: Bohrungsregister

Anhang 4: Schürfe im Gessental

Anhang 5: Hydrochemische Kennwerte und Abflüsse

Anhang 6: Ausfällung im Gessenbach am 18.04.00 (Königswasseraufschlüsse)

Anhang 7: Hydrogeologische Kartierung des Lammsbaches am 27.05.98

Anhang 8: Grundwasserdruckflächen des oberflächennahen Grundwassers im E-Gessental

Anhang 9: Fototafel

Anhang 1: Vermessung

Punktnr.	Rechtswert	Hochwert	m ü.NN	Punktnr.	Rechtswert	Hochwert	m ü.NN
0	4.510.693,87	5.635.688,55	252,84	39	4.510.567,11	5.635.778,05	235,33
1	4.509.977,96	5.636.100,94	290,12	40	4.510.535,81	5.635.801,57	234,82
2	4.510.895,64	5.635.744,46	238,88	41	4.510.519,18	5.635.794,94	234,68
3	4.510.997,42	5.635.673,42	245,82	42	4.510.498,55	5.635.795,98	234,95
4	4.510.985,16	5.635.683,87	245,53	43	4.510.494,05	5.635.795,03	236,23
5	4.511.218,38	5.635.793,38	243,00	44	4.510.467,86	5.635.799,93	234,42
6	4.511.272,76	5.635.793,21	241,85	45	4.510.439,17	5.635.798,21	233,92
7	4.511.236,07	5.635.813,69	241,82	46	4.510.406,91	5.635.801,87	233,47
8	4.511.217,53	5.635.834,97	241,32	47	4.510.375,64	5.635.804,61	233,21
9	4.511.176,92	5.635.842,94	240,93	48	4.510.352,95	5.635.805,45	232,96
10	4.511.154,93	5.635.848,75	240,65	49	4.510.340,02	5.635.817,99	232,53
11	4.511.092,18	5.635.843,97	239,96	50	4.510.276,79	5.635.767,43	242,96
12	4.511.055,40	5.635.839,02	239,92	51	4.510.759,39	5.635.778,65	239,54
13	4.511.015,38	5.635.841,04	239,80	52	4.510.759,57	5.635.778,51	240,56
14	4.510.982,03	5.635.850,63	239,46	53	4.511.292,62	5.635.784,66	241,90
15	4.510.975,57	5.635.836,22	240,71	54	4.511.314,87	5.635.775,76	242,07
16	4.510.972,09	5.635.851,99	239,57	55	4.511.359,12	5.635.770,40	242,73
17	4.510.954,32	5.635.862,72	240,55	56	4.511.600,99	5.635.731,82	247,41
18	4.510.958,08	5.635.867,73	239,11	57	4.511.554,84	5.635.734,05	246,82
19	4.510.899,59	5.635.841,17	238,93	58	4.511.359,98	5.635.778,88	248,80
20	4.510.896,89	5.635.828,55	239,90	59	4.511.382,48	5.635.768,64	243,04
21	4.510.893,60	5.635.817,84	238,63	60	4.511.425,32	5.635.766,69	243,64
22	4.510.884,22	5.635.794,66	238,42	61	4.511.470,10	5.635.765,16	244,27
23	4.510.863,72	5.635.771,50	238,29	62	4.511.528,70	5.635.761,84	244,98
24	4.510.856,66	5.635.770,65	238,27	63	4.511.610,84	5.635.760,60	246,03
25	4.510.833,60	5.635.786,49	237,61	64	4.511.650,49	5.635.764,94	246,68
26	4.510.809,19	5.635.802,42	237,10	65	4.511.682,87	5.635.779,52	247,15
27	4.510.791,41	5.635.802,09	236,94	66	4.511.778,18	5.635.841,06	248,80
28	4.510.758,09	5.635.807,48	236,54	67	4.511.803,13	5.635.845,57	249,34
29	4.510.756,73	5.635.831,58	238,22	68	4.511.831,55	5.635.845,32	249,75
30	4.510.729,91	5.635.811,95	236,61	69	4.511.804,27	5.635.825,38	250,09
31	4.510.713,06	5.635.792,88	236,31	70	4.511.823,48	5.635.846,20	249,65
32	4.510.687,01	5.635.783,44	235,92	71	4.511.847,84	5.635.842,40	249,98
33	4.510.671,19	5.635.777,61	235,84	72	4.511.888,84	5.635.834,70	250,40
34	4.510.632,30	5.635.786,84	235,35	73	4.511.916,35	5.635.828,94	250,78
35	4.510.611,61	5.635.790,54	235,48	74	4.511.931,38	5.635.826,25	250,98
36	4.510.618,13	5.635.813,31	236,80	75	4.511.925,12	5.635.814,41	253,32
37	4.510.604,62	5.635.834,93	235,34	76	4.511.935,97	5.635.815,61	253,38
38	4.510.600,15	5.635.781,81	235,32	PP02	4.510.520,96	5.636.318,94	293,01

**Schlumberger-Sondierungen 10 bis 23 im E-Gessental (FRIEDRICH 1998),
(Lage der Sondierungspunkte siehe Skizze 1):**

Sond. 10		Sond. 11		Sond. 12		Sond. 13		Sond. 14	
Rechtsw. 45 10344		Rechtsw. 45 10331		Rechtsw. 45 10325		Rechtsw. 45 10324		Rechtsw. 45 10320	
Hochw. 56 35938		Hochw. 56 35913		Hochw. 56 35894		Hochw. 56 35828		Hochw. 56 35795	
Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]								
1,0	43,0	1,0	87,0	1,0	81,2	1,0	63,7	1,0	108,0
1,5	36,7	1,5	72,0	1,5	70,0	1,5	58,8	1,5	87,9
2,0	33,1	2,0	60,3	2,0	59,8	2,0	54,6	2,0	77,1
2,5	33,5	2,5	60,4	2,5	57,2	2,5	53,3	2,5	67,1
3,0	32,9	3,0	55,2	3,0	57,7	3,0	56,2	3,0	63,6
4,0	34,6	4,0	55,8	4,0	60,0	4,0	59,2	4,0	56,6
5,0	36,7	5,0	55,7	5,0	65,0	5,0	66,0	5,0	57,0
6,0	39,1	6,0	58,1	6,0	69,8	6,0	71,6	6,0	56,0
8,0	43,3	8,0	63,5	8,0	78,0	8,0	80,5	8,0	57,6
10,0	48,7	10,0	68,7	10,0	84,2	10,0	90,2	10,0	60,6
12,0	54,2	12,0	74,0	12,0	90,0	12,0	97,1	12,0	64,0
15,0	64,6	15,0	81,4	15,0	92,4	15,0	104,8	15,0	67,4
20,0	79,3	20,0	106,3	20,0	100,0	20,0	114,0	20,0	78,2
25,0	91,9	25,0	106,4	25,0	103,2	25,0	117,4	25,0	87,2
30,0	99,7	30,0	106,9	30,0	106,6	30,0	119,8	30,0	91,6
40,0	104,3	40,0	121,4	40,0	112,9	40,0	125,0	40,0	99,9
50,0	109,9	50,0	126,0	50,0	124,2	50,0	128,1	50,0	104,6
60,0	120,0	60,0	137,6	60,0	131,5	60,0	125,4	60,0	109,4
80,0	129,0	80,0	153,0	80,0	144,8				
100,0	130,3	100,0	146,0	100,0	121,4				
120,0	118,2	120,0	132,5	120,0	108,5				
150,0	92,7	150,0	98,0	150,0	67,7				
180,0	59,4	180,0	44,5	180,0	31,1				

Sond. 15		Sond. 16		Sond. 17		Sond. 18		Sond. 19	
Rechtsw. 45 10313		Rechtsw. 45 10305		Rechtsw. 45 10300		Rechtsw. 45 10620		Rechtsw. 45 10620	
Hochw. 56 35770		Hochw. 56 35750		Hochw. 56 35733		Hochw. 56 35783		Hochw. 56 35755	
Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]								
1,0	79,1	1,0	70,3	1,0	84,9	1,0	43,6	1,0	101,7
1,5	67,2	1,5	65,8	1,5	80,2	1,5	28,3	1,5	91,3
2,0	61,0	2,0	58,8	2,0	74,2	2,0	25,4	2,0	87,5
2,5	60,2	2,5	56,2	2,5	73,3	2,5	25,9	3,0	73,6
3,0	57,9	3,0	51,8	3,0	73,0	3,0	26,6	4,0	63,8
4,0	55,4	4,0	50,6	4,0	74,6	4,0	25,2	5,0	55,2
5,0	52,0	5,0	52,8	5,0	76,2	5,0	25,1	6,0	50,3
6,0	52,6	6,0	51,8	6,0	78,1	6,0	24,2	8,0	43,3
8,0	51,5	8,0	54,6	8,0	79,8	8,0	25,9	10,0	41,1
10,0	54,3	10,0	58,8	10,0	79,9	10,0	27,3	12,0	40,1
12,0	57,6	12,0	61,2	12,0	81,6	12,0	27,0	15,0	36,6
15,0	61,9	15,0	66,6	15,0	84,1	15,0	29,7	20,0	34,4
20,0	69,0	20,0	74,0	20,0	86,0	20,0	25,3	25,0	29,9
25,0	75,4	25,0	79,3	25,0	85,0	25,0	26,8	30,0	25,8
30,0	79,4	30,0	80,9	30,0	84,2	30,0	15,2	40,0	17,7
40,0	84,8	40,0	83,5	40,0	83,6	50,0	6,1	50,0	12,5
50,0	90,3	50,0	85,7	50,0	81,5			60,0	7,6
60,0	91,4	60,0	86,7	60,0	78,5			80,0	5,0
80,0	91,6	80,0	85,0	80,0	72,3				
		100,0	81,4	100,0	66,7				
				120,0	58,8				

Anhang 2: Geoelektrische Messwerte der Schlumberger-Sondierung

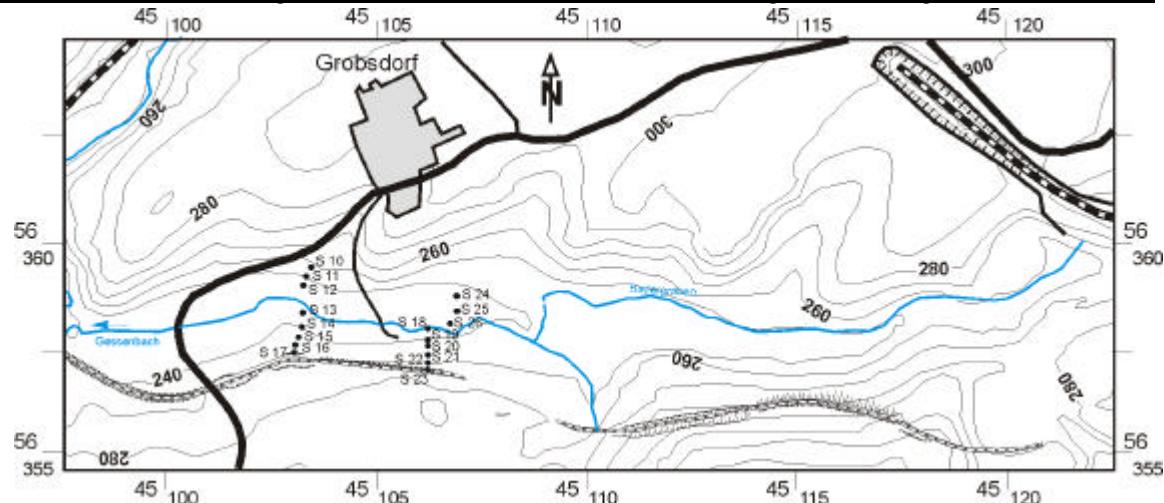
Sond.	20	Sond.	21	Sond.	22	Sond.	23
Rechtsw.	45 10620						
Hochw.	56 35748	Hochw.	56 35725	Hochw.	56 35710	Hochw.	56 35693
Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]						
1,0	174,8	1,0	80,9	1,0	72,5	1,0	76,6
1,5	117,8	1,5	88,8	1,5	75,6	2,0	74,2
2,0	86,5	2,0	79,2	2,0	78,7	2,5	77,0
3	76,2	3,0	78,7	2,5	79,4	3,0	73,9
4,0	64,0	4,0	76,4	3,0	82,5	4,0	75,4
5,0	64,2	5,0	70,3	4,0	75,4	5,0	75,5
6,0	64,1	6,0	69,0	5,0	74,2	6,0	78,7
8,0	64,3	8,0	68,7	6,0	73,1	8,0	79,6
10,0	65,4	10,0	68,1	8,0	71,3	10,0	80,4
12,0	65,0	15,0	58,4	10,0	66,4	12,0	77,1
15,0	62,5	20,0	49,0	12,0	61,9	15,0	72,2
20,0	57,6	25,0	42,4	15,0	52,8	20,0	60,8
25,0	47,2	30,0	38,4	20,0	41,8	25,0	49,5
30,0	40,3	40,0	30,4	25,0	31,0	30,0	40,8
40,0	26,0	50,0	22,7	30,0	25,1	40,0	29,7
50,0	16,3			40,0	19,1	50,0	24,2
60,0	9,8			50,0	14,4	60,0	20,0
				60,0	10,9	80,0	14,9
				80,0	5,3	100,0	10,7
				100,0	3,1		

Schlumberger-Sondierungen 24 bis 26 im E-Gessental (GELETNEKY & BÜCHEL 1999),

(Lage der Sondierungspunkte siehe Skizze 1):

Sond.	24	Sond.	25	Sond.	26
Rechtsw.	45 10688	Rechtsw.	45 10688	Rechtsw.	45 10675
Hochw.	56 35868	Hochw.	56 35833	Hochw.	56 35800
Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]	Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]	Auslage AB/2 [m]	Widerstand [Ohm]
1,0		1,0		1,0	
1,5	52,4	1,5	72,6	1,5	79,1
2,0	52,7	2,0	64,7	2,0	78,9
2,5	56,9	2,5	60,7	2,5	78,5
3,0	59,9	3,0	57,8	3,0	76,2
4,0	65,9	4,0	56,6	4,0	78,7
5,0	67,3	5,0	52,2	5,0	76,2
6,0	67,4	6,0	48,9	6,0	69,9
8,0	65,9	8,0	40,8	8,0	56,7
10,0	63,0	10,0	30,4	10,0	47,2
12,0	62,6	12,0	22,6	12,0	34,2
15,0	59,9	15,0	12,3	15,0	20,7
20,0	48,9	20,0	5,8	20,0	8,0
25,0	44,6	25,0	3,0	25,0	3,8
30,0	43,0	30,0	2,2	30,0	2,1
40,0	33,9	40,0	2,2	40,0	1,2
50,0	35,5	50,0	2,4	50,0	1,4
60,0	34,9	60,0	8,6	60,0	0,9
80,0	40,0	80,0	0,9	80,0	1,8
100,0	40,9	100,0	2,4	100,0	3,8
125,0	40,7			125,0	4,4

Anhang 2: Geoelektrische Messwerte der Schlumberger-Sondierung



Skizze 1 : Lage der Schlumberger-Sondierungen im E-Gessental aus GELETNEKY & BÜCHEL (1999).

Anhang 3: Bohrungsregister

12. SYMBOLSCHLÜSSEL FÜR DAS BOHRUNGSREGISTER

12.1. Reihenfolge der angegebenen Symbole:

12.1.1. Petrographie/Farbe/Konsistenz,Lagerung,Gefüge/Genese/Stratigraphie

1.Petrographie///

12.2. Großbuchstaben bezeichnen die Hauptart:

So	Schotter
G	Kies
S	Sand
U	Schluff
T	Ton
H	Torf
Bl	blättrige Metamorphe
Kst	Kalkstein
Sst	Sandstein
Gst	Brekzie
Z	Fels

12.3. Beimengungen:

x	steinig
so	mit Schotter
g	kiesig
s	sandig
u	schluffig
t	tonig
h	humos, torfig
o	organische Beimengungen

k	kalkig
zb	Ziegelbruch
gl	Glasbruch

12.4. Zusätze:

f	fein-
m	mittel-
g	grob-

vorangestellte Zahlen geben die Menge an, wobei gilt:

1	sehr schwach
2	schwach
3	stark
4	sehr stark

2. /Farbe//

Hauptfarben:

b	blau
bn	braun
g	grau
ge	gelb
gn	grün
r	rot

Zusätze: (nicht kombinierbar)

rffle	rostfarbenfleckig
mnfle	manganfleckig

Zusätze: (kombinierbar)

d	dunkel-
h	hell-
fle	-fleckig

Mischfarben:

ock	ockerfarben
rf	rostfarben

3. //Konsistenz, Lagerung, Gefüge//

Konsistenz:

bi	bindig	1	sehr schwach
bre	breiig	2	schwach
brl	bröcklig	3	stark
ps	plastisch	4	sehr stark
wh	weich		

Gefüge:

ss	geschichtet
ssmm	mm-geschichtet
sf	geschiefert

Lagerungsdichte:

lok	locker gelagert
md	mitteldicht
di	dicht

4. ///Genese/

y	Aufschüttung, künstlich
Mu	Mutterboden
Hl	Hanglehm
Hx	Hangschutt
Lö	Löss
Löl	Lösslehm
Strg	Störung

5. ///Stratigraphie

Q	Quartär
D22	Schwärzschiefer
D13	Tentakulitenschiefer
D11-2	Tentakulitenknollenkalk
S3	Obere Graptolithenschiefer
S2	Ockerkalkgruppe
S1	Untere Graptolithenschiefer
Sonstiges	
n.b.	nicht bestimmt

Anhang 3: Bohrungsregister

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
1/00	5635810,0	4510042,1	233,40	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
1/00	5635810,0	4510042,1	233,40	1,00	1,50	Qh	Holozän	T,u,k/g/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
1/00	5635810,0	4510042,1	233,40	1,50	2,30	Qh	Holozän	U,t,fs,g,o/bn,rffle/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
1/00	5635810,0	4510042,1	233,40	2,30	3,80	Qh	Holozän	S,g,so,u/bng/bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
1/00	5635810,0	4510042,1	233,40	3,80	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,t,g/s/ps//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
2/00	5635767,7	4510032,5	232,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
2/00	5635767,7	4510032,5	232,10	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/gebn-bn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
2/00	5635767,7	4510032,5	232,10	1,10	1,75	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/wh,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
2/00	5635767,7	4510032,5	232,10	1,75	2,60	Qh	Holozän	S,g,so,o//bi-lok,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
2/00	5635767,7	4510032,5	232,10	2,60	3,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,t,g/s/g,rffle/ps//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
3/00	5635828,3	4510072,3	234,70	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/gebn/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
3/00	5635828,3	4510072,3	234,70	0,80	1,80	Qh	Holozän	T,u,g,o/bng,g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
3/00	5635828,3	4510072,3	234,70	1,80	3,20	Qh	Holozän	U,fs/gebn-bn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
3/00	5635828,3	4510072,3	234,70	3,20	4,20	Qh	Holozän	S,ms-gs,g/bng/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
3/00	5635828,3	4510072,3	234,70	4,20	5,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,t,g/s/ps//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,g,o/bn//Mu/Q; Mutterboden
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,o/bn/gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	1,00	1,65	Qh	Holozän	T,u/g,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	1,65	2,80	Qh	Holozän	S,t,g,so/bng/bi-lok,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	2,80	3,20	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/sgrffle/ps,ss,sf//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
4/00	5635773,5	4510072,2	232,50	3,20	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/sgrffle/sf//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
5/00	5635747,5	4510053,9	232,50	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,u,o/bn-dbn//Mu/Q; Mutterboden
5/00	5635747,5	4510053,9	232,50	0,10	0,60	Qh	Holozän	U,fs/gebn,hg/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
5/00	5635747,5	4510053,9	232,50	0,60	1,90	Qh	Holozän	T,u,g,o/g-gng/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
5/00	5635747,5	4510053,9	232,50	1,90	4,35	Qh	Holozän	S,t,u,g,so/bng/bi-lok,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
5/00	5635747,5	4510053,9	232,50	4,35	5,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/dg-s/sf//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
6/00	5635721,9	4510071,9	237,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
6/00	5635721,9	4510071,9	237,10	0,10	0,90	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-rbn/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
6/00	5635721,9	4510071,9	237,10	0,90	1,40	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/hg,rffle/bi,ps//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
6/00	5635721,9	4510071,9	237,10	1,40	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
7/00	5635695,9	4510050,3	239,50	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
7/00	5635695,9	4510050,3	239,50	0,10	0,90	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-rbn/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
7/00	5635695,9	4510050,3	239,50	0,90	1,40	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/rg.rbn/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
7/00	5635695,9	4510050,3	239,50	1,40	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
8/00	5635698,7	4510105,7	243,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
8/00	5635698,7	4510105,7	243,30	0,10	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/geg,dg-g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
9/00	5635753,2	4510105,0	232,80	0,00	0,20	Qh	Holozän	U,fs,o/bn//Mu/Q; Mutterboden
9/00	5635753,2	4510105,0	232,80	0,20	1,90	Qh	Holozän	T,u,g,so,o/g,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
9/00	5635753,2	4510105,0	232,80	1,90	4,00	Qh	Holozän	S,t,g,so/g/lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert

Anhang 3: Bohrungsregister

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
9/00	5635753,2	4510105,0	232,80	4,00	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
10/00	5635800,2	4510103,2	232,80	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
10/00	5635800,2	4510103,2	232,80	0,10	1,00	Qh	Holozän	U,fs,k/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
10/00	5635800,2	4510103,2	232,80	1,00	2,40	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
10/00	5635800,2	4510103,2	232,80	2,40	2,80	Qh	Holozän	S,tg,so//2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
10/00	5635800,2	4510103,2	232,80	2,80	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/s,rffle/sf//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
11/00	5635780,0	4510132,4	233,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
11/00	5635780,0	4510132,4	233,00	0,10	0,90	Qh	Holozän	U,sf,g,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
11/00	5635780,0	4510132,4	233,00	0,90	1,50	Qh	Holozän	T,u,o/g,1rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
11/00	5635780,0	4510132,4	233,00	1,50	3,20	Qh	Holozän	S,u,t,g,so//bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
11/00	5635780,0	4510132,4	233,00	3,20	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/dg,rffle/ssmm//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
12/00	5635725,9	4510129,6	238,40	0,00	1,10	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn-rbn/lok-bi/Hl/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
12/00	5635725,9	4510129,6	238,40	1,10	1,20	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,g/g-geg,rffle//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
12/00	5635725,9	4510129,6	238,40	1,20	2,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/g-dg,rffle//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
13/00	5635701,5	4510158,8	245,60	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
13/00	5635701,5	4510158,8	245,60	0,10	0,50	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,2rffle/sf/D13; Tonschiefer
13/00	5635701,5	4510158,8	245,60	0,50	1,10	Strg	Störung	Gst,Bl,g/rbn//Strg/; Brekzie
13/00	5635701,5	4510158,8	245,60	1,10	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer
14/00	5635757,8	4510156,7	234,50	0,00	0,60	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn,g/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
14/00	5635757,8	4510156,7	234,50	0,60	1,20	Qh	Holozän	U,fs,so/rg-geg/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
14/00	5635757,8	4510156,7	234,50	1,20	4,50	Qh	Holozän	So,u,fs/rg-geg/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
14/00	5635757,8	4510156,7	234,50	4,50	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-rg,rffle/sf,ss//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
15/00	5635801,0	4510152,0	233,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
15/00	5635801,0	4510152,0	233,20	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/bi//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
15/00	5635801,0	4510152,0	233,20	1,00	2,30	Qh	Holozän	T,u,so,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
15/00	5635801,0	4510152,0	233,20	2,30	3,30	Qh	Holozän	S,u,t,g,so//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
15/00	5635801,0	4510152,0	233,20	3,30	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/dg/ss//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	0,00	0,70	A	Aufschüttung	So,s,u/bn-gbn/lo,bi/Mu,y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	0,70	1,10	Qh	Holozän	T,gl/s/ps-bre/l/Q; Schlamm
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	1,10	1,60	Qh	Holozän	T,u,gg,o/gbn-dg/ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	1,60	3,60	Qh	Holozän	S,u,g,so/geb,gbn/lok,bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	3,60	3,70	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,g/s/ps//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
16/00	5635783,7	4510180,2	233,40	3,70	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
17/00	5635731,1	4510181,2	240,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	Mu,h,o/bn/lok-bi/Mu/Q; Mutterboden
17/00	5635731,1	4510181,2	240,20	0,20	0,70	Qh	Holozän	U,g/bn-rbn/bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
17/00	5635731,1	4510181,2	240,20	0,70	1,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,t,g/bn,s/ps//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
18/00	5635759,0	4510209,2	238,70	0,00	0,10	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
18/00	5635759,0	4510209,2	238,70	0,10	1,00	Qh	Holozän	n.b.; Auelehm, Auoton, Aueschluff
18/00	5635759,0	4510209,2	238,70	1,00	1,20	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschieferzersatz (Verw.)

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
18/00	5635759,0	4510209,2	238,70	1,20	1,80	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschiefer-Verwitterungszone
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	0,10	1,60	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	1,60	2,30	Qh	Holozän	T,u,fs/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	2,30	3,10	Qh	Holozän	S,u,t,g,so/bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	3,10	3,60	D2/2	Schwärzschiefer	Bl,g/g-geg,rffle//D22; Tonschieferzersatz (Verw.)
19/00	5635800,7	4510207,4	234,10	3,60	4,00	D2/2	Schwärzschiefer	Bl/dg,rffle/ss//D22; Tonschiefer-Verwitterungszone
20/00	5635899,9	4510205,1	237,40	0,00	2,90	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/lok/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
20/00	5635899,9	4510205,1	237,40	2,90	4,50	Qh	Holozän	U,g,o/gebn-bn/bi/Hl/Q; Hanglehm
20/00	5635899,9	4510205,1	237,40	4,50	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/rg-rbn/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
21/00	5635900,1	4510255,1	235,20	0,00	0,70	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
21/00	5635900,1	4510255,1	235,20	0,70	1,50	Qh	Holozän	U,t,g/bn-gebn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
21/00	5635900,1	4510255,1	235,20	1,50	2,40	Qh	Holozän	U,t,g,o/hg-g,gebnfle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
21/00	5635900,1	4510255,1	235,20	2,40	4,00	Qh	Holozän	S,u,t,g,so/bi,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
21/00	5635900,1	4510255,1	235,20	4,00	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
22/00	5635824,3	4510235,9	234,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
22/00	5635824,3	4510235,9	234,20	0,20	1,30	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
22/00	5635824,3	4510235,9	234,20	1,30	3,00	Qh	Holozän	S,u,g,so//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
22/00	5635824,3	4510235,9	234,20	3,00	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-gng,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
23/00	5635785,4	4510229,8	236,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
23/00	5635785,4	4510229,8	236,00	0,10	3,00	Qh	Holozän	U,g/gebn-bn/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
23/00	5635785,4	4510229,8	236,00	3,00	3,40	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/3bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
23/00	5635785,4	4510229,8	236,00	3,40	4,20	Qh	Holozän	S,u,g,so//bi/Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
23/00	5635785,4	4510229,8	236,00	4,20	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
24/00	5635729,2	4510239,0	245,90	0,00	0,10	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
24/00	5635729,2	4510239,0	245,90	0,10	0,30	Qh	Holozän	n.b.; Hanglehm
24/00	5635729,2	4510239,0	245,90	0,30	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschieferzersatz (Verw.)
25/00	5635727,9	4510267,9	249,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
25/00	5635727,9	4510267,9	249,30	0,10	0,70	Qh	Holozän	n.b.; Hanglehm
25/00	5635727,9	4510267,9	249,30	0,70	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschieferzersatz (Verw.)
25/00	5635727,9	4510267,9	249,30	1,00	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschiefer-Verwitterungszone
26/00	5635762,2	4510259,3	243,30	0,00	0,30	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
26/00	5635762,2	4510259,3	243,30	0,30	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschieferzersatz (Verw.)
27/00	5635802,1	4510259,6	238,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
27/00	5635802,1	4510259,6	238,00	0,10	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn/bi/Hl/Q; Hanglehm
27/00	5635802,1	4510259,6	238,00	2,00	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,fs/g,2rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	0,20	1,90	Qh	Holozän	U,fs,g/gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	1,90	2,20	Qh	Holozän	T,u,g/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	2,20	3,80	Qh	Holozän	S,t,g,so//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	3,80	4,30	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/g-gng/ps,bi//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
28/00	5635847,7	4510258,6	234,70	4,00	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-gng,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
29/00	5635930,4	4510301,5	241,70	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g/hbn-bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
29/00	5635930,4	4510301,5	241,70	0,80	1,80	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
29/00	5635930,4	4510301,5	241,70	1,80	2,00	Strg	Störung	Bl/gbn/ps//D13; Tonschiefer
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	0,00	1,30	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	1,30	1,80	Qh	Holozän	U,fs,g/gebn/ps/Lx/Q; Hangschutt
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	1,80	2,50	Qh	Holozän	T,u,g/g-dg/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	2,50	4,70	Qh	Holozän	S,u,t,g,so,o//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	4,70	5,50	Qh	Holozän	U,fs,t,g/bn/ps/Lx/Q; Hangschutt
30/00	5635900,6	4510301,9	236,10	5,50	6,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-rbn,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
31/00	5635870,3	4510301,4	243,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
31/00	5635870,3	4510301,4	243,90	0,20	2,20	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn,rffle/lok,bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
31/00	5635870,3	4510301,4	243,90	2,20	4,30	Qh	Holozän	S,u,t,g,so,o/g/bi,ps,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
31/00	5635870,3	4510301,4	243,90	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
32/00	5635828,6	4510290,6	236,30	0,00	0,70	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
32/00	5635828,6	4510290,6	236,30	0,70	0,80	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
32/00	5635828,6	4510290,6	236,30	0,80	1,50	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-gebn/bi/Hl/Q; Hanglehm
32/00	5635828,6	4510290,6	236,30	1,50	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,fs,x/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
33/00	5635800,8	4510303,7	239,60	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
33/00	5635800,8	4510303,7	239,60	0,10	1,50	Qp	Pleistozän	U,fs,g,o/gebn,rffle//Löl/Q; Lösslehm
33/00	5635800,8	4510303,7	239,60	1,50	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g-bng/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
34/00	5635762,9	4510306,0	244,80	0,00	0,15	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
34/00	5635762,9	4510306,0	244,80	0,15	0,50	Qh	Holozän	n.b.; Löss
34/00	5635762,9	4510306,0	244,80	0,50	0,80	Qp	Pleistozän	n.b.; Lösslehm
34/00	5635762,9	4510306,0	244,80	0,80	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschieferzersatz (Verw.)
35/00	5635729,6	4510304,9	249,40	0,00	0,30	Qh	Holozän	n.b.; Mutterboden
35/00	5635729,6	4510304,9	249,40	0,30	0,40	Qh	Holozän	n.b.; Hangschutt
35/00	5635729,6	4510304,9	249,40	0,40	1,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschiefer-Verwitterungszone
36/00	5635729,9	4510350,5	246,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,g,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
36/00	5635729,9	4510350,5	246,10	0,10	0,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/bi-lok/y/Q; Aufschüttung
36/00	5635729,9	4510350,5	246,10	0,50	2,80	Qh	Holozän	U,fs,t,g,o/gebn/bi,ps/Löl/Q; Löss
36/00	5635729,9	4510350,5	246,10	2,80	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/rbn-bn/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o,zb/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	0,50	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	2,00	2,50	Qh	Holozän	U,t,fS-mS/g,gebn/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	2,50	3,40	Qh	Holozän	S,g,u,t/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	3,40	3,50	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t/rbn-g/ps,1sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
37/00	5635796,4	4510353,2	235,40	3,50	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
38/00	5635845,0	4510355,6	235,40	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
38/00	5635845,0	4510355,6	235,40	0,10	1,90	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
38/00	5635845,0	4510355,6	235,40	1,90	3,60	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs/bn,g/2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
38/00	5635845,0	4510355,6	235,40	3,60	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-geg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
39/00	5635900,5	4510398,3	244,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
39/00	5635900,5	4510398,3	244,90	0,20	2,10	Qh	Holozän	U,fs,g/bn/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
39/00	5635900,5	4510398,3	244,90	2,10	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	0,00	1,40	A	Aufschüttung	U,fs,g,o,zb/bn/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	1,40	2,40	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-hbn,gfle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	2,40	3,90	Qh	Holozän	U,t,fS,o/g,dbn,g-dg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	3,90	5,10	Qh	Holozän	S,g,so,u,fbn,g/bi,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	5,10	5,50	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t/g-gng/ps//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
40/00	5635861,2	4510400,6	237,50	5,50	6,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-gng,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
41/00	5635824,6	4510401,7	235,90	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
41/00	5635824,6	4510401,7	235,90	0,10	1,80	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-gebn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
41/00	5635824,6	4510401,7	235,90	1,80	3,60	Qh	Holozän	S,g,so,u//bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
41/00	5635824,6	4510401,7	235,90	3,60	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/g-gng/1sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
42/00	5635799,6	4510399,5	236,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
42/00	5635799,6	4510399,5	236,00	0,10	1,70	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle/lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
42/00	5635799,6	4510399,5	236,00	1,70	2,30	Qh	Holozän	S,g,u//bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
42/00	5635799,6	4510399,5	236,00	2,30	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/geg,gng,g,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,g,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	0,10	0,60	Qh	Holozän	U,fs,so/bn//Lx/Q; Hangschutt
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	0,60	2,50	Qh	Holozän	U,fs,gs,g,so,o/hbn-bn/bi/Lö/Q; Löss
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	2,50	3,50	Qh	Holozän	U,fs,t,S,fG/g/bi,ps/Lö/Q; Lösslehm
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	3,50	5,00	Qh	Holozän	U,fs,fG,so/bn/Lx/Q; Hangschutt
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	5,00	6,50	Qh	Holozän	U,fs,t,fG-mG,gG,So/gn-gbn,rffle/bi,ps/Lö/Q; Löss
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	6,50	7,40	Qh	Holozän	So,u,fs/g-gebn/bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
43/00	5635748,1	4510401,9	240,30	7,40	8,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,o,zb/bn/3bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	0,80	0,90	Qh	Holozän	U/bn-dbn/bi/Mu/Q; Mutterboden
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	0,90	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-gebn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	2,50	2,60	Qh	Holozän	T,u/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	2,60	3,90	Qh	Holozän	S,g,u//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	3,90	4,30	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/gng-geg/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
44/00	5635777,5	4510448,1	236,70	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefert	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
45/00	5635829,1	4510479,2	236,70	0,00	1,30	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-dbn/bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
45/00	5635829,1	4510479,2	236,70	1,30	3,00	Qh	Holozän	T,u,so,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
45/00	5635829,1	4510479,2	236,70	3,00	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,t,o/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
45/00	5635829,1	4510479,2	236,70	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefert	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,o,zb/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	0,80	2,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/bi/Lö/Q; Löss
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	2,80	3,60	Qh	Holozän	U,fs,so/bn//Lx/Q; Hangschutt
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	3,60	4,00	Qh	Holozän	U,g,/bn-gbn/bi/Lö/Q; Löss
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	4,00	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,u//ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	4,30	4,60	Qh	Holozän	T,g/g-dg/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	4,60	6,45	Qh	Holozän	G,so,u,fs,t/bn/bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	6,45	7,20	Qh	Holozän	T,u,o/gebn,g-dg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	7,20	8,00	Qh	Holozän	S,2g,2u,fs/gebn/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
46/00	5635744,4	4510499,0	241,30	8,00	8,80	S3	Oberer Graptolithenschiefert	Z,Bl/s//S3; Alaunschiefer
47/00	5635721,9	4510544,4	246,60	0,00	0,40	Qh	Holozän	fS,u,o/bn/bi-lok/Mu/Q; Mutterboden
47/00	5635721,9	4510544,4	246,60	0,40	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn//Q; Lehm, unspezifiziert
47/00	5635721,9	4510544,4	246,60	2,00	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefert	Bl,fs/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
48/00	5635745,3	4510543,3	242,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	Mu,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
48/00	5635745,3	4510543,3	242,00	0,10	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g,2t,o/hbn-bn,gebn/bi/Lö/Q; Löss
48/00	5635745,3	4510543,3	242,00	3,00	3,55	Qh	Holozän	U,g,H/rbn//Lx/Q; Hangschutt
48/00	5635745,3	4510543,3	242,00	3,55	4,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs/rffle//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
48/00	5635745,3	4510543,3	242,00	4,20	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefert	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	0,00	1,10	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/gebn-bn/lok/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	1,10	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g,F,h,o/dbn,s,bn/2bi-lok,bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	2,00	2,50	Qh	Holozän	G,so,Sst,u,fs//bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	2,50	4,30	Qh	Holozän	U,fs,g/bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	4,30	4,50	Qh	Holozän	T,u,o/g/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	4,50	5,70	Qh	Holozän	S,g,u,fs,t///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
49/00	5635756,2	4510543,3	240,00	5,70	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefert	Bl,s,g/dg-sg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	0,00	0,90	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/bi,lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	0,90	2,80	Qh	Holozän	T,u,fs,g/sg-dg/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	2,80	4,20	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	4,20	4,50	Qh	Holozän	T,u,fs,g/g/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	4,50	6,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
50/00	5635763,9	4510543,0	239,90	6,20	7,00	S3	Oberer Graptolithenschiefert	Bl/s,rffle//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
51/00	5635772,8	4510542,3	239,40	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
51/00	5635772,8	4510542,3	239,40	0,50	0,80	Qh	Holozän	U,g,o/s-sbn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
51/00	5635772,8	4510542,3	239,40	0,80	4,70	Qh	Holozän	U,fs,t,g,o/g,gebn,g-gng/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
51/00	5635772,8	4510542,3	239,40	4,70	6,00	Qh	Holozän	S,g,fs,u,t/bi,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
51/00	5635772,8	4510542,3	239,40	6,00	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-gng,rffle//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
52/00	5635827,0	4510543,3	237,00	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
52/00	5635827,0	4510543,3	237,00	0,20	1,70	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
52/00	5635827,0	4510543,3	237,00	1,70	3,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o//2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
52/00	5635827,0	4510543,3	237,00	3,20	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf/D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
53/00	5635865,0	4510544,0	236,80	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/dbn,bn-gbn/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
53/00	5635865,0	4510544,0	236,80	0,50	2,10	Qh	Holozän	U,fs,g,o/gbn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
53/00	5635865,0	4510544,0	236,80	2,10	3,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
53/00	5635865,0	4510544,0	236,80	3,20	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-gng,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
54/00	5635826,3	4510567,8	237,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
54/00	5635826,3	4510567,8	237,10	0,10	2,50	Qh	Holozän	U,fs-ms,g,o/bn-gebn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
54/00	5635826,3	4510567,8	237,10	2,50	3,50	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
54/00	5635826,3	4510567,8	237,10	3,50	4,30	Qh	Holozän	T,g/bn,rffle/bi,ps//Q; Hangsediment
54/00	5635826,3	4510567,8	237,10	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf/D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
55/00	5635686,6	4510599,1	254,80	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,g,h,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
55/00	5635686,6	4510599,1	254,80	0,10	3,00	Qh	Holozän	U,fs,2t,g,o/bn-gebn,rbn/bi/Hl/Q; Hanglehm
55/00	5635686,6	4510599,1	254,80	3,00	4,00	Di	Diabas	Di,s/gebn//D; Diabaszersatz / Metadiabaszersatz (Verw.)
56/00	5635722,1	4510598,9	246,40	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
56/00	5635722,1	4510598,9	246,40	0,10	1,90	Qp	Pleistozän	U,fs,t,o/bn/bi/Löl/Q; Lösslehm
56/00	5635722,1	4510598,9	246,40	1,90	2,90	Qp	Pleistozän	U,s,t,g/bn,gebn-gbn//Lö/Q; Löss
56/00	5635722,1	4510598,9	246,40	2,90	4,70	Qp	Pleistozän	S,g,so,u,fs///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
56/00	5635722,1	4510598,9	246,40	4,70	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf/D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
57/00	5635755,8	4510597,4	241,90	0,00	0,20	A	Aufschüttung	U,s,g,zb/bn-dbny/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
57/00	5635755,8	4510597,4	241,90	0,20	4,90	Qh	Holozän	U,fs,t,g,o/bn,mnfle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
57/00	5635755,8	4510597,4	241,90	4,90	7,10	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
57/00	5635755,8	4510597,4	241,90	7,10	7,40	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,t/s//S3; Alaunschieferzersatz
57/00	5635755,8	4510597,4	241,90	7,40	9,00	D1/1-2	Tentakulenkollenkalk	T,g/g-hg/ps//D11-2; Ton
58/00	5635762,9	4510597,4	240,50	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
58/00	5635762,9	4510597,4	240,50	0,20	4,00	Qh	Holozän	U,fs,2t,g,o/bn,s,mnfle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
58/00	5635762,9	4510597,4	240,50	4,00	6,60	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t/rbn//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
58/00	5635762,9	4510597,4	240,50	6,60	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/r-rbn,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
59/00	5635769,4	4510597,1	239,60	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,k,g,o/bn//y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
59/00	5635769,4	4510597,1	239,60	0,50	4,60	Qh	Holozän	U,fs,2t,g,o/gebn-bn,g,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
59/00	5635769,4	4510597,1	239,60	4,60	5,80	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,/bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
59/00	5635769,4	4510597,1	239,60	5,80	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g-dg,rffle/sf/D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
60/00	5635825,4	4510593,1	237,40	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
60/00	5635825,4	4510593,1	237,40	0,10	2,00	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn-bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
60/00	5635825,4	4510593,1	237,40	2,00	3,10	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
60/00	5635825,4	4510593,1	237,40	3,10	4,10	Qh	Holozän	T,g/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
60/00	5635825,4	4510593,1	237,40	4,10	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
61/00	5635864,6	4510596,0	237,10	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/dbn,bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
61/00	5635864,6	4510596,0	237,10	0,50	1,30	Qh	Holozän	U,fs,g,o/geb/n/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
61/00	5635864,6	4510596,0	237,10	1,30	3,40	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,T,o///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
61/00	5635864,6	4510596,0	237,10	3,40	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
62/00	5635902,2	4510597,1	241,30	0,00	1,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/hbn-bn/lok/Hl/Q; Hanglehm
62/00	5635902,2	4510597,1	241,30	1,00	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-geb/n/bi/Lx/Q; Hangschutt
62/00	5635902,2	4510597,1	241,30	2,00	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g,so/geb/n/ps/Hl/Q; Hanglehm
62/00	5635902,2	4510597,1	241,30	3,00	4,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl,g/g-rbn,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
63/00	5635823,3	4510618,8	237,70	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
63/00	5635823,3	4510618,8	237,70	0,10	2,40	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-geb/n,rffle/brl,bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
63/00	5635823,3	4510618,8	237,70	2,40	3,40	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
63/00	5635823,3	4510618,8	237,70	3,40	4,50	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/ss//S3; Alaunschieferzersatz
63/00	5635823,3	4510618,8	237,70	4,50	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s/ss//S3; Alaunschiefer
63A/00	5635839,9	4510618,4	236,50	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
63A/00	5635839,9	4510618,4	236,50	0,20	1,20	Qh	Holozän	U,fs,t,o/geb/n-bn,rffle/lok,bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
63A/00	5635839,9	4510618,4	236,50	1,20	3,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o/rffle/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
63A/00	5635839,9	4510618,4	236,50	3,20	3,70	D1/1-2	Tentakulitenkollenkalk	Kst/hg,rffle//D11-2; Kalksteinzersatz (Verw.)
63A/00	5635839,9	4510618,4	236,50	3,70	4,00	D1/1-2	Tentakulitenkollenkalk	Kst,Z/hg-g,rffle//D11-2; Kalkstein
64/00	5635821,4	4510645,9	237,80	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
64/00	5635821,4	4510645,9	237,80	0,10	1,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/geb/n-bn,rffle/lok,bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
64/00	5635821,4	4510645,9	237,80	1,80	3,60	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
64/00	5635821,4	4510645,9	237,80	3,60	4,30	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/bi,ps//S3; Alaunschieferzersatz
64/00	5635821,4	4510645,9	237,80	4,30	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
64A/00	5635837,6	4510645,1	237,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
64A/00	5635837,6	4510645,1	237,10	0,10	2,30	Qh	Holozän	U,fs,g,o/geb/n-bn,rffle/lok,bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
64A/00	5635837,6	4510645,1	237,10	2,30	2,95	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
64A/00	5635837,6	4510645,1	237,10	2,95	4,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
65/00	5635821,0	4510677,1	238,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
65/00	5635821,0	4510677,1	238,10	0,20	1,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/geb/n-bn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
65/00	5635821,0	4510677,1	238,10	1,80	3,60	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs/rffle/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
65/00	5635821,0	4510677,1	238,10	3,60	4,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s/2ps//S3; Alaunschieferzersatz
65/00	5635821,0	4510677,1	238,10	4,00	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
66/00	5635948,3	4510702,9	249,10	0,00	7,20	Qh	Holozän	U,fs,g,t/bn-geb/n,rffle,mnfle/lok,bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
66/00	5635948,3	4510702,9	249,10	7,20	8,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	0,00	0,90	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	0,90	2,80	Qh	Holozän	U,fs,g,t/geb/n/bi,ps/Hl/Q; Hanglehm

Anhang 3: Bohrungsregister

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	2,80	4,15	Qh	Holozän	T,u,g,2k/g/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	4,15	4,50	Qh	Holozän	H,o/sbn/bi-lok//Q; Torf
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	4,50	5,20	Qh	Holozän	T,u,o/dg-sg/3bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	5,20	5,80	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs/bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
67/00	5635903,3	4510701,1	241,40	5,80	6,50	Di	Diabas	Di,g/gng,rffle//D; Diabaszersatz / Metadiabaszersatz (Verw.)
68/00	5635860,8	4510702,1	238,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,u,o/bn-dbn/lok-2bi/Mu/Q; Mutterboden
68/00	5635860,8	4510702,1	238,90	0,20	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn-bn,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
68/00	5635860,8	4510702,1	238,90	2,50	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
68/00	5635860,8	4510702,1	238,90	4,30	4,80	S3	Oberer Graptolithenschief	Bl,g/s/sf//S3; Alaunschieferzersatz
68/00	5635860,8	4510702,1	238,90	4,80	5,00	Strg	Störung	Gst,g/rbn,g/ps/Strg/; Brekzie
69/00	5635820,3	4510707,2	238,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,u,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
69/00	5635820,3	4510707,2	238,90	0,20	1,80	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn-bn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
69/00	5635820,3	4510707,2	238,90	1,80	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
69/00	5635820,3	4510707,2	238,90	4,30	5,00	S3	Oberer Graptolithenschief	Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/dbn,bn/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	0,50	1,00	Qh	Holozän	U,fs,o/bn,hbn/bi,ss//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	1,00	1,30	Qh	Holozän	H,u,fs,o/s,rffle/lok//Q; Torf
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	1,30	1,70	Qh	Holozän	T,u,o/s/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	1,70	3,40	Qh	Holozän	U,fs,g,k,o/g-bng/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	3,40	5,00	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t,o//lok,bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	5,00	5,40	S3	Oberer Graptolithenschief	Z,Bl/s//S3; Alaunschiefer
70/00	5635775,2	4510701,6	240,40	5,40	6,00	S2	Ockerkalk	Kst,Z,3k/g-geg,rffle//S2; Kalkstein
71/00	5635771,9	4510703,2	241,00	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
71/00	5635771,9	4510703,2	241,00	1,00	3,90	Qh	Holozän	U,fs,g,o/dbn-bn,ge/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
71/00	5635771,9	4510703,2	241,00	3,90	4,70	Qh	Holozän	S,g,u,fs,t,o//bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
71/00	5635771,9	4510703,2	241,00	4,70	5,00	D1/3	Tentakulitenschief	Bl/dg-g,rffle/ss//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	0,50	3,60	Qh	Holozän	U,fs,g,o/hbn-bn,ge/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	3,60	4,70	Qh	Holozän	G,so,u,fs,t/bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	4,70	5,20	Qh	Holozän	U,2t,o/dg-ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	5,20	6,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs/rffle/2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
72/00	5635766,5	4510706,2	241,70	6,20	7,00	D1/1-2	Tentakulitenknollenkalk	Kst,Z/g//D11-2; Kalkstein
73/00	5635739,3	4510705,3	246,00	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
73/00	5635739,3	4510705,3	246,00	0,20	4,00	Qh	Holozän	U,fs,g,2t,o/bn-gebn/bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
73/00	5635739,3	4510705,3	246,00	4,00	4,30	Qh	Holozän	S,g,u,fs/bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
73/00	5635739,3	4510705,3	246,00	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschief	Bl/dg-g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
74/00	5635701,0	4510703,4	252,30	0,00	0,60	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
74/00	5635701,0	4510703,4	252,30	0,60	1,00	D1/3	Tentakulitenschief	Bl,g/g-dg/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
74/00	5635701,0	4510703,4	252,30	1,00	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
75/00	5635825,2	4510741,0	239,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	U,h,o/dbn-sbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
75/00	5635825,2	4510741,0	239,20	0,20	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-gebn/lok//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
75/00	5635825,2	4510741,0	239,20	2,50	4,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
75/00	5635825,2	4510741,0	239,20	4,20	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
76/00	5635891,3	4510738,1	240,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
76/00	5635891,3	4510738,1	240,90	0,20	2,60	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/lok,bi/Hl/Q; Hanglehm
76/00	5635891,3	4510738,1	240,90	2,60	4,65	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
76/00	5635891,3	4510738,1	240,90	4,65	5,00	Qh	Holozän	S,g,t//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
76/00	5635891,3	4510738,1	240,90	5,00	5,10	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s//S3; Alaunschiefer
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	0,10	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle/lok,bi/Hl/Q; Hanglehm
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	2,00	2,70	Qh	Holozän	G,u,fs/bn/lok-bi/Lx/Q; Hangschutt
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	2,70	6,50	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-gebn,rffle/bi/Hl/Q; Hanglehm
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	6,50	7,40	Qh	Holozän	G,u,fs/g/bi/Lx/Q; Hangschutt
77/00	5635948,4	4510801,9	248,30	7,40	8,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g,gebn,rbn,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
78/00	5635900,7	4510801,7	244,20	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
78/00	5635900,7	4510801,7	244,20	0,10	2,00	Qh	Holozän	U,fs,t,g,so/bn/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
78/00	5635900,7	4510801,7	244,20	2,00	3,70	Qh	Holozän	G,u,fs,t/rffle/bi/Lx/Q; Hangschutt
78/00	5635900,7	4510801,7	244,20	3,70	4,20	Qh	Holozän	S,g,so,u/rffle/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
78/00	5635900,7	4510801,7	244,20	4,20	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
79/00	5635819,5	4510772,9	239,30	0,00	0,20	Qh	Holozän	U,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
79/00	5635819,5	4510772,9	239,30	0,20	2,50	Qh	Holozän	U,fs,ms,t,g,o,h/bn/bi//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
79/00	5635819,5	4510772,9	239,30	2,50	4,40	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
79/00	5635819,5	4510772,9	239,30	4,40	4,80	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/ps//S3; Alaunschieferzersatz
79/00	5635819,5	4510772,9	239,30	4,80	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	0,00	0,40	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	0,40	0,60	Qh	Holozän	fS,o/dbn//Mu/Q; Mutterboden
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	0,60	1,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o,h/bn/bi//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	1,50	3,00	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t/o/bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	3,00	4,50	Qh	Holozän	T,u,gs,g,o/bi,ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	4,50	4,60	Qh	Holozän	So,t///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
80/00	5635794,4	4510813,2	239,40	4,60	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s//S1; Alaunschieferzersatz
81/00	5635788,0	4510812,0	239,60	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn-gebn/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
81/00	5635788,0	4510812,0	239,60	1,00	1,10	Qh	Holozän	H,o/sbn/bi//Q; Torf
81/00	5635788,0	4510812,0	239,60	1,10	2,20	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gbn,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Auoton, Aueschluff
81/00	5635788,0	4510812,0	239,60	2,20	4,10	Qh	Holozän	S,g,so,u,sf,o//lok-bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
81/00	5635788,0	4510812,0	239,60	4,10	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/ps//S1; Alaunschieferzersatz
82/00	5635788,8	4510812,6	239,60	0,00	1,20	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-gebn,geg/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden

Anhang 3: Bohrungsregister

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
82/00	5635788,8	4510812,6	239,60	1,20	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/dbn,gebn-bn,fn-gbn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
82/00	5635788,8	4510812,6	239,60	3,00	4,40	Qh	Holozän	S,g,so,u,sf///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
82/00	5635788,8	4510812,6	239,60	4,40	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,Z/s//S1; Alaunschiefer,Lydit
83/00	5635769,6	4510811,4	240,60	0,00	1,20	A	Aufschüttung	U,fs,ms,g,zb,o/bn,rg-g/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
83/00	5635769,6	4510811,4	240,60	1,20	1,40	Qh	Holozän	T,2u,g-sbn/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
83/00	5635769,6	4510811,4	240,60	1,40	3,40	Qh	Holozän	U,fs,g,k,o/gbn-g,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
83/00	5635769,6	4510811,4	240,60	3,40	4,40	Qh	Holozän	S,g,so,u,sf//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
83/00	5635769,6	4510811,4	240,60	4,40	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,Z/s//S1; Alaunschiefer,Lydit
84/00	5635719,8	4510812,1	247,50	0,00	0,40	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
84/00	5635719,8	4510812,1	247,50	0,40	4,30	Qh	Holozän	U,fs,t,g,o/bn-gebn,rffle/bi/Hl/Q; Hanglehm
84/00	5635719,8	4510812,1	247,50	4,30	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/ps//S3; Alaunschieferzersatz
85/00	5635717,7	4510873,0	245,80	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,g,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
85/00	5635717,7	4510873,0	245,80	0,10	6,20	Qh	Holozän	U,t,fs,g,o/bn-gebn,g/bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
85/00	5635717,7	4510873,0	245,80	6,20	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/dg-sg,rffle/sf/D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle/lok-2bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	1,00	3,60	Qh	Holozän	S,g,so,u,t,o/rffle/lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	3,60	3,70	Qh	Holozän	T,u,h/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	3,70	4,20	Qh	Holozän	H,o,u/dbn/lok//Q; Torf
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	4,20	4,30	Qh	Holozän	U,fs,t/hbn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
86/00	5635783,0	4510870,6	239,90	4,30	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/sf//S3; Alaunschieferzersatz
87/00	5635800,7	4510840,5	239,70	0,00	0,20	Qh	Holozän	U-fS,g/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
87/00	5635800,7	4510840,5	239,70	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
87/00	5635800,7	4510840,5	239,70	1,00	4,20	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o//lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
87/00	5635800,7	4510840,5	239,70	4,20	4,70	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/sf//S3; Alaunschieferzersatz
87/00	5635800,7	4510840,5	239,70	4,70	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,h,o/bn-dbn/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	0,80	1,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	1,80	2,50	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o//bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	2,50	2,90	Qh	Holozän	T,u,o/g/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	2,90	3,10	Qh	Holozän	H,u/sbn/lok-bi//Q; Torf
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	3,10	3,70	Qh	Holozän	U,fs,o/g/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	3,70	3,90	Qh	Holozän	S,g,so,t//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
88/00	5635802,0	4510845,8	239,70	3,90	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/sf//S3; Alaunschieferzersatz
89/00	5635801,8	4510851,6	239,80	0,00	0,45	Qh	Holozän	U,h,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
89/00	5635801,8	4510851,6	239,80	0,45	2,20	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn-bn,rffle/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
89/00	5635801,8	4510851,6	239,80	2,20	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,o//bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
89/00	5635801,8	4510851,6	239,80	4,30	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
90/00	5635819,8	4510825,2	239,90	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
90/00	5635819,8	4510825,2	239,90	0,10	2,20	Qh	Holozän	U,fs,ms,g,o/bn,rffle/lok,bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
90/00	5635819,8	4510825,2	239,90	2,20	4,50	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
90/00	5635819,8	4510825,2	239,90	4,50	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s,rffle/ps,sf//S3; Alaunschieferzersatz
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,g,o/dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	0,10	2,20	Qh	Holozän	U,fs,t,o/bn-gebn,rffle/lok,bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	2,20	2,50	Qh	Holozän	H,u,o/dbn-sbn/lok-2bi//Q; Torf
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	2,50	3,20	Qh	Holozän	T,u,h,o/g-dg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	3,20	5,10	Qh	Holozän	S,g,so,u,fs,t/rffle/lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	5,10	5,50	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/s,rffle/sf//S3; Alaunschieferzersatz
91/00	5635815,7	4510864,9	240,00	5,50	6,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
92/00	5635870,7	4510832,1	241,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,g/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
92/00	5635870,7	4510832,1	241,10	0,20	2,80	Qh	Holozän	U,fs,g,t,o/bn-gebn,rffle/lok-bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
92/00	5635870,7	4510832,1	241,10	2,80	4,00	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
92/00	5635870,7	4510832,1	241,10	4,00	4,75	Qh	Holozän	S,g,so,t/rffle/2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
92/00	5635870,7	4510832,1	241,10	4,75	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
93/00	5635946,6	4510892,6	254,00	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
93/00	5635946,6	4510892,6	254,00	0,10	1,10	Qh	Holozän	U,fs,g,o/hbn,rffle/lok/Hl/Q; Hanglehm
93/00	5635946,6	4510892,6	254,00	1,10	1,80	Qh	Holozän	G,u,fs/g-dg/lok-2bi/Lx/Q; Hangschutt
93/00	5635946,6	4510892,6	254,00	1,80	2,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
94/00	5635900,8	4510898,8	247,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
94/00	5635900,8	4510898,8	247,10	0,10	1,80	Qh	Holozän	U,fs,g/hbn/lok,bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
94/00	5635900,8	4510898,8	247,10	1,80	4,30	Qh	Holozän	G,u,fs/g-dg/lok-2bi/Lx/Q; Hangschutt
94/00	5635900,8	4510898,8	247,10	4,30	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,g/g-gebn,rffle/sf//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	0,00	0,90	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-gebn,ge/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	0,90	1,70	Qh	Holozän	U,fs/bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	1,70	2,80	Qh	Holozän	G,u,fs,o/rffle/lok,bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	2,80	3,00	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn-bn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	3,00	5,40	Qh	Holozän	G,u,fs,o/rffle/lok,bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
95/00	5635814,5	4510897,8	240,80	5,40	6,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
96/00	5635720,2	4510924,9	244,10	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
96/00	5635720,2	4510924,9	244,10	0,10	1,00	Qh	Holozän	U,fs/bn-gebn/bi/Hl/Q; Hanglehm
96/00	5635720,2	4510924,9	244,10	1,00	3,60	Qh	Holozän	U,fs,g,t,o/dbn,gbn,gebn-bn,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
96/00	5635720,2	4510924,9	244,10	3,60	4,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/Z/s/sf//S1; Alaunschiefer
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	0,00	0,95	A	Aufschüttung	U,fs/g-sg/lok,bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	0,95	1,40	A	Aufschüttung	S,g,o/g-sg/bi/y/Q; Aufschüttung/ Sand
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	1,40	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-dbn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	2,50	2,80	Qh	Holozän	H,u-fs,o/sbn-dbn/lok-2bi//Q; Torf
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	2,80	3,40	Qh	Holozän	G,u,fs//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	3,40	4,50	Qh	Holozän	T,u,o/g/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	4,50	5,05	Qh	Holozän	G,fs-gs,t/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
97/00	5635757,3	4510922,8	241,20	5,05	7,00	S2	Ockerkalk	Kst,t,g/s-sg,dg/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
98/00	5635774,9	4510925,2	240,80	0,00	0,60	A	Aufschüttung	U,fs/bn/lok,b/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
98/00	5635774,9	4510925,2	240,80	0,60	1,70	A	Aufschüttung	fS-mS,g/hge/2bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Sand
98/00	5635774,9	4510925,2	240,80	1,70	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-dbn,rffle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
98/00	5635774,9	4510925,2	240,80	2,50	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs/rffle/2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	0,00	0,70	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/lok,b/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	0,70	1,70	A	Aufschüttung	fS-mS,g/ge/2bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Sand
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	1,70	2,40	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-dbn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	2,40	4,80	Qh	Holozän	G,u,fs/rffle//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	4,80	6,90	S2	Ockerkalk	Kst,t,g/dg-sg/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
98A/00	5635774,9	4511925,1	240,80	6,90	7,00	Strg	Störung	Gst,g/gebn-bng//Strg/; Brekzie
99/00	5635791,2	4510926,9	240,80	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,zb/bn/lok,b/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
99/00	5635791,2	4510926,9	240,80	0,50	0,80	A	Aufschüttung	fS-mS/ge-hge/2bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Sand
99/00	5635791,2	4510926,9	240,80	0,80	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn,rffle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
99/00	5635791,2	4510926,9	240,80	2,50	4,30	Qh	Holozän	S,g,so,fs/rffle/2bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
99/00	5635791,2	4510926,9	240,80	4,30	6,00	S2	Ockerkalk	Kst,t,g/dg-dg-sg,rffle/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
100/00	5635810,3	4510928,6	241,20	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,u,o/bn/lok-bi/Mu/Q; Mutterboden
100/00	5635810,3	4510928,6	241,20	0,10	2,30	Qh	Holozän	U,fs,o/bn,rffle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
100/00	5635810,3	4510928,6	241,20	3,00	4,90	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
100/00	5635810,3	4510928,6	241,20	4,90	6,00	S2	Ockerkalk	Kst,g/g-dg,s,rffle/bi//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
101/00	5635849,0	4510930,6	241,50	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,u,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
101/00	5635849,0	4510930,6	241,50	0,10	2,40	Qh	Holozän	U,fs,o/bn,rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
101/00	5635849,0	4510930,6	241,50	2,40	4,10	Qh	Holozän	G,u,fs,t//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
101/00	5635849,0	4510930,6	241,50	4,10	5,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
102/00	5635900,9	4510992,1	251,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
102/00	5635900,9	4510992,1	251,30	0,10	0,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/lok/Hl/Q; Hanglehm
102/00	5635900,9	4510992,1	251,30	0,50	2,50	Qh	Holozän	G,u,fs/g-dg/lok-bi/Lx/Q; Hangschutt
102/00	5635900,9	4510992,1	251,30	2,50	3,00	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g-dg,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	0,00	0,20	Qh	Holozän	U,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	0,20	2,60	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn,rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	2,60	4,80	Qh	Holozän	G,u,fs,t//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	4,80	5,00	Qh	Holozän	T,u,g,o/dgbn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	5,00	5,40	Qh	Holozän	G/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
103/00	5635808,5	4510971,8	241,80	5,40	6,00	S1	Unterer Graptolithenschiefen	Bl,g/s/1sf//S1; Alaunschieferzersatz

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
104/00	5635805,4	4511013,5	242,00	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,g/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
104/00	5635805,4	4511013,5	242,00	0,20	2,50	Qh	Holozän	U,fs,ms,o/rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
104/00	5635805,4	4511013,5	242,00	2,50	5,30	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
104A/00	5635805,4	4511013,2	242,00	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,g/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
104A/00	5635805,4	4511013,2	242,00	0,20	2,50	Qh	Holozän	U,fs,o/rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
104A/00	5635805,4	4511013,2	242,00	2,50	5,40	Qh	Holozän	G,u,fs/rbn/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
104A/00	5635805,4	4511013,2	242,00	5,40	5,60	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/Z/s,rffle//S1; Lydit (Kieselschiefer)
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	0,20	1,30	Qh	Holozän	U,fs,o/gbn-gebn/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	1,30	2,70	Qh	Holozän	G,u,fs,t//2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	2,70	3,70	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g,rffle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	3,70	4,00	Strg	Störung	Gst,Bl,g/dg//Strg/; Brekzie
105/00	5635751,0	4510993,4	243,20	4,00	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
106/00	5635698,1	4510990,0	247,00	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn-gbn/lok-2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
106/00	5635698,1	4510990,0	247,00	0,80	3,45	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
106/00	5635698,1	4510990,0	247,00	3,45	6,80	Qh	Holozän	G,u,fs,trffle/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
106/00	5635698,1	4510990,0	247,00	6,80	8,10	Strg	Störung	Gst,Bl,fs,g/hg-sg/bi.ps,sf/Strg/; Brekzie
106/00	5635698,1	4510990,0	247,00	8,10	9,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s/sf//S3; Alaunschiefer
107/00	5635745,2	4511041,8	245,90	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS-U,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
107/00	5635745,2	4511041,8	245,90	0,10	3,20	Qh	Holozän	U,fs,fg-ms,g/bn/lok-bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
107/00	5635745,2	4511041,8	245,90	3,20	3,60	Qh	Holozän	G,u,fs/bi-lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
107/00	5635745,2	4511041,8	245,90	3,60	4,10	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/sg/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn-gebn/lok/Mu/Q; Mutterboden
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	0,20	2,40	Qh	Holozän	U,fs,ms,g,so,o/g-gbn/lok-bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	2,40	2,70	Qh	Holozän	T,u,g/g-dg/bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	2,70	3,45	Qh	Holozän	G,u,fs//2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	3,45	3,60	Qh	Holozän	T,u,g,o/dg/bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	3,60	3,95	Qh	Holozän	G//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
108/00	5635802,8	4511062,9	242,70	3,95	4,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s//S1; Alaunschiefer
109/00	5635837,1	4511062,4	242,70	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn-gbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
109/00	5635837,1	4511062,4	242,70	0,10	2,30	Qh	Holozän	U,fs,gs,g,o/g-gbn,rffle/lok-bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
109/00	5635837,1	4511062,4	242,70	2,30	2,70	Qh	Holozän	T,u,o/g-dg/bi.ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
109/00	5635837,1	4511062,4	242,70	2,70	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
109/00	5635837,1	4511062,4	242,70	5,00	5,50	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
110/00	5635900,4	4511091,4	251,40	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
110/00	5635900,4	4511091,4	251,40	0,10	1,90	Qh	Holozän	U,fs,g,k,o/bn,rffle/lok-bi/Hl/Q; Hanglehm
110/00	5635900,4	4511091,4	251,40	1,90	2,20	Qh	Holozän	G,s,t/g/Lx/Q; Hangschutt
110/00	5635900,4	4511091,4	251,40	2,20	2,60	Qh	Holozän	U,fs,t/bn-gebn/ps/Hl/Q; Hanglehm

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
110/00	5635900,4	4511091,4	251,40	2,60	4,00	S2	Ockerkalk	Kst,g/geg-gebn//S2; Kalkstein
111/00	5635840,6	4511122,5	243,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn-gbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
111/00	5635840,6	4511122,5	243,10	0,20	2,00	Qh	Holozän	U,fs,o/gbn.bn-gebn,rffle/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
111/00	5635840,6	4511122,5	243,10	2,00	3,10	Qh	Holozän	T,u,fs,g,o/g-dg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
111/00	5635840,6	4511122,5	243,10	3,10	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs,t//lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
111/00	5635840,6	4511122,5	243,10	5,00	6,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
112/00	5635802,4	4511100,8	243,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
112/00	5635802,4	4511100,8	243,10	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-gebn/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
112/00	5635802,4	4511100,8	243,10	1,00	3,50	Qh	Holozän	G,u,fs,t//lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
112A/00	5635802,4	4511100,5	243,10	0,00	0,20	Qh	Holozän	fS,o/bn-dbn/lok/Mu/Q; Mutterboden
112A/00	5635802,4	4511100,5	243,10	0,20	1,00	Qh	Holozän	U,fs,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
112A/00	5635802,4	4511100,5	243,10	1,00	3,50	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
112A/00	5635802,4	4511100,5	243,10	3,50	5,10	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	0,00	0,10	Qh	Holozän	U-fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	0,10	0,50	Qh	Holozän	U,fs,o/bn/lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	0,50	1,00	Qh	Holozän	T,u,o/g-dg/lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	1,00	3,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	3,80	4,00	Qh	Holozän	T,u,g,o/g-dg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	4,00	4,30	S2	Ockerkalk	Kst,g/dg-sg/ps//S2; Kalksteinzersetzung (Verw.)
113/00	5635747,0	4511100,5	245,30	4,30	6,20	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/1sf//S1; Alaunschieferzersetzung
114/00	5635799,4	4511147,0	243,60	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
114/00	5635799,4	4511147,0	243,60	0,10	2,30	Qh	Holozän	U,fs,o/gebn,rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
114/00	5635799,4	4511147,0	243,60	2,30	3,00	Qh	Holozän	T,u,fs-ms,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
114/00	5635799,4	4511147,0	243,60	3,00	4,70	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
114/00	5635799,4	4511147,0	243,60	4,70	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl,g/s/sf//S1; Alaunschiefer
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,o/bn/lok/Mu/Q; Mutterboden
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	0,10	1,60	Qh	Holozän	U,fs,o/bn,hgflen,rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	1,60	2,10	Qh	Holozän	S,G,u,fs//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	2,10	2,95	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	2,95	4,90	Qh	Holozän	S,G,So,u,fs,h,o/rffle/lok-bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspez.
115/00	5635765,9	4511184,4	244,40	4,90	6,20	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
116/00	5635805,8	4511219,0	243,90	0,00	0,70	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-gbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
116/00	5635805,8	4511219,0	243,90	0,70	2,10	Qh	Holozän	U,fs,ms,o/bng,rffle/bi/Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
116/00	5635805,8	4511219,0	243,90	2,10	2,90	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
116/00	5635805,8	4511219,0	243,90	2,90	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs/rffle/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
116/00	5635805,8	4511219,0	243,90	5,00	6,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl,g/s,rffle/sf//S1; Wechsellagerung Alaunschiefer / Lydit
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	0,80	2,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn,rffle/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	2,50	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs/rffle/bi,lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	5,00	7,60	Qh	Holozän	T,u,g,o/g/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	7,60	8,40	Qh	Holozän	G,u/rffle/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
117/00	5635774,9	4511268,6	244,60	8,40	9,20	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s-sg/ps//S1; Alaunschieferzersatz
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	1,00	3,40	Qh	Holozän	U,fs,ms,g,o/bn,gebn-geg/bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	3,40	5,50	Qh	Holozän	G,u,fs,t//bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	5,50	5,70	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/gebn-geg,sfle//S1; Alaunschieferzersatz
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	5,70	6,80	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
118/00	5635764,2	4511310,8	245,10	6,80	7,20	S2	Ockerkalk	Kst///S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
119/00	5635763,5	4511318,9	245,10	0,00	2,10	A	Aufschüttung	U,fs,ms,g,o/bn-dbn,rffle/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
119/00	5635763,5	4511318,9	245,10	2,10	4,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/gebn-geg,rffle/lok-bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
119/00	5635763,5	4511318,9	245,10	4,00	5,50	S2	Ockerkalk	Kst,g/g,bn-gebn/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
119/00	5635763,5	4511318,9	245,10	5,50	6,00	S2	Ockerkalk	Kst,Z/g-dg,rffle//S2; Kalkstein
120/00	5635763,1	4511324,3	245,10	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
120/00	5635763,1	4511324,3	245,10	0,80	1,90	Qh	Holozän	U,fs,gs-fg/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
120/00	5635763,1	4511324,3	245,10	1,90	3,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s,gebn/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
121/00	5635755,8	4511350,2	245,30	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-hbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
121/00	5635755,8	4511350,2	245,30	0,80	1,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s//S1; Alaunschiefer
122/00	5635852,0	4511336,8	255,60	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-dbn,g-dg/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
122/00	5635852,0	4511336,8	255,60	1,00	2,60	Qh	Holozän	U,fs,g/gebn/lok/Hl/Q; Hanglehm
122/00	5635852,0	4511336,8	255,60	2,60	3,50	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
123/00	5635899,7	4511396,1	263,80	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/dbn-hbn/bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
123/00	5635899,7	4511396,1	263,80	0,50	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn/bi/Hl/Q; Hanglehm
123/00	5635899,7	4511396,1	263,80	3,00	4,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl/hg-hge,gebn/1sf//S3; Alaunschieferzersatz
124/00	5635845,0	4511395,2	258,00	0,00	3,40	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn-hbn,rffle/bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
124/00	5635845,0	4511395,2	258,00	3,40	5,00	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,g/hg,rf/1sf//S3; Alaunschieferzersatz
125/00	5635806,2	4511395,6	255,00	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-hbn/bi-lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
125/00	5635806,2	4511395,6	255,00	1,00	2,40	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl,Kst/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer
126/00	5635770,7	4511404,0	245,70	0,00	0,10	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn-hbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
126/00	5635770,7	4511404,0	245,70	0,10	0,20	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,Z/sg//S1; Lydit (Kieselschiefer)
127/00	5635803,6	4511446,0	253,70	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/dbn-bn-hbn/lok-2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
127/00	5635803,6	4511446,0	253,70	0,80	1,50	Qh	Holozän	U,fs,g/bn,gfle/lok-2bi/Hl/Q; Hanglehm
127/00	5635803,6	4511446,0	253,70	1,50	3,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl,Kst/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer
128/00	5635851,6	4511445,0	259,00	0,00	0,20	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/lok-2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
128/00	5635851,6	4511445,0	259,00	0,20	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi/Hl/Q; Hanglehm
128/00	5635851,6	4511445,0	259,00	3,00	3,80	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
129/00	5635901,2	4511443,9	263,00	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn-hbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
129/00	5635901,2	4511443,9	263,00	0,50	3,00	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn/bi/Hl/Q; Hanglehm
129/00	5635901,2	4511443,9	263,00	3,00	3,40	Qh	Holozän	G,u,fs//lok-2bi/Lx/Q; Hangschutt
129/00	5635901,2	4511443,9	263,00	3,40	4,50	D1/3	Tentakulitenschiefen	Bl/g-dg,rffle/sf/D13; Tonschiefer
130/00	5635949,5	4511442,9	267,90	0,00	0,80	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-hbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
130/00	5635949,5	4511442,9	267,90	0,80	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g,k/bn//Hl/Q; Hanglehm
130/00	5635949,5	4511442,9	267,90	2,00	4,00	Qh	Holozän	G,u,fs//Lx/Q; Hangschutt
130/00	5635949,5	4511442,9	267,90	4,00	7,30	Strg	Störung	Gst,g/gebn-g-s,rbn//Strg/; Brekzie
131/00	5635954,5	4511497,0	263,00	0,00	0,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
131/00	5635954,5	4511497,0	263,00	0,50	2,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-gebn,mnfle//Hl/Q; Hanglehm
131/00	5635954,5	4511497,0	263,00	2,00	3,60	Qh	Holozän	G,u,fs//bi/Lx/Q; Hangschutt
131/00	5635954,5	4511497,0	263,00	3,60	4,50	Strg	Störung	Gst,g/rbn,rffle/ps,1sf/Strg/; Mylonit
131/00	5635954,5	4511497,0	263,00	4,50	6,20	S2	Ockerkalk	Kst,s,g/gebn/lok-bi//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
132/00	5635898,8	4511494,2	257,20	0,00	1,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
132/00	5635898,8	4511494,2	257,20	1,50	3,40	Qh	Holozän	U,fs,g,o/gbn,rffle/bi/Hl/Q; Hanglehm
132/00	5635898,8	4511494,2	257,20	3,40	4,30	S2	Ockerkalk	Kst,g/g-gng/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
132/00	5635898,8	4511494,2	257,20	4,30	4,50	S2	Ockerkalk	Kst,Z/g///S2; Kalkstein
133/00	5635855,0	4511495,4	254,80	0,00	1,00	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/lok-bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
133/00	5635855,0	4511495,4	254,80	1,00	3,50	Qh	Holozän	U,t,fs,g,o/bn-rbn,g,rffle/bi,ps/Hl/Q; Hanglehm
133/00	5635855,0	4511495,4	254,80	3,50	4,00	Qh	Holozän	G,u,t,o//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
133/00	5635855,0	4511495,4	254,80	4,00	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefen	Bl/s,rffle/sf//S3; Alaunschiefer-Verwitterungszone
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	0,00	1,20	A	Aufschüttung	U,fs,ms,g/dbn-bn/bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	1,20	2,70	Qh	Holozän	U,fs,g/bn/bi/Hl/Q; Hanglehm
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	2,70	3,60	Qh	Holozän	G,u,fs//bi,ps/Lx/Q; Hangschutt
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	3,60	4,00	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-gebn/ps/Hl/Q; Hanglehm
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	4,00	4,60	Qh	Holozän	G,u,fs//ps/Lx/Q; Hangschutt
134/00	5635799,2	4511497,7	248,70	4,60	5,00	S1	Unterer Graptolithenschiefen	Bl/s,rffle/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
135/00	5635750,3	4511502,5	247,20	0,00	0,20	Qh	Holozän	U,o/dbn/bi/Mu/Q; Mutterboden
135/00	5635750,3	4511502,5	247,20	0,20	0,60	Qh	Holozän	U,fs,g/bn-gebn/2bi,lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
135/00	5635750,3	4511502,5	247,20	0,60	1,00	S1	Unterer Graptolithenschiefen	Bl,Z/s//S1; Lydit (Kieselschiefer)
136/00	5635795,5	4511582,2	255,80	0,00	0,10	Qh	Holozän	U,h,o/dbn/bi/Mu/Q; Mutterboden
136/00	5635795,5	4511582,2	255,80	0,10	0,50	Qh	Holozän	U,fs,g/rbn-bn/lok/Hl/Q; Hanglehm
136/00	5635795,5	4511582,2	255,80	0,50	2,00	S2	Ockerkalk	Kst,Bl,Z/r-rbn,gebnfle//S2; Kalkstein
137/00	5635797,5	4511622,2	257,60	0,00	0,10	Qh	Holozän	fS,h,o/dbn/bi/Mu/Q; Mutterboden
137/00	5635797,5	4511622,2	257,60	0,10	2,60	Qh	Holozän	U,fs,g,o/hbn/lok/Hl/Q; Hanglehm
137/00	5635797,5	4511622,2	257,60	2,60	4,00	S2	Ockerkalk	Kst,Z/g-bn,fle//S2; Kalkstein
138/00	5635746,5	4511606,4	248,30	0,00	1,60	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/lok-2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
138/00	5635746,5	4511606,4	248,30	1,60	3,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
138/00	5635746,5	4511606,4	248,30	3,50	4,00	Qh	Holozän	G,u,fs,o//lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert

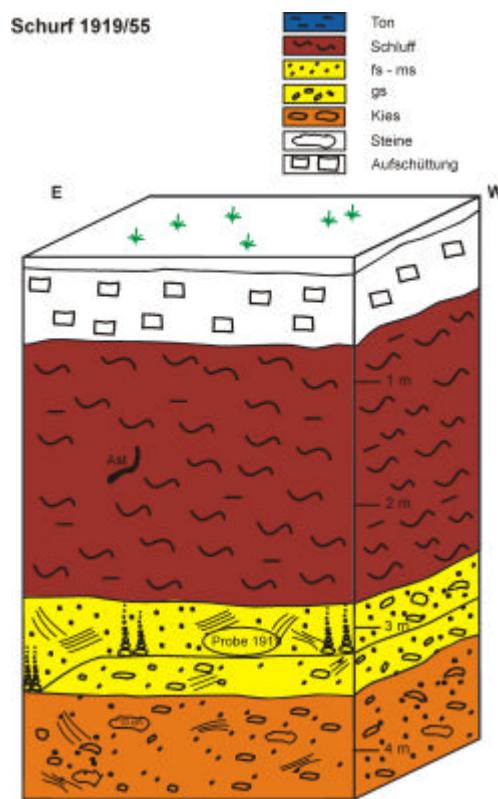
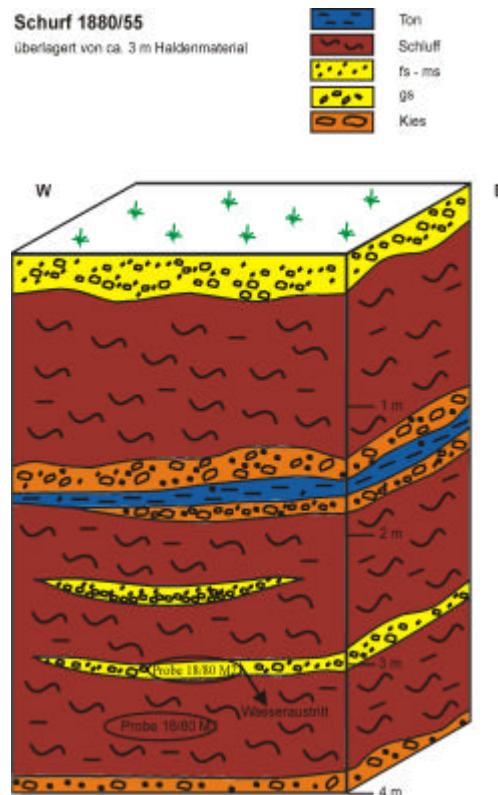
MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
138A/00	5635746,7	4511605,8	248,50	0,00	1,70	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn-rbn/lok-2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
138A/00	5635746,7	4511605,8	248,50	1,70	3,80	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
138A/00	5635746,7	4511605,8	248,50	3,80	5,00	Qh	Holozän	G,u,fs,o/gbn/lok-2bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
138A/00	5635746,7	4511605,8	248,50	5,00	6,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/sf//S1; Alaunschiefer-Verwitterungszone
139/00	5635776,1	4511700,5	247,80	0,00	1,20	A	Aufschüttung	//y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
139A/00	5635776,0	4511700,5	247,80	0,00	1,60	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn-rbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
139A/00	5635776,0	4511700,5	247,80	1,60	3,30	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
139A/00	5635776,0	4511700,5	247,80	3,30	4,50	Qh	Holozän	So,u,fs,t,o//lok-2bi,ps//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
139A/00	5635776,0	4511700,5	247,80	4,50	5,00	S2	Ockerkalk	Kst,Z/rbn-rg/2ps//S2; Kalkstein
140/00	5635795,2	4511697,6	247,90	0,00	1,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/dg,bn-rbn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
140/00	5635795,2	4511697,6	247,90	1,50	4,40	Qh	Holozän	U,fs,so,2k,o/bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
140/00	5635795,2	4511697,6	247,90	4,40	5,00	S2	Ockerkalk	Kst,Z/r-gbn/ps//S2; Kalkstein
141/00	5635832,1	4511782,2	250,90	0,00	1,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/dbn,rbn/bry/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
141/00	5635832,1	4511782,2	250,90	1,50	3,70	Qh	Holozän	U,fs,ms,2k,o/bn-gebn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
141/00	5635832,1	4511782,2	250,90	3,70	5,10	Qh	Holozän	G,u,fs,o//brl//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
141/00	5635832,1	4511782,2	250,90	5,10	5,70	Strg	Störung	Gst,g/rbn,g/ps/Strg/; Brekzie
141/00	5635832,1	4511782,2	250,90	5,70	6,00	S2	Ockerkalk	Z,Kst/hg-g//S2; Kalkstein
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	0,00	2,00	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/rbn/2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	2,00	2,40	Qh	Holozän	T,u,g,o/gs/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	2,40	3,60	Qh	Holozän	U,fs,o/bn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	3,60	5,70	Qh	Holozän	G,u,fs,ms,t///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	5,70	6,50	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,t,g/rbn/ps//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
142/00	5635842,2	4511834,0	252,00	6,50	7,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-bn,fle/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
143/00	5635843,2	4511877,3	252,30	0,00	1,50	A	Aufschüttung	//y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
143A/00	5635843,0	4511877,2	252,30	0,00	2,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/dbn-bn/lok/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
143A/00	5635843,0	4511877,2	252,30	2,50	4,50	Qh	Holozän	U,fs,g,o/bn-gebn//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
143A/00	5635843,0	4511877,2	252,30	4,50	5,30	Qh	Holozän	G,t/bn-g/bi//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
143A/00	5635843,0	4511877,2	252,30	5,30	6,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl/g-rg/sf//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
144/00	5635858,4	4511880,6	252,30	0,00	1,50	A	Aufschüttung	U,fs,g,zb,o/bn/2bi/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
144A/00	5635838,2	4511880,5	252,30	0,00	1,40	A	Aufschüttung	U,fs,g,o/bn/y/Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
144A/00	5635838,2	4511880,5	252,30	1,40	1,90	A	Aufschüttung	U,fs,g/bn/y/Q; Aufschüttung/ Haldenmaterial
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	0,00	1,80	A	Aufschüttung	n.b.; Aufschüttung/ Haldenmaterial
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	1,80	2,80	Qh	Holozän	n.b.; Auelehm, Aueton, Aueschluff
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	2,80	3,30	Qh	Holozän	n.b.; Auelehm, Aueton, Aueschluff
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	3,30	3,80	Qh	Holozän	n.b.; Auelehm, Aueton, Aueschluff
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	3,80	5,50	Qh	Holozän	n.b.; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
145/00	5635829,5	4511889,5	252,30	5,50	6,00	D1/3	Tentakulitenschiefer	n.b.; Tonschiefer-Verwitterungszone
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	0,00	2,20	Qh	Holozän	U,fs,g,o/gebn-gbn/lok-bi,ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff

Anhang 3: Bohrungsregister

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	2,20	2,70	Qh	Holozän	fS-fG/gebn/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	2,70	3,00	Qh	Holozän	U,fs,o/bng/3bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	3,00	3,90	Qh	Holozän	S,G//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	3,90	4,20	Qh	Holozän	U,fs/g/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	4,20	5,20	Qh	Holozän	S,G,u,t,o///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	5,20	5,80	Qh	Holozän	U,t,o/g-gbn/bi//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	5,80	6,30	Qh	Holozän	S,G//lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	6,30	10,90	S2	Ockerkalk	Kst,t,g/g-hg,sfle/bi//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	10,90	12,90	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s/sf//S1; Alaunschieferzersatz
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	12,90	23,00	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s/sf//S1; Alaunschiefer
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	23,00	24,00	Strg	Störung	Gst,g/s/ps/Strg/; Mylonit
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	24,00	31,00	S2	Ockerkalk	Kst,t,g/g-hg/ps//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
1123/00	5635751,1	4511862,0	244,70	31,00	40,00	S2	Ockerkalk	Z,Kst/g-geg/di//S2; Kalkstein
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	0,00	0,35	Qh	Holozän	U,fs,h/gbn//Mu/Q; Mutterboden
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	0,35	0,95	Qh	Holozän	U,fs//lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	0,95	1,40	Qh	Holozän	U,fs,t,o/hbn/lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	1,40	1,65	Qh	Holozän	U,t,o//wh//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	1,65	1,85	Qh	Holozän	fS,ms,u,g,o/hbn/wh//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	1,85	2,00	Qh	Holozän	fS,ms,gs,o/gbn//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	2,00	2,30			kv; Kernverlust
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	2,30	3,00	Qh	Holozän	mS,gS,u,fs,fg-gg///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	3,00	3,25			kv; Kernverlust
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	3,25	3,54	Qh	Holozän	U,fS,S,gg,u/dg,ock///Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	3,54	4,80	S3	Oberer Graptolithenschiefer	Bl,gG,U//lok//S3; Alaunschieferzersatz
B1	5635790,5	4510611,6	235,48	4,80	5,90	S2	Ockerkalk	Kst,U,t,fS,ms-gs,g,k/ock//S2; Kalksteinzersatz (Verw.)
B2	5635813,3	4510618,1	236,80	0,00	1,30	A	Aufschüttung	fS,G,u,s,o/s-hbn,rffle/lok-bi/y//Q; Aufschüttung/ Lehm, Kulturboden
B2	5635813,3	4510618,1	236,80	1,30	1,80	Qh	Holozän	U,fs,2g,o/hg-hbn,rffle//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B2	5635813,3	4510618,1	236,80	1,80	4,80	Qh	Holozän	U,fs,2ms,2gs,2g,o/hbn,rffle/brl-bre,lok-md//Q; Bachsedimente/Flusssed./Seesed., unspez.
B2	5635813,3	4510618,1	236,80	4,80	5,80	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,U,fs,ms,t,g/g-bg,rffle/brl-2ps,lok-md//D13; Tonschieferzersatz (Verw.)
B2	5635813,3	4510618,1	236,80	5,80	6,80	D1/3	Tentakulitenschiefer	Bl,U,2fs,1ms,g/t/g-bg/ps-brl,md-d//D13; Tonschiefer-Verwitterungszone
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	0,00	0,25	Qh	Holozän	U,fs,h,o/dgebn/2ps/Mu/Q; Mutterboden
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	0,25	1,35	Qh	Holozän	U,fs/dgebn,rffle/2ps//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	1,35	1,45	Qh	Holozän	mS,3gs,2fg,mg/bn,rffle/lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspez.
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	1,45	1,95	Qh	Holozän	U,2(fs,gs,t)/dbn-hbn,rffle/lok,md//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	1,95	3,05	Qh	Holozän	U,fs,o/g,s,bn,rffle/2ps,md//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	3,05	3,80	Qh	Holozän	mS,gs,g/hg-bn,rffle,sfle/brl,md//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspez.
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	3,80	4,80	Qh	Holozän	mS,u,gs,g/hg-s,rffle/brl//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesedimente, unspezifiziert

MPKT	Hochwert	Rechtswert	HÖHE	T_von	T_bis	Strat.	Stratigrafie	Lithologie
B3	5635836,2	4510975,6	240,71	4,80	5,70	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Bl,g/s//S1; Schiefer-Verwitterungszone
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	0,00	0,25	Qh	Holozän	U,fs,h,o/dgebn/2ps/Mu/Q; Mutterboden
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	0,25	0,50	Qh	Holozän	U,fs,h,o/hbn/ps,lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	0,50	1,00	Qh	Holozän	U,fs/hbn-ock,rffle/2ps,lok//Q; Auelehm, Aueton, Aueschluff
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	1,00	1,70	Qh	Holozän	fS,3u,2ms/hbn-ock,s,rffle/brl,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesed., unspez.
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	1,70	2,60	Qh	Holozän	fS,3u,ms,gs,g/gbn,rffle/brl,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesed., unspez.
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	2,60	3,30	Qh	Holozän	fS,3u,2ms,gs,g/bng,rffle/2ps,lok//Q; Bachsedimente/Flusssedimente/Seesed., unspez.
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	3,30	3,80	Qh	Holozän	mS,3gs,2fs,u,g/hbn,ge,rffle/brl,lok/Lx/Q; Hangschutt
B4	5635793,4	4511218,4	243,00	3,80	4,10	S1	Unterer Graptolithenschiefer	Z,Bl/s/brl//S1; Schiefer

Anhang 4: Schürfe im Gessental



Anhang 5: Hydrochemische Kennwerte und Abflüsse

Verwendete Abkürzungen und Symbole:

blaue Werte: fraglich

rote Werte: Ionenbilanzfehler

n.b. nicht bestimmt

n.n. nicht nachweisbar

Gessenbach

Anhang 5: Hydrochemische Kennwerte und Abflüsse

Gessenbach

Probenpunkt	G3	G3	G3	G3	G3	G2	G2	G2	G2
Wismut-Bez.						EO19	EO19	EO19	EO19
Hochwert	5640897	5640897	5640897	5640897	5640897	5635750	5635750	5635750	5635750
Rechtswert	4506037	4506037	4506037	4506037	4506037	4507496	4507496	4507496	4507496
Datum	06.06.99	19.10.99	31.01.00	17.04.00	11.12.00	19.10.98	23.10.97	14.02.98	20.04.98
Zeit	09:10	08:30	08:30	08:55	09:10	15:30	16:30	11:30	09:30
Lufttemp. (ca.)	°C	ca. 16	3	10	10	18	<15	6	13
Abfluss (rechn.)	l/s	18,2	15,8	94,5	40,8	10,5	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.							
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.							
T	°C	n.b.	n.b.	n.b.	6,7	6,3	11,4	6,3	7
el. Lf	µS/cm	n.b.	n.b.	n.b.	1206	1000	1103	1202	1327
pH		n.b.	n.b.	n.b.	7,8	6,6	7,6	7,8	8,1
Eh Korr	mV	n.b.	n.b.	n.b.	492	429	393	374	434
O2	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	10,7	6,2	15,6	16,2	14,2
O2	%	n.b.	n.b.	n.b.	91	50	150	138	118
								21,8	8,0
								182	83
S Kationen	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	262	227	n.b.	236	265
								257	233
Cl⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	85,2	93,3	n.b.	84,5	118
SO₄²⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	422	240	n.b.	300	360
HCO₃⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	191	216	n.b.	177	205
NO₃⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	35	28	n.b.	20	22
NO₂⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	0,35	0,30	n.b.	0,51	0,20
PO₄³⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	0,17	1,32	n.b.	0,06	0,29
S Anionen	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	734	579	n.b.	582	706
Fehler	[%]	n.b.	n.b.	n.b.	-0,6	-1,1	n.b.	7,0	-1,8
								-2,5	-2,7
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,390	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	7,2	0,4	n.b.	5,0	3,5
Ni	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	171	71,1	n.b.	192	201
Zn	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	0,02	0,03	n.b.	0,08	0,12
Si	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	3,3	4,6	n.b.	3,3	3,6
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.	0,38	n.b.	<2,5	<2
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,7	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	0,19	<0,02	n.b.	0,60	0,38
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	25,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	1,3	1,4	n.b.	<1	<0,5
As	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	33,6	28,7	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	0,8	1,6	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	303	201	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	0,9	1,1	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	52	6,9	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.							
U	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	19,7	7,9	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	1,0	0,9	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.	0,08	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	17,5	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Gessenbach

Gessenbach

Gessenbach

Probenpunkt	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G4	G4	G4	G4
Wismut-Bez.										
Hochwert	5635804	5635804	5635804	5635804	5635804	5635804	5635798	5635798	5635798	5635798
Rechtswert	4509257	4509257	4509257	4509257	4509257	4509257	4509382	4509382	4509382	4509382
Datum	09.08.99	19.10.99	31.01.00	17.04.00	11.12.00	26.06.01	19.10.97	23.10.97	20.04.98	25.07.98
Zeit	10:15	09:10	09:50	10:10	10:10	08:45	15:20	15:00	11:40	12:55
Lufttemp. (ca.)	°C	22	4	10	10	5	18	<15	13	18-20
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	21,5	61,2	34,4	7,2	8,2	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.								
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.								
T	°C	15,9	5	4,7	7,1	7	12,9	10,5	5,5	8
el. Lf	μS/cm	1409	1046	1292	1483	1028	841	1186	915	1280
pH		7,5	7,5	7,4	7,4	6,9	7,8	7,3	7,6	7,6
Eh Korr	mV	325	329	295	198	283	438	245	271	310
O2	mg/l	9,1	10,8	11,0	11,3	8,4	11,0	15,2	16,4	18,8
O2	%	97	88	89	98	71	n.b.	140	146	165
S Kationen	mg/l	281	218	255	307	224	171	n.b.	185	250
Na ⁺	mg/l	59	83	50	53	81	50	n.b.	45	80
K ⁺	mg/l	18,7	19,0	11,1	13,0	21,5	13,2	n.b.	16,0	20,9
Ca ²⁺	mg/l	104	80	131	133	80	79	n.b.	74	86
Mg ²⁺	mg/l	63	33	59	100	36	27	n.b.	43	58
Fe _{ges}	mg/l	0,106	0,118	1,06	0,920	0,170	0,119	n.b.	0,667	0,100
Mn ²⁺	mg/l	1,84	0,84	1,49	3,00	1,07	0,61	n.b.	0,79	1,33
Al ³⁺	mg/l	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	n.b.	n.b.	n.b.
NH ₄ ⁺	mg/l	33,5	1,9	2,2	4,5	3,8	0,8	n.b.	5,5	3,5
F	mg/l	83,3	94,7	98,5	88,5	97,0	66,3	n.b.	67,1	105
Cl ⁻	mg/l	460	256	443	566	263	196	n.b.	260	348
SO ₄ ²⁻	mg/l	198	160	107	149	193	153	n.b.	136	176
HCO ₃ ⁻	mg/l	16	17	45	25	13	14	n.b.	19	12
NO ₃ ⁻	mg/l	0,39	0,29	0,41	0,33	0,10	<1	n.b.	0,15	0,19
NO ₂ ⁻	mg/l	0,06	0,22	0,00	<0,05	0,25	1,10	n.b.	0,06	0,29
PO ₄ ³⁻	mg/l	760	529	693	829	566	430	n.b.	483	641
S Anionen	mg/l									708
Fehler	[%]	-0,4	0,4	-3,2	2,8	-2,4	0,8	n.b.	0,7	0,4
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<1	n.b.	0,310	n.b.	n.b.
Cd	μg/l	0,48	0,54	0,78	1,50	<0,02	0,09	n.b.	0,81	0,89
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	10,9	7,8	n.b.	14,8	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	μg/l	<1	n.b.	<1	1,5	1,2	<1	n.b.	<1	<0,5
As	μg/l	<0,5	<0,5	<0,5	n.b.	1,95	1,45	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	μg/l	64,1	n.b.	48,6	56,5	23,2	9,86	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,3	1,4	1,2	2,5	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	μg/l	306	n.b.	195	332	185	145	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,0	0,9	0,5	0,9	n.b.	n.b.	n.b.
Co	μg/l	n.b.	n.b.	62	150	28	19	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<1	n.b.	n.b.	n.b.
U	μg/l	n.b.	n.b.	10,6	21,1	4,7	5,8	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,1	0,9	2,0	2,1	n.b.	n.b.	n.b.
Th	μg/l	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.	0,28	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	36,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G4	G4	G4	G4	G4	G4	G8	G8	G8	G8
Wismut-Bez.										
Hochwert	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635993	5635993	5635993	5635993
Rechtswert	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509667	4509667	4509667	4509667
Datum	08.08.98	21.10.98	02.03.99	06.06.99	09.08.99	11.12.00	14.02.98	08.08.98	27.01.99	02.03.99
Zeit	12:20	10:55	14:30	10:45	10:30	10:25	15:30	13:00	11:00	13:15
Lufttemp. (ca.)	°C	25	5	ca. 12	ca. 16	22	10	8	25	7
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,4	n.b.	n.b.	21	242,8
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	166,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	17,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	16,8	7,5	6,1	13,5	15,8	7,2	8,3	17,6	4,6
el. Lf	µS/cm	974	1503	1133	1187	1457	1112	1655	1156	1544
pH		7,7	7,4	7,4	7,3	7,4	6,4	7,1	7,6	7,1
Eh Korr	mV	428	328	409	340	356	281	247	386	n.b.
O2	mg/l	4,8	10,9	11,4	6,6	11,5	8,5	17,4	6,6	10,2
O2	%	51	92	n.b.	68	116	n.b.	149	72	82
S Kationen										
Na ⁺	mg/l	74	66	49	59	65	85	111	84	91
K ⁺	mg/l	19,7	18,7	9,06	13,2	21,0	23,6	23,1	22,6	14,9
Ca ²⁺	mg/l	63	103	100	101	100	84	104	69	89
Mg ²⁺	mg/l	35	101	50	54	61	41	72	50	87
Fe _{ges}	mg/l	0,05	0,24	0,13	0,34	0,24	0,46	3,35	0,07	5,95
Mn ²⁺	mg/l	0,36	2,15	0,76	1,52	1,76	1,46	2,66	0,71	1,97
Al ³⁺	mg/l	n.b.	0,01	0,06	0,05	0,03	0,01	n.b.	n.b.	0,15
NH ₄ ⁺	mg/l	0,4	4,8	2,6	2,5	40,2	5,4	24,4	0,8	6,1
S Anionen	mg/l	192	295	211	231	290	241	341	227	296
Fehler	[%]	-2,2	-0,4	-4,6	-3,6	0,7	-2,1	1,5	-1,1	1,1
RelStAbw										
F	mg/l	n.b.								
Cu	µg/l	4,7	2,7	6,1	2,4	4,3	<0,11	3,1	6,1	11,4
Ni	µg/l	47,4	350	124	241	301	146	345	80,0	379
Zn	mg/l	0,03	0,12	0,02	0,04	0,01	0,04	0,18	0,04	0,17
Si	mg/l	4,6	4,4	2,9	5,1	4,5	5,1	n.b.	5,6	4,5
Pb	µg/l	<2	<2	n.b.	<2	n.b.	0,08	<2	<2	n.n.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,3	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	<0,2	1,35	<0,2	0,41	0,44	<0,02	2,23	0,26	0,99
RelStAbw	%	n.b.								
Cr	µg/l	<0,5	<0,5	<1	<1	<1	1,8	4,4	0,8	<1
As	µg/l	n.b.	n.b.	<0,5	0,63	0,56	<0,5	n.b.	n.b.	0,66
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	41,8	40,8	24,4	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,8	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	167	260	188	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,2	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	40	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.								
U	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,4	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,8	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,04	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,1	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G8	G8	G8	G8	G10	G10	G10	G10	G10	G10
Wismut-Bez.										
Hochwert	5635993	5635993	5635993	5635993	5635785	5635785	5635785	5635785	5635785	5635785
Rechtswert	4509667	4509667	4509667	4509667	4509764	4509764	4509764	4509764	4509764	4509764
Datum	31.01.00	17.04.00	11.12.00	26.06.01	20.04.98	25.07.98	08.08.98	27.01.99	02.03.99	18.03.99
Zeit	11:10	11:10	11:10	09:40	10:15	13:50	13:00	11:30	16:15	12:10
Lufttemp. (ca.)	°C	10	10	10	5	13	18-20	25	7	ca. 12
Abfluss (rechn.)	l/s	68,1	31,8	2,4	4,3	n.b.	n.b.	n.b.	22	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	273	16,65						
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	14	n.b.	n.b.
T	°C	4,8	9,2	7,5	13,3	6,8	19,7	29,8	5,1	6,2
el. Lf	µS/cm	1299	1769	1273	994	1329	1336	1046	1642	1154
pH		7,3	7,1	6,1	7,5	8,0	7,3	7,5	7,0	7,4
EH Korr	mV	301	179	232	359	513	296	297	224	471
O2	mg/l	10,7	9,7	6,5	6,8	21,6	7,3	7,2	9,9	11,8
O2	%	87	89	57	n.b.	159	82	82	81	n.b.
										67
Na ⁺	mg/l	63	61	89	60	80	87	93	89	53
K ⁺	mg/l	12,6	14,6	25,9	16,0	20	23	26	15,4	9,42
Ca ²⁺	mg/l	129	142	91	82	108	88	62	101	110
Mg ²⁺	mg/l	50	129	54	36	99	66	35	100	48
Fe _{ges}	mg/l	1,3	6,2	0,93	0,14	10,1	0,32	0,13	10,2	0,14
Mn ²⁺	mg/l	1,34	4,82	2,52	1,08	4,32	1,60	0,35	2,66	0,63
Al ³⁺	mg/l	0,04	0,00	0,00	0,00	n.b.	n.b.	0,17	0,12	0,02
NH ₄ ⁺	mg/l	2,0	6,8	9,7	3,5	10,6	3,5	0,4	6,2	3,8
S Kationen	mg/l	260	365	273	199	332	269	217	325	225
										395
										245
Cl ⁻	mg/l	114	100	108	78	114	106	104	126	93
SO ₄ ²⁻	mg/l	406	847	390	275	655	415	210	600	330
HCO ₃ ⁻	mg/l	102	107	177	140	114	156	201	110	144
NO ₃ ⁻	mg/l	50	17	9	8	5	4	5	25	38
NO ₂ ⁻	mg/l	0,43	0,38	0,01	<0,5	0,16	0,53	0,14	0,42	0,36
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,06	<0,05	0,24	1,09	n.b.	1,32	6,40	0	<0,05
S Anionen	mg/l	673	1072	684	502	888	682	527	861	605
Fehler	[%]	-2,2	-4,3	-0,1	-0,2	-1,0	1,0	-0,9	0,5	-1,7
										-3,6
										-5,1
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	8,6	13,4	<0,11	2,3	3,0	1,7	6,6	16,8	7,4
Ni	µg/l	174	637	231	107	270	212	47	551	90
Zn	mg/l	0,02	0,26	0,05	0,03	0,03	0,12	0,10	0,25	0,02
Si	mg/l	2,6	3,5	4,6	4,0	3,9	3,8	5,6	4,2	3,1
Pb	µg/l	n.n.	n.n.	0,0670	0,0730	<2	<2	<2	n.n.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	4,2	7,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	0,80	3,51	<0,02	0,16	0,91	0,33	0,27	2,27	5,20
RelStAbw	%	15,6	3,3	n.b.	11,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	<1	<1	<1	<1	<0,2	0,9	1,2	<1	<1
As	µg/l	<0,5	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	1,11	1,09	<0,5
Ba	µg/l	57	38	27	13,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,3	1,3	1,5	0,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	190	368	197	156	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	0,7	1,1	0,9	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	59	258	91	38	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U	µg/l	10,7	26	4,3	6,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,9	1,4	0,9	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	n.n.	n.n.	0,006	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	13,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G10	G10	G 10	G10	G10	G6	G6	G6	G6
Wismut-Bez.									
Hochwert	5635785	5635785	5635785	5635785	5635785	5635811	5635811	5635811	5635811
Rechtswert	4509764	4509764	4509764	4509764	4509764	4510118	4510118	4510118	4510118
Datum	09.08.99	19.10.99	31.01.00	17.04.00	11.12.00	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99
Zeit	11:15	09:35	11:45	11:55	11:35		13:35	12:45	10:55
Lufttemp. (ca.)	°C	22	4	10	10	n.b.	ca. 16	22	4
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	3	52	27	1,4	n.b.	1,8	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	34,86	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.							
T	°C	19,6	8,6	4,5	10,9	8,5	5,2	13,9	17,6
el. Lf	µS/cm	1391	1161	1336	1874	1170	1738	2520	2350
pH		5,1	7,2	7,3	6,8	6,8	7,0	3,6	5,6
Eh Korr	mV	167	307	n.b.	208	261	269	586	188
O2	mg/l	8,2	6,6	9,7	7,7	6,2	9,7	6,4	6,2
O2	%	94	59	77	71	55		64	73
S Kationen	mg/l	285	244	269	394	250	350	535	506
Na ⁺	mg/l	106	104	40	72	99	77	86	105
K ⁺	mg/l	30	25	9,4	18,5	28	18,1	16,6	27
Ca ²⁺	mg/l	87	74	149	150	72	127	190	154
Mg ²⁺	mg/l	47	35	64	130	42	113	175	132
Fe _{ges}	mg/l	2,99	1,83	2,32	12,8	0,670	8,70	34,2	30,3
Mn ²⁺	mg/l	1,56	1,21	1,78	5,15	1,99	2,62	9,00	6,75
Al ³⁺	mg/l	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	4,04	0,05
NH ₄ ⁺	mg/l	11,3	3,3	2,6	6,7	6,4	4,5	20,2	51,2
S Anionen	mg/l	690	574	733	1129	616	987	1482	1282
Fehler	[%]	0,1	-0,6	-1,4	-4,6	-1,9	-2,6	-1,8	2,2
F	mg/l	n.b.	n.b.	2,04	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	2,9	11,2	8,2	19,3	<0,11	15,0	192,5	<1
Ni	µg/l	302	219	241	715	181	482	1974	1270
Zn	mg/l	0,03	0,15	0,11	0,29	0,05	0,22	1,16	0,66
Si	mg/l	5,9	6,4	1,8	3,3	5,0	3,4	5,6	5,1
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	n.n.	0,55	0,16	n.b.	<2	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	45,1	2,7	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	0,89	0,77	1,28	4,13	<0,02	1,96	15,10	4,99
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	10,0	1,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	<1	n.b.	<1	<1	1,2	<1	<1	n.b.
As	µg/l	1,30	0,530	<0,5	n.b.	0,58	<0,5	0,83	<0,5
Ba	µg/l	21	n.b.	46	56	24	n.b.	47	36
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,5	0,8	1,0	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	204	n.b.	210	358	182	n.b.	187	233
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,7	1,1	0,7	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	81	283	56	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.							
U	µg/l	n.b.	n.b.	14,3	25	2,8	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	7,9	0,5	0,7	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.	0,003	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	34	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G 6	G6	G6	G6	G5	G5	G5	G5	G5	
Wismut-Bez.					e-416	e-416	e-416	e-416	e-416	
Hochwert	5635811	5635811	5635811	5635811	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	
Rechtswert	4510118	4510118	4510118	4510118	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	
Datum	31.01.00	17.04.00	11.12.00	26.06.01	29.08.97	23.10.97	15.02.98	20.04.98	25.07.98	
Zeit	13:35	13:05	12:30	10:15	13:15	16:40	12:00	14:00	15:00	
Lufttemp. (ca.)	°C	10	10	10	5	n.b.	<15	6	13	18-20
Abfluss (rechn.)	l/s	37,4	6	0,53	1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.							
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.							
T	°C	4,6	11,4	6,3	14,2	15,98	5,2	7	11,2	18
el. Lf	µS/cm	1313	2130	1814	1579	1084	3240	2370	1979	2740
pH		7,2	6,5	6,2	6,9	5,9	5,4	6,4	8,0	5,9
Eh Korr	mV	297	206	232	404	335	420	320	513	278
O2	mg/l	10,8	9,3	8,0	6,8	7,7	19,0	14,3	21,6	7,7
O2	%	87	88	67	n.b.	81	156	120	153	83
S Kationen	mg/l	32	39	68	68	30	130	63	80	74
Na ⁺	mg/l	9,3	8,6	23	19,2	11,4	34	20	22	16,1
K ⁺	mg/l	151	207	135	131	67	199	190	130	246
Ca ²⁺	mg/l	66	174	131	81	75	235	171	125	211
Mg ²⁺	mg/l	3,1	6,6	13,1	0,436	27	83	47	5,3	19,8
Fe _{ges}	mg/l	1,8	7,5	8,8	3,4	3,7	11,6	8,6	3,0	7,4
Mn ²⁺	mg/l	0,02	0,04	0,00	0,00	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Al ³⁺	mg/l	742	1322	1117	876	568	1930	1438	1118	1600
Fehler	[%]	-2,0	-1,2	-0,9	-3,2	3,8	-3,0	-1,6	-0,3	2,9
F	mg/l	1,0	n.b.	n.b.	1,1	n.b.	1,4	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	7,0	21	<0,11	2,1	n.b.	139	37	8,9	11,8
Ni	µg/l	238	861	1069	338	n.b.	2151	1540	508	1052
Zn	mg/l	0,10	0,31	0,30	0,04	0,48	1,78	0,97	0,03	0,67
Si	mg/l	1,7	2,2	2,8	2,8	n.b.	8,0	4,3	2,6	4,3
Pb	µg/l	n.n.	n.n.	0,042	0,013	<2,5	<2,5	<2	<2	<2
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	7,8	0,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	1,25	n.b.	<0,02	0,78	6,48	22,38	15,40	2,09	8,39
RelStAbw	%	11,7	n.b.	n.b.	0,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	<1	1,2	1,1	<1	<1	<1	34,4	17,8	41,2
As	µg/l	<0,5	n.b.	<0,5	0,50	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	22	59	22	19	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,3	1,7	0,8	19,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	212	433	233	223	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	0,5	2,3	0,4	223	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	84	52	367	134	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U	µg/l	14,5	26	3,9	12,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,1	1,9	1,7	12,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	8,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G5									
Wismut-Bez.	e-416									
Hochwert	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797	5635797
Rechtswert	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484	4510484
Datum	08.08.98	21.10.98	27.01.99	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99	31.01.00	27.03.00	17.04.00
Zeit	14:30	12:50	13:00		14:00	13:30	11:10	14:00		13:25
Lufttemp. (ca.)	°C	25	5	5	n.b.	ca. 16	22	4	10	n.b.
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	n.b.	9	n.b.	3	0,96	2,2	46,6	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	16,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	ca. 8-10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1	n.b.	n.b.
T	°C	19,7	6,6	3,8	4,4	13,8	17,9	2	4,6	8
el. Lf	µS/cm	3720	2500	2330	2050	2730	2030	2820	1310	1677
pH		3,2	6,3	7,1	6,7	4,9	7,0	5,6	7,3	7,0
Eh Korr	mV	587	325	233	250	440	154	388	301	714
O2	mg/l	7,4	10,3	10,7	10,8	7,4	2,1	10,7	10,6	7,3
O2	%	82	90	85	n.b.	75	29	80	85	n.b.
S Kationen	mg/l	776	642	485	441	630	439	698	271	329
Cl ⁻	mg/l	112	109	110	92,9	103	148	134	65,4	50,9
SO ₄ ²⁻	mg/l	2320	1575	1120	1020	1620	670	1588	525	771
HCO ₃ ⁻	mg/l	0,00	24	66	86,3	6,96	241	9,15	98,9	141
NO ₃ ⁻	mg/l	11	19	25	41	8	4	12	64	33
NO ₂ ⁻	mg/l	0,11	0,30	0,43	0,58	0,14	<0,01	0,04	0,62	n.n.
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,06	0,00	0,00	0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,000000	<0,05
S Anionen	mg/l	2443	1728	1321	1241	1738	1063	1743	754	996
Fehler	[%]	-7,6	4,0	1,6	0,3	-0,5	4,5	3,9	-2,3	-1,2
F	mg/l	n.b.	0,714	n.b.						
Cu	µg/l	813	88,6	n.b.	16	238	1,9	218	8,5	13,8
Ni	µg/l	3826	1950	n.b.	1034	2505	716	2338	216	188
Zn	mg/l	2,9	1,1	n.b.	0,45	1,60	0,28	1,8	0,12	0,11
Si	mg/l	12,5	5,5	n.b.	2,2	7,2	4,8	7,9	1,6	2,3
Pb	µg/l	<2	<2	n.b.	n.b.	<2	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.
RelStAbw	%	n.b.								
Cd	µg/l	30	13,6	n.b.	5,0	19,7	1,9	14,3	1,5	0,95
RelStAbw	%	n.b.	5,1	13,0						
Cr	µg/l	299	107	n.b.	<1	<1	8,4	n.b.	<1	4,0
As	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	1,1	1,0	0,5	<0,5	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	43	27	n.b.	30	24
RelStAbw	%	n.b.	1,0	2,1						
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	193	206	n.b.	211	229
RelStAbw	%	n.b.	0,6	0,7						
Co	µg/l	n.b.	87	66						
Br	mg/l	n.b.								
U	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	8,9	n.b.	16,6	52
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,2	n.b.	1,5	0,7
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,11	n.b.	n.n.	n.n.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,2	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G5	G5	G7	G7	G7	G7	G7	G7
Wismut-Bez.	e-416	e-416	e-414	e-414	e-414	e-414	e-414	e-414
Hochwert	5635797	5635797	5635756	5635756	5635756	5635756	5635756	5635756
Rechtswert	4510484	4510484	4510867	4510867	4510867	4510867	4510867	4510867
Datum	11.12.00	26.06.01	23.10.97	23.10.97	15.02.98	20.04.98	25.07.98	08.08.98
Zeit	13:10	10:50	13:15	17:30	14:00	14:30	15:50	14:55
Lufttemp. (ca.)	°C	10	5	n.b.	9	6	13	18-20
Abfluss (rechn.)	l/s	1,53	1,6	n.b.	10	14	n.b.	2,5
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.						
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10	n.b.
T	°C	6,6	14,4	16	6,2	7,2	11,5	22
el. Lf	µS/cm	1850	1685	1084	4250	2790	3140	4400
pH		6,4	6,6	5,9	3,3	5,0	4,7	3,0
Eh Korr	mV	191	436	335	625	491	411	566
O2	mg/l	7,2	3,5	7,7	17,6	17,1	16,3	8,5
O2	%	61	n.b.	81	147	144	155	101
Na⁺	mg/l	71	71	30	62	42	36	63
K⁺	mg/l	23	18,5	11,4	15,1	13,3	11,7	15,5
Ca²⁺	mg/l	130	147	67	238	214	225	203
Mg²⁺	mg/l	123	89	75	423	244	301	419
Fe_{ges}	mg/l	23	5,6	27	157	79	105	190
Mn²⁺	mg/l	8,3	4,1	3,7	22	12,3	14,9	23
Al³⁺	mg/l	0,00	0,01	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NH₄⁺	mg/l	35	22	0,2	24	17,7	17,8	31
S Kationen	mg/l	413	356	214	941	623	711	946
Cl⁻	mg/l	97	87	50	112	77	71	103
SO₄²⁻	mg/l	880	722	500	2720	1740	2040	2844
HCO₃⁻	mg/l	147	95,2	5,37	0,00	6,35	5,98	0,00
NO₃⁻	mg/l	4	5	10	6	9	10	5
NO₂⁻	mg/l	0,05	<0,5	1,71	<0,005	0,18	0,12	0,00
PO₄³⁻	mg/l	0,00	<0,05	0,84	0,34	n.b.	n.b.	0,00
S Anionen	mg/l	1128	909	568	2838	1832	2127	2952
Fehler	[%]	-0,7	2,9	0,7	-4,1	-3,8	-3,6	-8,4
F	mg/l	n.b.	1,25	0,800	1,75	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	<0,11	2,6	n.b.	510	268	524	534
Ni	µg/l	1118	594	n.b.	3899	2336	2664	4472
Zn	mg/l	0,35	0,36	n.b.	3,0	1,5	1,8	3,4
Si	mg/l	3,3	3,0	n.b.	n.b.	6,2	8,0	Störung
Pb	µg/l	0,019	0,002	n.b.	<2,5	<2	<2	<2
RelStAbw	%	70	73	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	<0,02	2,8	n.b.	38	18,3	28	45
RelStAbw	%	n.b.	2,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	<1	<1	n.b.	4,0	102	359	432
As	µg/l	<0,5	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	16	25	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,5	0,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	218	208	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	0,4	1,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	397	248	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U	µg/l	5,7	6,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	1,5	1,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	0,046	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	23	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Gessenbach

Gessenbach

Probenpunkt	G7	G7	G7	G7	G14	G14	G14	G14	G14
Wismut-Bez.	e-414	e-414	e-414	e-414					
Hochwert	5635756	5635756	5635756	5635756	5635302	5635302	5635302	5635302	5635302
Rechtswert	4510867	4510867	4510867	4510867	4510811	4510811	4510811	4510811	4510811
Datum	14.11.00	11.12.00	18.12.00	26.06.01	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99	31.01.00
Zeit		13:20	11:31	11:25		16:30	16:00	13:30	16:20
Lufttemp. (ca.)	°C	n.b.	10	8	5	n.b.	ca. 16	22	4
Abfluss (rechn.)	l/s	0,5	1,1	0,8	0,9	n.b.	2,1	n.b.	1,5
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,5	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.							
T	°C	n.b.	7,7	n.b.	21	6,7	12,7	16,9	5,8
el. Lf	µS/cm	n.b.	3150	n.b.	2720	2190	3540	4660	4820
pH		n.b.	6,2	n.b.	4,5	6,1	4,2	2,9	3,9
En Korr	mV	n.b.	232	n.b.	485	438	528	597	533
O2	mg/l	n.b.	10,4	n.b.	6,9	9,9	8,1	n.b.	8,9
O2	%	n.b.	90	n.b.	n.b.	n.b.	80	n.b.	77
S Kationen	mg/l	n.b.	865	n.b.	688	508	863	1276	1360
Cl⁻	mg/l	n.b.	106	n.b.	105	73	80	86	142
SO₄²⁻	mg/l	n.b.	2120	n.b.	1680	1170	2460	3475	3550
HCO₃⁻	mg/l	n.b.	22,8	n.b.	3,42	46,9	n.n.	n.n.	n.b.
NO₃⁻	mg/l	n.b.	6	n.b.	12	46	11	15	8
NO₂⁻	mg/l	n.b.	0,01	n.b.	<5	0,74	0,15	n.b.	<0,1
PO₄³⁻	mg/l	n.b.	0,00	n.b.	<0,05	0,05	<0,05	0,05	0,05
S Anionen	mg/l	n.b.	2254	n.b.	1801	1337	2551	3576	3700
Fehler	[%]	n.b.	2,6	n.b.	-1,0	4,6	-1,9	1,6	2,8
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.	n.b.	n.b.	1,24
Cu	µg/l	n.b.	29	n.b.	86	109	390	608	466
Ni	µg/l	n.b.	3185	n.b.	1699	1606	3308	5415	5202
Zn	mg/l	n.b.	2,18	n.b.	2,02	0,81	2,3	3,9	4,0
Si	mg/l	n.b.	8,7	n.b.	10,2	3,9	10,8	19,4	16,3
Pb	µg/l	n.b.	0,109	n.b.	0,035	n.b.	<2	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	5,5	n.b.	9,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	n.b.	16,2	n.b.	19,0	9,0	29	50	42
RelStAbw	%	n.b.	0,7	n.b.	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	15,9
Cr	µg/l	n.b.	2,2	n.b.	<1	<1	2,4	8,0	n.b.
As	µg/l	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ba	µg/l	n.b.	27	n.b.	11,2	n.b.	39	46	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	1,0	n.b.	1,1	n.b.	n.b.	n.b.	1,1
Sr	µg/l	n.b.	340	n.b.	267	n.b.	234	319	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	0,5	n.b.	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	0,7
Co	µg/l	n.b.	1113	n.b.	633	n.b.	n.b.	n.b.	89
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U	µg/l	n.b.	5,5	n.b.	28,4	n.b.	n.b.	90,7	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	1,0	n.b.	0,9	n.b.	n.b.	2,1	n.b.
Th	µg/l	n.b.	0,02	n.b.	n.n.	n.b.	n.b.	2,9	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	22	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,6	n.b.

Gessenbach

Probenpunkt	G14	G14	G14	G14	G14	G14	G15	G15	G15
Wismut-Bez.									
Hochwert	5635302	5635302	5635302	5635302	5635302	5635302	5634716	5634716	5634716
Rechtswert	4510811	4510811	4510811	4510811	4510811	4510811	4510786	4510786	4510786
Datum	11.12.00	18.12.00	15.02.01	26.06.01	26.06.01	26.06.01	09.08.99	19.10.99	17.04.00
Zeit	15:20	12:27	15:20	13:55	14:15	14:45	17:15	15:00	17:05
Lufttemp. (ca.)	°C	10	8	3	18	18	22	4	10
Abfluss (rechn.)	l/s	0,83	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,3
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.							
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1 bis 2	n.b.
T	°C	7,5	n.b.	1	17,2	14,5	17,6	18,2	5,6
el. Lf	µS/cm	1803	n.b.	2580	3090	11230	1852	2300	2820
pH		7,2	n.b.	6,4	5,9	3,4	7,5	5,6	6,2
Eh Korr	mV	409	n.b.	247	304	471	303	393	384
O2	mg/l	8,8	n.b.	13,4	1,5	0,9	7,6	n.b.	7,9
O2	%	76	n.b.	96	n.b.	n.b.	n.b.	66	68
S Kationen									
Na ⁺	mg/l	61	n.b.	77	69	35	74	72	103
K ⁺	mg/l	21	n.b.	19,1	18,4	6,0	21	19,9	24
Ca ²⁺	mg/l	173	n.b.	191	243	712	189	207	214
Mg ²⁺	mg/l	99	n.b.	156	202	898	89	211	201
Fe _{ges}	mg/l	1,19	n.b.	111	193	1705	0,270	107	118
Mn ²⁺	mg/l	4,3	n.b.	9,0	12,6	63	2,7	5,7	5,6
Al ³⁺	mg/l	0,07	n.b.	0,3	1,2	77	0,05	0,86	1,1
NH ₄ ⁺	mg/l	33	n.b.	0,1	26	8,2	21	41	50
S Kationen	mg/l	391	n.b.	564	765	3504	397	664	717
S Anionen									
Cl ⁻	mg/l	96	n.b.	121	101	35	112	101	141
SO ₄ ²⁻	mg/l	610	n.b.	1230	1760	10200	549	1525	1500
HCO ₃ ⁻	mg/l	416	n.b.	310	35	0	381	59,8	121
NO ₃ ⁻	mg/l	4	n.b.	5	21	4	27	4	3
NO ₂ ⁻	mg/l	0,07	n.b.	<0,1	<5	n.b.	2,35	0,19	<0,01
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,26	n.b.	<0,5	<0,05	0,43	0,09	<0,05	0,07
S Anionen	mg/l	1127	n.b.	1667	1917	10238	1071	1690	1765
Fehler	[%]	-1,6	n.b.	-11,3	1,9	-15,1	2,1	5,6	6,3
RelStAbw									
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.	0,820	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	1,2	n.b.	3,8	149	1642	46	1002	440
Ni	µg/l	188	n.b.	1400	2193	122000	197	1887	1813
Zn	mg/l	0,03	n.b.	1,2	2,4	11,3	0,04	1,04	1,02
Si	mg/l	3,9	n.b.	Störung	10,0	45,0	4,3	7,1	5,4
Pb	µg/l	0,0700	n.b.	n.n.	0,09	3,19	0,196	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	5,2	n.b.	n.n.	9,3	4,5	1,6	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	<0,02	n.b.	11,0	24	171	0,83	15,6	3,0
As	µg/l	0,52	n.b.	n.b.	0,5	0,6	2,8	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	19	n.b.	2,4	27	19	16	48	n.b.
RelStAbw	%	1,4	n.b.	5,0	1,4	5,8	1,2	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	326	n.b.	278	292	169	311	267	n.b.
RelStAbw	%	0,5	n.b.	0,4	0,8	1,7	1,1	n.b.	n.b.
Co	µg/l	60	n.b.	647	842	4664	64	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.
U	µg/l	7,8	n.b.	6,9	18,7	809	38	10,8	n.b.
RelStAbw	%	0,6	n.b.	1,4	1,5	1,4	1,7	2,6	n.b.
Th	µg/l	0,24	n.b.	n.n.	n.n.	3,2	0,026	1,3	n.b.
RelStAbw	%	39	n.b.	n.b.	n.b.	25	31	0,4	n.b.

Gessenbach

Gessenbach

Probenpunkt	G13	G13	G 13	G13	G13	G13	G13	G17	G18
Wismut-Bez.	e-461								
Hochwert	5634559	5634559	5634559	5634559	5634559	5634559	5634559		
Rechtswert	4510758	4510758	4510758	4510758	4510758	4510758	4510758		
Datum	09.08.99	19.10.99	31.01.00	17.04.00	23.05.00	11.12.00	26.06.01	26.06.01	26.06.01
Zeit	16:45	14:30	17:15	17:30	15:00	15:50	16:45	15:30	12:05
Lufttemp. (ca.)	°C	22	4	10	10	n.b.	10	5	18
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	0,8	58	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,1
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.							
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	18,5	7,5	6,1	9,6	14	8,2	18,2	21,3
el. Lf	µS/cm	2040	2140	763	1328	1873	1451	1970	1585
pH		7,3	7,9	7,3	7,5	7,3	7,1	7,8	5,7
Eh Korr	mV	-115	28	324	300	-151	-97	145	288
O2	mg/l	n.b.	0,4	9,3	4,1	4,1	0,4	0,2	4,7
O2	%	n.b.	3	72	37	8	4	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	235	193	23	45	151	68	177	69
Na⁺	mg/l	34	42	6,9	16,1	41	23	34	22
K⁺	mg/l	126	122	107	149	121	146	124	157
Ca²⁺	mg/l	35	34	30	39	32	27	33	278
Mg²⁺	mg/l	1,1	1025	0,334	0,136	0,460	0,515	0,370	0,525
Fe_{ges}	mg/l	0,26	0,26	0,07	0,16	n.b.	0,23	0,19	1,21
Mn²⁺	mg/l	0,25	0,24	0,17	<0,001	n.b.	0,01	0,02	0,01
Al³⁺	mg/l	59	74	3,3	21	64	41	54	29
NH₄⁺	mg/l	491	1489	171	270	409	306	423	338
S Anionen	mg/l	259	281	43	84	244	98	245	110
Cl⁻	mg/l	200	218	210	311	186	252	158	331
SO₄²⁻	mg/l	555	589	161	313	539	477	563	430
HCO₃⁻	mg/l	4	5	72	28	1	4	<5	12
NO₃⁻	mg/l	<0,01	0,02	0,31	3,7	0,17	0	<1	3,6
NO₂⁻	mg/l	16,6	29	0,78	3,6	17,0	8,4	23	<2,5
PO₄³⁻	mg/l	1034	1122	487	743	987	839	988	904
Fehler	[%]	11,9	88,7	-2,3	-2,8	-0,7	-4,3	3,1	1,5
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<1	<1
Cu	µg/l	2,5	3,5	8,5	3,6	<5	<0,11	8,1	3,8
Ni	µg/l	16,6	16,1	12,6	11,4	12,0	31,1	6,2	18,2
Zn	mg/l	0,02	0,03	0,04	0,02	n.b.	0,03	0,02	0,03
Si	mg/l	6,4	7,5	2,4	3,9	n.b.	5,6	6,4	3,5
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.	0,37	0,20	0,247	0,06
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,8	3,7	4,0	6,3
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	n.n.	0,03	53	<0,02	44	0,02
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	97	0,0	n.b.	14,7	40
Cr	µg/l	<1	n.b.	<1	<1	n.b.	1,1	<1	<1
As	µg/l	2,4	1,2	0,8	n.b.	n.b.	0,770	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	65	n.b.	52	58	85	28	44	16
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,9	0,9	0,2	0,6	0,4	1,0
Sr	µg/l	274	n.b.	190	370	n.b.	279	229	291
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	1,8	2,1	n.b.	0,6	0,7	0,2
Co	µg/l	n.b.	n.b.	<5	2,1	<5	6,7	0,9	5,1
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<1	<2,5
U	µg/l	2,4	n.b.	1,8	4,2	2,8	1,8	2,5	11,2
RelStAbw	%	1,4	n.b.	1,7	1,7	1,3	2,2	1,6	0,8
Th	µg/l	1,1	n.b.	n.n.	n.n.	0,068	0,003	n.n.	n.n.
RelStAbw	%	1,0	n.b.	n.b.	n.b.	45	48	n.b.	n.b.

Lammsbach

Lammsbach

Probenpunkt	L1	L2	L2							
Wismut-Bez.										
Hochwert	5636425	5636425	5636425	5636425	5636425	5636425	5636425	5636425	5636015	5636015
Rechtswert	4509938	4509938	4509938	4509938	4509938	4509938	4509938	4509938	4509628	4509628
Datum	02.03.99	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99	12.12.00	17.04.00	26.06.01	29.08.97	14.02.98
Zeit	17:00		13:10	12:25	10:00	10:20	12:30	09:10	11:15	15:00
Lufttemp. (ca.)	°C	ca. 12	n.b.	ca. 16	22	4	11	10	18	n.b.
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	n.b.	2,3	1,6	1,9	0,8	n.b.	0,9	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	37	7	n.b.						
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,5	n.b.	n.b.
T	°C	6,8	3,5	12,2	15,3	3,4	8	10,3	11,5	14,5
el. Lf	µS/cm	973	1090	817	879	760	625	1148	800	1016
pH		8,0	8,0	7,87	8,4	8,1	7,6	8,2	8,2	7,8
Eh Korr	mV	376	259	355	361	364	439	404	431	448
O2	mg/l	13,1	13,2	8,8	13	12,9	9,7	10,6	14,6	8,9
O2	%	110	n.b.	88	136	99	n.b.	99	136	91
S Kationen	mg/l	185	200	157	170	149	138	235	160	194
Na ⁺	mg/l	63	25	18	20	18	35	27	26	29
K ⁺	mg/l	10,9	8,2	5,1	6,2	3,9	5,9	9,5	8,5	11,6
Ca ²⁺	mg/l	75	99	102	101	101	93	114	93	97
Mg ²⁺	mg/l	35	68	32	43	26	21	75	32	63
Fe _{ges}	mg/l	0,264	0,166	0,124	0,232	0,023	0,061	0,058	0,048	0,260
Mn ²⁺	mg/l	0,043	0,090	0,018	0,019	0,009	0,010	0,069	0,017	0,045
Al ³⁺	mg/l	0,163	0,022	0,014	0,054	0,006	0,002	0,018	0,008	n.b.
NH ₄ ⁺	mg/l	0,560	0,258	0,097	0,086	<0,004	0,106	0,187	0,092	0,116
S Anionen	mg/l	482	630	455	508	421	398	700	437	585
Fehler	[%]	-3,1	-3,5	-2,3	-2,0	-1,7	-5,5	0,6	1,7	-1,2
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,230	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	4,8	<0,5	1,1	<1	<1	<0,11	9,70	0,712	n.b.
Ni	µg/l	6,6	3,3	<2	2,6	2,2	29	11,2	4,8	n.b.
Zn	mg/l	0,027	0,008	<0,004	0,011	<0,004	0,009	0,007	0,011	<0,05
Si	mg/l	3,0	3,7	4,9	4,9	4,8	4,9	3,2	4,8	n.b.
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	<2	n.b.	n.b.	n.n.	0,185	0,153	<2,5
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	69	3,17	n.b.
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02	0,30	0,004	<0,5
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	32	161	n.b.
Cr	µg/l	<1	<1	<1	<1	n.b.	<1	<1	n.b.	<1
As	µg/l	1,53	<0,5	0,92	1,24	<0,5	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	46	58	n.b.	36	55	21	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,48	1,0	1,6	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	176	270	n.b.	199	378	198	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,4	0,972	0,909	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,1	2,2	0,172	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<0,2	n.b.	n.b.
U	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,549	3,1	1,6	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,03	3,4	2,0	n.b.
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,03	0,01	<0,02	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15,8	40	n.b.	n.b.

Lammsbach

Lammsbach

Badergraben

Badergraben

Probenpunkt		B1	B1	B1=G6	B1	B1	B1	B1	B1	B2
Wismut-Bez.										
Hochwert		5635770	5635770	5635770	5635770	5635770	5635770	5635770	5635770	5635859
Rechtswert		4510866	4510866	4510866	4510866	4510866	4510866	4510866	4510866	4510977
Datum		19.10.99	31.01.00	27.03.00	17.04.00	08.11.00	11.12.00	18.12.00	26.06.01	21.10.98
Zeit		12:00	14:35		14:55		13:45	11:43	10:45	14:15
Lufttemp. (ca.)	°C	4	10	n.b.	10	n.b.	10	8	5	5
Abfluss (rechn.)	l/s	0,7	12,4	n.b.	5,8	n.b.	0,62	0,41	1	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.								
T	°C	3,8	5,6	n.b.	14,9	13,6	7,2	n.b.	15,7	7,5
el. Lf	µS/cm	1327	931	1566	2420	1342	830	n.b.	1290	2210
pH		7,8	8,1	8,0	9,0	7,8	7,1	n.b.	7,8	7,8
Eh Korr	mV	458	n.b.	242	252	338	48	n.b.	386	260
O2	mg/l	4,06	8,7	8,3	17	3,17	3,4	n.b.	4,7	5,5
O2	%	32	72	n.b.	176	31	30	n.b.	47	46
S Kationen	mg/l	278	188	285	492	n.b.	182	n.b.	292	443
Cl-	mg/l	137	111	79	129	n.b.	73	n.b.	99	128
SO4^2-	mg/l	114	134	604	1068	n.b.	88,0	n.b.	271	840
HCO3^-	mg/l	403	202	178	166	427	296	n.b.	335	352
NO3^-	mg/l	9,0	15,0	15,3	12,0	n.b.	3,0	n.b.	<2,5	4,0
NO2^-	mg/l	4,5	1,1	n.n.	0,950	n.b.	0,038	n.b.	<0,5	0,217
PO4^3-	mg/l	24,8	2,2	0,8	3,0	n.b.	13,3	n.b.	7,9	11,6
S Anionen	mg/l	693	466	877	1379	n.b.	473	n.b.	713	1335
Fehler	[%]	-2,0	-1,2	0,1	9,6	n.b.	-1,6	n.b.	1,3	-1,9
F	mg/l	n.b.	n.b.	0,714	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.
Cu	µg/l	10,1	3,0	13,4	11,7	n.b.	<0,11	n.b.	5,6	<0,5
Ni	µg/l	53	4,2	3,3	15,9	n.b.	35	n.b.	6,0	18,1
Zn	mg/l	0,090	0,018	0,016	<0,004	n.b.	0,026	n.b.	0,182	0,007
Si	mg/l	3,9	2,6	1,4	<1,0	n.b.	3,4	n.b.	1,5	2,8
Pb	µg/l	n.b.	<0,02	<0,02	<0,02	0,358	0,328	n.b.	0,389	<2
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,0	2,9	n.b.	1,26	n.b.
Cd	µg/l	0,610	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	n.b.	0,0070	0,29
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	78	0,0480	n.b.	n.b.	78	n.b.
Cr	µg/l	n.b.	<1	4,0	4,2	n.b.	1,97	n.b.	<1	0,77
As	µg/l	13,4	2,0	n.b.	n.b.	n.b.	2,2	n.b.	6,1	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	27	29	35	86	26	n.b.	56	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	2,0	1,8	1,7	1,4	0,8	n.b.	1,5	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	162	215	501	n.b.	157	n.b.	227	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	0,5	0,4	1,3	n.b.	0,6	n.b.	0,9	n.b.
Co	µg/l	n.b.	<5	0,76	2,1	n.b.	7,7	n.b.	0,964	n.b.
Br	mg/l	n.b.	<0,5	n.b.						
Uges	µg/l	n.b.	10,8	118	283	2,4	3,9	n.b.	7,8	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	1,4	1,7	0,5	0,6	1,7	n.b.	0,4	n.b.
Th	µg/l	n.b.	<0,02	<0,02	<0,02	0,003	0,009	n.b.	<0,002	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	22,4	29,3	n.b.	n.b.	n.b.

Badergraben

Probenpunkt	B2	B3							
Wismut-Bez.									
Hochwert	5635859	5635859	5635859	5635859	5635859	5635859	5635859	5635859	5635776
Rechtswert	4510977	4510977	4510977	4510977	4510977	4510977	4510977	4510977	4511514
Datum	27.01.99	18.03.99	06.06.99	31.01.00	17.04.00	23.05.00	11.12.00	18.12.00	27.01.99
Zeit	14:30		15:35	15:10	15:25		14:10	12:35	15:00
Lufttemp. (ca.)	°C	4	n.b.	ca. 16	10	10	18-20	10	8
Abfluss (rechn.)	l/s	ca. 1-2	n.b.	1,4	3,8	4	4,7	0,35	1,55
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	8,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	5,4	8,1	14,2	5,7	15,7	n.b.	7,5	n.b.
el. Lf	µS/cm	2260	2570	1200	980	2420	n.b.	730	n.b.
pH		8,1	8,2	7,4	8,0	8,9	n.b.	7,5	n.b.
Eh Korr	mV	n.b.	372	186	n.b.	294	n.b.	97	n.b.
O2	mg/l	9,4	10,8	4,0	8,2	17,8	n.b.	6,3	n.b.
O2	%	94	n.b.	40	67	188	n.b.	54	n.b.
S Kationen	mg/l	481	543	240	201	488	n.b.	160	n.b.
Cl ⁻	mg/l	183	160	97,9	124	131	n.b.	64,0	n.b.
SO ₄ ²⁻	mg/l	940	1180	222	136	1033	n.b.	95,0	n.b.
HCO ₃ ⁻	mg/l	339	348	320	211	193	n.b.	245	n.b.
NO ₃ ⁻	mg/l	19,0	30	4,0	15,0	10,4	n.b.	4,0	n.b.
NO ₂ ⁻	mg/l	1,40	1,15	0,780	1,27	0,920	n.b.	0,155	n.b.
PO ₄ ³⁻	mg/l	5,9	2,9	7,9	2,3	3,8	n.b.	9,3	n.b.
S Anionen	mg/l	1488	1722	653	489	1371	n.b.	418	0
Fehler	[%]	-2,9	-2,5	-2,0	-1,6	8,6	n.b.	-1,5	n.b.
S RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,68	n.b.
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,05	n.b.	<0,02	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	65	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	<1	<1	<1	<1	4,1	n.b.	1,6	n.b.
As	µg/l	4,2	2,5	6,7	2,2	n.b.	n.b.	1,9	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	35	29	40	n.b.	26	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	1,2	1,5	n.b.	0,9	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	166	158	488	n.b.	159	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	0,7	1,2	n.b.	1,4	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<5	1,61	n.b.	6,26	n.b.
Br	mg/l	n.b.							
Uges	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	9,46	270	n.b.	4,18	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	1,1	1,3	n.b.	0,5	n.b.
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,002	<0,002	n.b.	0,008	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	13,5	n.b.

Badergraben

Probenpunkt	B3	B3	B3	B3	B 3	B3	B3	B3
Wismut-Bez.	e415	e-415						
Hochwert	5635776	5635776	5635776	5635776	5635776	5635776	5635776	5635776
Rechtswert	4511514	4511514	4511514	4511514	4511514	4511514	4511514	4511514
Datum	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99	31.01.00	17.04.00	11.12.00	18.12.00
Zeit		16:00	15:15	13:00	15:30	15:50	14:30	13:17
Lufttemp. (ca.)	°C	n.b.	ca. 16	22	4	10	10	8
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	1,5	0,73	n.b.	8,6	4,6	1,9
Abfluss (graph.)	l/s	1,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	7,8	14,2	19,6	4,6	5,7	16	7,5
el. Lf	µS/cm	2250	1267	1152	1428	950	2630	902
pH		8,2	8,0	7,9	8,2	8,1	8,9	7,3
Eh Korr	mV	384	304	220	266		349	3
O2	mg/l	7,7	7,2	7,1	5,9	9,4	16,6	6,6
O2	%	n.b.	73	79	48	76	176	57
S Kationen	mg/l	453	257	241	345	194	609	198
Cl⁻	mg/l	202	98,3	134	103	121	122	74,2
SO₄²⁻	mg/l	770	224	128	110	132	1315	102
HCO₃⁻	mg/l	332	351	321	531	195	195	332
NO₃⁻	mg/l	30,0	3,0	3,0	8,0	17,0	9,8	4,0
NO₂⁻	mg/l	3,61	0,743	0,775	<0,01	1,56	2,30	0,00
PO₄³⁻	mg/l	7,9	8,6	8,5	136	2,9	3,3	14,0
S Anionen	mg/l	1345	686	595	887	469	1647	526
Fehler	[%]	-5,2	0,4	0,5	-9,6	-2,3	3,9	-2,0
F	mg/l	n.b.						
Cu	µg/l	1,1	3,5	<1	4,8	8,1	12,7	1,4
Ni	µg/l	10,2	3,2	3,7	19,1	4,1	15,9	3,6
Zn	mg/l	<0,004	0,009	0,008	0,012	0,024	0,033	0,031
Si	mg/l	3,4	1,0	3,4	7,7	2,4	<1,0	4,0
Pb	µg/l	n.b.	<2	n.b.	n.b.	<0,02	0,138	0,469
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,8	1,5
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02	0,138	<0,02
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	26	n.b.
Cr	µg/l	<1	<1	<1	n.b.	<1	3,9	<1
As	µg/l	5,2	4,3	5,9	20	2,4	n.b.	2,0
Ba	µg/l	n.b.	47	46	n.b.	28	47	28
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,4	1,2	0,8
Sr	µg/l	n.b.	176	273	n.b.	150	528	165
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,0	0,2	1,1
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<5	4,2	6,3
Br	mg/l	n.b.						
Uges	µg/l	n.b.	n.b.	4,3	n.b.	7,0	237	6,3
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	6,0	n.b.	3,3	1,0	0,5
Th	µg/l	n.b.	n.b.	0,546	n.b.	0,449	n.n.	0,007
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	0,2	n.b.	2,5	n.b.	45

Zuflüsse

Zuflüsse

Zuflüsse

Zuflüsse

Zuflüsse

Probenpunkt		Q3	Q3	Q3	Q3	Q4 e-443	Q4 e-443	Q4 e-443	Q4 e-443
Wismut-Bez.									
Hochwert		5635773	5635773	5635773	5635773	5635798	5635798	5635798	5635798
Rechtswert		4509731	4509731	4509731	4509731	4509382	4509382	4509382	4509382
Datum		19.10.99	31.01.00	17.04.00	11.12.00	18.03.99	06.06.99	09.08.99	19.10.99
Zeit		09:50	12:00	12:00	11:50		16:50	15:45	14:00
Lufttemp. (ca.)	°C	4	10	10	10	n.b.	ca. 16	22	4
Abfluss (rechn.)	l/s	1,1	1,12	2,1	0,2	n.b.	0	n.b.	0,4
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	7,8	5,9	7,6	8,3	2,3	14,8	24	2,8
el. Lf.	µS/cm	848	983	884	813	11730	12440	12040	12100
pH		6,1	7,4	7,1	6,5	2,9	2,5	2,7	3,2
Eh Korr	mV	359	362	385	334	608	652	640	620
O₂	mg/l	9,4	10,4	10,2	9,5	0,8	0,4	n.b.	3,9
O₂	%	84	87	88	85	n.b.	5	n.b.	71
S Kationen	mg/l	17,0	23	29	15,9	26	27	28	15,0
Na⁺	mg/l	1,3	1,6	1,4	1,6	0,3	0,4	0,2	0,8
K⁺	mg/l	106	115	107	110	428	669	907	1059
Ca²⁺	mg/l	33	47	36	37	1369	1437	1252	1231
Mg²⁺	mg/l	0,122	0,035	0,024	0,011	2309	2017	2156	2393
Fe_{ges}	mg/l	0,081	0,028	0,013	0,015	128	132	120	124
Mn²⁺	mg/l	0,028	0,026	<0,001	<0,4	290	336	301	152
Al³⁺	mg/l	<0,05	0,088	<0,05	0,078	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NH₄⁺	mg/l	158	187	174	164	4551	4620	4765	5116
S Anionen	mg/l	65	72	62	63	9	10	n.b.	14
Cl⁻	mg/l	188	285	179	210	12600	14125	13375	13625
SO₄²⁻	mg/l	163	139	136	173	0	n.n.	n.n.	0
HCO₃⁻	mg/l	43	43	86	37	n.b.	6,70	11,2	3,40
NO₃⁻	mg/l	<0,01	<0,2	<0,2	<0,2	n.b.	n.b.	n.b.	0
NO₂⁻	mg/l	0,10	0,09	0,07	0,05	1,44	0,65	0,49	0,49
Po₄³⁻	mg/l	459	539	462	483	12610	14142	13387	13629
Fehler	[%]	-3,1	-2,5	5,9	-3,9	-1,0	-8,3	-4,6	-1,6
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	<1	<1	3,0	<0,11	2490	2364	2199	1434
Ni	µg/l	16,6	61	39	43	27640	25650	26090	25610
Zn	mg/l	<0,004	<0,004	0,0060	0,0110	24	24	24	23
Si	mg/l	6,9	5,9	6,0	6,5	68	60	6,9	33
Pb	µg/l	n.b.	n.n.	n.n.	0,004	n.b.	<2	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	117,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	<0,2	<0,2	0,08	<0,02	<0,2	281	288	225
RelStAbw	%	n.b.	n.n.	52	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	98
Cr	µg/l	n.b.	n.n.	<1	<1	41	43	37	n.b.
As	µg/l	<0,5	<0,5	n.b.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ba	µg/l	n.b.	52	72	55	n.b.	36	18,8	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	1,3	1,6	0,4	n.b.	n.b.	n.b.	10,2
Sr	µg/l	n.b.	184	296	221	n.b.	73	63	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	0,7	0,6	1,6	n.b.	n.b.	n.b.	1,4
Co	µg/l	n.b.	<5	4,9	6,1	n.b.	n.b.	n.b.	4828
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Uges	µg/l	n.b.	0,292	0,326	0,198	n.b.	n.b.	446	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	9,1	10,6	1,4	n.b.	n.b.	5,1	n.b.
Th	µg/l	n.b.	<0,002	<0,002	<0,002	n.b.	n.b.	10,4	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,4	n.b.

Zuflüsse

Probenpunkt	Q4								
Wismut-Bez.	e-443								
Hochwert	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798
Rechtswert	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382
Datum	05.02.00	03.03.00	03.03.00	28.03.00	17.04.00	18.04.00	18.04.00	23.05.00	23.05.00
Zeit					16:20			15:50	16:00
Lufttemp. (ca.)	°C				10	10	10	18-20	18-20
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.							
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.							
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,5-1	0,5-1	0,5-1	0,5-1
T	°C	7,3	10,3	8	7,6	10,3	10,2	10,1	23,5
el. Lf.	µS/cm	12100	108502	12250	12720	12720	12370	12020	9880
pH		3,5	3,0	3,0	3,1	3,2	3,1	3,4	2,4
Eh Korr	mV	558	612	563	567	555	556	509	632
O ₂	mg/l	4,1	3,9	2,5	2,8	2,7	2,6	2,0	1,0
O ₂	%	36	n.b.	n.b.	n.b.	26	25	18	10
S Kationen	mg/l	4609	4672	5394	5085	5403	n.b.	n.b.	5188
Cl ⁻	mg/l	21	30	27	23	22	n.b.	n.b.	22
SO ₄ ²⁻	mg/l	13500	12250	14125	13092	13169	n.b.	n.b.	13168
HCO ₃ ⁻	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.
NO ₃ ⁻	mg/l	1,3	3,0	1,5	11,0	2,1	n.b.	n.b.	1,7
NO ₂ ⁻	mg/l	n.b.							
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,470	1,940	1,810	1,840	1,460	n.b.	n.b.	1,340
S Anionen	mg/l	13522	12285	14155	13127	13194	n.b.	n.b.	13193
Fehler	[%]	-16,5	-0,4	-3,5	-0,7	4,0	n.b.	n.b.	-6,0
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	n.b.	2041	1979	2017	3456	n.b.	n.b.	2558
Ni	µg/l	n.b.	24009	27593	17340	27510	n.b.	n.b.	25173
Zn	mg/l	24	19,9	22	23	23	n.b.	n.b.	23
Si	mg/l	48	32	45	44	46	n.b.	n.b.	45
Pb	µg/l	n.b.	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.
RelStAbw	%	n.b.	n.n.	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	n.b.	193	208	208	278	n.b.	n.b.	240
RelStAbw	%	n.b.	1,6	1,8	0,4	2,9	n.b.	n.b.	1,6
Cr	µg/l	30	19,5	20	23	21	n.b.	n.b.	n.b.
As	µg/l	n.b.	<0,5	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	19	20	23	19,4	n.b.	n.b.	8,0
RelStAbw	%	n.b.	7,9	3,2	3,4	15,7	n.b.	n.b.	2,0
Sr	µg/l	n.b.	46,5	72,8	75,2	118	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	1,4	1,7	1,7	1,2	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	8088	9652	6595	11710	n.b.	n.b.	11208
Br	mg/l	n.b.							
Uges	µg/l	n.b.	607	692	720	1018	n.b.	n.b.	657
RelStAbw	%	n.b.	1,7	1,2	1,6	1,6	n.b.	n.b.	0,6
Th	µg/l	n.b.	<0,002	0,58	0,32	<0,002	n.b.	n.b.	0,569
RelStAbw	%	n.b.	n.n.	11,7	20	n.b.	n.b.	n.b.	6,7

Zuflüsse

Probenpunkt		Q4	Q4	Q4	Q4	Q4a	Q4b	Q5	Q5	Q5
Wismut-Bez.		e-443	e-443	e-443	e-443	5635798	5635798	5635798	5635801	5635801
Hochwert		5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635798	5635801	5635801	5635801
Rechtswert		4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4509382	4510071	4510071	4510071
Datum		28.07.00	25.10.00	11.12.00	18.12.00	26.06.01	26.06.01	06.06.99	09.08.99	19.10.99
Zeit		16:00		15:10	12:14	14:05	13:30	13:30	12:55	
Lufttemp. (ca.)	°C	20	n.b.	10	8	18	18	ca. 16	22	4
Abfluss (rechn.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	ml	n.b.	20,9	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	ml	n.b.	n.b.	n.b.	1
Abfluss (exp.)	l/s	0,5-1	n.b.	n.b.	0,5	n.b.	n.b.	4 bis 5	ca..22	n.b.
T	°C	14,3	12,2	8,9	n.b.	16,2	14,6	n.b.	21	11,2
el. Lf.	µS/cm	11660	11890	11100	n.b.	11900	11620	n.b.	1082	976
pH		3,4	3,6	3,1	n.b.	2,8	3,3	n.b.	7,3	7,45
Eh Korr	mV	529	432	550	n.b.	574	530	n.b.	296	367
O₂	mg/l	n.b.	2,2	3,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,8	8,1
O₂	%	n.b.	n.b.	30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	80	77
S Kationen	mg/l	5110	5361	5219	n.b.	4671	4902	n.b.	233	208
Cl⁻	mg/l	23	21	22	n.b.	20	20	n.b.	112	115,9
SO₄²⁻	mg/l	13375	13750	13250	n.b.	12875	12625	n.b.	174	136
HCO₃⁻	mg/l	n.n.	n.n.	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	209	210,2
NO₃⁻	mg/l	<2	<2	2,40	n.b.	2,20	<2	n.b.	42	11,0
NO₂⁻	mg/l	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,342	0,038
PO₄³⁻	mg/l	n.b.	0,650	0,140	n.b.	1,220	0,120	n.b.	9,500	18,8
S Anionen	mg/l	13398	13772	13274	n.b.	12899	12645	n.b.	547	147
Fehler	[%]	-8,1	-16,1	0,1	n.b.	-10,2	-5,2	n.b.	-1,9	-5,3
F	mg/l	n.b.	36,7	n.b.						
Cu	µg/l	n.b.	n.b.	2826	n.b.	1620	2923	n.b.	<1	3,5
Ni	µg/l	n.b.	n.b.	26120	n.b.	18300	18210	n.b.	6,0	6,3
Zn	mg/l	23,4	24,3	24,7	n.b.	22,9	23,6	n.b.	0,037	0,108
Si	mg/l	55	n.b.	35	n.b.	41	45	n.b.	6,9	7,2
Pb	µg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.b.	0,516	0,215	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	µg/l	250	250	158	n.b.	223	249	n.b.	<0,2	1,07
RelStAbw	%	0,7	1,3	0,6	n.b.	0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	33	40	64	n.b.	36	21	n.b.	<1	n.b.
As	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,7	3,8
Ba	µg/l	18,0	22	<0,4	n.b.	<0,4	<0,4	n.b.	18,0	n.b.
RelStAbw	%	1,7	4,4	n.b.						
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	519	n.b.	41	225	n.b.	292	n.b.
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	0,1	n.b.	1,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	10380	n.b.	7010	7226	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.								
Uges	µg/l	703	657	577	n.b.	901	855	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	0,2	0,4	0,5	n.b.	0,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Th	µg/l	0,726	0,671	2,00	n.b.	0,121	0,655	n.b.	n.b.	n.b.
RelStAbw	%	5,6	10,4	11,4	n.b.	17,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Zuflüsse

Zuflüsse

Probenpunkt	M1	M1	M1	M1	G11	Q8	Q9
Wismut-Bez.							
Hochwert	5635839	5635839	5635839	5635839			
Rechtswert	4508612	4508612	4508612	4508612			
Datum	27.01.99	02.03.99	06.06.99	31.01.00	18.10.97	26.06.01	26.06.01
Zeit	12:00	12:50	09:30	09:00	13:25	15:00	15:40
Lufttemp. (ca.)	°C	7	ca. 12	ca. 16	10	18	18
Abfluss (rechn.)	l/s	0,6	5,2	2,2	0,6	n.b.	n.b.
Abfluss (graph.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Abfluss (exp.)	l/s	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	n.b.	n.b.	n.b.	12,3	32	27
el. Lf.	µS/cm	n.b.	n.b.	n.b.	1393	7360	8220
pH		n.b.	n.b.	n.b.	8,1	3,0	5,7
Eh Korr	mV	n.b.	n.b.	n.b.	383	616	290
O ₂	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	5,5	n.b.	n.b.
O ₂	%	n.b.	n.b.	n.b.	56	n.b.	n.b.
S Kationen							
Na ⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	34	23
K ⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	30	5,2
Ca ²⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	564	481
Mg ²⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1148	1619
Fe _{ges}	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	279	175
Mn ²⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	37	31
Al ³⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,92	0,150
NH ₄ ⁺	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	21	5,7
S Anionen		mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	2115	2339
S Anionen							
Cl ⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	31	21
SO ₄ ²⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7100	8000
HCO ₃ ⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	141
NO ₃ ⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,4	<2
NO ₂ ⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PO ₄ ³⁻	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,090	<0,05
Fehler		[%]	n.b.	n.b.	n.b.	-7,9	-2,1
Metalle							
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	406	<0,5
Ni	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	855	967
Zn	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,60	0,29
Si	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9,0	6,5
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,6	0,119
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,8	13,7
Cd	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,9	0,438
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,0	11,2
Cr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,33	<1
As	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,6	7,27
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	21	9,0
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,9	1,7
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	326	432
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,0	0,7
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	230	340
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Uges	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	132	112
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,4	0,7
Th	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,614	<0,002
RelStAbw	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,5	n.b.

Grundwassermessstellen

Probenpunkt		1/00 ⁽¹⁾	1/00	2/00 ⁽¹⁾	2/00	2/00 ⁽¹⁾	2/00 ⁽²⁾	2/00	3/00
Wismut-Bez.		rks1	rks1	rks2	rks2	rks2	rks2	rks2	rks3
Hochwert		5635810	5635810	5635767	5635767	5635767	5635767	5635767	5635828
Rechtswert		4510042	4510042	4510032	4510032	4510032	4510032	4510032	4510072
Datum		07.07.00	06.07.00	05.07.00	03.07.00	29.08.00	29.08.00	19.12.00	06.07.00
Zeit		07:45		09:15		08:00		13:00	
Lufttemp. (ca.)	°C	12,9		12,9		13,3		2	
Höhe	mNN	233,43	233,43	232,14	232,14	232,14	232,14	232,14	234,72
GW-Stand	muGOK	1,95	n.b.	0,82	n.b.	0,49	n.b.	n.b.	n.b.
GW-Stand	mNN	231,5	n.b.	231,3	n.b.	231,7	n.b.	n.b.	n.b.
T	°C	12,9		12,9	14	13,3	18,4	8,8	
el. Lf.	μS/cm	1820	1056	1665	741	1135	540	984	810
pH		6,8	6,5	6,9	6,7	7,1	7,3	6,8	6,3
Eh Korr	mV	238	215	203	213	209	285	171	215
O2	mg/l	5,1	0,2	2	0,1	4,1	n.b.	4,1	3,0
O2	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	203	247	130	166	101	112	n.b.	163
Cl⁻	mg/l	78	80	56	52	42	42	n.b.	96
SO₄²⁻	mg/l	175	188	130	136	72	88	n.b.	200
HCO₃⁻	mg/l	293	357	181	258	180	n.b.	n.b.	110
NO₃⁻	mg/l	10,0	1,0	<1	1,0	<1	1,0	n.b.	<1
NO₂⁻	mg/l	<0,01	n.b.	0,03	0,01	<0,01	n.b.	n.b.	n.b.
PO₄³⁻	mg/l	<0,1	n.b.	<0,1	<0,05	<0,1	<0,05	n.b.	n.b.
S Anionen	mg/l	556	626	367	448	294	131	n.b.	406
Fehler	[%]	-4,0	1,6	-3,2	-1,1	-3,7	66,0	n.b.	-0,8
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	μg/l	<20	n.b.	<20	n.b.	<5	n.b.	n.b.	n.b.
Ni	μg/l	<50	n.b.	<50	n.b.	8	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	mg/l	0,07	n.b.	<5	n.b.	0,29	0,08	n.b.	n.b.
Si	mg/l	n.b.	4,5	n.b.	3,9	n.b.	3,8	n.b.	4,2
Pb	μg/l	<0,04	n.b.	<40	n.b.	<5	n.b.	n.b.	n.b.
Cd	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<1	n.b.	n.b.
As	μg/l	<50	n.b.	3,0	n.b.	2,0	1,2	n.b.	n.b.
Ba	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U-ges.	mg/l	0,027	n.b.	0,003	n.b.	0,002	n.b.	n.b.	n.b.
Th-ges.	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
²²⁶Ra	mBq/l	n.n.	n.b.	n.n.	n.b.	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.

⁽¹⁾ Bestimmung der Wismut GmbH

⁽²⁾ Hydrochemische Analysen Labor des IGW Jena, Probenahme der Wismut GmbH

Grundwassermessstellen

Probenpunkt		3/00 ⁽¹⁾	4/00	05/00	9/00 ⁽¹⁾	9/00	10/00 ⁽¹⁾	10/00 ⁽¹⁾	10/00 ⁽²⁾
Wismut-Bez.		rks3			rks/B9	rks/B9	rks-10	rks/10	rks/10
Hochwert		5635828	5635773	5635747	5635753	5635753	5635800	5635800	5635800
Rechtswert		4510072	4510072	4510053	4510105	4510105	4510103	4510103	4510103
Datum		07.07.00	03.07.00	03.07.00	30.06.00	03.07.00	05.07.00	29.08.00	03.07.00
Zeit		07:30			09:00		09:00	08:40	
Lufttemp. (ca.)	°C	11,9			12		11,9	13,6	
Höhe	mNN	234,72	232,46	232,53	232,8	232,8	232,75	232,75	232,75
GW-Stand	muGOK	2,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,31	1,39	n.b.
GW-Stand	mNN	231,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	231,4	231,4	n.b.
T	°C	11,9	13,2	14,9	12	14,4	11,9	13,6	12,6
el. Lf.	µS/cm	1187	572	641	665	573	948	593	571
pH		6,6	6,8	6,7	7,2	6,9	7,0	6,9	6,6
Eh Korr	mV	259	213	212	256	213	241	162	213
O2	mg/l	4,0	0,0	1,0	0,9	0,3	5,4	1,4	0,1
O2	%	40	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	146	110	107	92	103	96	90	124
Na⁺	mg/l	14	24	10	10	13	11	11	12
K⁺	mg/l	2,5	1,9	1,4	1,8	2,6	2,9	1,2	1,6
Ca²⁺	mg/l	106	57	74	58	66	51	57	72
Mg²⁺	mg/l	21	17	18	20	20	16	17	13
Fe_{ges}	mg/l	0,03	8,5	2,3	0,89	0,62	9,3	0,26	20
Mn²⁺	mg/l	2,0	0,78	1,2	1,0	1,2	2,4	2,3	3,0
Al³⁺	mg/l	<0,1	n.b.	n.b.	0,100	n.b.	1,40	<0,1	n.b.
NH₄⁺	mg/l	0,23	0,92	0,23	0,48	0,42	1,2	1,2	1,9
S Anionen	mg/l	146	110	107	92	103	96	90	124
Fehler	[%]	-4,8	-0,3	2,0	-2,0	1,8	-3,8	-2,9	0,0
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	<20	n.b.	n.b.	<20	n.b.	30,0	<5	n.b.
Ni	µg/l	<50	n.b.	n.b.	<50	n.b.	<50	11	n.b.
Zn	mg/l	0,090	n.b.	n.b.	0,240	n.b.	0,580	0,120	n.b.
Si	mg/l	n.b.	3,3	5,2	n.b.	4,3	n.b.	n.b.	4,4
Pb	µg/l	<40	n.b.	n.b.	<40	n.b.	<40	<5	n.b.
Cd	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<20	n.b.	n.b.	n.b.	<1
As	µg/l	<50	n.b.	n.b.	43	n.b.	120	3,0	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	432	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	140	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U_{ges}	mg/l	0,003	n.b.	n.b.	0,007	n.b.	0,005	0,008	n.b.
Th_{ges}	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
²²⁶Ra	mBq/l	n.n.	n.b.	n.b.	38	n.b.	n.n.	n.n.	n.b.

⁽¹⁾ Bestimmung der Wismut GmbH

⁽²⁾ Hydrochemische Analysen Labor des IGW Jena, Probenahme der Wismut GmbH

Grundwassermessstellen

Probenpunkt		10/00	11/00	16/00 ⁽¹⁾	16/00	19/00	21/00 ⁽¹⁾	22/00 ⁽¹⁾	22/00
Wismut-Bez.		rks/10		rks-16	rks-16		rks-21	rks-22	rks-22
Hochwert		5635800	5635780	5635783	5635783	5635800	5635900	5635824	5635824
Rechtswert		4510103	4510132	4510180	4510180	4510207	4510255	4510235	4510235
Datum		03.07.00		29.06.00	03.07.00	05.07.00	07.07.00	05.07.00	05.07.00
Zeit		15:30		08:00			07:15	07:40	
Lufttemp. (ca.)	°C	2		11,9			12,4	13,6	
Höhe	mNN	232,75	233,03	233,42	233,42	234,06	235,22	234,16	234,16
GW-Stand	muGOK	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,05	1,9	n.b.
GW-Stand	mNN	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	232,2	232,3	n.b.
T	°C	9,7	14	11,9	12,7		12,4	13,6	
el. Lf.	µS/cm	567	647	1130	550	514	1382	1037	492
pH		6,9	6,5	6,9	6,7	6,4	6,9	6,1	6,0
Eh Korr	mV	113	213	209	213	215	197	241	215
O2	mg/l	0,2	0,2	0,1	1,5	n.b.	0,6	3,3	n.b.
O2	%	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	n.b.	109	104	114	118	213	95	112
Cl⁻	mg/l	44	44	37	34	33	122	30	23
SO₄²⁻	mg/l	78	110	123	122	164	280	150	176
HCO₃⁻	mg/l	n.b.	147	134	157	93	171	41	47
NO₃⁻	mg/l	n.n.	0	<1	2	6,0	2,0	20	16,0
NO₂⁻	mg/l	n.n.	0,010	0,100	0,070	0,021	0,020	0,070	0,086
PO₄³⁻	mg/l	n.n.	<0,05	<0,1	<0,05	n.b.	<0,1	<0,1	n.b.
S Anionen	mg/l	121	301	294	315	296	575	241	262
Fehler	[%]	n.b.	-3,3	-4,0	-1,9	-2,9	-3,2	-1,5	4,7
F	mg/l	0,32	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	n.b.	n.b.	20	n.b.	n.b.	<20	<20	n.b.
Ni	µg/l	n.b.	n.b.	<50	n.b.	n.b.	<50	<50	n.b.
Zn	mg/l	n.b.	n.b.	40	n.b.	n.b.	<5	0,157	n.b.
Si	mg/l	n.b.	3,7	n.b.	4,50	5,50	n.b.	n.b.	5,1
Pb	µg/l	n.b.	n.b.	<40	n.b.	n.b.	<40	<40	n.b.
Cd	µg/l	n.b.	n.b.	<1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	µg/l	n.b.	n.b.	<20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
As	µg/l	n.b.	n.b.	24	n.b.	n.b.	<50	2,00	n.b.
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	153	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	150	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	µg/l	n.b.	n.b.	<20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U_{ges.}	mg/l	n.b.	n.b.	<0,05	n.b.	n.b.	0,030	0,016	n.b.
Th_{ges.}	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
²²⁶Ra	mBq/l	n.b.	n.b.	28	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.	n.b.

⁽¹⁾ Bestimmung der Wismut GmbH

⁽²⁾ Hydrochemische Analysen Labor des IGW Jena, Probenahme der Wismut GmbH

Grundwassermessstellen

Probenpunkt		23/00 ⁽¹⁾	23/00	28/00	30/00 ⁽¹⁾	31/00 ⁽¹⁾	31/00	37/00 ⁽¹⁾	37/00	80/00 ⁽¹⁾
Wismut-Bez.		rks-23	rks-23		rks-30	rks-31	rks-31	rks-37	rks-37	rks/b80
Hochwert		5635785	5635785	5635847	5635900	5635870	5635870	5635796	5635796	
Rechtswert		4510229	4510229	4510258	4510301	4510301	4510301	4510353	4510353	
Datum		05.07.00	04.07.00	05.07.00	07.07.00	10.07.00	10.07.00	05.07.00	05.07.00	30.06.00
Zeit		08:15			07:00	07:30		09:45		08:00
Lufttemp. (ca.)	°C	12,5			12,2	12,3		13,2		12,1
Höhe	mNN	236,02	236,02	234,71	236,12	234,9	234,9	235,41	235,41	239,4
GW-Stand	muGOK	3,25	n.b.	n.b.	4,2	2,24	2,22	2,41	n.b.	n.b.
GW-Stand	mNN	232,8	n.b.	n.b.	231,9	232,7	n.b.	233,0	n.b.	n.b.
T	°C	12,5	16,3		12,2	12,3	15,4	13,2	11,9	12,1
el. Lf.	μS/cm	1215	617	838	1519	1075	1479	1160	406	2130
pH		7,1	6,9	6,7	7,1	6,6	6,8	6,7	6,7	5,9
Eh Korr	mV	285	212	215	305	208	212	276	213	355
O2	mg/l	2,7	1,7	n.b.	2,4	1,2	2,8	2,4	4,8	7,4
O2	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	28	n.b.	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	109	130	188	243	299	370	96	82	415
Cl⁻	mg/l	44	43	37	99	81	88	16	10	91
SO₄²⁻	mg/l	100	96	290	320	547	770	135	148	1040
HCO₃⁻	mg/l	128	179	165	254	90,0	155	104	93,6	9,00
NO₃⁻	mg/l	56,0	41,0	1,00	11,0	<1	1,00	<1	1,00	21,0
NO₂⁻	mg/l	0,070	0,405	n.b.	0,100	0,020	n.b.	0,010	n.b.	0,220
PO₄³⁻	mg/l	<0,1	<0,05	n.b.	<0,1	<0,1	n.b.	<0,1	n.b.	<0,1
S Anionen	mg/l	328	360	492	684	718	1014	255	253	1161
Fehler	[%]	-6,1	1,9	-3,7	-2,2	7,0	-6,3	1,6	-5,0	-0,7
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	µg/l	<20	n.b.	n.b.	<20	260	n.b.	<20	n.b.	19,0
Ni	µg/l	<50	n.b.	n.b.	<50	50	n.b.	<50	n.b.	420
Zn	mg/l	0,097	n.b.	n.b.	0,132	0,143	n.b.	0,126	n.b.	4,9
Si	mg/l	n.b.	2,00	6,70	n.b.	n.b.	6,70	n.b.	5,00	n.b.
Pb	µg/l	<40	n.b.	n.b.	<40	<40	n.b.	<40	n.b.	<5
Cd	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2,0
Cr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<20
As	µg/l	2,0	n.b.	n.b.	<50	<50	n.b.	4,00	n.b.	<1
Ba	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	56
Sr	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	330
Co	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	130
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U_{ges.}	mg/l	0,013	n.b.	n.b.	0,012	0,014	n.b.	0,028	n.b.	0,001
Th_{ges.}	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
²²⁶Ra	mBq/l	n.n.	n.b.	n.b.	n.n.	n.n.	n.b.	n.n.	n.b.	44

⁽¹⁾ Bestimmung der Wismut GmbH

⁽²⁾ Hydrochemische Analysen Labor des IGW Jena, Probenahme der Wismut GmbH

Grundwassermessstellen

Probenpunkt		80/00 ⁽¹⁾	80/00	80/00 ⁽²⁾	80/01	117/00 ⁽¹⁾	117/00 ⁽²⁾	117/00 ⁽²⁾	145/00 ⁽¹⁾	145/00 ⁽²⁾
Wismut-Bez.		rks/80				rks117	rks117	rks117	rks/145	rks/145
Hochwert						5635774	5635774	5635774		
Rechtswert						4511268	4511268	4511268		
Datum		29.08.00	03.07.00	29.08.00	29.08.01	17.08.00	29.08.00	17.08.00	29.08.00	29.08.00
Zeit		10:15				09:00			11:15	
Lufttemp. (ca.)	°C	15,6				22,5			16,1	
Höhe	mNN	239,4	239,4	239,4	239,4	244,64	244,64	244,64		
GW-Stand	muGOK	4,19	n.b.	n.b.	n.b.	8,29	n.b.	n.b.	3,03	n.b.
GW-Stand	mNN	235,2	n.b.	n.b.	n.b.	236,4	n.b.	n.b.		n.b.
T	°C	15,6	11,6	18,4	6,3	19,1	16,7	n.b.	16,1	18,4
el. Lf.	μS/cm	1665	2040	1648	1530	3580	3440	n.b.	4680	4460
pH		6,5	5,4	6,3	4,2	6,5	7,1	n.b.	6,7	7,0
Eh Korr	mV	245	213	312	604	221	462	n.b.	206	179
O2	mg/l	5,2	3,9	n.b.	3,5	0,7	n.b.	n.b.	2,6	n.b.
O2	%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
S Kationen	mg/l	312	447	337	278	972	926	388	1052	1174
Cl⁻	mg/l	76	92	72	96	29	35	15	117	112
SO₄²⁻	mg/l	793	1070	826	683	2590	2675	n.b.	3000	3225
HCO₃⁻	mg/l	15,0	15,9	n.b.	n.n.	249	n.b.	n.b.	267	n.b.
NO₃⁻	mg/l	23	22	21	18,1	n.b.	n.b.	n.b.	<1	2,0
NO₂⁻	mg/l	0,110	0,107	0,0300	<0,5	n.b.	n.b.	n.b.	0,01	Strg.
PO₄³⁻	mg/l	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	n.b.	0,08	n.b.	<0,1	<0,05
S Anionen	mg/l	907	1200	919	797	2868	2710	15	3384	3339
Fehler	[%]	-6,1	0,2	-0,4	-3,4	0,5	1,1	n.b.	-1,5	7,7
F	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	0,670	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu	μg/l	<5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.
Ni	μg/l	280	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	54	n.b.
Zn	mg/l	4,0	n.b.	12,8	0,252	n.b.	1,1	0,618	0,055	0,014
Si	mg/l	n.b.	9,1	6,6	5,2	n.b.	2,6	n.b.	n.b.	3,7
Pb	μg/l	<5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<5	n.b.
Cd	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr	μg/l	n.b.	n.b.	<1	<1	n.b.	<1	<1	n.b.	<1
As	μg/l	<1	n.b.	<0,5	<0,5	n.b.	1,1	4,3	1,00	<0,5
Ba	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Co	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Br	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.	<0,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
U_{ges.}	mg/l	0,013	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,009	n.b.
Th_{ges.}	μg/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
²²⁶Ra	mBq/l	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

⁽¹⁾ Bestimmung der Wismut GmbH

⁽²⁾ Hydrochemische Analysen Labor des IGW Jena, Probenahme der Wismut GmbH

Anhang 6: Ausfällungen im Gessenbach am 18. 04. 2000 (Königswasseraufschlüsse)

Nr.	Cr [mg/kg]	Cr-Verhältnis fest/flüssig	Co [mg/kg]	Co-Verhältnis fest/flüssig	Ni [mg/kg]	Ni-Verhältnis fest/flüssig	Cu [mg/kg]	Cu-Verhältnis fest/flüssig
1	24	6.131	82	220	402	442	2.397	102.000
2	23	5.779	103	278	452	497	3.373	143.532
4	24	6.131	76	205	336	369	2.852	121.362
5	36	9.070	53	142	191	210	1.150	48.936
3	99	24.849	44	120	230	253	12.310	523.830

	Zn [mg/kg]	Zn-Verhältnis fest/flüssig	As mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cd-Verhältnis fest/flüssig	Pb [mg/kg]	U [mg/kg]	U-Verhältnis fest/flüssig
1	8.693	23.495	19	14	680.000	13	566	14.150
2	5.676	15.341	25	14	710.000	12	636	15.900
4	3.666	9.908	19	12	615.000	12	614	15.350
5	366	989	19	2	111.500	20	115	2.875
3	19.720	53.297	136	3	154.000	174	922	23.050

Anhang 7: Hydrogeologische Kartierung des Lammsbaches am 27.05.1998

Messpunkt	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit.	Wassertemperatur
27.05.98		µS/cm	[°C]
1	7,47	1258	13,9
2	7,42	1269	13,3
3	7,48	1217	13,3
4	7,53	1184	13,0
5 (G4)	7,50	1153	13,2
6	7,46	1117	12,6
7	7,55	1059	13,0
8	7,51	1054	13,5
9 (L2)	8,07	824	12,4
10	8,13	823	12,3
11	8,24	820	11,9
12	8,17	816	11,8
13	8,21	822	12,0
14	8,19	826	11,8
15	8,21	824	12,2
15	8,20	822	12,3
16	8,21	811	12,0
17 (L1)	8,35	800	11,8
18	8,22	816	11,9
19	8,37	828	12,0
20	8,40	813	12,3

Messpunkt	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit.	Wassertemperatur
11.08.98		µS/cm	[°C]
1	8,03	709	14,2
2	8,09	701	14,3
3	7,93	683	12,9
4	7,9	753	15,6
5	7,66	674	13,5
6	7,35	782	10,5
7	7,27	619	11,4
8	7,24	687	13,2
9	8,07	673	15,2
10 (Quelle)	7,97	755	12,9
11 (L3)	6,65	754	9
12	7,49	755	15

Anhang 8: Grundwasserdrukflächen des oberflächennahen Grundwassers im E-Gessental

Druckfläche	[m NN]						
Datum	02/00	Datum	10/00	Datum	80/00	Datum	95/00
05.07.00	231,38	05.07.00	231,45	29.06.00	235,09	25.07.00	234,98
06.07.00	231,38	06.07.00	231,45	30.06.00	235,07	26.07.00	235,01
07.07.00	231,38	07.07.00	231,47	05.07.00	235,10	26.07.00	235,01
10.07.00	231,81	10.07.00	231,50	06.07.00	235,09	27.07.00	235,00
10.07.00	231,81	10.07.00	231,50	10.07.00	235,45	27.07.00	235,00
11.07.00	231,78	11.07.00	231,51	10.07.00	235,47	28.07.00	235,02
12.07.00	231,74	12.07.00	231,50	11.07.00	235,35	28.07.00	235,01
13.07.00	231,73	13.07.00	231,52	12.07.00	235,00	29.07.00	235,01
14.07.00	231,72	14.07.00	231,53	13.07.00	235,13	30.07.00	235,00
14.07.00	231,72	14.07.00	231,53	13.07.00	235,12	31.07.00	235,02
17.07.00	231,73	17.07.00	231,52	14.07.00	235,11	31.07.00	235,02
17.07.00	231,72	17.07.00	231,51	14.07.00	235,11	01.08.00	234,98
18.07.00	231,72	18.07.00	231,52	17.07.00	235,10	01.08.00	234,99
18.07.00	231,71	18.07.00	231,47	17.07.00	235,10	02.08.00	234,97
19.07.00	231,70	19.07.00	231,49	18.07.00	235,10	03.08.00	234,99
19.07.00	231,70	19.07.00	231,47	18.07.00	235,10	04.08.00	235,00
20.07.00	231,68	20.07.00	231,49	19.07.00	235,09	07.08.00	234,98
21.07.00	231,65	21.07.00	231,49	19.07.00	235,10	07.08.00	234,99
24.07.00	231,64	24.07.00	231,53	20.07.00	235,09	08.08.00	234,99
24.07.00	231,64	24.07.00	231,52	21.07.00	235,09	09.08.00	234,99
25.07.00	231,63	25.07.00	231,54	24.07.00	235,10	10.08.00	234,98
25.07.00	231,63	25.07.00	231,52	24.07.00	235,10	11.08.00	234,99
26.07.00	231,61	26.07.00	231,52	25.07.00	235,10		
26.07.00	231,61	26.07.00	231,50	25.07.00	235,09		
27.07.00	231,58	27.07.00	231,50	25.07.00	235,10		
27.07.00	231,58	27.07.00	231,48	26.07.00	235,10		
28.07.00	231,58	28.07.00	231,49	26.07.00	235,10		
28.07.00	231,58	28.07.00	231,49	27.07.00	235,10		
28.07.00	231,58	28.07.00	231,48	27.07.00	235,10		
29.07.00	231,57	29.07.00	231,48	28.07.00	235,10		
30.07.00	231,56	30.07.00	231,47	28.07.00	235,09		
31.07.00	231,81	31.07.00	231,48	17.08.00	235,19		
31.07.00	231,80	31.07.00	231,47	21.08.00	236,04		
01.08.00	231,77	01.08.00	231,49				
01.08.00	231,75	01.08.00	231,49				
02.08.00	231,73	02.08.00	231,49				
03.08.00	231,72	03.08.00	231,50	16.08.00	236,37		
04.08.00	231,73	04.08.00	231,49	17.08.00	236,37		
07.08.00	231,67	07.08.00	231,50	18.08.00	236,36		
07.08.00	231,67	07.08.00	231,50	21.08.00	236,34		
08.08.00	231,65	08.08.00	231,50	21.08.00	236,33		
09.08.00	231,63	09.08.00	231,50	22.08.00	236,32		
10.08.00	231,61	10.08.00	231,50	22.08.00	236,32		
11.08.00	231,58	11.08.00	231,47	23.08.00	236,30		
14.08.00	231,51	14.08.00	231,47	24.08.00	236,30		
15.08.00	231,48	15.08.00	231,47	25.08.00	236,28		
16.08.00	231,45	16.08.00	231,47	28.08.00	236,13		
17.08.00	231,43	17.08.00	231,47	29.08.00	235,94		
17.08.00	231,42	17.08.00	231,46	31.08.00	235,73		
18.08.00	231,40	18.08.00	231,45	01.09.00	235,72		
21.08.00	231,63	21.08.00	231,46				
		13.12.00	231,57				
		18.12.00	231,57				
		17.01.01	231,60				
		24.01.01	231,59				
		25.01.01	231,62				
		26.01.01	231,57				
		15.02.01	231,70				
		21.02.01	231,68				

Druckfläche	[m NN]	Datum	117/00
		16.08.00	236,37



Foto 1: Sickerwassermessstelle Q4 (Nord).



Foto 2: Sickerwasseraustritt Q4, im Vordergrund Q4 (Süd).



Foto 3: Organikreiches muddenartiges Sediment im Randbereich des Gessenbaches.



Foto 4: Eisenockerausfällungen am 18. 04. 2000 im Gessenbach.

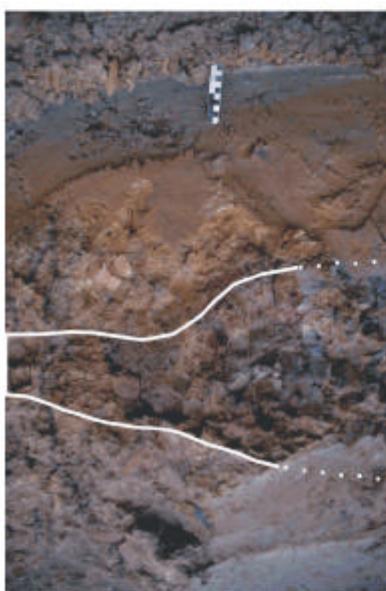


Foto 5: Ältere Bachsedimente in Schurf 429860.



Foto 6: Hochwasserereignis am 02. 03. 2000.

Tabellarischer Lebenslauf

Geletneky, Jörn Walter

26.10.1968	geboren in Bad Pyrmont
August 1975 - Mai 1988	Grundschule, Gymnasium (Abitur)
Juli 1988 – Februar 1990	Zivildienst, Bad Pyrmont
Oktober 1990 – März 1997	Studium der Geologie/Paläontologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
März 1997	Diplom: Geologie
seit Mai 1997	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Arbeitsgruppe Prof. Büchel

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt habe.

Jena, den 4. Juni. 2002