

ZWISCHENBERICHT

Titel: Gutachten zur Prüfung möglicher Umwelt-
auswirkungen des Einsatzes von
Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraum-
verfüllung in Steinkohlenbergwerken
in Nordrhein-Westfalen, Teil 1

Datum: 01.06.2016

Auftraggeber: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und
Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen

Auftrag vom: 16.07.2015

Auftragnehmer: ahu AG Wasser · Boden · Geomatik, Aachen
Projektbearbeitung: Herr Dr. [REDACTED] (Projektleitung)
Herr Dr. [REDACTED] (Qualitätssicherung)

in Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. [REDACTED] (TU Clausthal, Abtlg. Hydrogeologie)
delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten (Prof. [REDACTED])
LEK Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls
und der Kohle, RWTH Aachen University (Prof. Dr. [REDACTED])
LFH Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen
University (Prof. Dr. [REDACTED])
IFM Lehrstuhl und Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde
und Geophysik im Bergbau, RWTH Aachen University
(Prof. [REDACTED])

Aktenzeichen: UTVNRW / 14113
Ausfertigung Nr.: PDF

INHALT

1	Einleitung	1
1.1	Entwurf des Zwischenberichtes und Berücksichtigung der Stellungnahmen	1
1.2	Vorbemerkungen zu diesem Zwischenbericht	2
1.3	Anlass und Aufgabenstellung	3
1.3.1	Kurzer Überblick über die Geschichte des BW Haus Aden/Monopol	3
1.3.2	Überblick über den Einsatz von Abfall-/Reststoffen in Steinkohlenbergwerken zu Versatzzwecken (Bruchhohlraumverfüllung)	3
1.3.3	Veranlassung	4
2	Datengrundlagen und Datenrecherche	6
2.1	Ausgewertete Unterlagen	6
2.2	Termine	7
3	Skizzierung der Arbeitsstruktur (Risikoanalyse)	8
4	Bruchhohlraumverfüllung (IFM, Prof. ██████████)	11
4.1	Abfallrechtliche Einordnung	11
4.1.1	Immissionsneutrale Einbringung	11
4.1.2	Vollständiger Einschluss	11
4.2	Technischer Ablauf der Bruchhohlraumverfüllung	11
4.2.1	Überwachung der Anlage (Mischstation)	14
4.3	Generelle Anforderungskriterien an eine Bruchhohlraumverfüllung	14
5	Stand der Arbeiten bei der Ermittlung des Gefährdungspotenzials im Bergwerk Haus Aden/Monopol	18
5.1	Anorganische Schadstoffe (ahu AG, LFH)	18
5.1.1	Massenbilanzierung	18
5.1.2	Vorgehen zur Abschätzung des Reststoffinventars	23
5.1.3	Weiteres Vorgehen Massenbilanzierung und Bewertung des Gefährdungspotenzials anorganische Schadstoffe	23
5.2	Organische Schadstoffe (LEK, Prof. ██████████)	24
5.2.1	Massenbilanzierung organischer Schadstoffe im Versatz	24
5.2.2	Hintergrundinformationen zum Einsatz von PCB-haltigen Betriebsmitteln im Bergbau in NRW	27
5.2.3	Auswertung vorliegender Informationen zu PCB-haltigen Betriebsmitteln in Haus Aden/Monopol	29
5.2.4	Einsatzbereiche der PCB in der Wasserprovinz Haus Aden	31
5.2.5	Weitere untertägige Beprobungen BW Haus Aden / Monopol	35

5.2.6	Weiteres Vorgehen Massenbilanzierung und Bewertung des Gefährdungspotenzials organischer Schadstoffe	38
6	Ablauf des bergrechtlichen Betriebsplanverfahrens für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe als Versatz (IFM, Prof. ██████)	39
7	Hydrogeologische Systembeschreibung und hydrochemische Systembeschreibung für das BW Haus Aden/Monopol (ahu AG / LFH, Prof. ██████)	43
7.1	Ziel / Aufgabe	43
7.2	Hydrogeologischer Aufbau (ahu AG)	44
7.2.1	Quartär	44
7.2.2	Kreide	44
7.2.3	Karbon	48
7.3	Hydrochemie (LFH, Prof. ██████)	51
7.3.1	Einleitung und Aufgabenstellung	51
7.3.2	Vorgehensweise	53
7.3.3	Tiefenabhängigkeit der Parameter	53
7.3.4	Zusammensetzung der Tiefengrundwässer	55
7.4	Zusammensetzung der Grubenwässer	56
7.4.1	Datenerfassung Grubenwässer	57
7.4.2	Auswertung der Analysen untertägiger Grubenwässer aus der Zeit der Bruchhohlraumverfüllungen	57
7.4.3	Vergleich mit den geogenen Hintergrundwerten	62
8	Freisetzungspotenzial anorganische Stoffe: Stand hydrochemische Modellierung (Prof. ██████)	63
8.1	Einleitung	63
8.2	Beschreibung und Darstellung der damaligen empirischen Untersuchungen und der Ergebnisse	64
8.3	Beschreibung des damaligen „Barriere- und Sicherungskonzepts“	64
8.4	Erste Bewertung der damaligen Untersuchungen, Ergebnisse und des Barriere- und Sicherungskonzeptes	65
8.5	Untersuchungskonzept Prof. ██████	65
8.5.1	Empirischer Forschungsansatz und chemisch-thermodynamisch basiertes Prozessverständnis	65
8.5.2	Aussagemöglichkeiten und Grenzen der chemisch-thermodynamischen Modellierungen	66
8.6	Aussagen zur Langzeitstabilität und zum Freisetzungspotenzial (v. a. für die Parameter Blei und Zink)	72
8.7	Gesamtbewertung des Freisetzungspotenzials	72

9	Ausbreitungspotenzial: Stand des Grundwasserströmungsmodells (delta h, Prof. ██████)	73
9.1	Modellkonzept Zweistufiger Aufbau	73
9.2	Fernfeld	75
9.3	Nahfeld	79
10	Prüfung von Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche (ahu AG)	80
10.1	Anlass und bisherige Ergebnisse	80
10.2	Vorhandenes Messnetz	82
10.3	Weiteres Vorgehen	83
11	Derzeitiger Kenntnisstand zum Zustand der Bruchhohlraumverfüllung im BW Haus Aden/Monopol (LFH, ██████)	84

ABBILDUNGEN:

Abb. 1:	Geschichte des BW Haus Aden/Monopol (Zeitschrift Steinkohle, Regio- Verlag)	3
Abb. 2:	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Risikoanalyse (Punkt (2) der Aufgabenstellung, vgl. Abschn. 1.2.3) (Quelle: delta h)	8
Abb. 3:	Aufbau und Inhalt des Gutachtens (Quelle: delta h)	10
Abb. 4:	Nachversatz aus dem Strebraum mit Schlepprohren (RAG Aktiengesellschaft 2013, verändert nach Jäger et al. 1991)	12
Abb. 5:	Schnitt durch den Strebraum: Aufbau eines Schildes mit Anschluss des Schlepprohres für die Bruchhohlraumverfüllung	13
Abb. 6:	Prinzipschnitt Bruchhohlraumverfüllung (Versatzgut in rot durch Verfasser ergänzt)	13
Abb. 7:	Lage der Bauhöhen und Bereiche mit Bruchhohlraumverfüllung im Flöz Grimberg 2/3, Baufelder E1, E2 und E3 des BW Haus Aden/Monopol	21
Abb. 8:	Geogener Gehalt an PAK (EPA, gesamt) verschiedener Kohlen (Quelle: Achten & Hoffmann 2010)	25
Abb. 9:	Graphische Veranschaulichung des Anteils des Bergbaus an der PCB- Nutzung (Quelle: Fiedler 2001)	28
Abb. 10:	Gesamtübersicht der Abbaue zwischen 1969 und 1985 in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2015)	32
Abb. 11:	Abbaue zwischen 400 bis 500 Meter (Quelle: RAG)	32
Abb. 12:	Abbaue zwischen 900 und 1.000 Meter (RAG 2015)	33
Abb. 13:	Abbaue zwischen 1.300 und 1.400 Meter (südl. Bergkamen, RAG 2015)	33
Abb. 14:	Aktuell zugängliche Grubenbaue in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2016)	36
Abb. 15:	Einzugsgebiet hinter dem Victoriadam (rot schraffiert) (Quelle: ahu AG, verändert nach RAG)	37

Abb. 16	Übersicht über die aktuell noch begehbaren Bereiche am Schacht Grimberg (Umtriebe) für die Auswahl der Probenahmen (2) bis (4) (Darstellung RAG)	37
Abb. 17:	Ablauf des Zulassungsverfahrens für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe/Abfälle als Versatz (Länderausschuss Bergbau 1996)	40
Abb. 18:	Auszug aus dem Bohrprofil am Schacht Grillo 4 (Sonderbetriebsplan 1995)	45
Abb. 19:	Vereinfachtes hydrogeologisches Profil Schacht Grillo 4 (ahu AG)	46
Abb. 20:	Vereinfachtes geologisches Profil (NNW-SSE) im Untersuchungsgebiet mit der Lage der Bruchhohlraumverfüllung (WBK 1990)	48
Abb. 21:	Tiefenabhängige Verteilung des pH-Wertes, BW Haus Aden/Monopol (gelb = nicht repräsentative Proben da zu hohe pH-Werte) (Quelle: LFH)	54
Abb. 22:	Tiefenabhängige Verteilung der Abdampfdruckstände für das BW Haus Aden/Monopol im Vergleich mit den mittleren Abdampfdruckständen für die Grubenwasseranalysen von Gb1, des Grundwassers von Consolidation (Schacht 4, 11. Sohle; 1.210 mNN) und dem berechneten Abdampfdruckstand des RAG-Wassers (gelb = nicht repräsentative Proben, da zu geringer Abdampfdruckstand) (Quelle: LFH)	54
Abb. 23:	Lage der Bauhöhen, Bereiche mit Bruchhohlraumverfüllung und Grubenwasserentnahmestellen im Flöz Grimberg 2/3, Baufelder E1 bis E3 des BW Haus Aden/Monopol	57
Abb. 24:	Vergleich der Metallionenkonzentration und deren Schwankungsbreite zwischen Tiefengrundwasser und Grubenwasser im BW Haus Aden / Monopol (Quelle: LFH) (Für die mit * markierten Metalle sind die von Wedewardt (1995) angegebenen Nachweisgrenzen dargestellt (blaue Säulen))	62
Abb. 25:	Grubenwasserstände und Übertrittsstellen in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2015)	73
Abb. 26:	Schematische Darstellung der Modellbereiche im Anfangszustand (Quelle: delta h). Das Nahfeld umfasst den unmittelbaren Bereich der BHV.	74
Abb. 27:	Gewässersystem (hellblau), Streckennetz (dunkelblau) und BHV (rot) (Quelle: delta h)	76
Abb. 28:	Lage des Grubengebäudes im Raum (Quelle: delta h)	77
Abb. 29:	Draufsicht inklusive Haupt-Störungssystem (Quelle: delta h)	78
Abb. 30:	3D-Ansicht mit Störungssystem (Quelle: delta h)	78
Tab. 21:	Parameter: Gebirgsdurchlässigkeiten und Porositäten der betrachteten Schichtenfolge im Nahfeld (Quelle: delta h)	79
Abb. 31:	Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche (verändert nach RAG)	80
Abb. 32:	Lage der Probenahmepunkte (Quelle: Krutz 2011)	81
Abb. 33:	Lage der Probenahmepunkte (Krutz 2011) und das vorhandene Messstellen-Inventar nach Angaben des Lippeverbandes	82

TABELLEN:

Tab. 1:	Termine bis 15.01.2016	7
Tab. 2:	Überblick über die Bauhöhen mit Bruchhohlraumverfüllung (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	18
Tab. 3:	Ursprung und Menge der nach dem Prinzip des vollständigen Einschusses in die Bauhöhen Grimberg 1, 2, 16, 17 und 31 eingebrachten Reststoffe (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	19
Tab. 4:	Verbrachte Reststoffe und RAA-Schlämme in den einzelnen Bauhöhen (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	19
Tab. 5:	Bandbreiten der Belastungen der verbrachten Reststoffe mit Schwermetallen und Chlorid (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	22
Tab. 6:	Verbrachtes Reststoffinventar im BW Haus Aden / Monopol (gem. Auswertung der Quartals- und Endberichte der RAG durch LFH, Prof. [REDACTED])	22
Tab. 7:	Massenbilanz der PCDF/PCDD/PCDF/D (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	26
Tab. 8:	Bandbreiten der Belastungen der verbrachten Reststoffe mit PCDD/PCDF (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	26
Tab. 9:	Nutzung von PCB in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1974 bis 1984 (in Tonnen) (Quelle: Fiedler 2001)	28
Tab. 10:	Mengen der im Steinkohlenbergbau in NRW und Saarland in den Jahren 1977 bis 1983 genutzten PCB-haltigen Betriebsmittel (in Tonnen) (Quelle: Deutscher Bundestag 1984)	29
Tab. 11:	Bandbreite von Belastungen von PCB und TCBT in Grubenwässern des Verbundbergwerks Haus Aden/Monopol (Zusammenstellung: LEK)	30
Tab. 12:	Nomenklatur Ton-/Kalksteinmischungsverhältnisse (grau: Auftreten im Untersuchungsgebiet)	47
Tab. 13:	Überblick über Durchlässigkeitsbeiwerte im Emscher Mergel (Gebirgsdurchlässigkeit)	47
Tab. 14:	Überblick über Durchlässigkeitsbeiwerte im Oberkarbon (Quelle: Paas 1997)	49
Tab. 15:	Mittlere Tiefengrundwasserzusammensetzung im BW Haus Aden/Monopol in den Teufen der Bruchhohlraumverfüllungen mit bergbaufremden Reststoffen (Der Mittelwert der einzelnen Parameter wurde aus 7 Proben aus Teufen von - 689 bis - 957 mNN nach Wedewardt, 1995 berechnet.)	55
Tab. 16:	Grubenwässer von BW Haus Aden/Monopol von Gb1 (1995 bis 1996, Datengrundlage: RAG)	59
Tab. 17:	Bandbreiten der Konzentrationen im Grubenwasser von Chlorid und ausgewählten Schwermetallen über den gesamten Verbringungszeitraum (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)	60
Tab. 18:	Aktuelle Grubenwasseranalyse aus BW Haus Aden/Monopol, Februar und März 2015 (Daten der RAG)	60

Tab. 19:	Modellkonzept	75
Tab. 20:	Benötigte Daten für den Aufbau des Modells	75
Tab. 22:	Probenahme und Ergebnisse (zusammengestellt nach Krutz 2011)	81

ANHANG: Unterlagenverzeichnis

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Alter Mann

Verlassener bergmännischer Grubenbau, z. B. im Bruchbauverfahren ausgekohelter Raum.

Bauhöhe

Zum Abbau durch einen einzelnen Streb vorgesehener Teil eines Flözes. Die Bauhöhen werden in der Regel nach den abgebauten Flözen benannt, z. B. Gb1 = Bauhöhe 1 im Flöz Grimberg.

Betriebsstörungen, besondere Vorkommnisse

Gemäß der bergrechtlichen Zulassung für die Bruchhohlraumverfüllung waren dem Bergamt Erkenntnisse und Ereignisse im Zusammenhang mit dem Betrieb der Reststoffverwertungsanlage, die den Umweltschutz, den Arbeits- und Gesundheitsschutz oder die Grubensicherheit berührten, unverzüglich zu melden.

Blindschacht

Ein Blindschacht ist ein vertikaler Grubenbau und dient der Verbindung von Sohlen eines untertägigen Bergwerks sowie dem Zugang zum Flöz; ein Blindschacht reicht nicht bis zur Erdoberfläche.

BR

Bezirksregierung

Bruchbau

Planmäßiges, dem Abbaufortschritt folgendes Zubruchwerfen der Dachsichten, wodurch den Gebirgsschichten oberhalb der entstandenen Bruchzone ein neues Auflager gegeben wird; im Bruchhaufwerk vorhandene Hohlräume werden durch den Überlagerungsdruck des Gebirges allmählich und fast vollständig wieder verschlossen.

BHV – Bruchhohlraumverfüllung

Aus bergtechnischen und/oder bergsicherheitlichen Gründen durchgeführtes hydraulisches Nachversetzen der beim Bruchbau im Bruchhaufwerk vorhandenen Hohlräume. Die Verfüllung erfolgte aus Mischungen von **Reststoffen** (Begriff gemäß AbfG 1986), ggf. **Zuschlagstoffen** (z. B. Portlandzement) und Wasser, so dass der Versatzstoff eine pastöse, pumpfähige Konsistenz hatte. Die erfolgte nach Maßgabe der vom Länderausschuss Bergbau herausgegebenen technischen Regeln für die Verwertung bergbaufremder Abfälle (LAB 1994 1996). Mit dem KrW-/AbfG ab 1996 wurden die Reststoffe als **Abfälle** bezeichnet. Das Versatzgut (pastöse Mischung) wurde durch Pumpenenergie sowie mithilfe der Schwerkraft in die Bruchhohlräume verpresst. Auf dem Bergwerk Haus Aden/Monopol kamen nur Reststoffe nach dem Abfallrecht und Flotationsberge nebst Wasser zum Einsatz.

BW

Bergwerk

Flotationsberge / Flotationsschlämme

Beim letzten Schritt der Steinkohlenaufbereitung absedimentierte, feinstkörnige, taube (kohlefreie) Gesteine. Es handelt sich in der Regel um stichfeste, aber nicht standfeste Schlämme

HMVA

Hausmüllverbrennungsanlage

IFM

Lehrstuhl und Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau, RWTH Aachen University (Prof. Dr. [REDACTED]).

Kongenere

Chemische Verbindungen, die durch ihren Ursprung oder ihre Struktur in enger Verbindung stehen.

LEK

Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle, RWTH Aachen University (Prof. Dr. [REDACTED]).

LFH

Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen University (Prof. Dr. [REDACTED]).

Nachversatz

Dem abbaubedingten Zubruchgehen der Dachschichten nachfolgendes planmäßiges Verfüllen der im Bruchaufwerk verbliebenen Hohlräume.

NHN

Normal Höhe Null

NRW

Nordrhein-Westfalen

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Schadstoffgruppe. Entsteht vielfach bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material oder durch petrogene Emissionen.

PCB

Die polychlorierten Biphenyle umfassen eine Gruppe von theoretisch 209 Kongeneren. Alles PCB basieren auf dem aromatischen Kohlenwasserstoff Biphenyl bei dem chemisch ein bis zehn Wasserstoffatome durch Chloratome substituiert sind. PCB ist sehr schlecht wasserlöslich, die Löslichkeit nimmt mit zunehmendem Chlorierungsgrad ab. Aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften (nicht brennbar, hoher Siedepunkt, hohe Viskosität, thermische Stabilität, chemische Resistenz) hatten PCB einen weit gefächerten Anwendungsbereich. Sie wurden bis in die 1980er Jahre vor allem in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren, in Hydraulikanlagen als Hydraulikflüssigkeit sowie als Weichmacher in Lacken, Dichtungsmassen, Isoliermitteln

und Kunststoffen verwendet.

PCB gehören zu den zwölf als „dreckiges Dutzend“ bekannten organischen Giftstoffen. Sie wurden durch die Stockholmer Konvention im Jahr 2001 weltweit verboten. Die hohe Persistenz (hohe chemische Stabilität) in der Umwelt führt dazu, dass sich PCB anreichert. PCB ist kaum abbaubar; erst bei Temperaturen über 1.000°C gelingt eine vollständige Verbrennung. Bei niedrigeren Temperaturen entstehen vor allem die hoch toxischen Furane und Dioxine.

PCDD/F

Zusammenfassende Abkürzung für polychlorierte Dibenzop-dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF). Das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin ist die toxischste Einzelverbindung der Gruppe der PCDD/F und wird auch als „Seveso-Gift“ bezeichnet. *Dioxin ist im allgemeinen Sprachgebrauch eine Sammelbezeichnung für chemisch ähnlich aufgebaute chlorhaltige Dioxine und Furane. Insgesamt besteht die Gruppe der Dioxine aus 75 polychlorierten Dibenzopara-Dioxinen (PCDD) und 135 polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF). Für die toxikologische Beurteilung der Dioxine sind zusätzlich die anderen 2,3,7,8 chlorierten Dioxine, beziehungsweise Furane relevant, die weitere Chloratome besitzen. Diese 17 Verbindungen (7 Dioxine, 10 Furane) werden für die Bewertung der Toxizität herangezogen und die toxische Wirkung als Toxizitätsäquivalent (TEQ) im Verhältnis zu der von 2,3,7,8 TCDD ausgedrückt (<http://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/dioxine>).¹*

RAA

Rauchgas-Abwasser-Aufbereitung

RAG

Ruhrkohle AG

Reststoffe

Abfälle gemäß AbfG (1986) wie (Elektro)filterstäube aus der Hausmüllverbrennung (trockene Anlieferung in Silofahrzeugen), Gipse aus der Rauchgas-Abwasser-Aufbereitung (RAA-Schlämme), Gießereialsande etc. Die Filterstäube haben ein hohes Gefährdungspotenzial aufgrund hoher Schwermetall- und PCDD/F-Gehalte.

Streb

Meist 100 bis 300 m langer, bis zu ca. 6 m breiter und durch Schildausbau offengehaltener Gewinnungsraum zwischen zwei Abbaubegleitstrecken, der quer zu seiner Längsrichtung vorrückt und in seiner Höhe der Flözmächtigkeit angepasst ist.

Strecke

Horizontaler oder leicht geneigter Grubenbau mit regelmäßigem Querschnitt; geneigte Strecken werden „Berg“ genannt (Flözberg, Gesteinsberg).

TCBT

Tetrachlorbenzyltoluolen, ehemals häufig unter dem Handelsnamen Ugilec 141 vertrieben.

¹ Alle Zitate sind durch kursive Schriftsetzung kenntlich gemacht.

TEQ/TE

Toxizitätsäquivalent. Summenwert der Produkte aus kongenerspezifischen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) und kongenerspezifischer Konzentration zur Darstellung einer der 2,3,7,8-TCDD-äquivalenten Belastungen.

Umtrieb

schachtnahe Strecken

Versatz

Verfüllen der Abbauhohlräume durch Eigen-/Selbstversatz (Bruchbau) oder durch zugeführten Fremdversatz.

Versatzgut

Material, mit dem die geschaffenen Abbauhohlräume bzw. bei Nachversatz die im Bruchaufwerk verbliebenen Hohlräume verfüllt werden.

Versatzbereich

Bereich, in dem durch Bergbau geschaffene Hohlräume planmäßig verfüllt werden, wobei verschiedene Versatzverfahren zum Einsatz kommen können.

WHO

Weltgesundheitsorganisation

1 EINLEITUNG

1.1 Entwurf des Zwischenberichtes und Berücksichtigung der Stellungnahmen

Im Entwurf des Zwischenberichtes (Stand 08.03.2016) werden die Ergebnisse der Bearbeitung seit der Beauftragung mit Datum 16.07.2015 bis Januar 2016 beschrieben. Der Zwischenbericht wurde am 14.03.2016 auf der Projekthomepage mit der Bitte um Stellungnahme innerhalb der nächsten 4 Wochen eingestellt. Bis zum 15.04.2016 gingen im MKULNV und bei der ahu AG folgende Stellungnahmen ein:

1. Prof. ■■■■■, 31.03.2016, 3 Seiten
2. BR Arnsberg, 3 Seiten
3. Stadt Gelsenkirchen, 06.04.2016, 1 Seite per E-Mail
4. BR Düsseldorf, 08.04.2016, 1 Seite per E-Mail
5. Dr. ■■■■■ 15.04.2016, 25 Seiten

Die Stellungnahmen sind auf der Projekthomepage dokumentiert.

In dem vorliegenden Zwischenbericht (Stand 01.06.2016) wurden die oben genannten Stellungnahmen wie folgt berücksichtigt:

1. Prof. ■■■■■ 31.03.2016, 3 Seiten
 - Eine Diskussion und Bewertung der Thesen von Prof. ■■■■■ erfolgt erst, nachdem ein Gespräch mit Prof. ■■■■■ stattgefunden hat.
2. BR Arnsberg, 3 Seiten
 - Die redaktionellen Anmerkungen der BR Arnsberg wurden berücksichtigt.
 - Die angesprochenen Daten aus den tiefen Grundwassermessstellen in der Kreide wurden beschafft und werden zzt. ausgewertet. Eine Darstellung und Bewertung der Ergebnisse erfolgt im Gutachten.
 - Es gibt eine Reihe von Hinweisen zu Abschn. 5.2.2 und den folgenden Kapiteln zum Thema PCB. Die Beschreibung des Einsatzes, der Dokumentation der PCB-haltigen Öle und die Bewertung der Ersatzstoffe (TCBT) im Bergbau wird nach Abschluss der zzt. laufenden Recherche überarbeitet und umfangreich ergänzt.
3. Stadt Gelsenkirchen, 06.04.2016, 1 Seite per E-Mail
 - Die Hinweise zur Probenahme und Bewertung werden bei den Empfehlungen zum Monitoring und bei der Abstimmung der weiteren Vorgehensweise beim AK PCB am 10.06.2016 berücksichtigt.

4. BR Düsseldorf, 08.04.2016, 1 Seite per E-Mail

- Die Anmerkungen der BR Düsseldorf wurden tw. bereits in diesen Zwischenbericht aufgenommen. Die Hinweise zu Tab. 15 und Tab. 18 werden im Gutachten berücksichtigt.

5. Dr. [REDACTED], 15.04.2016, 25 Seiten

- Eine juristische Bewertung des OVG-Urteils und der Vergleich mit anderen Untertagedeponien sind nicht Teil des Gutachterauftrages.
- Die Darstellung und Bewertung des Genehmigungsverfahrens der Bergbehörden erfolgt im Rahmen der Gutachtenbearbeitung.
- Eine geforderte Recherche der PCB-Hot Spots wurde begonnen.
- Es wird darauf hingewiesen, dass viele Bezüge zu Textstellen, Abbildungen und Tabellen in der Stellungnahme nicht auf der Version des Zwischenberichtes vom 08.03.2016 beruhen.

Weiterhin wurde die Tab. 16 aktualisiert.

1.2 Vorbemerkungen zu diesem Zwischenbericht

Der Zwischenbericht kann aufgrund der bisherigen kurzen Bearbeitungszeit (5 Monate) nicht alle Aspekte der Gutachtenbearbeitung darstellen. Er enthält im Wesentlichen die Beschreibung der Datengrundlagen, der Systemeigenschaften, des Gefährdungspotenzials und des Aufbaus der Modelle. Die weitergehende Systemanalyse inklusive der Modelle und die Beantwortung der zentralen Fragen sind in Bearbeitung. Die entsprechenden Ergebnisse werden Gegenstand des Gesamtgutachtens bzw. der Detailberichte sein (vorgesehene Abgabe: August 2016). Weitergehende Informationen zu einzelnen Aspekten sind auch in den Präsentationen und Protokollen der Sitzungen des Arbeitskreises auf der öffentlich zugänglichen Projekthomepage enthalten: <http://www.umweltauswirkungen-utv.de>.

Die Informationen zur Erstellung des Gutachtens wurden den Gutachtern im Wesentlichen von den Behörden, der RAG und dem Geologischen Dienst NRW zur Verfügung gestellt bzw. dort von den Gutachtern recherchiert. Zusätzlich wurden weitere nationale und internationale Quellen ausgewertet. Einige Untersuchungen wurden von den Gutachtern selbst durchgeführt bzw. initiiert. Die Quellen sind im vorliegenden Zwischenbericht in allen Fällen vermerkt. Soweit möglich wurden alle Informationen durch die Gutachter auf Plausibilität überprüft und die Bedeutung der Information für die Risikobetrachtung bewertet. Zitate sind unter der Quellenangabe kursiv dargestellt.

1.3 Anlass und Aufgabenstellung

1.3.1 Kurzer Überblick über die Geschichte des BW Haus Aden/Monopol

Das BW Haus Aden/Monopol ist mit BW Heinrich Robert und BW Radbod eines der drei Vorgängerbergwerke des BW Ost, das im Jahr 1998 aus diesen drei BW entstand (s. Abb. 1). Die drei BW haben ihrerseits eine lange wechselvolle Vorgeschichte, in deren Verlauf sehr oft Schachtanlagen umbenannt, getrennt, wiedervereint, stillgelegt, wieder geöffnet, umgebaut wurden, und deren Besitzverhältnisse nicht zuletzt nach dem Zweiten Weltkrieg auf Betreiben der Alliierten entflochten wurden.

Die Lage des BW Haus Aden/Monopol, von dem heute v. a. noch der Schacht Haus Aden 2, der Standort der Wasserhaltung, besteht, ist in Abb. 31 dargestellt. Hier ist auch die Lage des Schachtes Grillo 4 dargestellt, an dem die Mischanlage für die BHV stand und über den die aufbereiteten Versatzstoffe unter Tage gebracht wurden.

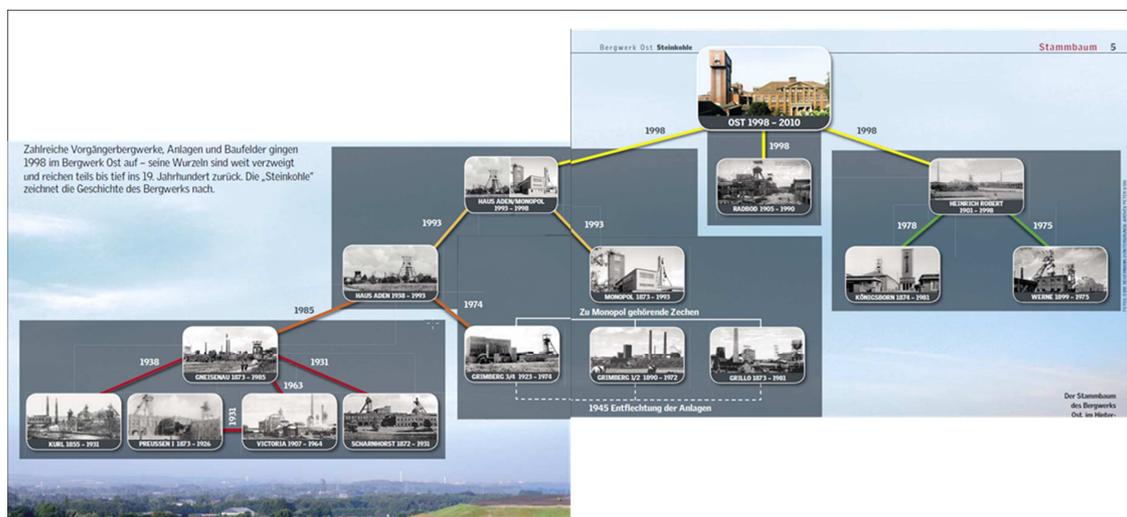


Abb. 1: Geschichte des BW Haus Aden/Monopol (Zeitschrift Steinkohle, Regio-Verlag)

1.3.2 Überblick über den Einsatz von Abfall-/Reststoffen in Steinkohlenbergwerken zu Versatzzwecken (Bruchhohlraumverfüllung)

Zwischen der Mitte der 1980er Jahre und dem Jahr 2006 wurden 1,6 Mio. t bergbau-fremde Abfälle (v. a. industrielle Massenreststoffe, Filterstäube und Rauchgasreini-gungsrückstände) in 11 Bergwerken (BW) des Ruhrgebietes als Versatz eingebracht. Es handelte sich nach den damaligen Genehmigungsgrundlagen (insb. Bundesberg-gesetz, Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkoh-lenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen, Technische Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Reststoffen/Abfällen als Versatz) und der Rechtspre-chung (Beschluss des OVG NRW vom 18.07.1997) nicht um eine abfallrechtliche Ab-

lagerung oder Einlagerung, sondern um eine Verwertung dieser Abfall-/Reststoffe (s. hierzu Kap. 6).

Das damalige Landesamt für Wasser und Abfall (LWA) ging im Jahr 1991 davon aus, dass jedes Jahr 3 bis 6 Mio. t Abfälle anfallen würden, die unter Tage verbracht werden könnten (LWA, S. I/79 Kurzfassung).

Von den 1,6 Mio. t Abfällen bzw. Reststoffen waren ca. 578.000 t *besonders überwachungsbedürftige Abfälle*² gemäß Abfallgesetz (AbfG 1986), die gemäß dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in drei Bergwerken zum Nachversatz genutzt wurden. Die *nicht überwachungsbedürftigen Abfälle* gemäß AbfG 1986, wie Aschen aus der Kohleverbrennung, wurden in acht Bergwerken nach dem Prinzip der immissionsneutralen Verbringung verbracht (ca. 1 Mio. t). Grundlage dieser Entscheidung waren seit Mitte der 1980er Jahre zahlreiche Studien, Großversuche und Gutachten, u. a. die sog. Basisgutachten.

1.3.3 Veranlassung

Anlass des Gutachtens war zunächst eine Stellungnahme im Auftrag eines Flächeneigentümers im Bereich der Stadt Bergkamen, in der Befürchtungen geäußert wurden, dass es zu Schadstoffausträgen aus der Versatzeinbringung kommen könne.

Aufgrund der zunehmenden Diskussion um den Verbleib der im Bergbau eingesetzten PCB wurde die Fragestellung dahingehend erweitert, inwieweit von den eingesetzten und in den BW verbliebenen PCB eine Gefährdung ausgeht. In den BW in NRW wurden zwischen 1969 und 1985 ca. 9.295 t PCB und strukturverwandte Stoffe eingesetzt, v. a. als schwer entflammbare Hydrauliköle (s. Abschn. 5.2.3). PCB haben ein großes Gefährdungspotenzial und sind seit dem Jahr 2001 weltweit verboten.

Ein weiterer Aspekt ist der von der RAG vorgelegte Entwurf des Grubenwasserkonzeptes. Mit der Beendigung des Bergbaus – für Ende 2018 ist die Schließung des letzten verbliebenen BW Prosper Haniel geplant – soll das Grubenwasser flächig bis auf ca. 600 m unter die Geländeoberfläche ansteigen. Der Grubenwasseranstieg steht allerdings unter dem Vorbehalt, dass vor Anstieg des Grubenwassers in PCB-belastete Bereiche der Grubengebäude – wenn aus technischen Gründen nicht unbedingt notwendig – die Ergebnisse der Risikobetrachtung durch das vorliegende Gutachten abgewartet werden sollen.

Das Gutachten ist in zwei Teile gegliedert: Im Teil 1 wird das BW Haus Aden/Monopol bearbeitet. Im Teil 2 werden diese Ergebnisse auf das BW Hugo/Consol und das BW Walsum übertragen. In diesen drei BW wurden Reststoffe nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses verbracht. Weiterhin werden im Teil 2 acht weitere BW untersucht, auf denen Reststoffe immissionsneutral verbracht wurden.

Der vorliegende Zwischenbericht bezieht sich ausschließlich auf den Teil 1.

Im Auftrag mit Datum vom 16.07.2015 wurde folgende Aufgabenstellung vereinbart.

² Alle Zitate sind durch kursive Schriftsetzung kenntlich gemacht.

- 1) Wie sind die Grundannahmen, die damals Basis der Entscheidungen waren, heute zu bewerten?
 - Prinzipien: vollständiger Einschluss und immissionsneutrale Verbringung
 - Eignung der Rest-/Abfallstoffe als Versatz
 - Umweltverhalten der Abfallstoffe und Nebengesteine
 - Einfluss des Anstiegs des Grubenwassers
 - Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt des Versatzes
- 2) Sind aktuell und künftig Gefährdungen insbesondere des Grund- und Oberflächenwassers im Einzugsbereich der Steinkohlenbergwerke zu befürchten? Welche Maßnahmen müssten ggf. ergriffen werden, um diesen zu begegnen?
- 3) Wie muss das Monitoring erweitert werden, um ggf. auftretende Gefährdungen frühzeitig zu erkennen?
- 4) Gibt es zusätzlichen Untersuchungsbedarf?
- 5) Prüfung von Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche (Bewertung vorhandener Gutachten)
- 6) Welches Risiko geht von PCB und von den Substituten aus?
 - Mobilisierbarkeit und mögliche Stofftransporte (Berücksichtigung des Entwurfs des Grubenwasserkonzepts der RAG)
 - Einträge in tiefe und flache Grund- und Oberflächengewässer
 - Grundlage: die vorliegenden Messprogramme und ggf. weitere Untersuchungen
 - Ist eine Anpassung des Monitorings erforderlich?

2 DATENGRUNDLAGEN UND DATENRECHERCHE

Zur Erstellung des Gutachtens ist eine Vielzahl von Unterlagen auszuwerten. Darüber hinaus sind Gespräche mit den am Prozess beteiligten Personen und Institutionen zu führen, da es über die schriftlichen Unterlagen hinaus weitere Informationen gibt.

2.1 Ausgewertete Unterlagen

Die gesammelten und teilweise bereits ausgewerteten Unterlagen sind im Anhang und auf der Projekthomepage mit dem Zwischenstand 14.03.2016 aufgeführt.

Für eine bessere Übersicht sind die Unterlagen nach folgenden inhaltlichen Kategorien unterteilt, für die jeweils die einzelnen Bearbeiter benannt sind:

- 1 Basisgutachten (Grundlage für Ausschreibung und Angebot)
- 2 Bruchhohlraumverfüllung und Grubenbaue (IFM, Prof. [REDACTED])
 - a. Projektspezifische Unterlagen
 - b. Relevante Gutachten
 - c. Fachliteratur
- 3 Hydrogeologie / Hydrochemie / Grubenwasser (ahu AG / LFH, Prof. [REDACTED])
 - a. Projektspezifische Unterlagen
 - b. Fachliteratur
- 4 PCB (LEK, Prof. [REDACTED])
 - a. Projektspezifische Unterlagen
 - b. Fachliteratur
 - c. Untersuchungsdaten PCB in Oberflächenwasser und Grubenwasser
- 5 Grundwasserströmungsmodellierung (delta h, Prof. [REDACTED])
 - a. Projektspezifische Unterlagen
 - b. Fachliteratur
- 6 Freisetzungspotenzial (Prof. [REDACTED])
 - a. Projektspezifische Unterlagen
 - b. Fachliteratur

Bei den „projektspezifischen Unterlagen“ handelt es sich i. W. um Gutachten, Stellungnahmen, Schriftverkehr und Darstellungen zu Vorbereitung, Durchführung, Begleitung und Nachsorge der Bruchhohlraumverfüllung. Sie sind i. W. in den verschiedenen Dienststellen des Landes archiviert.

Viele dieser Dokumente sind mehrfach, vollständig oder in Teilen vorhanden, eine zusammenfassende Übersicht besteht bislang nicht.

2.2 Termine

Die durchgeführten Termine zu Gesprächen und zur Sichtung von Unterlagen bis zum 15.01.2016 sind in der Tab. 1 enthalten.

Tab. 1: Termine bis 15.01.2016

	Datum	Teilnehmende des Gutachterkonsortiums	Inhalt
Sitzungen des Arbeitskreises			
AK 1	15.09.2015	s. Anl. 1 im Vermerk	Vorstellen der Mitglieder des AK, des Gutachterkonsortiums und der Vorgehensweise
AK 2	10.12.2015	s. Anl. 1 im Vermerk	Ergebnisse der Datenrecherche, erste Ergebnisse, Schwerpunktthemen: Gefährdungspotenzial und PCB
Ad-hoc-AK PCB 1	16.11.2015	s. Anl. 1 im Vermerk	Erfahrungen und Ergebnisse bei den aktuellen Grubenwasserbeprobungen
Datenrecherche			
BR Arnsberg	08.09.2015	Hr. Prof. █████, Hr. Dr. █████, Hr. █████, Hr. Dr. █████, Fr. █████, Hr. █████, Fr. █████	Aktenrecherche
	25.09.2015	Fr. █████, Hr. █████, Hr. █████	Aktenrecherche
	28.09.2015	Hr. █████	Aktenrecherche
	08.10.2015	Hr. █████	Aktenrecherche
	09.11.2015	Hr. █████	Aktenrecherche
	18.12.2015	Hr. █████	Aktenrecherche
RAG	10.09.2015	Hr. Dr. █████	Recherchen im Bergmännischen Risswerk
	06.-07.10.2015	Hr. Dr. █████	
	12.10.2015	Hr. Dr. █████	
	20.-21.10.2015	Hr. Dr. █████	
	03.-04.11.2015	Hr. Dr. █████	
	17.-18.11.2015	Hr. Dr. █████	
	01.-02.12.2015	Hr. Dr. █████	
	11.09.2015	Hr. Prof. █████, Hr. Prof. █████, Hr. Prof. █████, Hr. Dr. █████, Hr. Dr. █████, Fr. █████, Fr. █████	Übersicht über das Grubenwasserkonzept und die Datenlage zu PCB
	30.09.2015	Hr. Dr. █████	Übernahme der Daten Grubenwasser und PCB
	15.01.2016	Hr. Dr. █████, Fr. █████, Hr. █████	Betriebsakten Herne
GD NRW	07.09.2015	Hr. Dr. █████, Prof. █████, Frau █████	Übersicht über die vorhandenen Unterlagen
	24.09.2015	Hr. █████	Sichtung der Unterlagen

3 SKIZZIERUNG DER ARBEITSSTRUKTUR (RISIKOANALYSE)

Für den Teil 1 des Gutachtens wurde zunächst eine Betrachtung des BW Haus Aden/Monopol vereinbart. Die Lage des BW Haus Aden/Monopol in Bergkamen ist in der Abb. 31 verzeichnet.

In der 1. Sitzung des AK am 15.09.2015 war ein erster Überblick über die Vorgehensweise der Gutachter gegeben worden. In der Zwischenzeit wurde die Vorgehensweise weiter konkretisiert. Der Untersuchungsansatz des Gutachtens beinhaltet als wesentliche Bausteine eine hydrogeologische und hydrochemische Systembeschreibung, die Erfassung des Gefährdungspotenzials sowie Abschätzungen des Freisetzungspotenzials und des Ausbreitungspotenzials in das Umfeld der Bruchhohlraumverfüllungen bzw. darüber hinaus. Die Verknüpfung der Bausteine ermöglicht eine integrierte Risikoanalyse, auf deren Grundlage sich die gestellten Fragen hinsichtlich der Risiken, der notwendigen Maßnahmen und des zukünftigen Monitorings beantworten lassen (Abb. 2). Hierbei werden auch verschiedene Grubenwasserstände berücksichtigt.

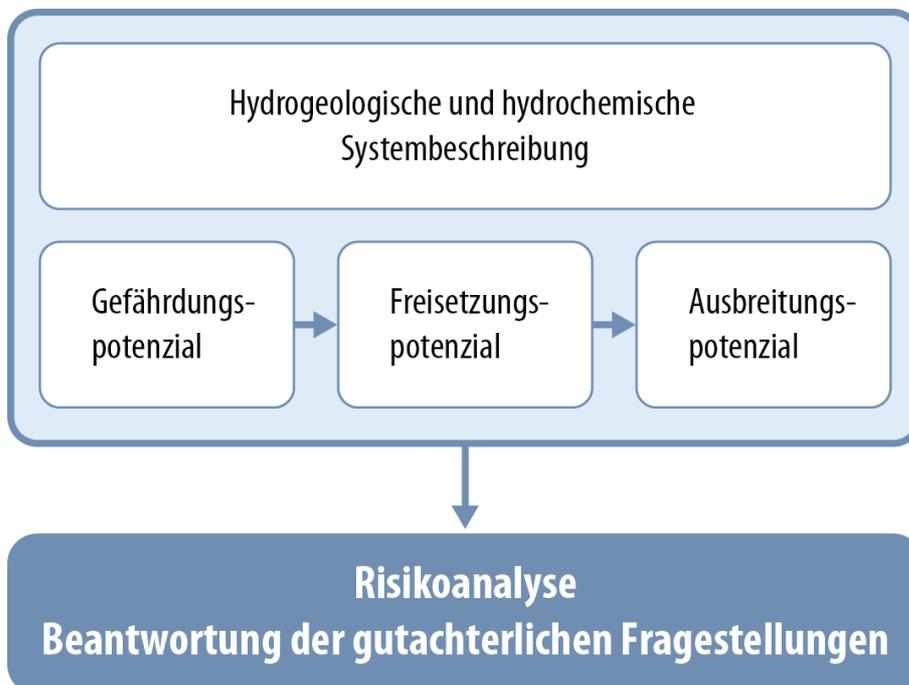


Abb. 2: Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Risikoanalyse (Punkt (2) der Aufgabenstellung, vgl. Abschn. 1.2.3) (Quelle: delta h)

Die **hydrogeologische und hydrochemische Systembeschreibung** zeigt den geologischen/hydrogeologischen Aufbau inkl. Störungen, die Eigenschaften der Schichten (z. B. Durchlässigkeit) sowie das Grundwasserfließsystem und die Hydrochemie. Die hydrogeologische und hydrochemische Systembeschreibung ist auch Grundlage für die Modellierung zur Abschätzung des Freisetzungspotenzials und für das numerische Modell zur Grundwasserströmung.

Zur Beschreibung des **Gefährdungspotenzials** werden Lage, Art, Mengen und Toxizität der verbrachten bzw. eingesetzten Stoffe beschrieben und in Beziehung gesetzt zu den bereits erfolgten oder geplanten Grubenwasserhaltungsmaßnahmen.

Die Frage, ob bzw. wie und über welche Zeiträume diese Stoffe in das Tiefengrundwasser freigesetzt bzw. mit dem Grubenwasser transportiert werden, ist Inhalt der Abschätzung des **Freisetzungspotenzials**. Wegen des unterschiedlichen Stoffverhaltens wird es gesondert für Schwermetalle, Dioxine und Furane, PAK sowie PCB betrachtet. Für die anorganischen Stoffe wird dabei ein über den damaligen empirischen Forschungsansatz hinausgehender Ansatz verfolgt, in dessen Mittelpunkt hydrogeochemische und chemisch-thermodynamisch basierte Modellierungen (PHREEQC) stehen. Es wird erwartet, dass dieser Ansatz auch eine (Neu-)Bewertung der damaligen Untersuchungen, Ergebnisse und des Barriere- und Sicherungskonzepts (inkl. Langzeitsicherungskonzept) ermöglicht.

Das **Ausbreitungspotenzial**, gesondert für gelöste und partikelgebundene Stoffe hinweg in das Nahfeld (< 50 m) und das Fernfeld (> 50 m) der Bruchhohlraumverfüllungen, wird mit Hilfe numerischer Grundwassersimulationen berechnet. Sie sollen u. a. darüber Aufschluss geben, wie schnell – vor allem in der Phase des Wiederanstiegs des Grubenwassers – die Sättigung erfolgt und inwieweit sich dann das Porenwasser im Nahbereich der untertäglich verbrachten Reststoffe austauscht. Ein weiterer Aufschluss wird darüber erwartet, ob und gegebenenfalls in welchem Zeitrahmen sich gelöste Stoffe über das Gebirge weiter ausbreiten. Aufgrund der Komplexität der bestimmenden Prozesse wird ein gekoppeltes Modellkonzept entwickelt: Das Fernfeld-Modell umschließt den Bereich des Grubengebäudes vollständig; das Nahfeld-Modell umfasst nur den Teilbereich des Fernfeld-Modells, der den untertäglich verbrachten Bruchhohlraumversatz beinhaltet. Beide Modelle, das Fernfeld-Modell und das Nahfeld-Modell, sind dreidimensionale Modelle und simulieren die Strömung des Grundwassers unter Berücksichtigung der Dichteschichtung. Auf der Grundlage des Quellterms aus den Berechnungen des Freisetzungspotenzials erfolgt die Stoffverteilung innerhalb dieser Modelle über einen Tracer-Transport. Mit beiden Modellen werden sowohl der Ist-Zustand (Anfangsbedingung für die weiteren Berechnungen) als auch die weiteren Flutungszustände berechnet.

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Bausteine sind Grundlage für die **integrierte System- und Risikoanalyse** in Bezug auf z. B. folgende Fragestellungen: Gibt es Wegsamkeiten von den tiefen Karbonschichten in darüber liegende Schichten? Wie wird sich das Grundwasserfließsystem durch den geplanten Grundwasseranstieg verändern? Welche hydrochemischen Prozesse (Neubildung, Umwandlung, Auflösung) erfolgen in der Bruchhohlraumverfüllung (BHV)? Wie verändern sich dadurch die Eigenschaften der BHV hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität (Durchlässigkeit, pH-Wert-Stabilität)? Ab wann und in welchem Maß wird die BHV durchströmt? Welche Wechselwirkungen wird es mit dem umgebenden Gestein geben? Und letztlich: Welche Frachten und Konzentrationen können in der zentralen Grubenwasserhaltung Bergwerk Haus Aden/Monopol erwartet werden?

Die Bearbeitung erfolgt durch sechs Projektpartner, deren fachliche Schwerpunkte in der Abb. 3 dargestellt sind. Die Federführung im Gesamt-Projekt hat die ahu AG inne.

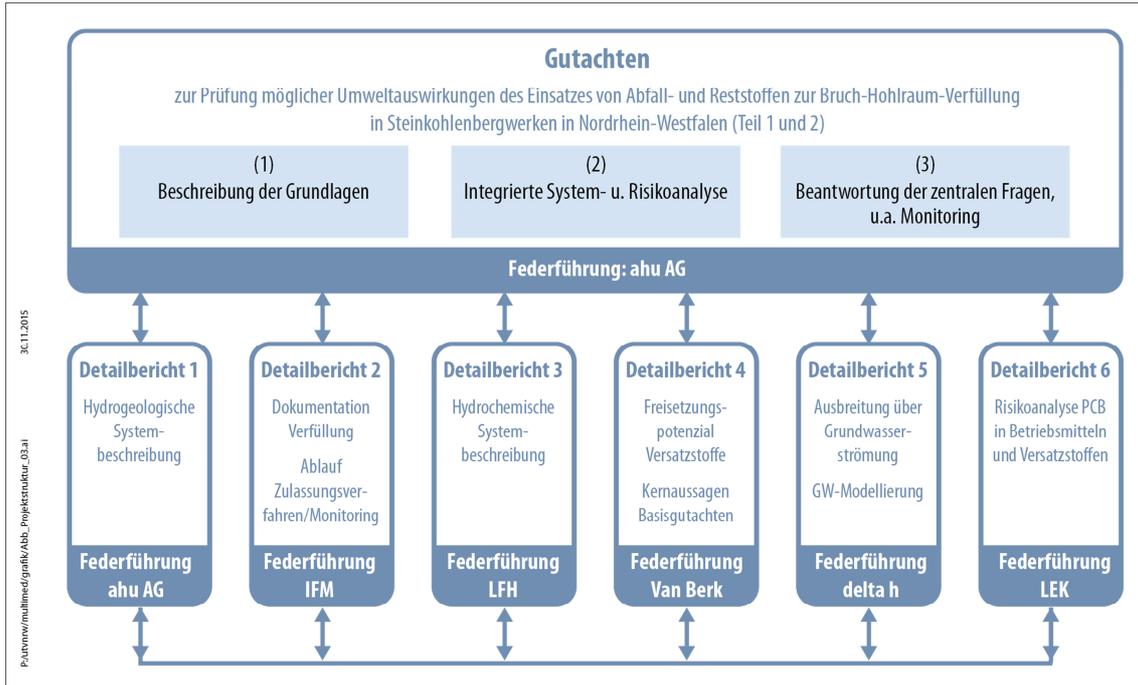


Abb. 3: Aufbau und Inhalt des Gutachtens (Quelle: delta h)

4 BRUCHHOHLRAUMVERFÜLLUNG (IFM, Prof. ██████████)

4.1 Abfallrechtliche Einordnung

in Bearbeitung

4.1.1 Immissionsneutrale Einbringung

in Bearbeitung

4.1.2 Vollständiger Einschluss

in Bearbeitung

4.2 Technischer Ablauf der Bruchhohlraumverfüllung

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Bruchhohlraumverfüllung zunächst nur für das BW Haus Aden/Monopol nach derzeitigem Kenntnisstand kurz beschrieben. Weitere Recherchen folgen.

Im Zuge der Entwicklung des Verfahrens zur Bruchhohlraumverfüllung wurden ab etwa Mitte der 1980er Jahre in Forschungslaboren und auf Bergwerken verschiedene anlagen- und materialtechnische Versuche durchgeführt. Bevor dann auf dem BW Haus Aden/Monopol besonders überwachungsbedürftige Reststoffe in Bruchhohlräume eingebracht wurden, erfolgte zunächst von August 1990 bis Juni 1991 im Rahmen eines bergbehördlich zugelassenen großtechnischen Versuchs die Einbringung von Flotationsbergen aus der Steinkohlenaufbereitung als Wasser-Feststoff-Gemisch in den Bruchhohlraum der Bauhöhe Gb6 (Bauhöhe 6 im Flöz Grimberg 2/3,) s. Abb. 7 und Kap. 5). Nach bisherigem Kenntnisstand waren in dieser Suspension keine besonders überwachungsbedürftigen Reststoffe enthalten. Nach weiterer bergrechtlicher Zulassung (s. Kap. 6) wurden von April 1993 bis Februar 1998 im Flöz Grimberg 2/3 besonders überwachungsbedürftige Reststoffe in die Bruchhohlräume der in der Abb. 7 dargestellten Versatzbauhöhen eingebracht. Hierbei handelt es sich im Vergleich zum gesamten Abbaubereich dieses Bergwerks um einen relativ kleinen Bereich.

Die für die Bruchhohlraumverfüllung benötigten technischen Einrichtungen wurden von der RAG im *Rahmenkonzept für die Verbringung von Gemischen aus Flotationsbergen sowie Flugaschen und -stäuben [...] und Rauchgasreinigungsrückständen [...] aus Hausmüllverbrennungsanlagen [...] zur Bruchhohlraumverfüllung vom 10.04.1991* beschrieben:

Die übertägige Anlage zur Herstellung der Wasser-Feststoff-Gemische mit hohem Feststoffanteil wurde vom Bergamt Kamen in einem Sonderbetriebsplan vom 25.08.1988 zugelassen.

Die Flotationsberge und die Schlämme aus der Rauchgas-Abwasserreinigungs-Anlage (RAA-Schlämme) wurden in Fahrzeugen angeliefert. Die feinkörnigen, pulverförmigen und trockenen Filterstäube aus den HMVA wurden in geschlossenen Silofahrzeugen angeliefert und mittels Druckluft über Schlauch- und Rohrleitungen in Silos vor Ort umgefüllt. Die Silos waren mit Abluftfiltern und Überblaseinrichtungen versehen. Die Mischstation mit den Silos stand unmittelbar östlich des Schachtes Grillo 4.

Gemäß der zuvor gewählten Rezeptur wurden die einzelnen Stoffe einem Chargenmischer zugeführt. Unter Zugabe von Wasser wurde das Wasser-Feststoff-Gemisch zu einer pastösen Masse angerührt. Diese Mischung wurde zunächst in einen Vorratsbehälter gepumpt. Von hier wurde es über eine Doppel-Kolbenpumpe der Schacht- und Streckenleitung zugeführt. Gemäß Tabelle 2 (Abschn. 5.1.1) lag der Anteil der Reststoffe am Wasser-Feststoff-Gemisch zwischen 34 und 80 %.

Im Schacht und in den Strecken erfolgte die Förderung über Rohrleitungen DN150/PN160. In den Streben wurden Rohrleitungen DN100/PN100 eingesetzt. Aus den Strebleitungen wurden 12 bis 18 m lange, im Abstand von 15 bis 20 m zwischen den Einheiten des Schildausbaus verlegte, in den Alten Mann hineinragende Schlepprohre beaufschlagt. Über diese Schlepprohre wurde die Suspension in den Bruchhohlraum eingebracht (Abb. 4, Abb. 5).

Als Förderenergie diente Pumpenenergie sowie der hydrostatische Druck in der Schachtleitung.

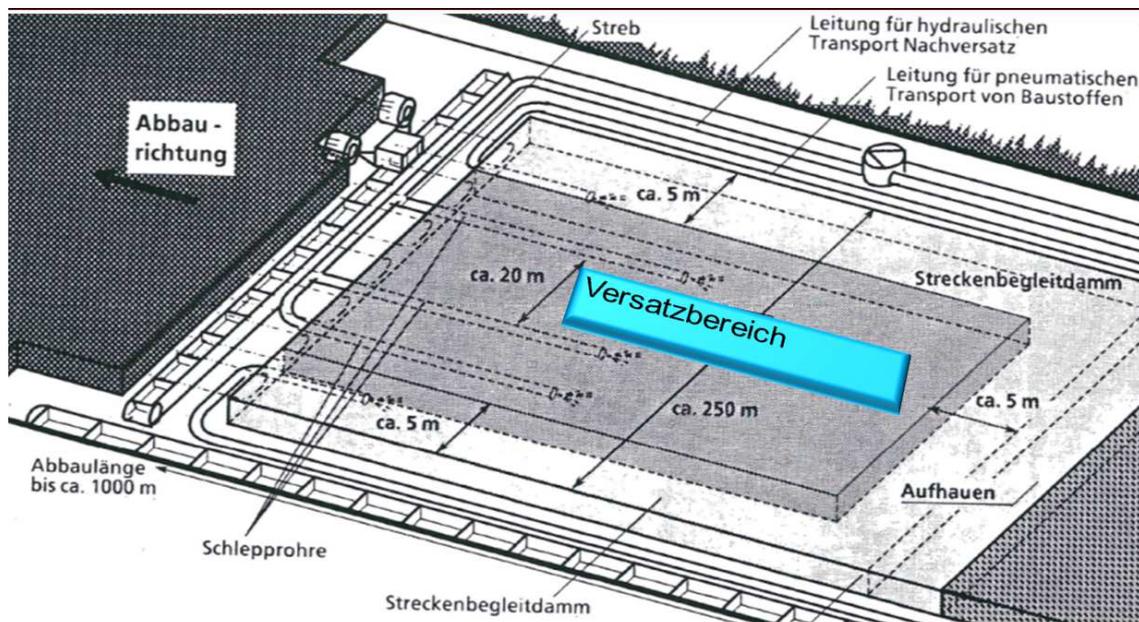
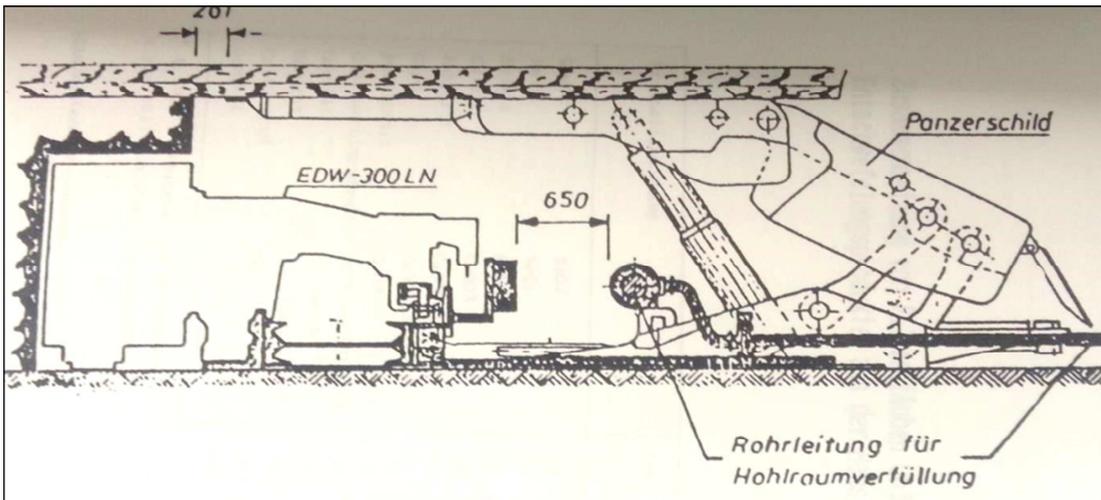


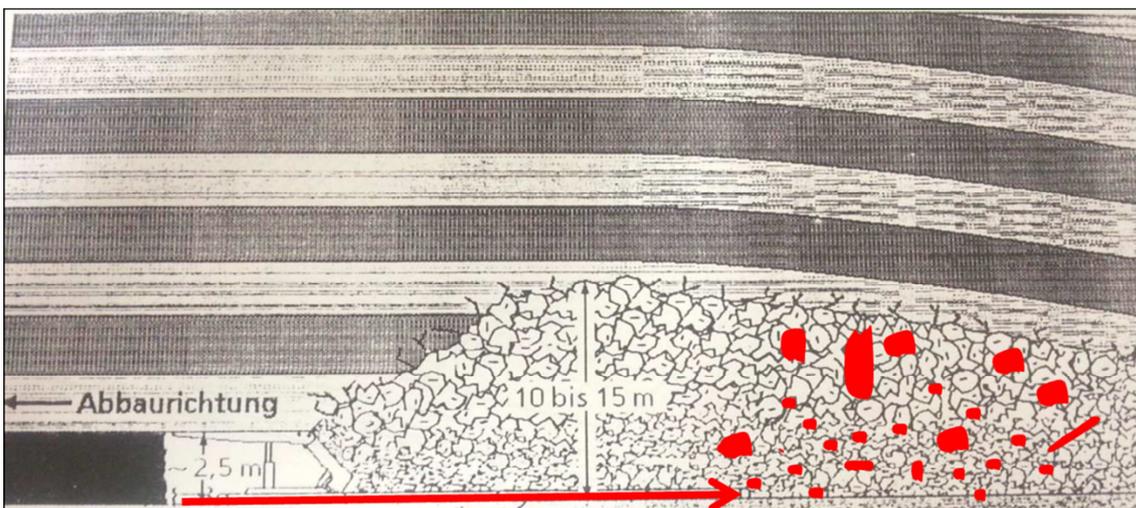
Abb. 4: Nachversatz aus dem Strebraum mit Schleppprohren
(RAG Aktiengesellschaft 2013, verändert nach Jäger et al. 1991)



Jäger et al. (1991): „Machbarkeitsstudie“, Bd. 4)



Abb. 5: Schnitt durch den Strebraum: Aufbau eines Schildes mit Anschluss des Schlepprohres für die Bruchhohlraumverfüllung



Jäger et al. (1991): „Machbarkeitsstudie“, Bd. 4)

Abb. 6: Prinzipschnitt Bruchhohlraumverfüllung (Versatzgut in rot durch Verfasser ergänzt)

Die in den Alten Mann eingebrachten Versatzmengen machten wenige Volumenprozent eines verbrochenen Bereichs aus (Abb. 6). In den Abschlussberichten wurden die erreichten verpressten Mengen mit 0,1 bis 0,5 m³ pro m² abgebauter Fläche angegeben. Bei einer Bruchzone mit einer Höhe von 10 m entspräche das einem Volumenanteil des Nachversatzes von 1 bis 5 %.

Bei einer bereits teilkompaktierten Bruchzone mit einer Höhe von 5 m entspräche das einem Volumenanteil des Nachversatzes von 2 bis 10 %. Dies ist für die spätere Betrachtung des Freisetzungspotenzials von Bedeutung und wird in diesem Zusammenhang ausführlich diskutiert.

Eine Auflistung und vorläufige Bewertung der eingetretenen Betriebsstörungen beim Versatz der Reststoffe ist im Kap. 11 enthalten.

4.2.1 Überwachung der Anlage (Mischstation)

Die Umweltauswirkungen der Mischstation über den Luftpfad wurden in den Jahren 1993 und 1995 in zwei Untersuchungskampagnen an zehn Flächen überprüft.

1. Vor Inbetriebnahme der Anlage wurde im Jahr 1993 durch die RW TÜV Anlagentechnik GmbH ein Immissionskataster Boden erstellt.
2. Die Untersuchungen wurden im Jahr 1995 an denselben Standorten wiederholt (GWS 1995).

In den oben genannten Untersuchungsberichten wurden – bis auf eine Fläche – keine flächenhaften Veränderungen bei den Schwermetallen sowie PCB und Dioxine/Furane festgestellt. Bei den PAK wurden von den damaligen Gutachtern auf drei Flächen punktuell erhöhte Werte bis max. 37 mg/kg festgestellt. Ein räumlicher Zusammenhang (flächige Ausbreitung über Schwebstaub) wurde vom damaligen Gutachter als nicht sehr wahrscheinlich erachtet.

Eine Begründung für die Veränderungen wurde letztlich nicht gegeben, da alle weiteren möglichen Emissionsquellen für diese Veränderungen nicht untersucht wurden.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ist die Untersuchung einer ggf. doch erfolgten Ausbreitung im Nahbereich der damaligen Mischungsstation am Schacht Grillo 4 über den Luftpfad nicht geplant.

4.3 Generelle Anforderungskriterien an eine Bruchhohlraumverfüllung

In der Machbarkeitsstudie (Jäger et al. 1991) wurden folgende Anforderungskriterien aufgestellt, die für die einzelnen BW und die Bauhöhen in Gutachten gesondert abzu prüfen waren (u. a. Prof. ■■■■■, Universität Bonn)³.

³ In der weiteren Bearbeitung des Gutachtauftrags werden die Anforderungen an die Kriterien genauer beschrieben und es wird die Einhaltung und Umsetzung dieser Kriterien im Teil 1 für das BW Haus Aden/Monopol überprüft und bewertet (u. a. Betriebspläne, damaliger begleitender Arbeitskreis, damalige begleitende Gutachten).

Allgemeine Anforderungen (Machbarkeitsstudie S. I/9)

- Schutz der Umwelt,
- Schutz der Lagerstätte,
- Schutz des Betriebes,
- Schutz der Belegschaft.

Spezielle Anforderungen zur Verbringung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses

Im Folgenden werden die sechs Anforderungen im Hinblick auf den Schutz der Umwelt beschrieben (in *kursiv*: Zitate aus der Machbarkeitsstudie, S. V/15, Abschn. V.2.2). Die Überschriften, quasi die Kurzform der Anforderung, stammen von den Autoren des Zwischenberichts.

Die bei diesem Prinzip zu erfüllenden Voraussetzungen betreffen in erster Linie die hydrologischen und geologischen Gegebenheiten am vorgesehenen Verbringungsort. Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand lassen sich diese wie folgt zusammenfassen, wobei auch hier eine Erweiterung des Zulässigkeitsbereiches als möglich erscheint, wenn und soweit durch entsprechende weiterführende Untersuchungen einschließlich in-situ-Tests das Vorhandensein der entsprechenden Voraussetzungen nachgewiesen werden kann.

1) Hydraulisches Einbringen

Nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse halten die Gutachter lediglich das hydraulische Verbringen von Materialien in die Strebhohlräume, vorzugsweise durch Verpumpen aus Schlepprohren gemäß der Skizze in den Abb. IV.1/11 und IV.1/12 [der Machbarkeitsstudie], und das Verbringen von Gebinden (gemäß Skizze in Abb. IV.3/1) oder ein hydraulisches Einbringen in Abbaubegleitstrecken bei sicherem Abschluss dieser Strecken gegen das übrige Grubengebäude, z. B. durch vollständiges Verfüllen (vgl. Abschnitt V.1.2 [der Machbarkeitsstudie]), für vertretbar unter den Aspekten sowohl der Umweltverträglichkeit wie der Arbeitssicherheit und -hygiene. Ob zu einem späteren Zeitpunkt auch andere Verbringungstechniken (z. B. pneumatische Verfahren) zugelassen werden können, muß den Ergebnissen entsprechender weiterführender Untersuchungen vorbehalten bleiben.

2) Ausreichende Selbstkompaktierung

Der Einlagerungsbereich muß innerhalb geeigneter Schichtenpakete eingerichtet sein. Der Anteil an tonigen Bestandteilen in den unmittelbaren Dachschichten muß hoch genug sein, um unter der Wirkung des nacheilenden Zusatzdruckes und des überlagernden Gebirgsdruckes eine ausreichende Kompaktierung des in den Selbstversatz eingebrachten Materials einerseits und eine vollständige Aufnahme des Transportwassers andererseits zu gewährleisten. Die Schichten des Haupthangenden müssen so beschaffen sein, daß sie sich nach Durchgang des Abbaus ohne makroskopische Bruch- oder Auflockerungserscheinungen auf den Selbstversatz bei quasi-plastischer Verformung aufliegen. Nach Überzeugung der Gutachter sind diese Gegebenheiten in

den Schichten des mittleren Karbons (Zollverein-Flözgruppe und Buchstaben- bzw. Namens-Flöze) als vorhanden anzusehen, im übrigen müssten sie jeweils nachgewiesen werden. Dies kann z. B. durch Vorlage eines für die vorgesehene Lokation zutreffenden Schichtenprofils mit Beschreibung der einzelnen Gebirgsschichten geschehen.

3) Mindestabstand zu der unteren und oberen Sohle

Die Hangend- und Liegendschichten müssen gegenüber den potenziellen Wasserwegsamkeiten (Gesteinsstrecken auf der oberen und der unteren Sohle) eine so große Mächtigkeit aufweisen, daß eine senkrechte Durchströmung auch im hydrologisch ungünstigen Fall der Phase 2a mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Nach Überzeugung der Gutachter ist hierfür zunächst ein Mindestabstand gegenüber der unteren Sohle von 20-25 m und gegenüber der oberen Sohle von ebenfalls 20-25 m vorzusehen. Ob dieser im Einzelfall unterschritten werden kann, muß dem Ergebnis weiterführender Untersuchungen und Modellrechnungen vorbehalten bleiben.

4) Teufe mindestens 800 m

Die Verbringung muß in die tieferen Stockwerke des Gebirgskörpers erfolgen, damit ein hinreichend hoher Überlagerungsdruck zur Verdichtung der in den Selbstversatz eingebrachten Materialien bzw. ein vollständiges, dichtes Umschließen der in den Abbaubegleitstrecken eingelagerten Gebinde erfolgt. Die Gutachter halten hierfür eine Teufe von mindestens 800 m für erforderlich.

5) Sicherheitsabstand zu potenziellen Wasserwegsamkeiten

Von allen potenziellen Wasserwegsamkeiten (Störungen, Schächten, Blindschächten) ist gemäß der Skizze in Abb. IV.4/1 [der Machbarkeitsstudie] ein so großer Sicherheitsabstand einzuhalten bzw. durch Abdämmen wieder herzustellen, daß ein Wasserdurchbruch mit Schadstoffaustrag mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Beispielsweise können insoweit die bergbehördlichen Vorschriften über die Bemessung von Schutz festem gegenüber Standwässern zur Dimensionierung herangezogen werden.

6) Ausreichende hydrogeologische Systemkenntnis

Die Verbringung darf nur in solche Feldesteilen vorgesehen werden, in denen aufgrund entsprechender Aufklärungsergebnisse das Vorhandensein unbekannter, potenzieller Wasserwegsamkeiten, z. B. auf Störungszonen, mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Möglichkeiten für solche hinreichende Aufklärungsmaßnahmen sind nach Meinung der Gutachter beispielsweise das Unter- oder Überbauen des für die Einlagerung vorgesehenen Bereiches in einem anderen Flözniveau, das Auffahren von entsprechenden Strecken, oder auch geophysikalische Methoden (Flözwellenseismik bzw. Durchschallung).

Es wurden weitere vier Anforderungen definiert, die während des Einbaus zu berücksichtigen waren und im Rahmen dieses Gutachtens nicht bewertet werden:

- 7) Sicherheit vor Durchströmung bei Wassereinbruch (während des Einbaus)
- 8) Berücksichtigung von Betriebsstörungen (während des Einbaus)
- 9) Arbeitsschutz bei Betriebsstörungen (während des Einbaus)
- 10) Arbeitsschutz (während des Einbaus)

5 STAND DER ARBEITEN BEI DER ERMITTLUNG DES GEFÄHRDUNGSPOTENZIALS IM BERGWERK HAUS ADEN/MONOPOL

5.1 Anorganische Schadstoffe (ahu AG, LFH)

5.1.1 Massenbilanzierung

Die Massenbilanzierung erfolgt anhand der Auswertung der Abschlussberichte bei der BR Arnsberg.

Hiernach wurden im BW Haus Aden/Monopol zwischen April 1993 und Februar 1998 167.087 t „bergbaufremde Abfälle“ eingelagert. Die bergbaufremden Abfälle setzen sich zusammen aus 62.289 t Reststoffen (v. a. Filterstäube aus HMVA) und wurden zusammen mit 105.478 t RAA-Schlämmen und Flotationsbergen sowie Wasser in unterschiedlichen Verhältnissen obertägig gemischt.

In dem von den Gutachtern vorzulegenden Detailbericht 1 (ahu AG) werden die angelieferten und verbrachten Reststoffe und deren Aufschlüsselung aus den jeweiligen Abschlussberichten dokumentiert werden. Hier sind auch Herkunft der Reststoffe aus den einzelnen HMVA und Mengen – soweit mit den verfügbaren Daten möglich – vermerkt.

Tab. 2: Überblick über die Bauhöhen mit Bruchhohlraumverfüllung (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Bauhöhe	Abbauzeitraum	Mittlere Tiefenlage (m unter NN)	Anteil Reststoffe an den Wasser-Feststoff-Gemischen (in %)
Gb1	1995-1996	ca. -815	35-80
Gb2	1992-1994	ca. -805	35-80
Gb6*	1990-1991	ca. -810	BHV-Betriebsversuch mit einer Suspension aus Flotationsbergen*
Gb16	1993-1995	ca. -890	50-80
Gb17	1995	ca. -915	50-80
Gb31	1996-1998	ca. -870	34-80

* Die Kriterien des vollständigen Einschusses waren nicht erforderlich, da es sich um bergbauliche Abfälle handelt.

Als Bruchhohlraumversatzstoffe wurden Filterstäube und RAA-Schlämme von 43 verschiedenen Erzeugern und Flotationsberge eingesetzt. Die Reststoffarten waren Reststoffschlüsselnummern zugewiesen. Filterstäube und RAA-Schlämme lassen sich hierbei hinsichtlich ihres Ursprungs entsprechend der Reststoffbestimmungs-Verordnung (1990) über Reststoffschlüsselnummern (RSN) in zwei bzw. drei Gruppen unterteilen (Tab. 3).

Durch die Zumischung der RAA-Schlämme und Flotationsberge sowie von Wasser wurde zum einen erreicht, dass die bergbaufremden Abfälle über Rohrleitungen in Suspension von pastöser Konsistenz und pumpbar waren; zum anderen sollte durch die Beimengung der RAA-Schlämme der Abbindeprozess unterstützt werden (*puzzolanische Eigenschaften bzw. Hydratationsfähigkeit*, LWA 1991, S. V/8).

Nach Aussage der BR Arnsberg hatten die Aschen eine Dichte von 1,0 g/cm³ und die Schlämme eine Dichte von 1,1 g/cm³. Deshalb entsprechen die Angaben im Risswerk (direkte Angabe in m³) ungefähr den Angaben in den Abschlussberichten der RAG (Angabe in t).

Tab. 3: Ursprung und Menge der nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in die Bauhöhen Grimberg 1, 2, 16, 17 und 31 eingebrachten Reststoffe (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

	RSN	Anzahl Zulieferer	Menge [t]	Ursprung
Filterstaub	31309	19	57.538	Filterstäube aus Abfallverbrennungsanlagen
	31312	7	4.794	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen
RAA-Schlamm	31613*	9	21.304	Gipsschlamm
	31620	10	78.942	Gipsschlamm mit schädlichen Verunreinigungen
	31314	1	2	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Feuerungsanlagen ohne Rea-Gipse
Flotationsberge	-	1	5.388	Bergwerk Prosper/Haniel
Summe			167.968**	

* Die RSN 31613 (Gipsschlamm) ist nicht in der Reststoffbestimmungsverordnung enthalten. Die Verwendung der RSN wird zzt. noch geprüft.

** Geringfügige Abweichungen zu Tab. 4 siehe Erläuterung im Text.

Tab. 4: Verbrachte Reststoffe und RAA-Schlämme in den einzelnen Bauhöhen (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Bauhöhe	Zeitraum	HMVA Filterstaub (t)	RAA-Schlämme (t)	Verbrachte Menge (t) gemäß Abschlussberichte	Verbrachte Menge (m ³) gemäß Risswerk
Gb1	1995-96	17.636	23.438	41.074	42.561
Gb2	1992-94	5.184	23.933	29.118	30.563
Gb16	1993-95	13.004*	16.974*	29.725*	29.296
Gb17	1995	11.105*	13.623*	24.302*	26.259
Gb31	1996-98	15.360	27.509	42.869	41.769
Summe		62.289	105.477	167.088	170.448

*Abweichungen in der Quersumme siehe Text

Tab. 4 zeigt eine Zusammenstellung der verbrachten Reststoffe und RAA-Schlämme in den einzelnen Bauhöhen. Bei den Bauhöhen 16 und 17 sind nach Angaben der Abschlussberichte jeweils *Bestände* von 253,35 t bzw. 426,75 t von der Summe der verbrachten Menge abzuziehen. In den Abschlussberichten ist dies die Differenz zwischen der angelieferten und der unter Tage verbrachten Menge. In Tab. 3 und Tab. 4 treten deshalb geringfügige Abweichungen zwischen den bilanzierten Mengen auf.

Eine Übersichtsdarstellung der Bruchhohlraumverfüllung zeigt die Abb. 7. Hier sind auf Grundlage umfangreicher Auswertungen des Risswerks dargestellt:

- Bauhöhen, in denen Reststoffe nach dem Prinzip vollständiger Einschluss eingebracht wurden;
- Bauhöhe Gb6: Im Rahmen eines BHV-Betriebsversuch wurde der Schwenkbetrieb Gb6 mit Flotationsbergen als Wasser-Feststoff-Gemisch beaufschlagt. Flotationsberge sind „nicht überwachungsbedürftige“ Rückstände aus der Steinkohlenaufbereitung;
- Abbauzeiträume;
- wichtige Strecken mit ihrer mittleren Tiefenlage;
- (Blind-)Schächte;
- Umrisslinien des Abbaus in zwei Flözen ca. 600 m unterhalb von Flöz Grimberg 2/3.

Die Bandbreite der anorganischen Belastungen der verbrachten Reststoffe auf Grundlage der Auswertung der Abschlussberichte bei der BR Arnsberg zeigen Tab. 5 (Eluate) und Tab. 6. Außer den in Tab. 5 dargestellten Parametern wurden im Eluat noch regelmäßig untersucht: CSB, Calcium, Mangan, Fluorid, Sulfat und Phosphat.

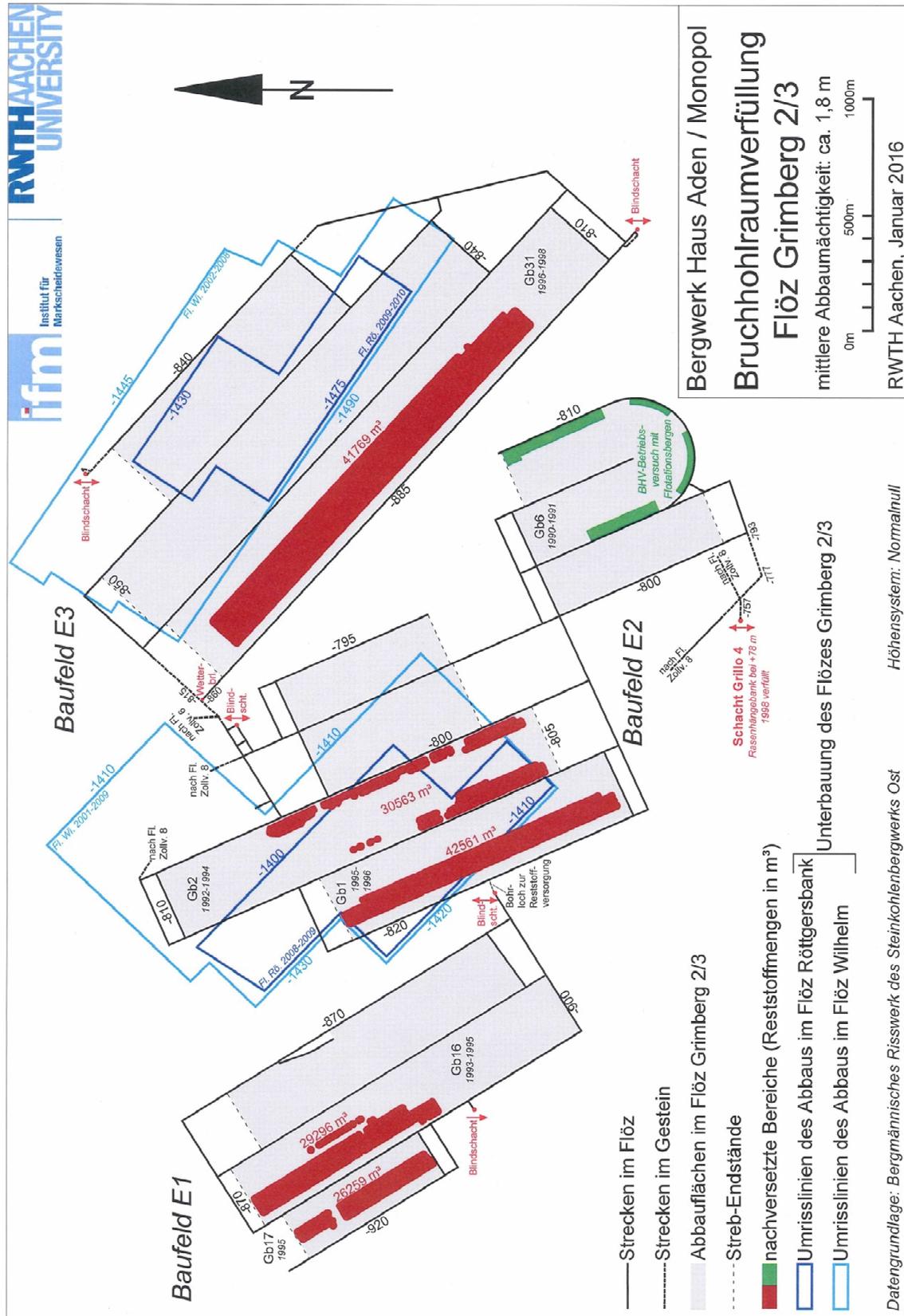


Abb. 7: Lage der Bauhöhen und Bereiche mit Bruchhohlraumverfüllung im Flöz Grimberg 2/3, Baufelder E1, E2 und E3 des BW Haus Aden/Monopol

Tab. 5: Bandbreiten der Belastungen der verbrachten Reststoffe mit Schwermetallen und Chlorid (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Bandbreiten – Konzentrationen im Eluat DEV S4*								
	Pb [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cu [mg/L]	Mn [mg/L]	Hg [mg/L]	Zn [mg/L]	Chlorid [mg/L]
Gb1	0,028 – 121	< 0,001 - 60	< 0,001 - 3,5	< 0,001 - 0,6	< 0,001 - 5,2	< 0,001 - 0,1	< 0,01 - 510	28 - 38.750
Gb2	0,019 – 78	< 0,001 - 0,014	< 0,001 - 0,914	0,003 - 0,2	< 0,001 - 0,014	< 0,001 - 0,002	0,085 - 9,1	1064 - 16340
Gb16	0,05 – 22	< 0,001 -35	< 0,05 - 2,6	0,014 - 0,1	< 0,001 - 6,8	< 0,001	0,03 - 411	17 - 9540
Gb17	0,051 – 177	< 0,001 - 0,197	0,003 - 1,5	< 0,001 - 0,388	< 0,001 - 0,014	< 0,001 - 0,007	0,05 - 3,6	41 - 26.840
Gb31	0,4 – 16	0,006 - 43	< 0,001 - 0,38	0,015 - 0,06	< 0,001 - 6,2	< 0,001 - 0,002	0,04 - 392	3970 - 29.160
Bandbreite Gesamt	0,028 – 177	< 0,001 - 60	< 0,001 - 3,5	< 0,001- 0,6	< 0,001 - 6,8	< 0,001- 0,1	< 0,01- 510	17- 38.750

* damalige Eluatuntersuchung gemäß DIN 38414 - DEV S4 (Feststoff-/Flüssigkeits-Verhältnis 1 : 10, Verwendung von destilliertem Wasser als Elutionsmittel, 24 Stunden Schütteln)

Die Tab. 6 zeigt das Stoffinventar für alle Bauhöhen. Hierbei wurden zunächst die drei Schwermetalle Blei, Cadmium und Zink ausgewertet, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie als besonders kritisch eingestuft worden waren, und die in großen Massen in den Reststoffen enthalten sind. In der Summe sind dies 1.743 t Schwermetalle, davon ist das meiste Zink (1.321 t, 76 %), gefolgt von Blei (403 t, 23 %) und Cadmium (19 t, 1 %). In der Regel waren das auch die einzigen Parameter, die im Feststoff untersucht wurden. Weitere Metalle wie Vanadium, Molybdän, Antimon, Barium, Strontium und Arsen wurden nur für die Bauhöhe Gb 2 im Zeitraum Juli 1993 bis Januar 1994 untersucht. Eine abschließende Bewertung der übrigen Schwermetalle und der Toxizität durch die Gutachter wird im Detailbericht 3 (LFH, Prof. █████) erfolgen.

Tab. 6: Verbrachtes Reststoffinventar im BW Haus Aden / Monopol (gem. Auswertung der Quartals- und Endberichte der RAG durch LFH, Prof. █████)

Parameter	Gb 1	Gb 2	Gb 16	Gb 17	Gb 31	Summe
	Masse i. Tr. [t]					
Blei	110	39	69	41	144	403
Cadmium	4	2	3	4	6	19
Zink	293	132	268	149	479	1.321
Summe	407	173	340	194	629	1.743

i. Tr. = in der Trockenmasse

Bei der Erfassung des Gefährdungspotenzials ist auch die damalige Nachweisgrenze zu berücksichtigen, die bei einigen Stoffen um ein Vielfaches höher als heute üblich war. Eine genauere Darstellung und Bewertung wird im Detailbericht 3 (LFH, Prof. ■■■) erfolgen.

5.1.2 Vorgehen zur Abschätzung des Reststoffinventars

Zur möglichst genauen Abschätzung der in den Bauhöhen verbrachten Blei-, Cadmium- und Zinkmassen wurden die vorliegenden Filterstaubanalysen (Königswasseraufschluss) und die Auflistung der verbrachten Filterstaub-Massen aus den Abschlussberichten verwendet. Die Berechnung der verbrachten Massen an Pb, Cd und Zn erfolgte für jede Ursprungslokalität bzw. für jeden Erzeuger einzeln. Die Verknüpfung von Analytik und verbrachter Filterstaub-Masse erfolgte über die im Analyseprotokoll und in der Mengenaufstellung genannten Erzeugernummern. Zum Teil lag jedoch in machen Analyseprotokollen keine Erzeugernummer vor. In diesen Fällen erfolgte die Zuteilung über den Ursprungsort. In einem Einzelfall wurde zusätzlich zur Erzeugernummer noch zwischen „Filterstaub“ und „Gemisch“ unterschieden. Lagen mehrere Analysen für einen Erzeuger vor, so wurden die Ergebnisse der Analytik gemittelt.

Die Berechnung der verbrachten Masse an Pb, Cd und Zn erfolgte nach:

$$x \frac{mg_{Blei}}{kg_{Filterstaub}} \times y \text{ kg}_{Filterstaub} = z \text{ mg}_{Blei}$$

x: gemessene Konzentration [mg/kg]

y: verbrachte Filterstaub-Masse [kg] bzw. [t]

z: verbrachte Masse an Pb [mg] bzw. [t]

Bislang fehlen die Massenangaben für Pb, Cd, Zn und andere Inhaltsstoffe, welche ggf. mit dem RAA-Schlamm eingebracht wurden, da hierzu keine Protokolle in den Abschlussberichten vorliegen. Hierzu laufen zzt. Literaturlauswertungen, die im Detailbericht 3 (LFH, Prof. ■■■) dargestellt werden.

5.1.3 Weiteres Vorgehen Massenbilanzierung und Bewertung des Gefährdungspotenzials anorganische Schadstoffe

Die analogen Daten aus der Machbarkeitsstudie (Jäger et al. 1991) und die Analysen der Versatzmaterialien bei der Verbringung (Abschlussberichte von BW Haus Aden/Monopol) wurden digitalisiert (Excel-Tabellen), damit die Daten einer erweiterten Auswertung unterzogen werden können.

Ergänzend läuft derzeit eine Literaturrecherche zu den im Zeitraum der Verbringung durchgeführten wissenschaftlichen Studien, bei denen die Eignung der Reststoffe (auch Bergematerial) als sekundäre Rohstoffe (z. B. in der Baustoffindustrie) und u. a. die hydraulischen und puzzolanischen Eigenschaften der verbrachten Versatzmaterialien untersucht wurden. Ziel ist es, durch zusätzliche Daten hinsichtlich chemisch-mineralogischer Zusammensetzung, Korngröße, Hydratationsverhalten und Festig-

keitsentwicklung für die thermodynamischen Modellrechnungen und das Mobilitätsverhalten genauere Annahmen treffen zu können (s. auch Kap. 8).

Für die Betrachtung des Gefährdungspotenzials reicht die Kenntnis der absoluten Massen an Schadstoffen nicht aus. Hier sind noch zu berücksichtigen:

- ökotoxische Wirkung,
- Löslichkeit,
- Prozesse, die zu einer Mobilisierung und Rückhaltung führen.

Diese Informationen sind im Hinblick auf ein effizientes Monitoring von Bedeutung.

Dazu wird momentan eine Literaturrecherche hinsichtlich der Stoffmobilität durchgeführt. Die ermittelten Informationen werden in einem nächsten Schritt mit den Angaben und Annahmen der Machbarkeitsstudie verglichen.

5.2 Organische Schadstoffe (LEK, Prof. ██████████)

5.2.1 Massenbilanzierung organischer Schadstoffe im Versatz

Die in den Abschlussberichten dokumentierten organisch-chemischen Reststoffanalysen wurden von der RW TÜV Anlagentechnik GmbH und der Ruhr Analytik durchgeführt. Hierbei wurden ausschließlich Proben von Filterstäuben (RSN 31309, 31312) untersucht, Analysen zur Gruppe der RAA-Schlämme liegen nicht vor. Für die in den Bauhöhen Gb1, Gb16, Gb17 und Gb31 eingebrachten Materialien liegen quantitative Ergebnisse für die Gruppe der PCDD/F (polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD) / polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)) vor. Diese Analysen wurden chargenscharf für Filterstäube aus verschiedenen Verbrennungsanlagen durchgeführt. Durch diese detaillierte Beprobung wurden zwischen 86 und 100 % der in Summe eingesetzten Filterstäube hinsichtlich der PCDD/F quantitativ charakterisiert.

Eine systematische Analyse auf weitere organische Schadstoffe erfolgte nicht. Die auf der Bauhöhe Gb2 versetzten Materialien, wurden neben PCDD und PCDF singularär auch auf die polychlorierten aromatischen Kohlenwasserstoffe Fluoranthen, Benz(b)fluoranthen, Benz(k)fluoranthen, Benz(a)pyren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benz(g,h,i)perylen (PAK) untersucht. Die Ergebnisse für alle Einzelstoffe lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von < 100 µg/kg TS. Weitere Angaben zu organischen Inhaltsstoffen in beaufschlagten BHV-Bereichen liegen nicht vor.

Massenbilanz für die Stoffgruppe PAK

Die Abb. 8 zeigt dass die Steinkohlen aus Deutschland einen sehr hohen geogenen Gehalt an PAK aufweisen. 1 kg Steinkohle enthält ca. 100 mg PAK (EPA). Bei Betrachtung der gesamten PAK sind dies ca. 1.000 mg/kg.

Wie dies im Vergleich zu den möglichen PAK-Gehalten in den Reststoffen zu bewerten ist, wird im Detailbericht 6 (LEK, Prof. ██████████) beschrieben werden.

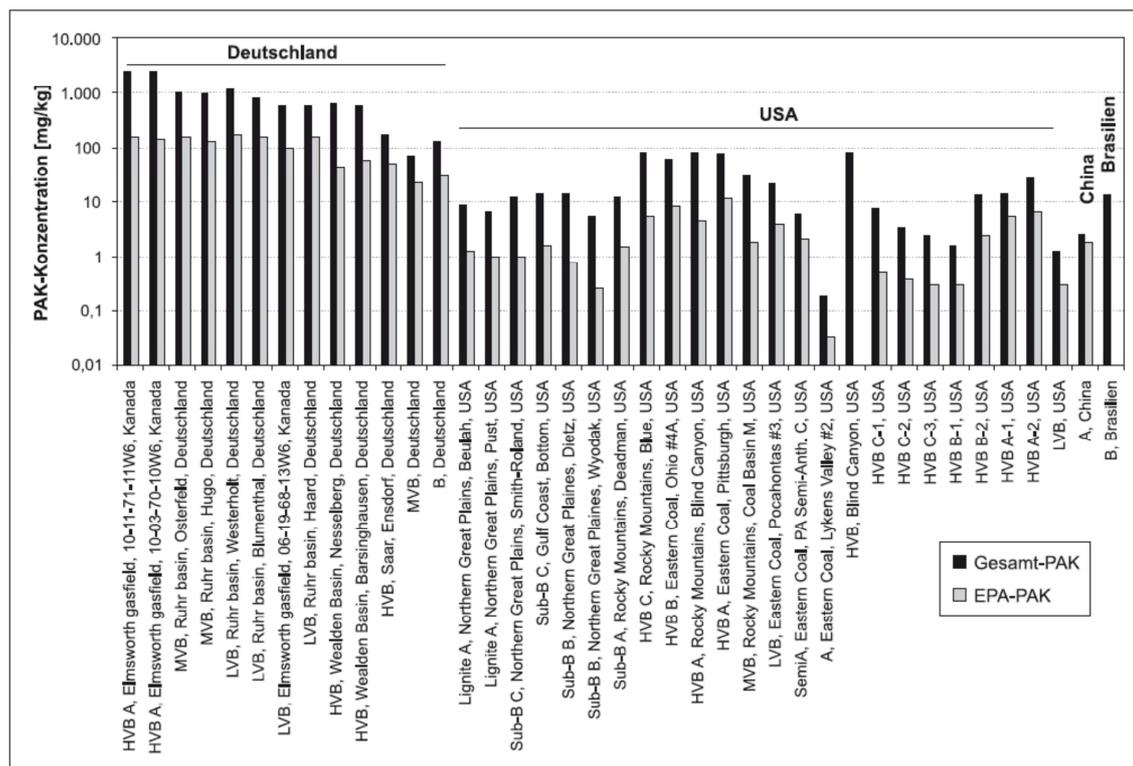


Abb. 8: Geogener Gehalt an PAK (EPA, gesamt) verschiedener Kohlen (Quelle: Achten & Hoffmann 2010)

Massenbilanz für die Stoffgruppe der Dioxine und Furane

Auf Grundlage der von der RAG zur Verfügung gestellten Abschlussberichte lässt sich für das Bergwerk Haus Aden/Monopol eine Massenbilanz für die Stoffgruppe der Dioxine erstellen. Demnach enthalten die Reststoffe insgesamt eine Gesamtmenge von rund 7,2 kg PCDD/F (Tab. 7). Dies entspricht – unter Berücksichtigung der in den damaligen Abschlussberichten verwendeten kongenerenscharfen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF, Bundesgesundheitsamt 1984) – einer toxikologischen Wirkung von ca. 110 g an 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin, der toxischsten Einzelverbindung der Gruppe der PCDD/F. Eine Berechnung mit den im Jahr 2005 von der WHO veröffentlichten Toxizitätsäquivalenzfaktoren (Van den Berg et al. 2006) zeigt einen leicht höheren summarischen Toxizitätsäquivalenzwert von 122 g (TEQ).

Die aus den Analysen ableitbaren Kongenerenmuster und Anteile einzelner Chlorierungsgrade variieren für die unterschiedlichen Filterstäube sehr stark. Durch Vermengung der einzelnen Filterstaub-Chargen vor ihrem Einsatz als BHV ist kein quellenspezifisches Kongenerenmuster mehr ableitbar. Eine Zuordnung möglicher PCDD/F-Emissionen zu den Emissionsquellen bzw. individuellen Filterstäuben oder auch zu zugehörigen verfüllten Strecken durch Kongenerenmuster-Erkennung wird nicht möglich sein.

Die Bandbreite der Belastungen der verbrachten Reststoffe mit Polychlorierten Dibenz-p-dioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF) ist in der Tab. 8 dargestellt. Eine detaillierte Darstellung mit chargenspezifischen Angaben wird im Detailbericht 6 (LEK, Prof. ██████████) erfolgen.

Tab. 7: Massenbilanz der PCDF/PCDD/PCDF/D (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Strecke	Abfall	analysierter Reststoffversatz		Reststoffversatz gesamt [t]	PCDF [g]	PCDD [g]	PCDF/D [g]	TEQ ^a (nach: WHO, 2005) [g]	
		%	[t]						
GB1	Filterstaub	99,89	17.616	17.635	960,67	1.123,15	2.083,83	33,03	
GB2	Filterstaub	100,00	5.228	5.184*	414,63	870,00	1.284,63	12,14	
GB16	Filterstaub	97,54	12.684	13.004	652,88	560,15	1.213,03	27,73	
GB17	Filterstaub	97,49	10.827	11.106	744,71	1.002,32	1.747,03	36,04	
GB31	Filterstaub	85,67	13.159	15.360	523,56	368,49	892,05	13,55	
62.289					Summe		7.220,57	122,49	

* Die Differenz zwischen gesamtem und analysiertem Reststoffversatz ist in dem Abschlussbaubetrieb GB16 mitverwertet worden.

Die Bandbreite der PCDD/PCDF-Belastungen in den einzelnen Bauhöhen ist in der Tab. 8 nach den einzelnen Berechnungsverfahren der TEQ (NATO/CCMS-TEQ BGA/UBA-TEQ) ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenze (NWG) dargestellt. Die große Spannweite erklärt sich wahrscheinlich durch die verschiedenen Anlieferer.

Tab. 8: Bandbreiten der Belastungen der verbrachten Reststoffe mit PCDD/PCDF (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Bandbreiten – Konzentration in Feststoffproben		
	Analyse Dioxine NATO/CCMS-TEQ (Ohne NWG) [µg/kg TS]	Analyse Dioxine BGA/UBA-TEQ (Ohne NWG) [µg/kg TS]
Gb1	0,013 bis 42,1	0,014 bis 37,6
Gb2	0,046 bis 13,0	0,05 bis 13,9
Gb16	0,18 bis 6.462	0,19 bis 5.686
Gb17	0,0007 bis 13,84	0,0008 bis 13,54
Gb31	0,27 bis 3,25	0,182 bis 2,69
Spannweiten gesamt	0,0007 bis 6.462	0,0008 bis 5.686

5.2.2 Hintergrundinformationen zum Einsatz von PCB-haltigen Betriebsmitteln im Bergbau in NRW

Zur Menge der genutzten PCB-haltigen Hydraulikflüssigkeiten für den untertägigen Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen liegt ein Dokument des Deutschen Bundestages (1984) vor sowie Informationen der RAG zur Historie der genutzten Betriebsmittel und zu den Abbauen zur Zeit der PCB-Nutzung in der Wasserprovinz Haus Aden/Monopol. Zusätzliche Informationen zur Menge genutzter PCB in Deutschland liegen aus Fiedler (2001) sowie De Voogt & Brinkman (1989) vor.

Aus Sicherheitsgründen wurden seit dem Jahr 1960 im Untertagebergbau in der Bundesrepublik Deutschland statt den bis dahin üblichen Mineralölen schwer entflammbare Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt (Gebhardt et al. 1974; RAG 2015), die alle bergrechtlich zugelassen wurden. Die in den Jahren 1964 bis 1984 eingesetzten schwer entflammbaren Hydrauliköle enthielten polychlorierte Biphenyle (PCB). In den Maschinen der Ruhrkohle AG (RAG) wurden PCB-haltige technische Hydrauliköle der Gruppe HFD eingesetzt (RAG 2015). Im Jahr 1984 waren die PCB-haltigen Hydraulikflüssigkeiten Elaol VI der Bayer AG, Leverkusen sowie BP Olex SF-D 0204 der Deutschen BP AG, Hamburg zugelassen (Deutscher Bundestag 1984).

Im Zeitraum 1984 bis 1986 wurden PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten durch PCB-freie Betriebsmittel ersetzt (RAG 2015). Der Import PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten für den Bergbau wurde in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1988 endgültig gestoppt (Füll 2001). Ab 1984 wurden TCBT-haltige Betriebsmittel in den Steinkohlenbergwerken der RAG eingesetzt. Diese enthielten ein technisches Gemisch von Tetrachlorbenzyltoluolen (TCBT), welches häufig unter dem Handelsnamen Ugilec 141 vertrieben wurde. Ugilec 141 hat ganz ähnliche technische Eigenschaften wie die zuvor eingesetzten PCB-haltigen Betriebsmittel. Die HFD-Flüssigkeiten Hydrocor 25-A 3 der Firma Theunissen GmbH, Wuppertal und BP Olex SF-D 0207 der Firma Deutsche BP AG, Hamburg enthielten TCBT und waren ab Juli 1984 zur Verwendung im Untertagebergbau zugelassen (Deutscher Bundestag 1984). In den Jahren 1989 bis 1992 erfolgte der Austausch von TCBT-haltigen Betriebsmitteln in den Betrieben der RAG, seit 1993 gibt es keine bergrechtliche Genehmigung für die Nutzung von Ugilec mehr (RAG 2015).

Während in den Jahren 1955 bis 1959 insgesamt weniger als 10.000 t in Deutschland produziert wurden, stieg die Produktion von PCB ab 1960 stark an und erreichte ihren Höhepunkt in den 1970er Jahren. Ab 1980 wurden geringere Mengen PCB produziert. Die PCB-Produktion bei der Bayer AG, Leverkusen wurde im Jahr 1983 eingestellt (De Voogt & Brinkman 1989). Während PCB im Jahr 1974 noch in großen Mengen als Isolieröle in Kondensatoren und Transformatoren genutzt wurden, ging der Anteil der für diese Zwecke genutzten PCB bis 1984 stetig zurück. Dagegen stieg der Anteil der für den Bergbau genutzten PCB an. Die zwischen 1974 und 1984 für den Kohlenbergbau genutzten PCB-Mengen sind bei Fiedler (2001) mit 607 bis 1.587 t jährlich angegeben. Dieselben Zahlen sind in Abb. 9 noch einmal grafisch dargestellt:

Tab. 9: Nutzung von PCB in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1974 bis 1984 (in Tonnen) (Quelle: Fiedler 2001)

Jahr	Kondensatoren	Transformatoren	Kohlebergbau	Gesamt
1974	1075	1130	871	3.076
1975	752	1656	818	3.226
1976	649	1125	930	2.704
1977	637	740	967	2.344
1978	446	590	1.158	2.194
1979	306	392	1.361	2.059
1980	253	334	1.587	2.174
1981	113	305	1.350	1.768
1982	30	318	1.482	1.830
1983	6	40	1.241	1.287
1984	--	--	607	607
Summe 74-84	4.267	6.630	12.372	23.269

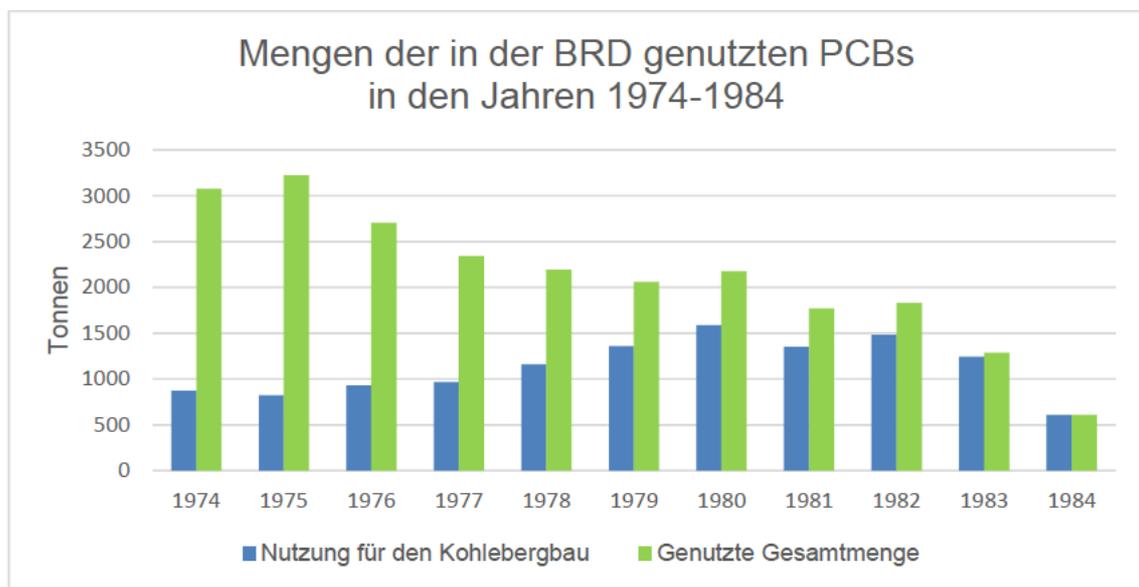


Abb. 9: Graphische Veranschaulichung des Anteils des Bergbaus an der PCB-Nutzung (Quelle: Fiedler 2001)

Tab. 10: Mengen der im Steinkohlenbergbau in NRW und Saarland in den Jahren 1977 bis 1983 genutzten PCB-haltigen Betriebsmittel (in Tonnen)
(Quelle: Deutscher Bundestag 1984)

Jahr	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Summe
NRW	1.200	1.250	1.335	1.400	1.460	1.400	1.250	9.295
Saarland			226	321	311	358	356	1.572

Die im Jahr 1984 von den zuständigen Landesministerien angegebenen Zahlen für die im Steinkohlenbergbau im Zeitraum 1977 bis 1983 in Nordrhein-Westfalen und im Saarland genutzten PCB-Gesamt mengen (Tab. 10: 10.867 t) sind etwas höher als die bei Fiedler (2001) angegebenen Mengen im gleichen Zeitraum (Tab. 9), da möglicherweise unterschiedliche Datenquellen ausgewertet wurden. Für den Zeitraum vor 1977 wurden von den zuständigen Landesministerien keine Angaben gemacht.

In Nordrhein-Westfalen wurden ca. 85 % der bergbaulich genutzten PCBs im Untertagebetrieb verbraucht, ca. 10 % in Filteranlagen gereinigt und ca. 5 % planmäßig entsorgt (Deutscher Bundestag 1984). Von 1977 bis 1983 wurden insgesamt 9.295 t PCB-haltige Betriebsmittel im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen eingesetzt (Deutscher Bundestag 1984).

5.2.3 Auswertung vorliegender Informationen zu PCB-haltigen Betriebsmitteln in Haus Aden/Monopol

Aus den im Unterlagenverzeichnis genannten Unterlagen geht hervor, dass Grubenwässer im Verbundbergwerk Haus Aden/Monopol im Hinblick auf eine Belastung mit PCB und TCBT seit dem Jahr 1986 bis heute in unregelmäßigen Abständen beprobt werden. Angewiesen bzw. ausgeführt wurden diese Beprobungen vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV, damals LWA), der BR Arnsberg und der RAG. Beprobt wurde das Grubenwasser sowohl unter Tage als auch über Tage vor Einleitung in die Lippe.

Die Überwachung der Grubenwassereinleitungen mittels Probenahmen oblag bis zum Jahr 2008 den Staatlichen Umweltämtern (amtliche Regelüberwachung), die mit Hilfe der sog. StUÄ-Labore die Grubenwasser- und Gewässeruntersuchungen durchführten. Das LUA führte Sonderprobenprogramme durch. Die Altdaten der Umweltverwaltung (LUA/StUA) enthalten keine Informationen zur Untersuchung von Grubenwässern, Probenahmeprotokolle existieren nicht mehr. Laut BR Arnsberg erfolgten die Untersuchungen im Zeitraum 1986 bis 2000 auf Grundlage der Rundverfügung 13.31-11-21 des ehemaligen Landesoberbergamts NRW vom 26.02.1987. Die jeweilige Probenahmemenge kann nicht mehr nachvollzogen werden. Die Untersuchungen seit 2010 seitens RAG und BR Arnsberg wurden mittels 10-L-Probe und anschließender Filtration zwecks Analyse der Feststoffphase durchgeführt, ausgenommen dem Sondermessprogramm der BR Arnsberg zu Eluat von Versatzmaterialien im Jahr 2013. Hier wurde die Flüssigphase aus 1-L-Proben untersucht.

Das vom LANUV im Jahr 2015 analysierte Probenmaterial wurde mittels einer mobilen Durchlaufzentrifuge aus dem gehobenen Grubenwasser gewonnen. Die Analysenergebnisse für PCB und TCBT liegen in älteren Untersuchungen überwiegend als Summenparameter vor, in neueren Untersuchungen sind Konzentrationen überwiegend kongenerenscharf angegeben.

In Tab. 11 sind alle bis dato vorliegenden Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der im Grubenwasser Haus Aden/Monopol gemessenen Konzentrationen von PCB und TCBT dargestellt. Angegeben ist jeweils eine Bandbreite der Belastungen in den einzelnen Untersuchungen. Zur Vergleichbarkeit der vorliegenden Daten wurden die kongenerenscharfen Ergebnisse aufsummiert.

Tab. 11: Bandbreite von Belastungen von PCB und TCBT in Grubenwässern des Verbundbergwerks Haus Aden/Monopol (Zusammenstellung: LEK)

Quelle	Untersuchungszeitraum	Probenanzahl	Grubenwasser			
			PCB ^a		TCBT ^b	
			ng/L	µg/kg	ng/L	µg/kg
Vorlage 16/2791 – Anhang 1	1986	35	30 bis 2.690	-	< 500 bis 107.000	-
RAG Abschlussbericht GB 2	1993 bis 1994	10	< 10	-	< 100	-
RAG Abschlussbericht GB 16	1994	24	< 10 bis 20	-	≤ 100	-
RAG Abschlussbericht GB 17	1995	21	< 10 bis 30	-	< 100 bis 800	-
RAG Abschlussbericht GB 1	1996	2	< 10	-	< 100	-
RAG Abschlussbericht GB 31	1996 bis 1998	42	< 10 bis 170	-	< 100 bis 500	-
Vorlage 16/2791 – Anhang 2	2010 bis 2014	21	< 1	< 1 bis 33	-	-
Prüfberichte RAG gehobenes Grubenwasser	2011 bis 2014	19	-	< 1 bis 2	-	-
Vorlage 16/3551	2015	51	-	76 bis 257 ^c	-	89 bis 883 ^d

^a Summe der PCB-Kongener 28, 52, 101, 138, 153 und 180

^b Angabe als Summenparameter PCDM (polychlorierte Diphenylmethane)

^c Angegeben sind nur die Messergebnisse der Probenahme mittels Durchlaufzentrifuge; Probenanzahl n=8

^d Summe der TCBT-Kongener 21, 27, 28, 52, 74 und 80

Bei dem in Vorlage 16/3551 beschriebenen Langzeitversuch durch das LANUV lagen die Konzentrationen der PCB-Kongener für die Probenahme mittels Durchlaufzentrifuge zwischen < 1,0 und 110 µg/kg TS. Für TCBT-Kongener wurden Werte zwischen 4,7 und 280 µg/kg im Schwebstoff ermittelt. Die Bandbreite der begleitenden Untersuchungen durch die RAG ergaben je Kongener Konzentrationswerte zwischen < 2 und < 100 µg/kg TS.

Die Untersuchungen der BR Arnsberg ergaben Konzentrationswerte je Kongener von < 100 µg/kg TS.

Bezüglich der großen Bandbreite bei den Untersuchungsergebnissen führt der Bericht des LANUV zum Sondermessprogramm 2015 aus (s. 11 oben): *Ob die tatsächlichen Konzentrationen auch im Bereich der Konzentrationen, die das LANUV aus Parallelproben ermittelt hat, liegen, kann nicht festgestellt werden. Die Bestimmungsgrenze lag bei den im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg im August untersuchten Proben mit 100 µg/kg TS sehr hoch und damit in einem Bereich, der für die Fragestellung nicht aussagekräftig ist.*

In den Abschlussberichten der RAG sowie in der im Jahr 1986 durchgeführten Untersuchung lag die Nachweisgrenze für PCB gesamt (gelöst) bei 10 ng/L. Dadurch ist ein Vergleich der Konzentration mit der Umweltqualitätsnorm für im Wasser gelöstes PCB (< 0,5 ng/L pro Kongener) nicht möglich.

5.2.4 Einsatzbereiche der PCB in der Wasserprovinz Haus Aden

5.2.4.1 Datenlage (wird nach Abschluss der zzt. laufenden Recherche überarbeitet und umfangreich ergänzt)

Von der RAG wurden den Gutachtern am 02.12.2015 Auswertungen übergeben, die für die Wasserprovinz des BW Haus Aden/Monopol die Abbaue zeigen, die zur Zeit des Einsatzes von PCB abgebaut wurden. Dies ist nicht mit einer PCB-Belastung gleichzusetzen; sie werden im Folgenden mit „potenziellen PCB-Bereichen“ bezeichnet. Nach Angaben der RAG ist dies der Zeitraum zwischen 1969 und 1985. Die Abb. 10 zeigt eine Gesamtübersicht.

Die meisten „potenziellen PCB-Bereiche“ sind zzt. noch trocken (s. Abb. 12). Sie werden derzeit bereichsweise von frei fließendem Wasser auf dem Weg zum Pumpensumpf in einer Tiefe von ca. – 1.000 m durchströmt. Bei einem Grubenwasseranstieg würden die Bereiche zwar vollständig geflutet, die Fließgeschwindigkeiten würden aber langsam abnehmen. Nach Abschluss der instationären Phase eines Grubenwasseranstiegs würden die Fließgeschwindigkeiten noch weiter abnehmen. Anhand der Grundwasserströmungsmodellierungen können quantitative Aussagen zu den Fließgeschwindigkeiten in den einzelnen Bereichen gemacht werden (z. B. Röhrenströmung in den offenen Strecken). Die Fließgeschwindigkeiten werden bei der Abschätzung des Ausbreitungspotenzials der PCB (vorwiegend partikelgebunden) berücksichtigt. Dies wird im Endbericht differenziert für die Grubenwasserprovinz Haus Aden/Monopol bewertet.

Die Auswertungen wurden von der RAG für alle 100-m-Scheiben durchgeführt (13 Abbildungen, enthalten in der Präsentation beim 2. AK am 10.12.2015). Die folgenden Abbildungen zeigen eine relevante Auswahl. In den Teufen zwischen 200 und 400 m liegen nur einige wenige ältere Abbaue im Westen von Dortmund (Abb. 11).

Die meisten Abbaue liegen zwischen 700 und 1.000 m (Abb. 12). Der zeitliche Schwerpunkt dieser Abbaue lag in der ersten Hälfte der 1980er Jahre.

Ab einer Tiefe von 1.000 m gibt es wieder deutlich weniger Abbaue. Ab 1.100 m wurden nur noch in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre einige Bauhöhen zwischen Bergkamen und Kamen abgebaut (Abb. 13). Beim aktuellen Grubenwasserstand von ca. 1.000 m im Schacht Haus Aden/Monopol sind diese Bereiche bereits geflutet.

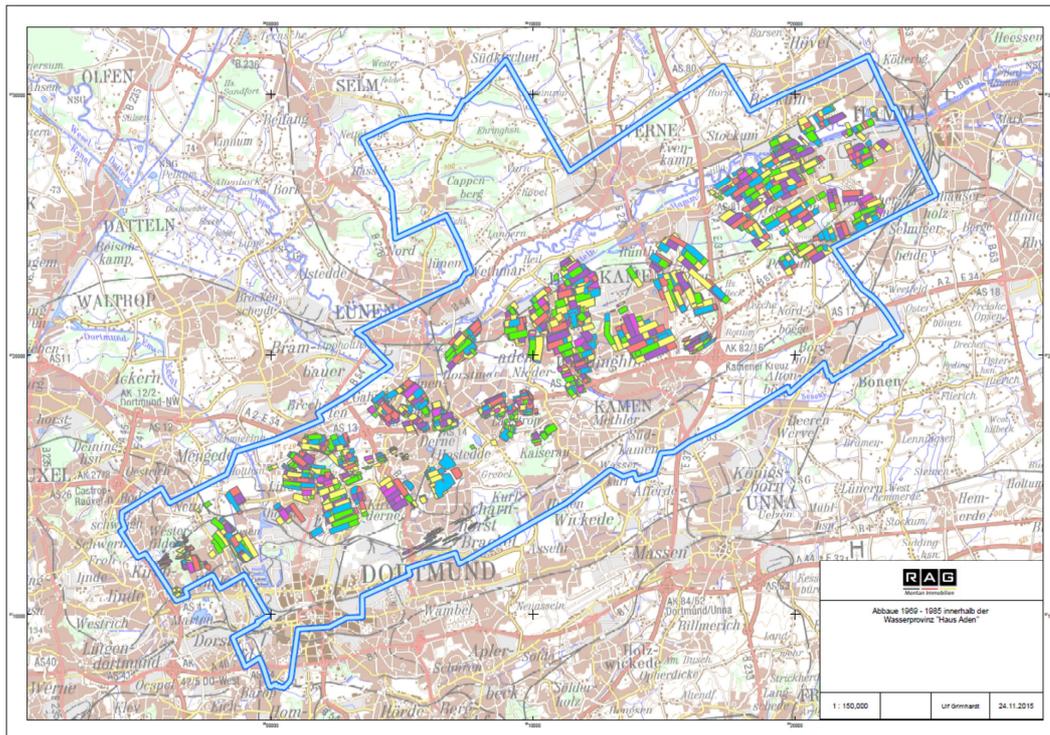


Abb. 10: Gesamtübersicht der Abbaue zwischen 1969 und 1985 in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2015)

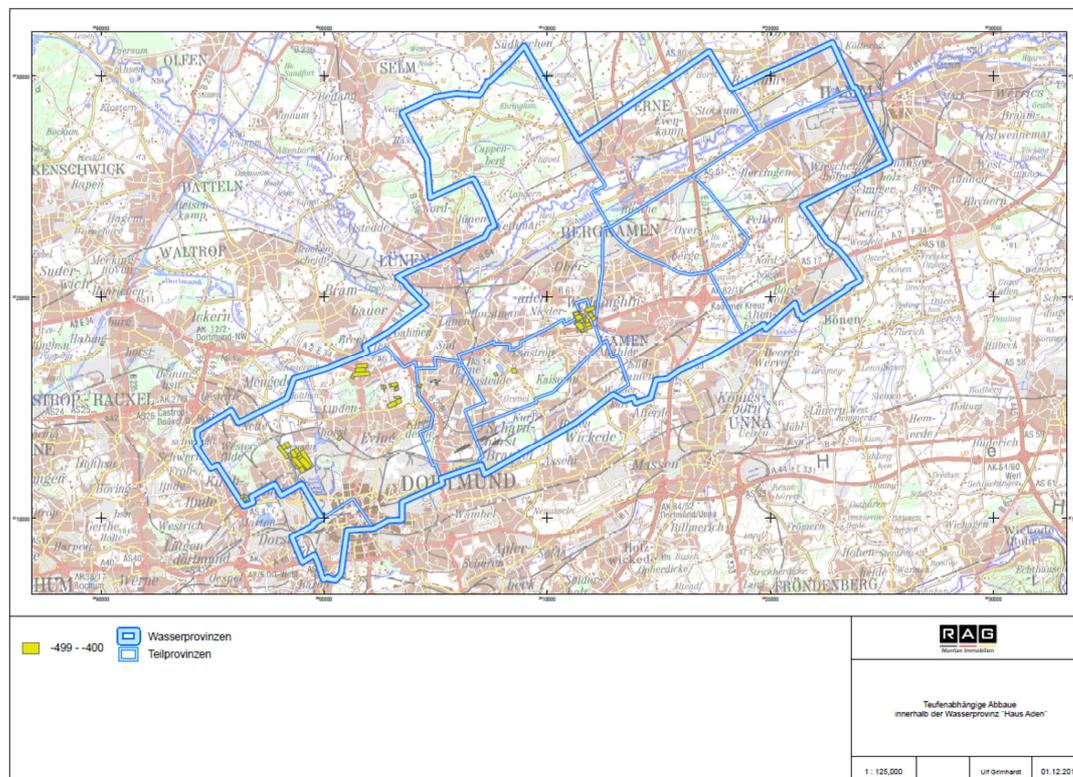


Abb. 11: Abbaue zwischen 400 bis 500 Meter (Quelle: RAG)

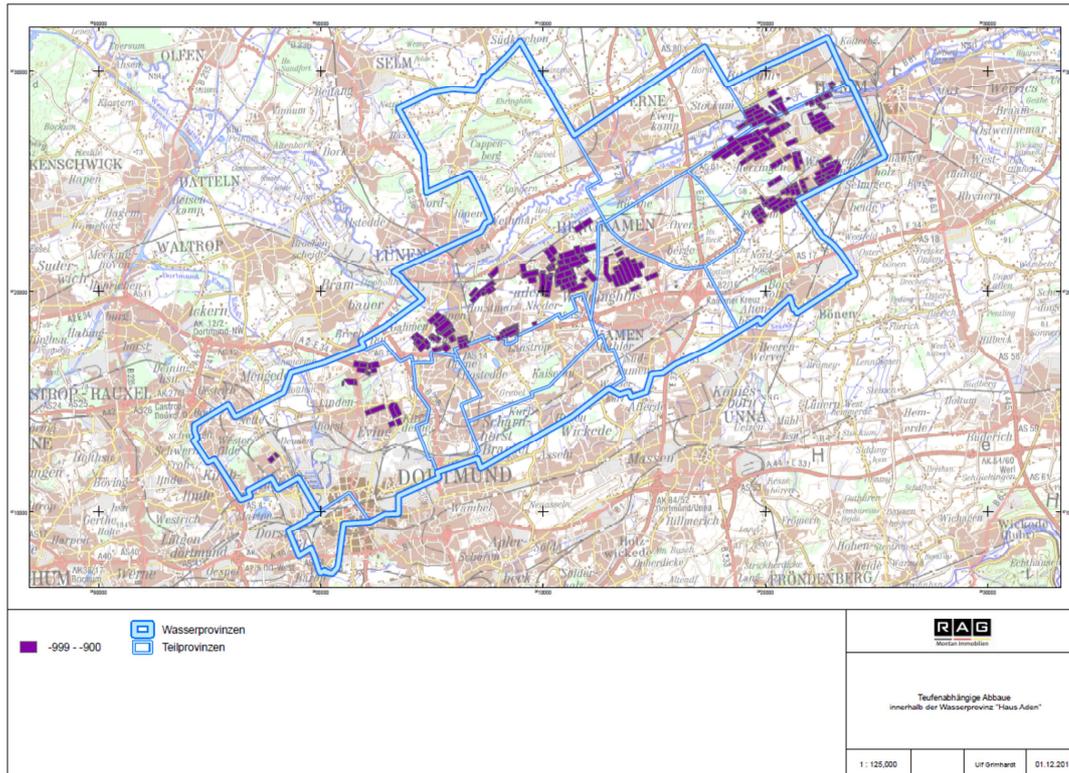


Abb. 12: Abbaue zwischen 900 und 1.000 Meter (RAG 2015)

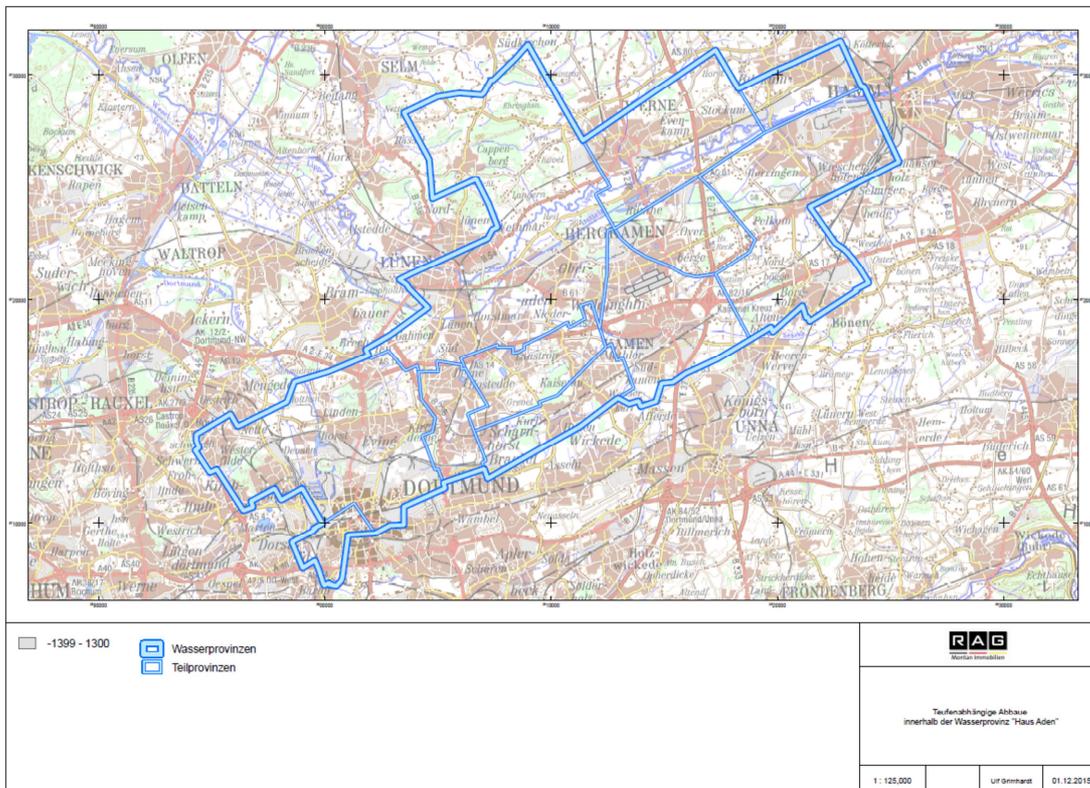


Abb. 13: Abbaue zwischen 1.300 und 1.400 Meter (südl. Bergkamen, RAG 2015)

5.2.4.2 Zusammenfassung zum Gefährdungspotenzial durch PCB und Ausblick zur Abschätzung des Freisetzungs- und Ausbreitungspotenzials (wird nach den Ergebnissen des AK PCB am 10.06.2016 ergänzt)

Nach Auswertung der vorliegenden Unterlagen und Materialien lassen sich zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsmittel im BW Haus Aden/Monopol folgende Aussagen treffen:

Genauere Angaben zu den Mengen der im BW Haus Aden/Monopol eingesetzten PCB-haltigen Betriebsmittel bzw. der entsprechenden PCB-Mengen sind nach unseren Recherchen nicht vorhanden. Es kann nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden, indem die Angaben zur in Nordrhein-Westfalen **dokumentierten** eingesetzten Gesamtmenge (1977-1983: ca. 9.295 t) den betroffenen Bergwerken gleichmäßig zugeordnet werden. Die nicht dokumentierten Mengen werden z.Zt. noch abgeschätzt. Durch die RAG wurden Karten zu den Abbauen für diejenigen Zeiträume zur Verfügung gestellt, in denen PCB eingesetzt wurden. Aufgrund dieser Karten gehen die Gutachter davon aus, dass PCB-haltige Betriebsmittel im Bereich der Wasserprovinz Haus Aden/Monopol im Zeitraum von 1969 bis 1985 eingesetzt worden sind. Die zugehörigen Abbaue befinden sich in Teufen zwischen 200 und 1.400 m. Der größte Teil der Abbauflächen liegt im Bereich zwischen 500 und 1.000 m. Der Grubenwasserstand im Schacht Haus Aden/Monopol liegt derzeit bei 1.000 m, also unterhalb der Abbaubereiche, in denen die meisten PCB-haltigen Betriebsmittel genutzt wurden.

Bei der Auswertung der Betriebsakten bei der BR Arnsberg und weiterer Akten am Standort Herne der RAG (zwei volle Aktenschränke) wurden von den Gutachtern keine Hinweise auf mögliche PCB-Punktquellen (Hotspots) unter Tage in Haus Aden / Monopol (z. B. Tanklager, Umfüllstationen, Unfälle etc.) gefunden. Von der RAG wurde ebenfalls mehrfach mündlich mitgeteilt, dass es keine Kenntnis oder Hinweise auf mögliche PCB-Punktquellen gebe. Inwieweit zur Absicherung dieser Erkenntnisse und Aussage – v. a. für die bisher nicht gefluteten Bergwerksbereiche – eine Zeitzeugenbefragung durchgeführt werden soll, ist derzeit noch nicht entschieden.

Zur Nutzung TCBT-haltiger Betriebsmittel im BW Haus Aden/Monopol liegen den Gutachtern keine Angaben zu Mengen, Einsatzzeit oder betroffene Abbaue vor.

Für die unter Tage eingesetzten PCB-Mengen sind auch Transporte nach über Tage anzunehmen (v.a. über die Kohlenförderung, Bergematerial, Wetterstrom, Wasserhaltung), die die heute noch unter Tage vorhandene Menge an PCB verringert haben. Zu diesen Transportprozessen gibt es jedoch keine quantitativ belastbaren Informationen. Eine belastbare Bilanzierung ist deshalb nach derzeitigem Kenntnisstand der Gutachter nicht möglich.

Für die weitere Abschätzung des Gefährdungs-, Freisetzungs- und Ausbreitungspotenzials gehen die Gutachter deshalb davon aus, dass die gesamten eingesetzten PCB-Mengen in Höhe von ca. 9.295 t (Tab. 10) weiterhin in den Bergwerken der RAG vorhanden sind und sich unter bestimmten Bedingungen partikelgebunden und in geringem Maß auch gelöst ausbreiten können.

Eine weitere Eingrenzung, welcher Anteil von dieser Gesamtmenge auf das BW Haus Aden / Monopol entfällt, konnte anhand der vorliegenden Informationen von den Gutachtern bislang nicht durchgeführt werden.

Theoretisch könnte man die PCB Gesamtmenge nach verschiedenen Schlüsseln auf die einzelnen BW aufteilen (Anzahl, Fläche der Bauhöhen, Art der eingesetzten Maschinen, Verhältnis Baufelder bereits geflutet/nicht geflutet, usw.). Aus Sicht der Gutachter ist dies jedoch nur schwer fachlich begründbar und bei dem gewählten Ansatz der Risikobetrachtung nicht erforderlich.

In der Risikobetrachtung werden verschiedene Szenarien betrachtet, die von einer dispersen Verteilung und Punktquellen (Hotspots) ausgehen.

Aufgrund der hohen Lipophilie (Löslichkeit in Fetten und Ölen) der Stoffe und entsprechender Verteilungskoeffizienten (K_{ow} , K_D) ist jedoch von einer größtenteils partikulär gebundenen Form der PCB-Belastung auszugehen. Hierzu erfolgen zzt. noch weitere Untersuchungen an Boden- und Schlammproben aus dem BW Haus Aden / Monopol durch das LEK (Prof. ██████████).

Die Gehalte an gelöstem PCB im Grubenwasser sollen durch die derzeit laufenden Untersuchungen (100-L-Wasserprobe) abgeschätzt werden (s. Abschn. 5.2.5).

Die Gesamtbewertung: also PCB-Bilanzierung, Gefährdungs-, Freisetzungs- und Ausbreitungspotenzial wird im Detailbericht 6 (LEK, Prof. ██████████) erfolgen.

5.2.5 Weitere untertägige Beprobungen BW Haus Aden / Monopol

Für die Bewertung des Gefährdungs-, Freisetzungs-, und Ausbreitungspotenzials der PCB sollen weitere untertägige Beprobungen erfolgen. Hierzu wurden von den Gutachtern folgende Untersuchungsziele und Anforderungen an die Probenahmeorte definiert:

1. Gelöstes PCB im Grubenwasser
 - großvolumige Probe (ca. 100 L)
 - langjährig, großflächig überflutete Bereiche mit PCB-Einsatz, damit die PCB und das Grubenwasser in einen Gleichgewichtszustand gelangen können.
2. Rückhalteeigenschaften Boden und Schlämme für PCB
 - typisches Material mit dem das Grubenwasser in Berührung kommt
 - noch zugängliche Pumpensümpfe, Kohlenverladung, Strecken
3. Teilstrombeprobung Grubenwasser (10-L-Methode)
 - ausreichend Grubenwasser mit ausreichender Schwebstofffracht
 - noch zugängliche Grubengebäude
4. Zusickerndes Tiefengrundwasser aus dem Karbon
 - Wasserzutritte, unvermischt mit Grubenwasser
 - noch zugängliche Grubengebäude

Die Erreichung der Ziele (3) und (4) sind von den Gegebenheiten unter Tage abhängig. Es ist nicht Ziel der Untersuchungen, ggf. doch Hotspots einer PCB-Belastung und/oder einer diffusen, repräsentativen PCB-Belastung zu ermitteln. Dafür ist der

noch zugängliche Bereich im BW Haus Aden/Monopol gemessen an der ursprünglichen Ausdehnung zu klein.

Abb. 14 zeigt nach Auswertung der Grubenrisse die noch zugänglichen Bereiche in der Wasserprovinz Haus Aden.

Die Bedingungen für die Probenahme (1) (der 100-L-Probe) ist am Victoriadamm südwestlich von Haus Aden / Monopol gegeben, da hinter dem Damm ein geflutetes Hohlräumvolumen von ca. 300.000 m³ ansteht, das nach Aussage des Bergbautreibenden seit Ende der 1990er Jahre eingestaut ist und aktuell eine Möglichkeit zur Wasserprobenentnahme gibt. Die Abbautiefen reichen hier bis ca. -1.400 NHN und wurden auch in Zeiten des PCB-Einsatzes abgebaut (Abb. 15).

Im Nordosten der Wasserprovinz Haus Aden – östlich der roten Linie in Abb. 15 – ist das Grubenwasser noch nicht so weit angestiegen, dass eine Probenahme möglich wäre. Die Haupteinsatzbereiche der PCB wurden noch nicht erreicht (Abb. 12). Der Bereich wurde abgeworfen und ist nicht mehr zugänglich. Es gibt keine technischen Einrichtungen mehr, um den Wasserstand in diesem Bereich zu beeinflussen.

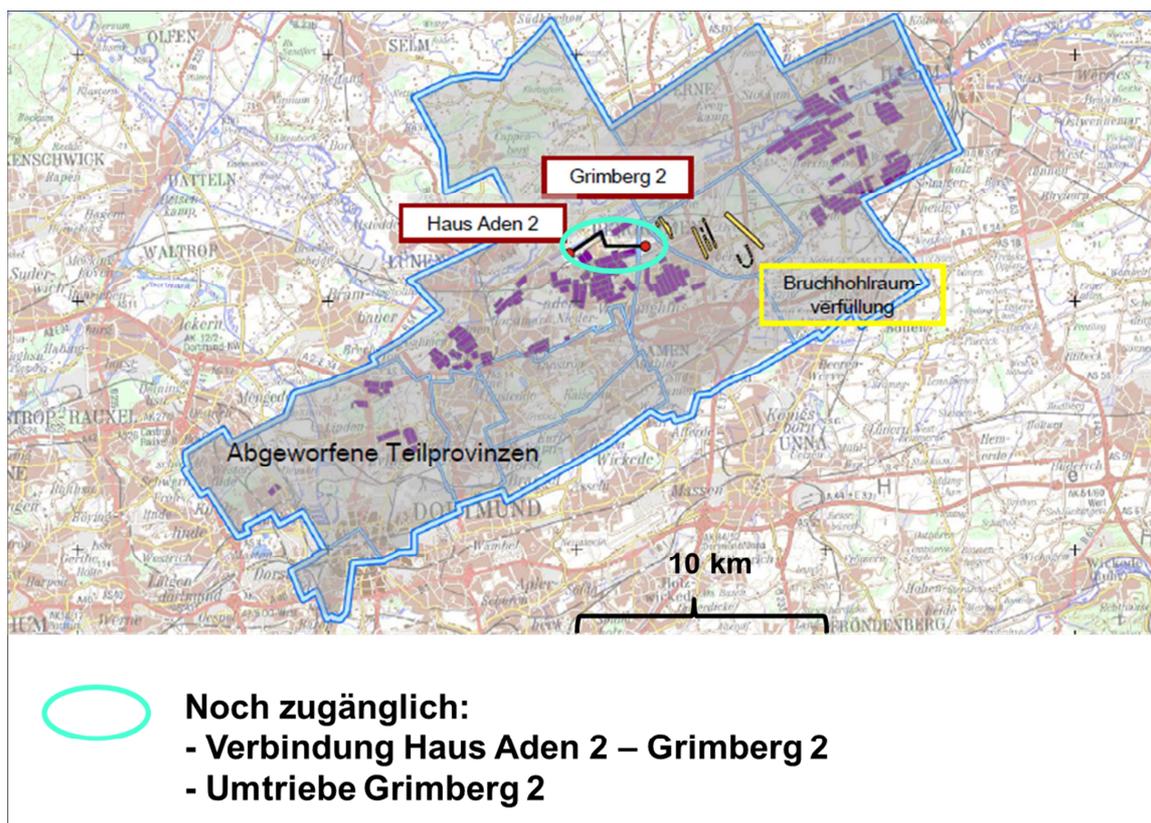


Abb. 14: Aktuell zugängliche Grubenbaue in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2016)

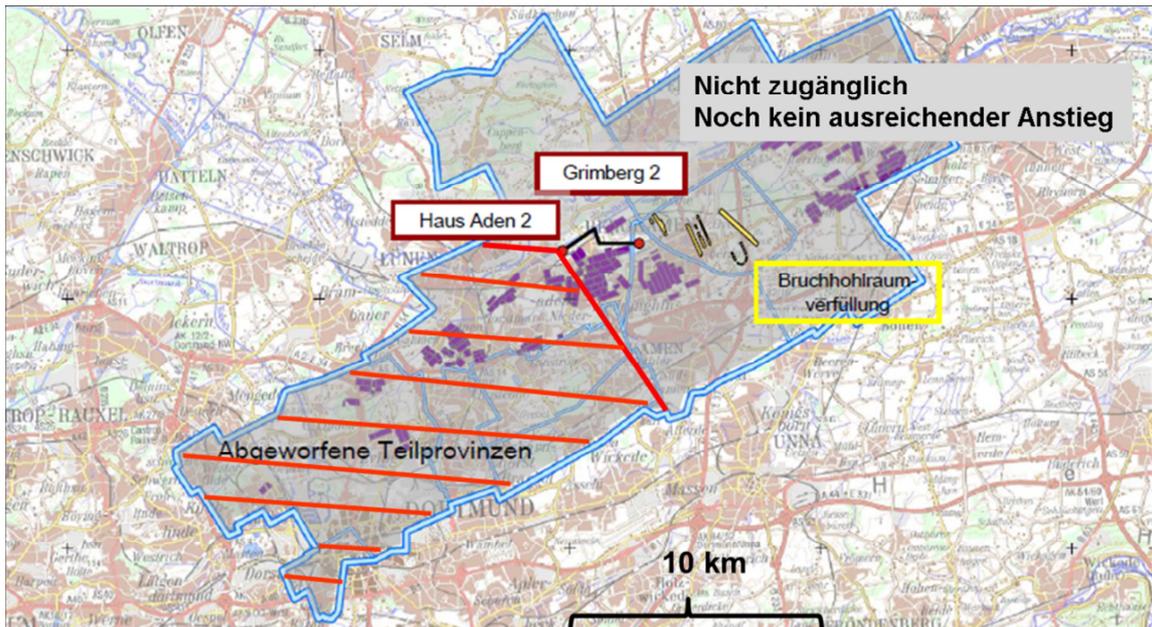


Abb. 15: Einzugsgebiet hinter dem Victoriadam (rot schraffiert) (Quelle: ahu AG, verändert nach RAG)

Die Abb. 16 zeigt in einem Ausschnitt den zugänglichen Bereich der sog. Umtriebe am Schacht Grimberg 2. Die Umtriebe sind in Abb. 15 als roter Punkt beim Schacht Grimberg 2 dargestellt. Die Gesamtlänge der Umtriebe beträgt ca. 2.200 m. Alles Wasser wird hier an der tiefsten Stelle, der Nebenwasserhaltung Bunkersohle, gefasst.

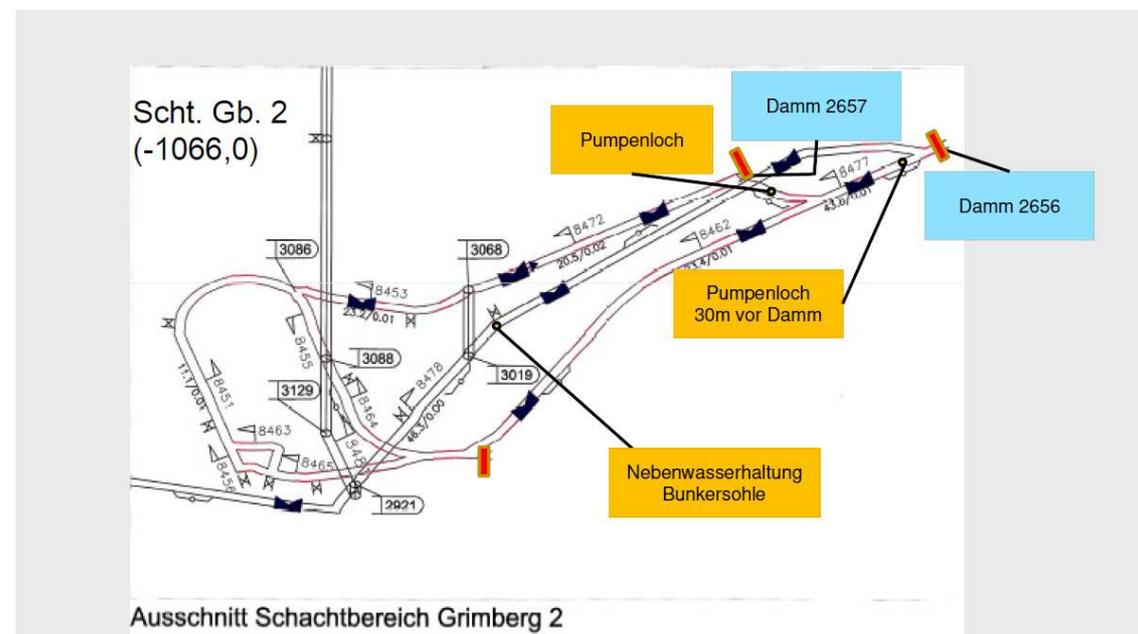


Abb. 16 Übersicht über die aktuell noch begehbaren Bereiche am Schacht Grimberg 2 (Umtriebe) für die Auswahl der Probenahmen (2) bis (4) (Darstellung RAG)

Die Probenahmen (2) bis (4) sind auf dem BW Haus Aden/Monopol nur noch im Nahbereich des Schachtes Grimberg 2 (sog. Umtriebe) und auf der Strecke zwischen dem Schacht Grimberg 2 und der Wasserhaltung Victoriadamn möglich. Alle anderen Grubenbaue sind nicht mehr zugänglich (Abb. 14).

Die Entscheidung über die Art der Proben und Probenahmestellen im Bereich der Umtriebe werden vor Ort durch die Gutachter getroffen.

5.2.6 Weiteres Vorgehen Massenbilanzierung und Bewertung des Gefährdungspotenzials organischer Schadstoffe

Eine umfassende Charakterisierung des organischen Schadstoffpotenzials in den verbrachten Reststoffen ist auf Grundlage der zum jetzigen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Unterlagen nicht möglich. Abgesehen von der Stoffgruppe der Dioxine liegen keine umfassenden quantitativen Daten zu organischen Schadstoffen in den eingebrachten Filterstäuben vor. Eine chemische Analyse der eingebrachten RAA-Schlämme und Flotationsberge liegt derzeit noch nicht vor. Die Abschätzung weiterer organischer Schadstoffe kann demnach nur durch das Heranziehen sekundärer Literatur sowie Erkenntnisse der Machbarkeitsstudie (Jäger et al. 1991) erfolgen. Diese Recherche wird derzeit durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse der geplanten untertägigen Untersuchungskampagne kann dann eine Bewertung der zzt. noch offenen Fragen erfolgen.

6 ABLAUF DES BERGRECHTLICHEN BETRIEBSPLANVERFAHRENS FÜR DIE VERWERTUNG BERGBAUFREMDER RESTSTOFFE ALS VERSATZ (IFM, Prof. ████████)

Die in diesem Kapitel enthaltenen Angaben und Erläuterungen stellen den derzeitigen Bearbeitungsstand dar; es folgen noch weitere Recherchen.

Auf dem BW Haus Aden/Monopol, Baufelder E1, E2 und E3, wurden von April 1993 bis Februar 1998 bergbaufremde, besonders überwachungsbedürftige Reststoffe in die durch Abbau des Flözes Grimberg 2/3 geschaffenen Bruchhöhlräume eingebracht. Die konkreten Planungen hierfür basierten auf dem im April 1991 der Bergbehörde vorgelegten *Rahmenkonzept für die Verbringung von Gemischen aus Flotationsbergen sowie Flugaschen und -stäuben [...] und Rauchgasreinigungsrückständen [...] aus Hausmüllverbrennungsanlagen [...] zur Bruchhohlraumverfüllung*. Die Prüfung und Zulassung eines Betriebsplans für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe als Versatz erfolgte jeweils durch das zuständige Bergamt. Die durchgeführten Betriebsplanverfahren für die genannten Baufelder wurden durch den Arbeitskreis „Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen auf dem Bergwerk Haus Aden/Monopol“ unter Federführung des damaligen Landesoberbergamtes NRW begleitet. Die erste Sitzung dieses Arbeitskreises fand im Juni 1991 statt.

Die Rechtmäßigkeit der untertägigen Reststoffverbringung wurde durch das Obergericht für das Land Nordrhein-Westfalen in seinem Beschluss vom 18.07.1997 (Az: 21 B 1717/94) bestätigt: Laut Gericht sei der Einsatz der Abfälle zur Bruchhohlraumverfüllung als Nachversatz eine stoffliche Verwertung; die bergrechtliche Betriebsplanzulassung sei nach Verfahren und nach materiellen Zulassungsvoraussetzungen so ausgestaltet, dass mögliche Gefährdungen der menschlichen Gesundheit, der Umwelt oder anderer geschützter öffentlicher und privater Belange verhindert würden; die Bergbehörde habe im Zulassungsverfahren in rechtlich einwandfreier Weise geprüft, ob entgegenstehende überwiegende öffentliche Interessen vorlägen. Das Gericht kommt weiterhin zu dem Schluss, dass die Betriebsplanzulassungen auch den europarechtlichen Vorgaben für die Genehmigung von Anlagen zur Verwertung von Abfällen/Reststoffen genügen.

Das bergrechtliche Betriebsplanverfahren für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe als Versatz begann jeweils mit dem Antrag des Verwertungsunternehmers, in diesem Fall des Bergbauunternehmers, an das Bergamt. Dieser Antrag, der unter anderem die Beschreibung der Einbringtechnik sowie verschiedenste Nachweise beinhalten sollte (Abb. 16), wurde bei dem zuständigen Bergamt eingereicht und von diesem nach den Vorgaben des Bundesberggesetzes geprüft. Auf der Grundlage dieser unter Berücksichtigung der Stellungnahmen der beteiligten Behörden durchgeführten Prüfung wurde das Vorhaben gegebenenfalls erörtert, woraus eine Planänderung resultieren konnte, die erneut unter Berücksichtigung weiterer Stellungnahmen der in der Abb. 16 genannten Stellen zu prüfen war.

Verfahrensablauf für die Zulassung eines Betriebsplans nach dem Bundesberggesetz (BBergG) für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe/Abfälle als Versatz

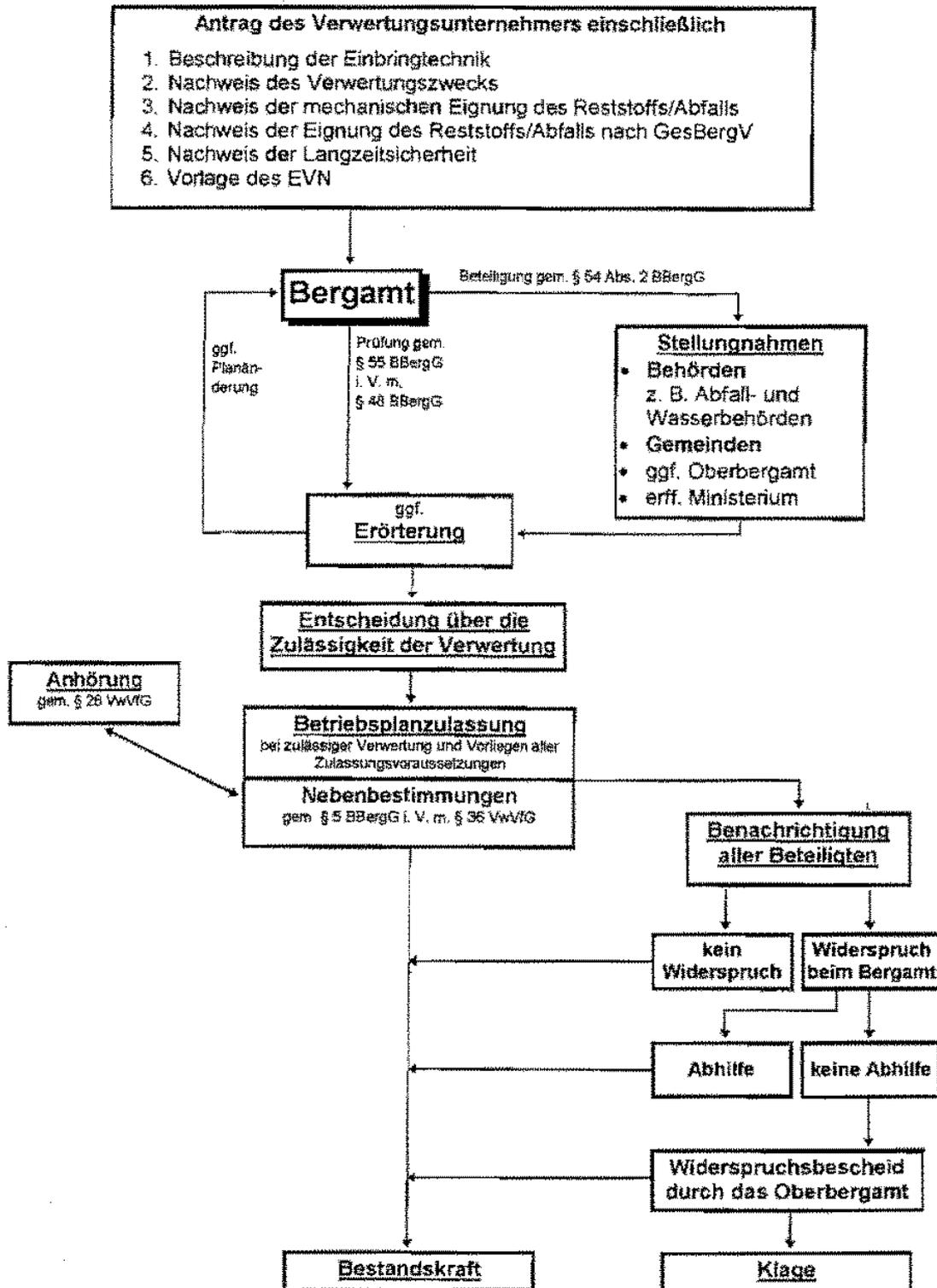


Abb. 17: Ablauf des Zulassungsverfahrens für die Verwertung bergbaufremder Reststoffe/Abfälle als Versatz (Länderausschuss Bergbau 1996)

Dieses Prüfverfahren führte dann zu einer Entscheidung über die Zulässigkeit der Verwertung. Im Fall zulässiger Verwertung und bei Vorliegen aller Zulassungsvoraussetzungen erfolgte die Betriebsplanzulassung. Diese erging unter Nebenbestimmungen, sofern erst dadurch die Zulassungsvoraussetzungen für den Betriebsplan erfüllt waren.

Alle Beteiligten wurden von der Betriebsplanzulassung benachrichtigt. Wurde gegenüber der Bergbehörde innerhalb einer Frist kein Widerspruch gegen die Zulassung erhoben oder wurde bei einem Widerspruch Abhilfe geschaffen, so erlangte die Zulassung Bestandskraft. Konnte bei einem Widerspruch keine Abhilfe geschaffen werden, so konnte die Zulassung beklagt werden.

Im Rahmen der Anfertigung des Gutachtens wurden die von der BR Arnsberg zur Verfügung gestellten Unterlagen bezüglich des Betriebsplanverfahrens für Abbaubetriebe mit Bruchhohlraumverfüllung im BW Haus Aden/Monopol chronologisch aufgearbeitet, wobei der damalige Verfahrensablauf untersucht und basierend auf den oben genannten Maßgaben auf seine Vollständigkeit hin überprüft wurde.

Folgende Sonderbetriebspläne bezüglich der Reststoffverwertung als Nachversatz zur Bruchhohlraumverfüllung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses wurden mit Nebenbestimmungen zugelassen (Recherche der Sonderbetriebspläne und Nebenbestimmung noch nicht abgeschlossen):

- **Zugelassen am 12.02.1993** durch das Bergamt Kamen; die Zulassung umfasste die gesamte Organisation und Durchführung der Reststoffverwertung als Nachversatz zur Bruchhohlraumverfüllung in den Flözen Grimberg und Victoria, Baufeld Monopol E2, einschließlich der zugehörigen über- und untertägigen Betriebsanlagen und -einrichtungen für das Bergwerk Haus Aden/Monopol; in den Nebenbestimmungen wurde unter anderem festgelegt, dass für jeden Abbaubetrieb, für den Nachversatz vorgesehen war, ein Sonderbetriebsplan mit ergänzenden Angaben insbesondere zu den einzubringenden Reststoffen sowie zur Standwassersituation vorzulegen war.
- **Zugelassen am 05.10.1993** durch das Bergamt Kamen; Nachtrag/Ergänzung zu dem am 12.02.1993 zugelassenen Sonderbetriebsplan: Errichtung einer neuen übertägigen Rohrleitungsschleife im Zuge der Bruchhohlraumverfüllung im Abbaubetrieb Gb2, Baufeld Monopol E2.
- **Zugelassen am 21.04.1994** durch das Bergamt Kamen; die Zulassung umfasste die gesamte Organisation und Durchführung der Reststoffverwertung als Nachversatz zur Bruchhohlraumverfüllung im Flöz Grimberg 2/3, Bauhöhen Gb16 und Gb17 im Baufeld Monopol E1.
- **Zugelassen am 29.04.1994** durch das Bergamt Kamen; Zulassung der Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in den Bruchhohlraum des Abbaubetriebes Gb16, Baufeld Monopol E1.
- **Zugelassen am 21.10.1994** durch das Bergamt Recklinghausen; Zulassung der Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in den Bruchhohlraum des Abbaubetriebes Gb17, Baufeld Monopol E1.

- **Zugelassen am 14.07.1995** durch das Bergamt Recklinghausen; Zulassung der Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in den Bruchhohlraum des Abbaubetriebes Gb1, Baufeld Monopol E2.
- **Zugelassen am 14.08.1996** durch das Bergamt Recklinghausen; die Zulassung bezog sich auf die Grundsätze der Organisation und Durchführung der Reststoffverwertung als Nachversatz zur Bruchhohlraumverfüllung im Flöz Grimberg 2/3 in den Baufeldern Monopol E3/E4; die Zulassung umfasste ausdrücklich nicht die Verwertungsvorhaben in den einzelnen Bauhöhen, für die jeweils noch Sonderbetriebspläne mit ergänzenden Angaben zur Zulassung vorzulegen waren.
- **Zugelassen am 19.08.1996** durch das Bergamt Recklinghausen; Zulassung der Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in den Bruchhohlraum des Abbaubetriebes Gb31, Baufeld Monopol E3.

Eine detaillierte, auf den zur Verfügung stehenden Unterlagen basierende Beschreibung der durchgeführten Sonderbetriebsplanverfahren, der begleitenden Prüfung durch die beim damaligen Landesoberbergamt NRW eingerichteten Arbeitskreise, der betrieblichen Durchführung und der behördlichen Überwachung wird im Detailbericht 2 (IFM, Prof. ████████) erfolgen.

7 HYDROGEOLOGISCHE SYSTEMBESCHREIBUNG UND HYDROCHEMISCHE SYSTEMBESCHREIBUNG FÜR DAS BW HAUS ADEN/MONOPOL (ahu AG / LFH, Prof. █████)

7.1 Ziel / Aufgabe

Um eine der zentralen Frage des Gutachtens „Gibt es heute oder zukünftig ein Risiko?“ zu beantworten, müssen zunächst das komplexe hydrogeologisch-hydrochemische System und seine Prozesse verstanden werden und mit „Hilfsmitteln“, wie z. B. den hydrochemischen und hydraulischen Modellen analysiert werden. Die Modelle haben v. a. die Aufgabe, das System- und Prozessverständnis zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Auf dieser Grundlage können dann Prognosen über das Systemverhalten heute und in der Zukunft und unter sich ändernden Randbedingungen erstellt werden. Dabei sind nicht alle Randparameter des Systems bekannt. Sie können auch nicht alle und auch nicht kurzfristig erhoben werden. Auch viele der komplexen hydrochemisch ablaufenden Langzeitprozesse sind nicht vollständig verstanden.

Es ist deshalb die Aufgabe der Systembeschreibung,

- die relevanten Randbedingungen und „Startparameter“ zu benennen bzw. hierfür Annahmen zu treffen, wenn sie nicht bekannt sind,
- die ablaufenden Prozesse soweit möglich zu beschreiben,
- die Größenordnung der relevanten Eingangsdaten und ihre Bandbreiten einzugrenzen (worst case, most likely),
- die Unsicherheiten und deren Bedeutung klar zu benennen,
- dieses Wissen zu strukturieren und in die zu Verfügung stehenden Werkzeuge (Modelle) zu übertragen, die immer nur eine Vereinfachung der komplexen Realität sein können,
- die Unsicherheiten bei den Ergebnissen und deren Bedeutung klar zu benennen und wenn möglich
- Vorschläge zu Behebung der Unsicherheiten zu machen und ein
- Monitoring zu installieren, das rechtzeitig Auskunft gibt, ob die Entwicklung wie erwartet verläuft oder Handlungsoptionen erforderlich sind.

In dem zu betrachtenden System laufen viele Prozesse langsam, d. h. über Jahre und Jahrtausende ab.

Die hydrogeologische Systembeschreibung liefert die Grundlagen für den Aufbau der Grundwasser-Strömungsmodelle und der hydrochemischen Modellierungen.

Die integrierte Systemanalyse ist die Grundlage für die Bewertung. Sie verknüpft quantitative Ergebnisse der Modellierung mit dem Wissen um das Gesamtsystem und beinhaltet die zusammenfassende Darstellung und Plausibilitätsprüfung der Einzelergebnisse, insbesondere aus den verschiedenen Modellen. Diese integrierte Systemanalyse ist damit die Grundlage für die Beantwortung der drei zentralen Fragen und die abgeleiteten Monitoring- bzw. Handlungskonzepte.

Zur integrierten Systemanalyse gehören vor allem:

- Abschätzung der Fließmengen, Konzentrationen und Frachten für Stoffe mit einem hohen Gefährdungspotenzial und/oder Freisetzungspotenzial,
- Abschätzung der Ausbreitungswahrscheinlichkeiten bei verschiedenen hydraulischen Szenarien in den einzelnen Zonen,
- Bewertung einer möglichen Ausbreitung vor dem Hintergrund der geogenen/anthropogenen Hintergrundbelastungen, insbesondere der Grubenwässer,
- Plausibilität, Variabilität und Prognoseunsicherheiten der Modellaussagen.

7.2 Hydrogeologischer Aufbau (ahu AG)

7.2.1 Quartär

Das z. T. sehr gering mächtige Quartär ist aus lehmig-tonigen Sedimenten aufgebaut.

Die Verbreitung, die Mächtigkeit, der Aufbau und die Startwerte für die Kalibrierung des oberflächennahen Grundwasserleiters für das Regionalmodell können bereichsweise aus dem Grundwassermodell BW Ost des Lippeverbandes (LV) entnommen werden. Das Grundwassermodell des LV wurde von den Gutachtern geprüft. Es wurde festgestellt, dass das Modell nach dem aktuellen Stand der Technik aufgebaut ist und die verwendeten und berechneten Daten valide und plausibel sind.

7.2.2 Kreide

Im Rahmen des Sonderbetriebsplans Bruchhohlraumverfüllung wurde am 15.12.1995 ein detailliertes Bohrprofil im Maßstab 1:1.000 am Schacht Grillo 4 eingereicht. Der Schacht Grillo 4 liegt unmittelbar südlich der BHV. Neben der genauen Schichtenfolge enthält das Bohrprofil auch Angaben zur Wasserführung. Einen Auszug aus dem Profil zeigt die Abb. 18.

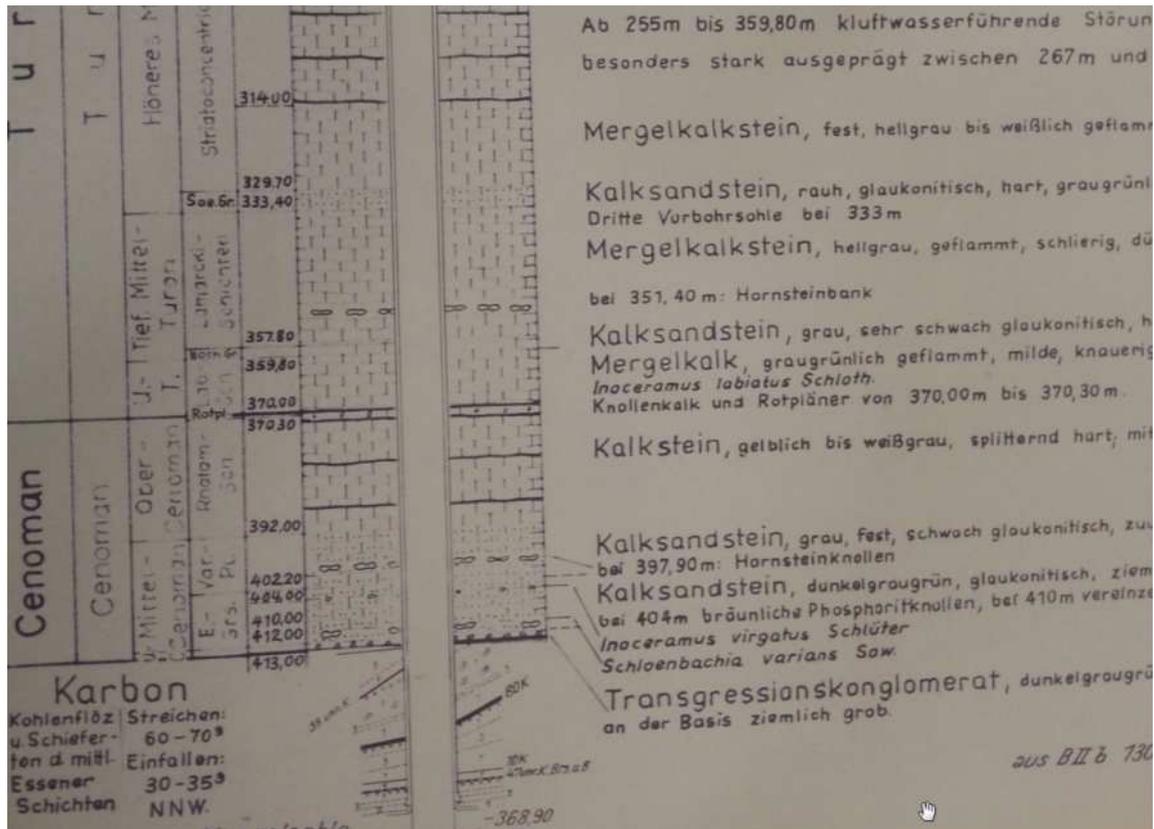


Abb. 18: Auszug aus dem Bohrprofil am Schacht Grillo 4 (Sonderbetriebsplan 1995)

Auf Grundlage dieses Profils wurde ein vereinfachtes hydrogeologisches Profil durch die ahu AG erstellt (Abb. 19). Beim Aufbau des Grundwassermodells und der Zuordnung der Parameter wurden diese Ergebnisse berücksichtigt.

Das Deckgebirge hat am Schacht Grillo 4 eine Mächtigkeit von 413 m. Die Schichten sind annähernd horizontal gelagert (vgl. Abb. 20), so dass diese Mächtigkeit und der hydrogeologische Aufbau zunächst mehr oder weniger im gesamten Untersuchungsgebiet gelten.

Die ausschließliche Ausführung der Schachtsäule mit Ziegelmauerwerk ist ein deutlicher Hinweis dafür, dass über die gesamte Säule keine wesentlichen Wasserzutritte erfolgten. Anderenfalls wäre hier ein Tübbing- oder Stahlblechmantelausbau notwendig gewesen.

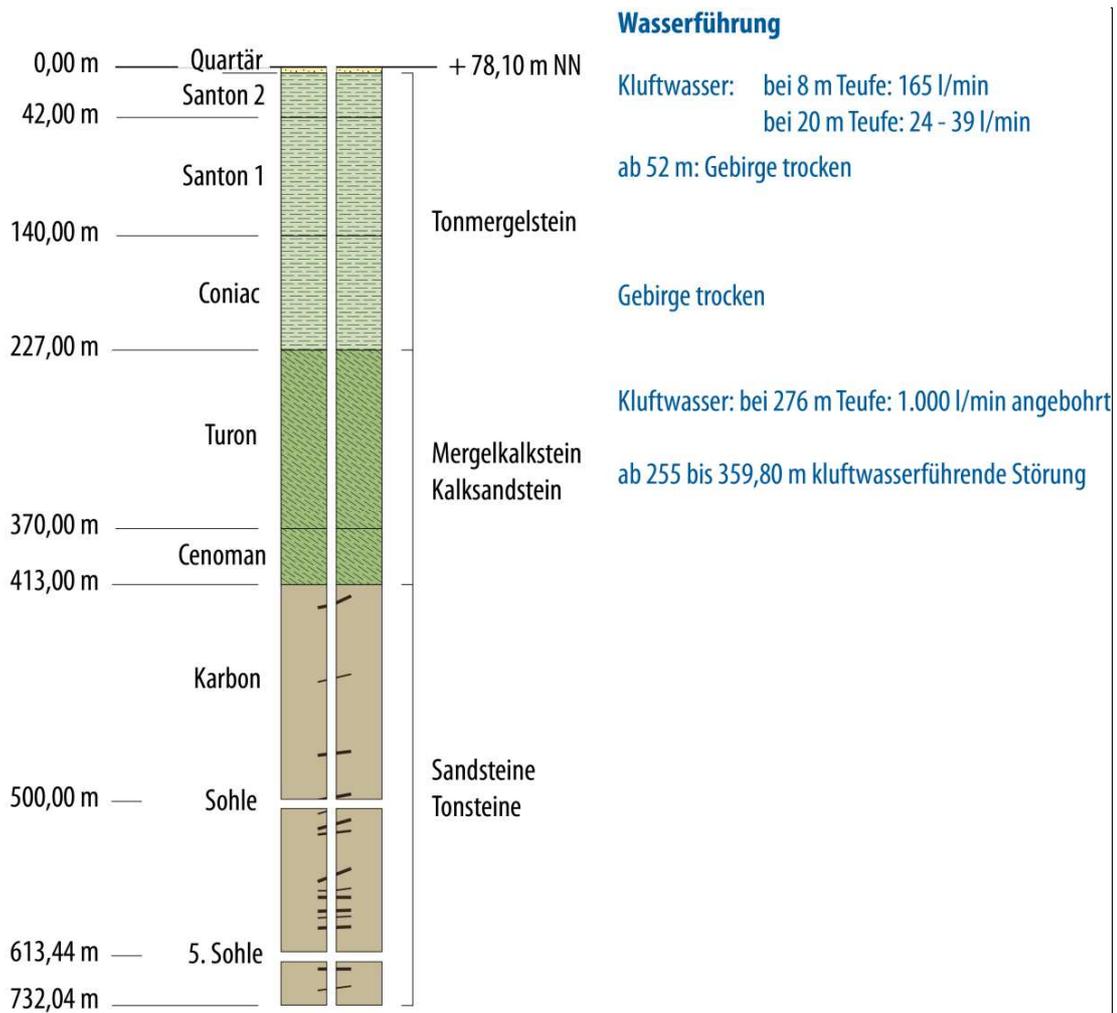


Abb. 19: Vereinfachtes hydrogeologisches Profil Schacht Grillo 4 (ahu AG)

7.2.2.1 Emscher Mergel

Unterhalb des Quartärs folgen die Schichten der Oberkreide. Bis zu einer Teufe von 225 m ist dies der Emscher Mergel. Unter „Emscher Mergel“ werden die Gesteine des mittleren Coniac bis mittleren Santon mit der Basis Recklinghausen Sandmergel zusammengefasst. Innerhalb des Emscher Mergel gibt es fazielle Unterschiede: Im nördlichen Ruhrgebiet ist der Emscher Mergel im Westen sandiger und im Osten (wie im Untersuchungsgebiet) toniger ausgebildet.

Je höher der Tongehalt ist, desto weniger durchlässig und plastisch ist der Emscher Mergel. Zwischen Tonstein und Kalkstein ist eine beliebige Mischung möglich. Je nach Mischungsverhältnis erfolgt die Bezeichnung gemäß Tab. 13.

Tab. 12: Nomenklatur Ton-/Kalksteinmischungsverhältnisse
(grau: Auftreten im Untersuchungsgebiet)

Bezeichnung	Kalkstein	Ton- bis Schluffstein
mergeliger Tonstein	5 bis 15 %	85 bis 95 %
Mergeltonstein	15 bis 25 %	75 bis 85 %
Tonmergelstein (Emscher Mergel)	25 bis 35 %	65 bis 75 %
Mergelstein	35 bis 65 %	35 bis 65 %
Kalkmergelstein	65 bis 75 %	25 bis 35 %
Mergelkalkstein (Turon)	75 bis 85 %	15 bis 25 %
mergeliger Kalkstein	85 bis 95 %	5 bis 15 %
Kalkstein (Cenoman)	größer 95%	0 bis 5 %

(Quelle: http://www.hlug.de/static/medien/boden/fisbo/bodenviewer/hilfe/30154_PETBEG.html)

Die Tab. 13 gibt einen Überblick über Durchlässigkeitsbeiwerte, die für den Emscher Mergel in einigen Untersuchungen und Studien angenommen wurden. Aufgrund der geringen Durchlässigkeiten ist der Emscher Mergel als ein Grundwasserstauer einzustufen.

Tab. 13: Überblick über Durchlässigkeitsbeiwerte im Emscher Mergel (Gebirgsdurchlässigkeit)

Bereich	Durchlässigkeitsbeiwert m/s	Quelle
Auflockerungszone (bis ca. 100 m u. GOK) weitgehend unabhängig von der Fazies	1×10^{-7}	mündl. Mitteilung Prof. [REDACTED]
	1×10^{-6}	Sauter et al. (2012)
unterhalb der Auflockerungszone	$1 \text{ bis } 5 \times 10^{-9}$	DMT (2008)
	1×10^{-10}	GRS (1998)/Baltes (1998)
	$10^{-9} \text{ m/s bis } 10^{-12}$	Stemke & Wohnlich (2012)*
	1×10^{-10}	Sauter et al. (2012)

* lfd. Forschungsvorhaben: Herkunft des Methans im Grundwasser des Münsterländer Kreidebeckens (2012)

Wasserführung im Emscher Mergel

Grundwasser wurde im Emscher Mergel auf Klüften festgestellt. Die Wasserführung lag in 8 m Tiefe bei 2,7 L/s und nahm in 20 m Tiefe auf 0,4 bis 0,7 L/s ab. Ab einer Tiefe von 52 bis 225 m war die Bohrung Schacht Grillo 4 im Emscher Mergel trocken.

Grundwasseranalysen aus dem tieferen Emscher Mergel aus dem Gebiet der Wasserprovinz Haus Aden liegen den Gutachtern nicht vor.

7.2.2.2 Kalksteine

Ab 225 m bis 413 m wurden Kalksteine mit verschiedenen Beimengungen an Ton (Mergelkalkstein) und Sand (Kalksandstein) im Schacht Grillo 4 erbohrt. Ein reiner Kalkstein (Oberes Cenoman) wurde zwischen 370 m und 392 m erbohrt. Eine Verkantung wurde in der Bohrbeschreibung nicht erwähnt. Die Kalksteine werden dem Turon (vorwiegend Mergelkalkstein und Kalksandstein) und dem unterliegenden Cenoman (vorwiegend Kalksandstein und Kalkstein) zugeordnet. Die Basis der Kreide bildet ein grobes Transgressionskonglomerat.

Wasserführung in den Kalksteinen

Wasser führende Klüfte wurden wieder in einer Tiefe von 255 bis 359 m innerhalb der Mergelkalksteine und Kalksandsteine erbohrt. Besonders starke Zuflüsse (ca. 17 L/s) wurden bei 276 m Tiefe festgestellt. Zurzeit werden noch weitere Grundwasseranalysen und Grundwasserstände aus tiefen Grundwassermessstellen in der Kreide, aus denen sich der Druckgradient ableiten lässt, ausgewertet.

7.2.3 Karbon

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Bochumer Mulde. Die Abb. 20 zeigt ein vereinfachtes NNW-SSE-Profil durch die Bochumer Mulde. Die Schichten fallen nur mit geringer Neigung nach NW ein.

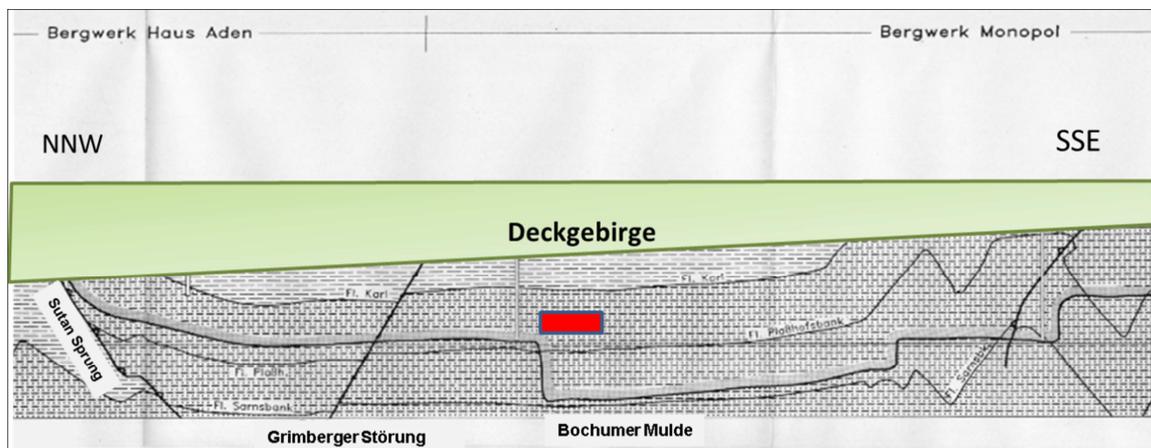


Abb. 20: Vereinfachtes geologisches Profil (NNW-SSE) im Untersuchungsgebiet mit der Lage der Bruchhohlraumverfüllung (WBK 1990)

7.2.3.1 Schichtenfolge des Karbon

Das Flöz führende Oberkarbon hat eine Gesamtmächtigkeit von ca. 3.000 m (Namur C (Sprockhövel Schichten) bis Westfal C). Darin sind ca. 200 Flöze enthalten. Die Mächtigkeit der Flöze beträgt wenige Zentimeter bis 5 bis 6 m. Insgesamt wird der Kohleanteil auf 3 bis 5 % geschätzt. Es wird allgemein davon ausgegangen, dass im Nebengestein fein verteilt noch einmal dieselbe Menge an Kohlenstoff vorkommt (GD NRW)

2011). Dies ist wichtig für die Sorptionseigenschaften der Gesteine bezüglich der organischen Schadstoffe PCDD/PCDF und PCB.

Die einzelnen Flöze wurden in sog. Cyclothem abgelagert. Dies ist eine regelmäßige Abfolge von Flöz, Ton- und Schluffsteinen, Sandsteinen/Konglomeraten, Schluffstein, Tonstein und dem nächsten Flöz. Die einzelnen Ton- und Schluffsteinlagen haben eine geringere Durchlässigkeit als die Sandsteinlagen, die auch geklüftet sein können. Die Mächtigkeit eines Cyclothem beträgt im Durchschnitt 7 bis 10 m.

Das Karbon beginnt im Untersuchungsgebiet gemäß der Bohrung Schacht Grillo 4 mit einer Wechsellagerung aus Sand- und Tonsteinen und gering mächtigen Kohleflözen.

In der Bohrung Schacht Grillo 4 wurden ca. 20 Kohleflöze angetroffen. Im Bereich der Baufelder Monopol E1 bis E3 wurden Flöze der Zollvereingruppe sowie die Flöze Grimberg 2/3, Röttgersbank und Wilhelm abgebaut. Die Recherche ist noch nicht abgeschlossen. Zwischen dem Abbau im Flöz Grimberg 2/3 und dem Abbau im Flöz Röttgersbank im Bereich der o. g. Baufelder bestand ein Abstand von ca. 600 m.

Die Tab. 14 gibt eine Übersicht über die bekannten Durchlässigkeitsbeiwerte im Oberkarbon (Startwerte für die Kalibrierung des Regionalmodells).

Tab. 14: Überblick über Durchlässigkeitsbeiwerte im Oberkarbon (Quelle: Paas 1997)

Stratigraphie	Lithologie	Porenvolumen	Gesteinsdurchlässigkeitsbeiwerte [m/s]	Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwerte [m/s]	Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwerte [m/s]	
					nicht aufgelockert	aufgelockert
Älteres Oberkarbon	Siltsteine	< 1 %	6×10^{-13} bis $4,6 \times 10^{-15}$	3×10^{-9} bis 3×10^{-10}	10^{-8} bis 1×10^{-9}	
	Sandsteine	1 bis 3 %		10^{-7} bis 3×10^{-9}	10^{-6} bis 3×10^{-8}	
Jüngeres Oberkarbon (Horst, Dorsten Schichten)	Siltsteine - Sandsteine	bis 10 %	8×10^{-9} bis 2×10^{-11}			
allgemein					vertikal 6×10^{-9} horizontal 2×10^{-8} (GRS 1998)	
Versatzbereich*					2×10^{-7} bis 1×10^{-9}	

* Unter Versatzbereich wird der vertikale Bereich einer Bruchhohlraumverfüllung (ca. 10 bis 15 m) verstanden (s. Abb. 6)

Damit sind die Wegsamkeiten auch bei Betrachtung der Gebirgsdurchlässigkeiten als *äußerst gering* (Klassifizierung gemäß Hydrogeologische Karte, HK 50) einzuschätzen. Die Auflockerung (Gefügezerstörung) durch den Steinkohlenabbau reicht nach Jäger et al. (1991) nur bis zum Drei- bis Fünffachen der jeweiligen Flözmächtigkeit ins Hangende hinein.

7.2.3.2 Störungen im Karbon

Die variszische Gebirgsbildung mit der Auffaltung des Grundgebirges erfolgte vor ca. 280 Millionen Jahren. Die meisten Quer- und Diagonalstörungen im Grundgebirge entstanden jedoch erst postvariszisch – z. B. durch Aktivierung während der alpidischen Orogenese – in der Zeit zwischen Perm und Kreide (Wrede 1992, Drodzewski & Wrede 1994, Wrede 2010).

Es liegen weitere umfangreiche Informationen über den tektonischen Bau vor, die im Rahmen des Gutachtens nicht im Detail ausgewertet wurden, da sich dadurch kein neuer und zusätzlicher Erkenntnisgewinn für die Fragestellung ergibt (z. B. Wrede 1992; Drodzewski & Wrede 1994; Wrede 2010).

Die Störungstektonik ist durch folgende Punkte gekennzeichnet:

- Die Faltung des Grundgebirges läuft nach Norden zum Münsterländer Becken hin aus und nimmt nach Süden hin mit nach Norden und Süden einfallenden Auf- und Überschiebungen (Einengungstektonik) und vielen Querstörungen zu. Es gibt eine ungefähr gleiche Anzahl von nord- und südfallenden Aufschiebungen (z. B. Sutan-Überschiebung).
- Es gibt nur wenige nachgewiesene Störungen, die sich aus dem Grundgebirge in das Deckgebirge bis zur Geländeoberfläche fortsetzen, auch wenn die genaue Lage dieser Störungen an der Geländeoberfläche nicht überall bekannt ist. Diese wenigen bekannten Störungen liegen am Südrand des Münsterländer Beckens, in den im Zuge der Steinkohलगewinnung erkundeten Bereich (z. B. Drevenacker Störung im Raum zwischen Bottrop und Dorsten). Im Untersuchungsgebiet sind das vor allem der Fliericher Sprung mit ca. 400 m Sprunghöhe und der Königsborner Sprung SW der Bauhöhe 17.
- Es gibt wesentlich mehr große Störungen aus dem Grundgebirge, die sich nachweislich nicht ins Deckgebirge fortsetzen, als Störungen, die aus dem Grundgebirge durch das Deckgebirge durchschlagen. Es gibt eine Reihe von Störungen im Deckgebirge, die wurzellos nach unten enden (Dölling & Juch 2009). Im Untersuchungsgebiet ist keine derartige Störung bekannt.

Die Durchlässigkeit einer Störung kann abschnittsweise unterschiedlich sein. So wurde beim Durchhörtern der Sandgewand, einer großen Störung im Kohlenrevier bei Aachen, in den 1920er Jahren ein großer Wassereinbruch registriert, der fast zur Aufgabe des Bergwerks führte. Bei einer Durchhörterung in den 1980er Jahren an einer anderen Stelle derselben Störung wurde keine Wasserführung festgestellt.

Im Ruhrkarbon gibt es Erfahrungen, dass auch sehr große Störungen gering durchlässig sind: z. B. der Fliericher Sprung zwischen der Wittener und der Bochumer Hauptmulde. Dort besteht zwischen dem Bergwerk Ost und der Zeche Königsborn 4 ein Potenzialunterschied im Grundwasser von > 1.000 m.

Vielfach haben Störungen eine gegenüber dem umgebenden Gebirge verringerte Durchlässigkeit, da es durch die Bewegung zum Verschmieren von Tonen und Mylonitbildung gekommen ist, was die Durchlässigkeit deutlich herabsetzt (Wallbraun 1992).

Häufig sind Störungen infolge einer Dehnungs- und Zerrungstektonik (tektonische Gräben, Abschiebungen) durchlässiger als Störungen, die infolge einer Einengungstektonik (Blattverschiebungen, Aufschiebungen) entstanden sind.

Das Gebirge oberhalb der Bruchhohlraumverfüllung wurde fast flächig mit den Flözen der Zollvereinsgruppe durchbaut. Dabei wurden keine Wasser führenden Störungen festgestellt und größere, unbekannte Störungen, die potenzielle Wasserwege darstellen können, sind nicht zu erwarten (Thein & Klingel 1995).

Die Lage der Störungen im Untersuchungsgebiet ist bekannt und wird beim Aufbau des Regionalmodells berücksichtigt.

7.3 Hydrochemie (LFH, Prof. ██████)

7.3.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Hinsichtlich der anorganisch-chemischen Aspekte sollen die hydrogeochemischen Wechselwirkungen zwischen (i) eingebrachten bergbaufremden Reststoffen, (ii) Konditionierungsmaterialien, (iii) vorhandenen wässrigen Lösungen, (iv) eventuell vorhandenen Gasen und (v) Gesteinen im Kontakt zu den übrigen Phasen unter den In-situ-Bedingungen (Temperatur, Druck, Ionenstärke der wässrigen Lösung) dargelegt werden. In diese Darstellung soll auch die Stabilität der in den Versatzbereichen eingebrachten Komponenten und der dort natürlicherweise vorhandenen Stoffe unter den In-situ-Bedingungen (Temperatur, Druck, Ionenstärke der wässrigen Lösung) einbezogen werden. Stabilität bezieht sich dabei auf das Abbindeverhalten, mechanische Fragen hingegen werden durch das IFM (Prof. ██████) und mineralogische Fragen durch thermodynamische Berechnungen von Prof. ██████ bearbeitet.

Die hydrogeochemischen Prozesse sind räumlich und zeitlich zu ermitteln. Für den unmittelbaren Bereich der Bruchhohlraumverfüllung wird das Stoffinventar aus den Abschlussberichten des Versatzbetriebs ermittelt. Hydrogeochemische und mineralogische Prozesse sind Gegenstand der Untersuchungen von Prof. ██████. Schwerpunkt des LFH ist die Hydrogeochemie des Nahfeldes, also das durch bergmännisches Auffahren der Grube aufgelockerte und durch Grubenwetter und Betriebswasser unmittelbar beeinflusste Gebirge und insbesondere die aufgelockerten Schichten im unmittelbaren Hangenden und Liegenden der Bruchhohlraumverfüllung mit den umgebenden Schichten von ca. 50 bis 100 m um die Bruchhohlraumverfüllung. Federführend werden vom LFH die hydrogeochemischen Wechselwirkungen zwischen (i) den aus der Zone mit Wässern austretenden Stoffen, (ii) den mineralischen Feststoffen der im Nahfeld anstehenden Gesteine, (iii) den dort vorhandenen Wässern (entweder Haftwässer in noch nicht vollständig gefluteten Bereichen oder freies, mobiles Tiefengrundwasser) und (iv) den dort noch vorhandenen Gasphasen mit ihren hydrogeochemischen Milieus unter In-situ-Bedingungen zusammengestellt und in einem zweiten Schritt bewertet.

Hier ist eine sekundäre Fixierung und/oder potenzielle Demobilisation von Stoffen (Umverteilung von Stoffen, die in den aus der ersten Zone austretenden Wässern gelöst sind, an die im Nahfeld anstehenden Gesteine) zu berücksichtigen. Andererseits ist aber auch eine Mobilisation von Stoffen aus den im Nahfeld anstehenden Gesteinen heraus in diejenigen mobilen Tiefengrundwässer möglich, die mit aus der ersten Zone austretenden Wässern kontaminiert sind. Dadurch könnten sich die hydrogeochemi-

schen In-situ-Milieus ändern (betrifft u. a. Ionenstärke, pH-Wert, Redoxverhältnisse), welche die Mobilität der Stoffe kontrollieren.

In zeitlicher Entwicklung werden Prozesse in der Flutungsphase der BHV mit einem auf das Grubengebäude Haus Aden/Monopol zugerichteten Gradienten, einer Übergangsphase mit bereichsweise wechselnden Richtungen des hydraulischen Gradienten – also auch einem möglichen Stofftransport in das Fernfeld – und einer Dauerphase mit Haus Aden/Monopol als hydraulischem Zwangspunkt durch dauerhafte Grubenwasserhebung zu betrachten sein.

Ferner werden hydrogeochemische Informationen für die hydrogeologische Systemanalyse (ahu AG) und die Modellierung des Fernfeldes, dem unverritzten Gebirge, durch delta h (Prof. [REDACTED]) sowie daraus abgeleitete Vorschläge für die Bewertung und für ein zukünftiges Monitoring bereitgestellt.

Der vorliegende Bericht enthält erste Ergebnisse zur Sichtung von Unterlagen, zur Aufbereitung von Daten zu geogenen Hintergrundwerten des Grundwassers in verschiedenen Teufen, zur anorganischen Hydrochemie der Grubenwässer in Haus Aden/Monopol.

Es wird unterschieden zwischen Tiefengrundwasser und Grubenwasser.

Tiefengrundwasser ist das Grundwasser, was bereits vor dem Auffahren der BW in den Klüften und Poren des Steinkohlengebirges vorhanden war und aufgrund der weiträumigen Überdeckung durch gering durchlässige Schichten nicht unmittelbar durch Zusi-ckerung aus der Grundwasserneubildung ergänzt wird. Es sickert auch heute noch dem BW zu und wird nach einer Flutung langfristig das Wasser sein, das mit der BHV in Kontakt kommt. Dieses Tiefengrundwasser ist immer hoch mineralisiert und die Mineralisation nimmt mit der Tiefe zu (Abb. 22).

Grubenwasser ist das Wasser, das untertägig gefasst wird und eine Mischung aus Tiefengrundwasser und Betriebswasser ist.

Die Auswertungen des Chemismus der Tiefengrundwässer sind deshalb relevant, weil bei den hydrochemischen Modellierungen (Kap. 8), eine Annahme für die Zusammensetzung eines unbeeinflussten Tiefengrundwassers getroffen werden muss.

Zum jetzigen Stand der Bearbeitung können folgende Wässer definiert werden:

„RAG-Wasser“

In der Machbarkeitsstudie und vielen Studien aus dieser Zeit wurden die Elutionsversuche aus Gründen der Vergleichbarkeit mit einem standardisierten, dem sog. RAG-Wasser, durchgeführt. Die Ruhrkohle AG hat dieses Standard-Grubenwasser in Zusammenarbeit mit dem Landesumweltamt und der Ruhr-Universität Bochum definiert (Paas 1997). Wilke (1995) verweist darauf, dass dessen Zusammensetzung *zwischen den beteiligten Stellen Mitte 1992 vereinbart wurde*. Dieses Wasser sollte den Hauptbestandteilen eines Tiefenwassers in der Tiefe der Bruchhohlraumverfüllungen (Teufe - 800 m) entsprechen. Allerdings enthält dieses RAG-Wasser nur eine Auswahl von Stoffen, u. a. keine Schwermetalle.

Wedewardt (1995)

Von Wedewardt (1995) liegen gut dokumentierte und vom LFH (Prof. [REDACTED]) überprüfte Analysen von zutretendem, weitgehend unbeeinflusstem Tiefengrundwasser vor. Der untersuchte Parameterumfang bei Wedewardt (1995) ist deutlich größer als beim RAG-Wasser.

Für die weiteren Betrachtungen kann deshalb ein Mittelwert der validierten Analysen für Betrachtungen des Fernfeldes verwendet werden („Wedewardt Mittelwert“).

Für die Modellierung in der BHV und im Nahfeld kann auch eine für typisch erachtete Analyse verwendet werden, da dann die hydrochemischen Modellierungen mit einem realen Tiefengrundwasser erfolgen („Wedewardt Z2 Wasser“).

Die Entscheidung über die Verwendung der Wässer wurde von den Gutachtern bisher noch nicht getroffen.

7.3.2 Vorgehensweise

Im Einzelnen wurde eine sehr detaillierte und umfangreiche Erhebung der überwiegend analog vorliegenden Daten und deren digitale Erfassung durchgeführt. Hierbei wurden auch in großem Umfang Literaturlauswertungen durchgeführt, um gut dokumentierte Originaldaten über die tiefen Grundwässer und Grubenwässer zu erhalten. Diese Arbeiten werden im Detailbericht 3 (LFH, Prof. [REDACTED]) umfassend dokumentiert werden. Als wichtigste und verlässliche Datenquelle für Aussagen über die Hydrochemie der tiefen Grundwässer und Grubenwässer (190 Vollanalysen) wurde Wedewardt (1995) identifiziert.

Die in der Arbeit Wedewardt (1995) enthaltenen Analysenergebnisse sind die einzigen nachvollziehbaren Werte, zumal die Arbeit als Dissertationsschrift an der Universität Bonn durch die Promotionskommission hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Qualität geprüft wurde. Sie werden deshalb als geogene Hintergrundwerte für die weiteren Betrachtungen herangezogen.

7.3.3 Tiefenabhängigkeit der Parameter

Es wurde die Tiefenabhängigkeit einzelner physiko-chemischer Messgrößen und Stoffe ausgewertet: Dichte, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur, Gehalt an NaCl und Abdampfdruckstand. Bis auf den pH-Wert nehmen alle Parameter mit der Tiefe zu. Exemplarisch sind im Zwischenbericht zunächst die pH-Wert-Verteilung (Abb. 21) und der Abdampfdruckstand (Abb. 22) dargestellt.

Die pH-Werte liegen bis zu einer Teufe von - 600 mNN zwischen 7,24 und 7,69. Mit zunehmender Teufe sinken die pH-Werte auf knapp über 6 ab (- 1.000 mNN). Einzelne Proben weisen tiefere Werte bis zu einem Minimalwert von 4,78 (- 931 mNN) aus. Saure pH-Werte sind die Folge der Belüftung des Gesteins durch das Grubengebäude. Natürlich im Gestein enthaltene Sulfidminerale werden dann oxidiert und setzen Säure, Sulfat, Eisen und weitere Spurenstoffe frei (Nahfeld). Proben solcher Wässer sind ggf. nicht repräsentativ für die Stoffkonzentrationen der Grundwässer im unverritzten Gebirge (Fernfeld). In den Abbildungen 21 und 22 sind in gelber Farbe Proben dargestellt,

die aufgrund ihrer chemischen Charakteristik einer höheren Teufe zuzuordnen sind. Dies wird im Detailbericht näher ausgeführt.

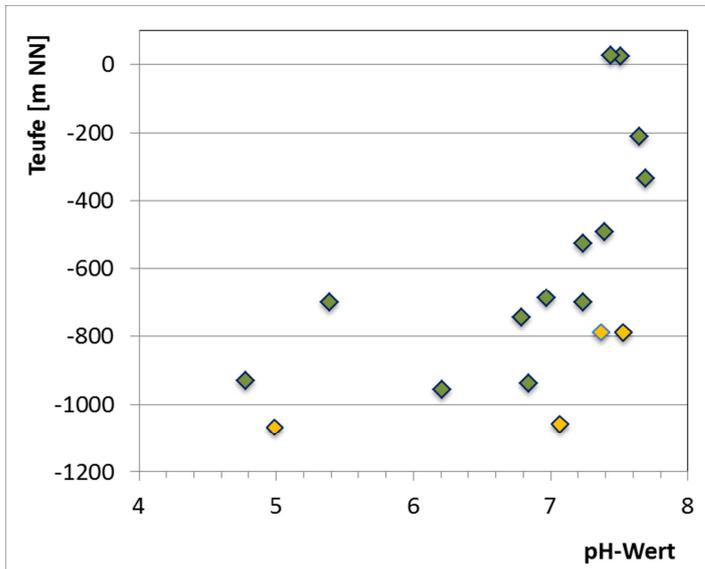


Abb. 21: Tiefenabhängige Verteilung des pH-Wertes, BW Haus Aden/Monopol (gelb = nicht repräsentative Proben da zu hohe pH-Werte) (Quelle: LFH)

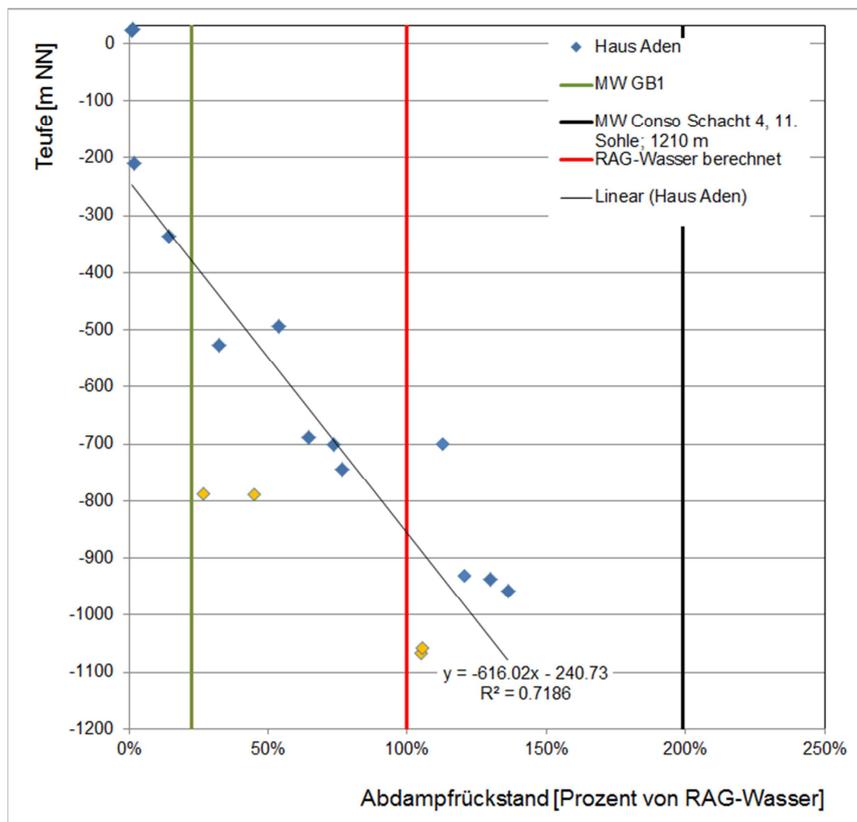


Abb. 22: Tiefenabhängige Verteilung der Abdampfrückstände für das BW Haus Aden/Monopol im Vergleich mit den mittleren Abdampfrückständen für die Grubenwasseranalysen von Gb1, des Grundwassers von Consolidation

(Schacht 4, 11. Sohle; 1.210 mNN) und dem berechneten Abdampfdruckstand des RAG-Wassers (gelb = nicht repräsentative Proben, da zu geringer Abdampfdruckstand) (Quelle: LFH)

7.3.4 Zusammensetzung der Tiefengrundwässer

Zur Ermittlung der mittleren Zusammensetzung des Tiefengrundwassers im BW Haus Aden/Monopol wurden die vorhandenen untertägigen Analysen im Bereich der Teufe der Bruchhohlraumverfüllung hinsichtlich Min/Max.-Werten und als Durchschnitt tabellarisch (Tab. 15) zusammengestellt. Für Spurenstoffe können nur die sehr hohen Nachweisgrenzen aufgrund des gewählten Analyseverfahrens angegeben werden (Detailbericht 3, LFH, Prof. [REDACTED]).

Hierbei wurden vor allem solche Proben ausgewählt, die möglichst repräsentativ für die Teufe - 700 bis - 900 mNN sind. Einzelne Proben scheinen bei Zugrundelegung des Stoffinhalts in einer zu großen Teufe entnommen zu sein (vgl. Abb. 21, gelbe Rauten). Sie sind wahrscheinlich im aufgelockerten Nahfeld in größere Teufe versickert, bevor sie in die Grube fließen und dort beprobt werden.

Eine Bewertung der hohen Nitratgehalte und pH-Werte erfolgt im Detailbericht.

Tab. 15: Mittlere Tiefengrundwasserzusammensetzung im BW Haus Aden/Monopol in den Teufen der Bruchhohlraumverfüllungen mit bergbaufremden Reststoffen (Der Mittelwert der einzelnen Parameter wurde aus 7 Proben aus Teufen von - 689 bis - 957 mNN nach Wedewardt, 1995 berechnet.)

		Mittelwerte	Minimum	Maximum
Temperatur (in situ)	°C	32	18	47
pH-Wert		6,3	4,8	7,2
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	142.957	108.100	177.400
Abdampfdruckstand	mg/L	130.529	82.800	174.300
Dichte	g/cm ³	1,079	1,053	1,108
freies CO ₂	mg/L	28	18	35
aggressives CO ₂	mg/L	12	10	14
Natrium	mg/L	35.929	24.000	50.300
Kalium	mg/L	450	265	762
Calcium	mg/L	5.581	2.150	9.090
Magnesium	mg/L	3.136	648	13.808
Strontium	mg/L	566	414	883
Barium	mg/L	1.041	24	2.460
Ammonium	mg/L	29	2	46
Bor	mg/L	3	0	6
Silizium	mg/L	4	3	8
Chlorid	mg/L	70.614	47.100	95.500

		Mittelwerte	Minimum	Maximum
Sulfat	mg/L	63	63	63
Hydrogencarbonat	mg/L	87	2	269
Nitrat	mg/L	76	22	170
Iodid	mg/L	19	8	50
Bromid	mg/L	93	44	147
Aluminium	mg/L	0,7	< 0,5	1
Arsen	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cadmium	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Chrom	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Kupfer	mg/L	0,15	0,10	0,27
Eisen	mg/L	22,8	< 0,005	53,0
Quecksilber	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Lithium	mg/L	16,5	5,2	26
Mangan	mg/L	1,4	< 0,05	3,1
Molybdän	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nickel	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Blei	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Selen	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Vanadium	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zink	mg/L	0,5	< 0,05	1,9

7.4 Zusammensetzung der Grubenwässer

Im Folgenden werden die übertägigen Proben aus den Grubenwassereinleitungen beschrieben. Hierbei sind auch immer größere Anteile an oberflächennahen Wässern enthalten. Zudem handelt es sich bei den am Schacht Haus Aden 2 geförderten Grubenwässern auch um geringer mineralisierte Überleitungswässer der ehemaligen Bergwerke Hansa und Gneisenau. Aus diesem Grund sind diese Grubenwässer auch geringer mineralisiert als die in Abschn. 7.3.4 beschriebenen Tiefengrundwässer.

Für die Frage nach der Höhe des langfristigen Freisetzungspotenzials ist es wichtig, die Zusammensetzung der Tiefengrundwässer abzuschätzen, da dies wahrscheinlich die Wässer sein werden, die im Kontakt mit der BHV geraten werden. Die geringer mineralisierten Überleitungswässer der ehemaligen Bergwerke Hansa und Gneisenau werden über Überleitungsstellen direkt zur Wasserhaltung am Schacht Haus Aden 2 geführt und haben keinen Kontakt zur weiter östlich gelegenen Bruchhohlraumverfüllung.

7.4.1 Datenerfassung Grubenwässer

- Aus dem BW Haus Aden/Monopol liegen aus der Betriebszeit und bis heute untertägige Grubenwasseranalysen vor. Analog verfügbare Daten wurden händisch in Excel-Tabellen digitalisiert.
- Seitens der RAG wurden aktuelle Grubenwasseranalysen durch die RAG vom gehobenen Grubenwasser vor der Einleitung digital zur Verfügung gestellt. Da es sich hierbei um Mischwässer handelt, sind diese Analysen für die weiteren Auswertungen von untergeordneter Bedeutung.

7.4.2 Auswertung der Analysen untertägiger Grubenwässer aus der Zeit der Bruchhohlraumverfüllungen

Gemäß den Auflagen wurde von der RAG parallel mit den Bruchhohlraumverfüllungen ein Monitoring des Grubenwassers durchgeführt.

Eine Übersichtsdarstellung der Grubenwasserentnahmestellen und deren Position im Bezug zur Bruchhohlraumverfüllung im BW Haus Aden/Monopol zeigt die Abb. 23. Aus den bisher vorliegenden Unterlagen konnte die Lage der Entnahmestellen mit Ausnahme von 1/3, 2/3, 16/1, 16/3, 17/3, 31/1 und 31/2 bestimmt werden.

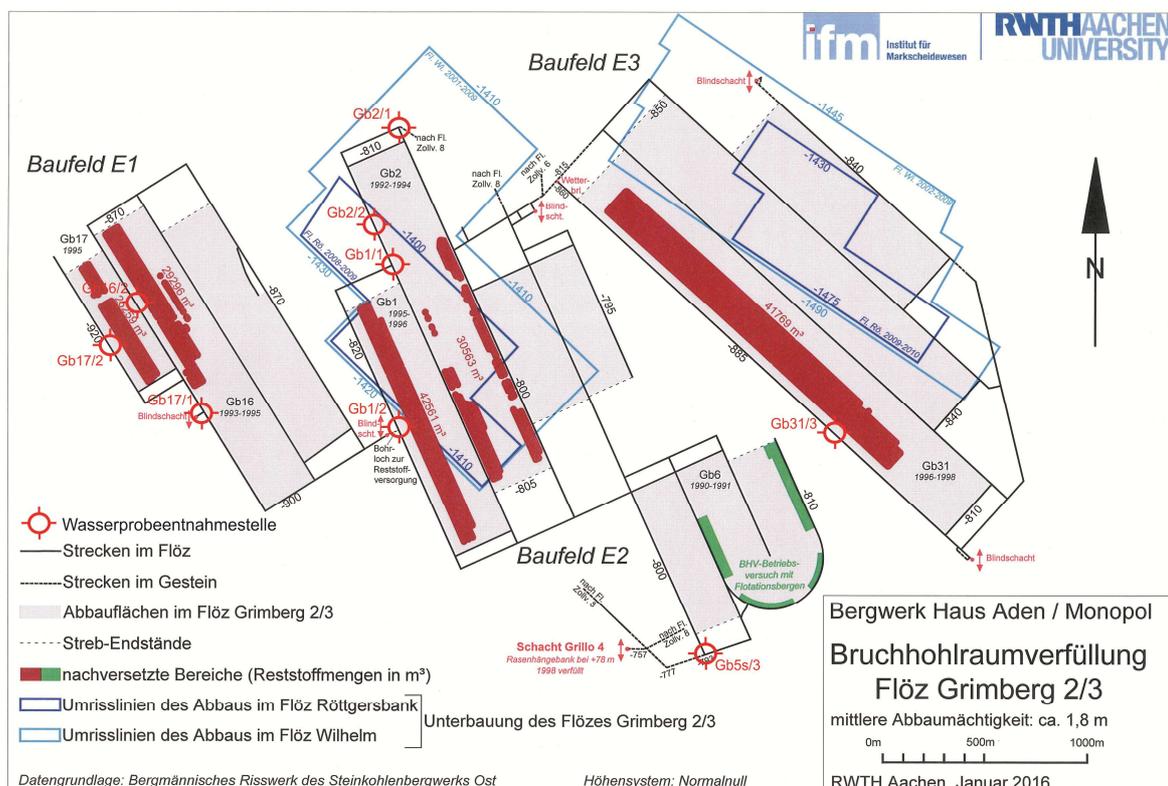


Abb. 23: Lage der Bauhöhen, Bereiche mit Bruchhohlraumverfüllung und Grubenwasserentnahmestellen im Flöz Grimberg 2/3, Baufelder E1 bis E3 des BW Haus Aden/Monopol

Die Lage der bisher ermittelten Entnahmestellen war für die Probenahme geeignet, so dass ggf. Eluate aus dem Versatzmaterial wie auch ggf. austretendes Wasser aus der BHV erfassbar gewesen wären.

Tab. 16 zeigt die Zusammensetzung des Grubenwassers von Bergwerk Haus Aden / Monopol von Gb1 (1995-1996) in seiner Schwankungsbreite.

Tab. 16: Grubenwässer von BW Haus Aden/Monopol von Gb1 (1995 bis 1996, Datengrundlage: RAG)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Max	Min
Absetzbare Stoffe nach 2h	mL/L	0,9	6,5	< 0,1
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	147	950	7
Abdampfrückstand errechnet	mg/L	20956	149923	191
Elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	27363	> 150000	365
Dichte	g/mL	1,013	1,103	1,000
pH-Wert	-	7,6	8,3	6,9
Säurekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,00	0,16	0,00
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	2,10	3,93	1,04
Summe Erdalkali (errechnet)	mg/L	1572	9849	47
Natriumchlorid (errechnet)	mg/L	15865	121242	23
Ammonium	mg/L	9,3	49	< 0,02
Natrium	mg/L	6243	47696	9
Kalium	mg/L	214	1065	3
Calcium	mg/L	1234	7116	41
Magnesium	mg/L	268	1923	5,3
Barium	mg/L	33	741	< 1
Strontium	mg/L	41	442	< 1
Zink	mg/L	2,9	32	< 0,02
Kupfer	mg/L	0,043	0,42	< 0,001
Arsen	mg/L	0,004	0,01	< 0,001
Blei	mg/L	0,052	0,529	< 0,001
Cadmium	mg/L	0,005	0,031	< 0,001
Chrom (gesamt)	mg/L	0,015	0,05	< 0,001
Chrom VI	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Nickel	mg/L	0,037	0,355	< 0,001
Quecksilber	mg/L	0,001	0,002	< 0,001
Chlorid	mg/L	12508	92000	27
Bromid	mg/L	45	205	< 0,3
Sulfat	mg/L	341	1990	9,4
Hydrogencarbonat (errechnet)	mg/L	128	240	63
Carbonat (errechnet)	mg/L	0,3	10	0
Hydroxid (errechnet)	mg/L	0	0	0
Cyanid (gesamt)	mg/L	0,01	0,02	< 0,01
PCB-Summe aus 6 Isomeren (DIN)	µg/L	0,01	0,03	< 0,01
PCB gesamt (LAGA)	µg/L	0,05	0,15	< 0,05
PCDM-Gesamtgehalt	µg/L	0,1	1,1	< 0,1

Bezogen auf die einzelnen Bauhöhen wurden bei den Schwermetallen Blei, Cadmium und Zink die folgenden Bandbreiten an den festgelegten Probenahmepunkten im Grubenwasser festgestellt (Tab. 17):

Tab. 17: Bandbreiten der Konzentrationen im Grubenwasser von Chlorid und ausgewählten Schwermetallen über den gesamten Verbringungszeitraum (Datenquelle: Quartals- und Abschlussberichte der RAG)

Bandbreiten – Konzentrationen im Grubenwasser				
	Chlorid [mg/L]	Blei (Pb) [mg/L]	Cadmium (Cd) [mg/L]	Zink (Zn) [mg/L]
Gb1	82.900 bis 92.000	< 0,001 bis 0,529	< 0,001 bis 0,031	< 0,02 bis 32
Gb2	227 bis 55.060	0,003 bis 0,094	< 0,001 bis 0,011	0,31 bis 20
Gb16	22 bis 99.620	< 0,001 bis 0,1	< 0,001 bis 0,020	0,13 bis 22
Gb17	21 bis 75.000	< 0,001 bis 0,529	< 0,001 bis 0,023	< 0,02 bis 32
Gb31	70 bis 95.400	0,005 bis 0,52	< 0,001 bis 1,5	< 0,02 bis 118
Bandbreite gesamt	21 bis 95.400	< 0,001 bis 0,529	< 0,001 bis 1,5	< 0,02 bis 118

Eine aktuelle typische Grubenwasseranalyse aus dem Jahr 2015 zeigt die Tab. 18. Die Mineralisation – gemäß den spezifischen elektrischen Leitfähigkeit – hat sich gegenüber den in Tab. 16 berechneten Mittelwerten halbiert und gegenüber den Maximalwerten ungefähr um den Faktor 6 reduziert. Hierbei ist aber noch zu berücksichtigen, dass derzeit auf Haus Aden lediglich Grubenwässer aus den westlichen Wasserprovinzen gehoben werden.

Die Grubenwasserproben unterscheiden sich – je nach Probenahmeort – erheblich im Salzgehalt, was auf die unterschiedlichen Anteile an Fremdwasser (Betriebswasser und über das Grubengebäude zufließende Grundwasser, z. B. aus den Cenoman/Turon Kalken) und auch auf andere Wasserprovinzen hinweist. Für eine Auswertung (z. B. obige Tabelle) wurde daher für jeden Beprobungsort der Jahresgang des Abdampfdruckstands geprüft und Proben mit zu geringen Konzentrationen (gelbe Punkte in Abb. 21 und 22) ausgeschlossen.

Tab. 18: Aktuelle Grubenwasseranalyse aus BW Haus Aden/Monopol, Februar und März 2015 (Daten der RAG)

Haus Aden 1/2	Einheit	15-00212-001	15-02436-001
Datum Probenahme		10.02.2015	16.03.2015
Uhrzeit		12:30	12:45
Wassertemperatur	°C	24,7	26,3
Absetzb. Stoffe nach 2 h	ml/L	< 0,1	< 0,1
Abfiltrierbare Stoffe	mg/L	12	8,9
Abdampfdruckstand	mg/L	8.131	8.312
spez. elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	14.100	14.200

Haus Aden 1/2	Einheit	15-00212-001	15-02436-001
pH-Wert	-	7,7	7,9
Dichte	g/cm ³	1,004	0,999
Säurekapa. bis pH 8.2	mmol/L	< 0,01	< 0,01
Säurekapa. bis pH 4.3	mmol/L	9,5	9,9
Summe Erdalkalien	mg/L	474	452
Natriumchlorid	mg/L	6.642	6.862
Ammonium	mg/L	2,1	2,2
Natrium	mg/L	2.613	2.699
Kalium	mg/L	22	29
Calcium	mg/L	347	333
Magnesium	mg/L	100	94
Barium	mg/L	1,9	1,7
Strontium	mg/L	25	23
Eisen homogenisiert	mg/L	0,43	0,43
Mangan homogenisiert	mg/L	0,17	0,21
Blei	mg/L	< 0,01	< 0,01
Bor	mg/L	1	0,98
Cadmium	mg/L	< 0,001	< 0,001
Chrom (gesamt)	mg/L	< 0,01	< 0,01
Kupfer	mg/L	< 0,01	< 0,01
Nickel	mg/L	< 0,01	< 0,01
Zink	mg/L	0,03	0,15
Chlorid nach Mohr	mg/L	4.540	4.580
Bromid	mg/L	11	10
Sulfat	mg/L	134	190
Hydrogencarbonat	mg/L	580	604
Nitrat	mg/L	< 4,9	< 1,3
Nitrit	mg/L	0,3	0,2
Gesamtphosphor	mg/L	0,01	< 0,01
CSB homogenisiert	mg/L	< 15	< 15
CSB sedimentiert	mg/L	< 15	< 15
TOC	mg/L	< 1	1,9
DOC	mg/L	< 1	1,7
KW-Index in Wasser	mg/L	< 0,1	< 0,1

7.4.3 Vergleich mit den geogenen Hintergrundwerten

Für die hydrochemischen Modellierungen zum Freisetzungspotenzial sind Angaben über den geogenen Hintergrund der Schwermetallkonzentrationen in tiefen unbeeinflussten Grundwässern erforderlich.

In der Abb. 24 sind die mit den als belastbar eingestuften Daten von Wedewardt (1995) ermittelten Hintergrundwerte für die Schwermetallkonzentrationen und deren Schwankungsbreite in hochsalinaren Tiefengrundwässern dargestellt.

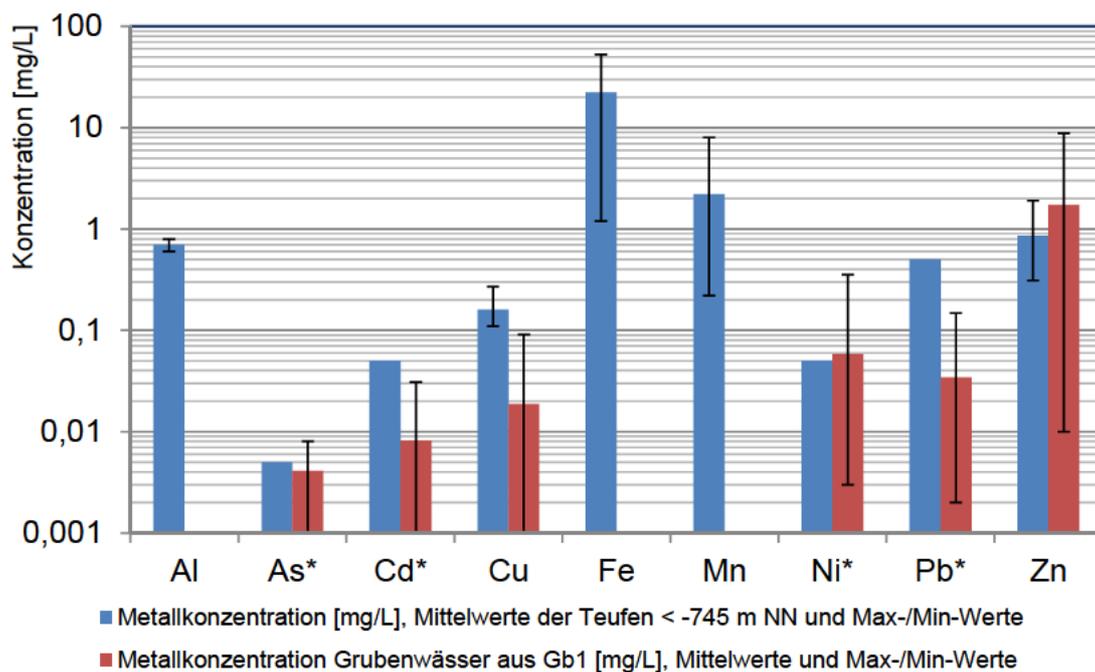


Abb. 24: Vergleich der Metallionenkonzentration und deren Schwankungsbreite zwischen Tiefengrundwasser und Grubenwasser im BW Haus Aden / Monopol (Quelle: LFH)
(Für die mit * markierten Metalle sind die von Wedewardt (1995) angegebenen Nachweisgrenzen dargestellt (blaue Säulen))

8 FREISETZUNGSPOTENZIAL ANORGANISCHE STOFFE: STAND HYDROCHEMISCHE MODELLIERUNG (Prof. ██████████)

8.1 Einleitung

In diesem Arbeitsschritt wird untersucht, ob, wie und in welcher Höhe die in Abschn. 5.1 beschriebenen Gefährdungspotenziale in Tiefengrundwässern freigesetzt werden können. Als Tiefengrundwasser wurde das „Wedewardt Z2 Wasser“ verwendet (Abschn. 7.3.1). Zudem sollen die Zeiträume, innerhalb derer sich eine solche Stofffreisetzung entwickelt, in ihrer Dimension (Hunderte, Tausende, Zehntausende Jahre) abgeschätzt werden.

Hierbei wird zwischen den Stoffgruppen der anorganischen und organischen Stoffe unterschieden, da diese beiden Stoffgruppen grundsätzlich andere Stoffeigenschaften haben. Betrachtet werden die in Abschn. 5.1 in ihrem Gefährdungspotenzial beschriebenen Stoffe:

- anorganische Schadstoffe: Schwermetalle (Zink (als Vertreter für leicht lösliche Schwermetalle) und Blei (als Vertreter für schwer lösliche Schwermetalle)), deren mineralische Verbindungen u. a. in Abhängigkeit vom pH-Wert wasserlöslich sind,
- organische Schadstoffe wie Dioxine und Furane, PAK sowie PCB, die fast wasserunlöslich sind.

Das Freisetzungspotenzial der organischen Schadstoffe wird noch durch LEK, Prof. ██████████ ermittelt. Hierbei werden auch ggf. die Flüchtigkeit der organischen Stoffe und/oder ein Transport über die Bewetterung betrachtet.

Bei der Abschätzung des Freisetzungspotenzials der anorganischen Stoffe wird in mehreren Schritten vorgegangen.

- Beschreibung und Darstellung des damaligen Forschungsansatzes (empirische Untersuchungen) inkl. Ergebnisse,
- Beschreibung des damaligen „Barriere- und Sicherungskonzepts“,
- erste Bewertung der damaligen Untersuchungen, Ergebnisse und des Barriere- und Sicherungskonzepts (inkl. Langzeitsicherungskonzept),
- hydrogeochemische, chemisch-thermodynamisch basierte Modellierungen (PHREEQC) als ergänzender Forschungsansatz,
- Aussagen zur Langzeitstabilität und zum Freisetzungspotenzial (v. a. für die Parameter pH-Wert, Blei- und Zink-Konzentrationen),
- Bewertung.

Es wird im Folgenden eine kurze Zusammenfassung zu Vorgehen, Stand, ersten Ergebnissen und zu den weiteren Arbeiten gegeben.

8.2 Beschreibung und Darstellung der damaligen empirischen Untersuchungen und der Ergebnisse

Bei den damaligen Untersuchungen und daraus abgeleiteten Aussagen der „Basisgutachten“ standen Laborverfahren zur Abschätzung der Stofffreisetzung in wässrigen Lösungen im Vordergrund. Es wurden zunächst zahlreiche kleinmaßstäbliche Kurzzeit-Elutionsversuche mit den verschiedenen Reststoffen und Beimengen und verschiedenen zusammengesetzten Wässern durchgeführt. Sehr häufig wurde ein standardisiertes „RAG-Wasser“ verwendet, das mit seiner hohen Mineralisierung (111 g/l Na⁺-Ionen und Cl⁻-Ionen) einem tiefen Grund-/Grubenwasser aus ca. 800 m Tiefe entspricht (vgl. Abb. 22).

Diese kleinmaßstäblichen Kurzzeit-Elutionsversuche wurden später noch durch größermaßstäbliche Containerversuche ergänzt, da hier größere Materialmengen eingesetzt werden konnten. Der längste dieser Containerversuche dauerte 297 Tage; die Kurzzeitversuche liefen über Tage bis zu Wochen. Die Reaktion der meisten Reststoffmineralphasengemische mit dem „RAG-Wasser“ bewirkte eine deutliche pH-Wert-Zunahme von ca. pH 7 auf pH 9 bis pH 11; bei den wenigen Containerversuchen wurden die maximalen pH-Werte um pH 11 (noch) nicht erreicht. Diese Laborversuche wurden durch verschiedene mikroskopische, röntgendiffraktometrische und geochemische Untersuchungen ergänzt, um die mineralogisch-geochemische Zusammensetzung der Reststoffe aus Mineralphasen und glasigen Bestandteilen sowie deren Veränderungen bei der Reaktion mit Wässern, v. a. die Bildung neuer Mineralphasen, beobachten zu können. Ein solcher Forschungsansatz ist rein empirischer, beschreibender Natur.

8.3 Beschreibung des damaligen „Barriere- und Sicherungskonzepts“

Aufgrund der eindeutigen und reproduzierbaren pH-Wert-Zunahme und auch der Identifizierung der Neubildung von „Zement“-Mineralien wie Portlandit (Ca(OH)₂) und Etringit / Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂·26H₂O wurde von einem Abbindeprozess der eingebrachten Reststoffe beim ersten Kontakt mit Wässern ausgegangen, der zu einer Verringerung des Porenvolumens und zu einer Abnahme der Durchlässigkeit der Rückstände führte. Durch diese „chemische“ Anfangsverringering der Durchlässigkeit sollten die verbleibenden Bruchhöhlräume zusätzlich verschlossen werden (Abb. 6).

Aufgrund der sich im Reaktionskontakt mit Wässern einstellenden hohen pH-Werte wurde ein geringes Freisetzungspotenzial für die reststoffbürtigen Schwermetalle postuliert, da mineralische Schwermetallverbindungen (z. B. Hydroxide, Karbonate, Sulfide, Hydroxochloride, Hydroxosulfate) in der Regel bzw. häufig bei hohen pH-Werten gering bis sehr gering in wässrigen Lösungen löslich sind. Die Wirkung dieser beiden parallel ablaufenden Vorgänge (pH-Wert-Erhöhung und Selbstverdichtung) wurde als die „innere hydrochemische Barriere“ und „effektive hydraulische Barriere“ bezeichnet. Es wurde davon ausgegangen, dass die hohen pH-Werte – und damit die innere hydrochemische Barriere – über viele Zehntausende von Jahren stabil erhalten bleiben, wenn die BHV dem Zutritt von Tiefengrundwässern ausgesetzt sein würde.

Außerhalb der BHV wurden noch weitere Barrieren angenommen, wie z. B. eine geologische Barriere (umgebende und überlagernde Tonsteine), der Gebirgsdruck und eine hydraulische Barriere (kein oder eingeschränkter Kontakt zu großräumigen

Grundwasserfließsystemen). Diese werden v. a. beim Ausbreitungspotenzial näher betrachtet.

8.4 Erste Bewertung der damaligen Untersuchungen, Ergebnisse und des Barriere- und Sicherungskonzeptes

Den damaligen Gutachtern war bewusst, dass die kleinmaßstäblichen und Kurzzeit-Elutionsversuche im Labor (der empirische Forschungsansatz) *die vielfältigen geochemischen Prozesse im Versatz (beim Kontakt mit wässrigen Lösungen) nicht widerspiegeln können*. Bei solchen hydrogeochemischen Prozessen laufen Auflösungs-, Umwandlungs- und Ausfällungsreaktionen von reststoffbürtigen Mineralphasen ab, die mit einer teilweisen Freisetzung von Stoffen in die wässrige Lösung verbunden sind. Vor allem die Langzeitstabilität der inneren hydrochemischen Barriere mit langanhaltend hohen pH-Werten, konnte in Laborversuchen nicht nachgewiesen werden. Unter dem Gesichtspunkt der Langzeitsicherheit (Zehntausende von Jahren) konnten und können keine entsprechenden Langzeit-Laborversuche durchgeführt werden.

Im Detailbericht 4 (Prof. ██████████) wird eine ausführliche Darstellung der damaligen Untersuchungen, Ergebnisse und des Barriere- und Sicherungskonzeptes erfolgen. Insbesondere werden die Grundlagen und Ergebnisse bewertet (Aufgabenstellung 1 des Gutachtens).

8.5 Untersuchungskonzept Prof. ██████████

8.5.1 Empirischer Forschungsansatz und chemisch-thermodynamisch basiertes Prozessverständnis

In den damaligen Untersuchungen der Basisgutachten wurden vor allem Laborversuche durchgeführt und die Ergebnisse und Beobachtungen detailliert dokumentiert. Was fehlte, war eine grundlegende Analyse, welche hydrogeochemischen Prozesse in der BHV im Reaktionskontakt mit den Tiefengrundwässern und dem Nebengestein ablaufen können. Weil entsprechende Aussagen der Basisgutachten allein auf Laboruntersuchungen beruhen und deshalb rein empirischer Natur sind, können die Ergebnisse dieses Forschungsansatzes

- zu keinem quantitativen Prozessverständnis führen,
- nicht mit Stoffgesetzmäßigkeiten verknüpft werden und
- deshalb nicht auf andere Verhältnisse übertragen und zur quantitativen Prognose hydrogeochemischer Entwicklung verwendet werden.

Dazu ist chemisch-thermodynamisch basiertes Prozessverständnis erforderlich.

Dass solche Prozesse der Auflösung und Umwandlung / Ausfällung von Mineralphasen in den Reststoffen unzweifelhaft ablaufen, ist darin begründet, dass die großen Mengen eingebrachter Reststoffe nicht in einem hydrogeochemisch-thermodynamischen Gleichgewicht mit den Tiefengrundwässern stehen. Allein die „H⁺-,“ bzw. die „OH⁻-Ionenkonzentration“ (bzw. der pH-Wert) der Porenwässer in den Reststoffen unter-

scheiden sich um mehrere Zehner-Potenzen von denen des örtlichen Grund- / Grubenwassers. Allein schon aus diesem Grund sind Teile der eingebrachten reststoffbürtigen Mineralphasen (u. a. Blei- und Zink-Mineralphasen) grundsätzlich beim Kontakt mit Tiefengrundwässern thermodynamisch nicht langzeitstabil. Es ist eine Frage der Intensität des Reaktionskontaktes mit solchen Tiefengrundwässern, innerhalb welcher Zeiträume die pH-Werte im Porenwasser BHV so weit verringert sind (ca. $\text{pH} < 8$), dass Blei und Zink in diese Wässer freigesetzt werden.

Thermodynamik

Einzig die Stoffgesetzmäßigkeiten der chemischen Gleichgewichtsthermodynamik für wässrige Lösungen, Gasphasen und Mineralphasen entscheiden anhand der Gleichgewichtskonstanten für chemische Gleichgewichtsreaktionen und der zugehörigen Massenwirkungsgesetze darüber, ob bestimmte chemische Reaktionen ablaufen, welcher Gleichgewichtszustand (pH-Wert, Stoffkonzentrationen) sich dabei einstellt und welche Stoffumsätze damit verbunden sind.

Ein solcher Ansatz zur Berechnung der hydrogeochemischen Reaktionen geht davon aus, dass in einem betrachteten Zeitraum dieser Gleichgewichtszustand erreicht wird. Mit welcher Geschwindigkeit diese Reaktionen – auf dem Weg hin zum Gleichgewicht – ablaufen („Kinetik der Reaktion“) kann damit nicht beschrieben werden.

8.5.2 Aussagemöglichkeiten und Grenzen der chemisch-thermodynamischen Modellierungen

Die auftretenden Prozesse in der BHV, also z. B. die Umwandlung von Anhydrit (CaSO_4) zu Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oder die Bildung und anschließende Wiederauflösung von Brucit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) beim Zutritt von Wasser, folgen bekannten chemischen Gesetzmäßigkeiten und können über chemisch-thermodynamisch basierte, numerische Modellierungen quantitativ mit ihren Stoffumsätzen berechnet werden. Die Schwierigkeiten bei der Interpretation der thermodynamischen Modellierungen sind aber folgende:

Über die Geschwindigkeit (Kinetik) eines Umwandlungsprozesses, z. B. einer Mineralneubildung oder Auflösung, können über die thermodynamischen Modellierungen keine Aussagen getroffen werden. Diese erfolgen in den Modellierungen alle „spontan“ innerhalb des betrachteten Zeitraums.

In der Natur sind die Ausgangs- und Randbedingungen immer erheblich vielfältiger und mit der Zeit veränderlicher, als in dem komplexesten Modell angenommen werden kann. Zu den Ausgangs- und Randbedingungen gehören z. B. die Mineralphasen der Reststoffe (nach Art und Menge im Kontakt mit Porenwasser), die chemische Zusammensetzung der zuzitenden Grund- und Grubenwässer und die Beschaffenheit der Nebengesteine. Alle diese Parameter können nicht exakt angegeben werden und ändern sich in Abhängigkeit von Zeit und Standort. Um also die wichtigsten hydrochemischen Prozesse beschreiben zu können, wurden im Rahmen der thermodynamischen Modellierungen plausible Annahmen getroffen, die im Detailbericht 3 (LFH, Prof. [REDACTED]) dokumentiert werden.

Zeitliche Änderung der Durchlässigkeiten

Stofffreisetzung aus den Reststoffen in die Porenwässer der BHV bedeutet, dass sich Stoffe / Mineralphasen des Reststoffs in der BHV auflösen. Dem Volumen der aufgelösten Mengen solcher Mineralphasen entsprechend, vergrößert sich der Hohlraumanteil innerhalb des Reststoffkörpers. Es entwickeln sich, ausgelöst durch hydrogeochemische Prozesse, neue Wasserwegsamkeiten in der BHV, falls das Volumen der aufgelösten Mineralphasen bei den Reaktionen der Auflösung, Umwandlung und Ausfällung größer wird als das Volumen neu gebildeter Mineralphasen.

Umgekehrt gilt ebenso: Ist das Volumen der in der BHV neu gebildeten Mineralphasen größer als das Volumen der aufgelösten Mineralphasen, wird der wasserwegsame Hohlraumanteil in der BHV durch Zementation im geologischen Sinne verringert. Die Durchlässigkeit wird kleiner, so wie es beim ersten Kontakt der Reststoffe mit Tiefengrundwässern abläuft und auch bei Kurzzeit-Laborversuchen beobachtet wurde.

Für die Bewertung dieser Prozesse ist jedoch zu beachten, dass der Anteil der verbrachten Reststoffe nur 1 bis 5 % des verstärzten Bereichs umfasst.

Langfristig bedeutsam ist, wie sich die Volumen-Bilanz von Auflösung zu Ausfällung beim wiederholten Kontakt mit Tiefengrundwässern entwickelt, wenn es also bei der Durchströmung der BHV zum wiederholten Porenwasseraustausch kommt.

Im komplexen und rückgekoppelten Zusammenwirken von hydrogeochemischen Reaktionen und der Tiefengrundwasserströmung durch den BHV können sich solche Randbedingungen ändern, welche die Wirkung der „effektiven hydraulische Barriere“ verstärken oder aufheben.

8.5.2.1 Thermodynamische Modellierungen (PHREEQC) zum grundlegenden Verständnis der Prozesse unter Zutritt von salinaren Wässern (tiefe Grundwässer / Grubenwässer)

Zur Einschätzung des Stofffreisetzungsverhaltens wird der rein empirische Forschungsansatz der „Basisgutachten“ durch einen chemisch-thermodynamisch basierten Forschungsansatz erweitert.

Es werden chemisch-thermodynamische Modellierungen durchgeführt, um zu verstehen, welche chemischen Reaktionen mit welchen Stoffumsätzen der Ausfällung, Umwandlung und Auflösung von Mineralphasen ablaufen. Da nicht alle Randbedingungen bekannt sind (z. B. Mineralphasen der eingebrachten Gemische nach Art und Menge im Kontakt mit Porenwasser) wurden plausible Annahmen getroffen. Die verwendeten Randbedingungen werden im Detailbericht im Einzelnen beschrieben und bewertet. Weiterhin werden Parameterstudien durchgeführt. Folgende thermodynamische Modellierungsansätze zur hydrogeochemischen Stabilität und zur Stofffreisetzung aus reststoffähnlichen Mineralphasengemischen wurden und werden durchgeführt:

- Einzel-Mineralphasen (Batch-Versuche),
- Mineralphasengemische (Batch-Versuche),
- Mineralphasengemische und Nebengesteine (Batch-Versuche),

- reaktive Stofftransportmodellierung (1D-Modellierung) einer durchströmten BHV nach Anstieg des Grubenwassers und Aufsättigung der BHV.

Die bislang durchgeführten Modellierungen zeigen alle, dass es bei einem Reaktionskontakt mit „RAG-Wasser“ zu zahlreichen Mineralneubildungen, Umwandlungen und Auflösungen kommt. Dieser Reaktionskontakt wurde – unter Langzeitsicherheitsaspekten – bis zu einem 1.000-fachen Austausch des Porenwassers simuliert. Dieser Porenwasseraustausch ist in den Batch-Modellierungen dimensionslos, d. h. der Austausch erfolgt – wie auch die chemischen Reaktionen – sofort.

In der Realität benötigen diese Prozesse natürlich Zeit, und die kann bei den geringen Durchlässigkeitsbeiwerten (in der Größenordnung von 10^{-8} m/s bis 10^{-9} m/s) und den geringen hydraulischen Potenzialunterschieden erheblich sein.

Nach dem bisherigen Kenntnisstand („Basisgutachten“ und erste eigene Ergebnisse) gehen die Gutachter davon aus, dass zunächst eine Grundwasserströmung aus dem umgebenden Gebirge in die BHV gerichtet ist, bis diese weitgehend wassergesättigt ist. Diese Phase dauert gemäß früheren Untersuchungen mehrere 10er-Jahre (GRS 1998) und wird in den laufenden Modellierungen überprüft. Erst dann können eine Durchströmung der BHV und der Reaktionskontakt mit den reststoffbürtigen Mineralphasen erfolgen. Die dann die BHV durchströmende Wassermenge hängt von den sich einstellenden Durchlässigkeiten und Potenzialdifferenzen ab (s. Erläuterung: Durchlässigkeit und Potenzialdifferenz).

Durchlässigkeit und Potenzialdifferenz

Die durchflossene Menge hängt v. a. von der Durchlässigkeit und der Potenzialdifferenz ab. Selbst bei einer sehr großen Durchlässigkeit wie in einem Rohr fließt nur dann Wasser, wenn es auch einen Druckunterschied, also eine Potenzialdifferenz gibt. Die Potenzialdifferenz ist somit der „Motor“ der Grundwasserströmung. Die Fließrichtung und die Fließmenge werden wesentlich von der Potenzialdifferenz bestimmt. Die Potenzialdifferenz ist – im Gegensatz zur Durchlässigkeit – auch größeren Schwankungen unterworfen und kann auch z. B. durch die Pumpenkonstellation und Höhe des Grubenwasseranstiegs gesteuert werden.

Wie groß die Potenzialdifferenz unterhalb und oberhalb einer BHV nach der Wassersättigung der BHV selbst ist, wird durch das Grundwasserströmungsmodell ermittelt.

Das Ziel der Batch-Modellierungen (s. Erläuterung: Batch-Modellierung) ist nicht eine zeitliche Einordnung, sondern die Beschreibung der hydrochemischen Prozesse, die unter den angenommenen Randbedingungen ablaufen können, und die Erarbeitung von Prozessverständnis.

Batch-Modellierung (Computerprogramm PHREEQC)

Wie in einem Becherglas können in einem Computerprogramm Mineralphasen oder auch Mineralphasengemische in einem Reaktionskontakt mit einem Liter wässriger Lösung gebracht werden. Der chemisch-thermodynamische Gleichgewichtszustand stellt sich ein. Die dabei erfolgenden Stoffumsätze (Ausfällung, Umwandlung, Auflösung welcher Phasen in welchen Mengen) und die sich einstellenden pH-Werte und Stoffkonzentrationen in der wässrigen Lösung werden auf der Grundlage der chemischen Gleichgewichtsthermodynamik berechnet. Das entspricht einem einmaligen Reaktionskontakt bzw. einer einmaligen Füllung des Porenhohlraums im Mineralphasengemisch mit „RAG-Wasser“ in einem chemischen Reaktor.

Ein wiederholter Austausch des Porenwassers, das in diesem Reaktor den Gleichgewichtszustand eingestellt hat, durch neu hinzutretendes „frisches RAG-Wasser“ bildet die schrittweise Weiterentwicklung dieser hydrogeochemischen Prozesse ab. Das beschreibt konzeptionell und in einfachster Form einen wiederholten Zutritt von „RAG-Wasser“ in den Porenhohlraum des Mineralphasengemischs – ähnlich der Durchströmung des BHV.

Allerdings bleibt diese Modellierung ohne jede konkrete zeitliche und räumliche Dimension. Batch-Modelle sind in diesem Sinn Null-dimensional.

Einen Schritt weiter als die Batch-Modellierungen geht die reaktive 1D-Stofftransportmodellierung (s. Erläuterung). Hierbei werden über eine eindimensionale Fließstrecke mit einer Länge von z. B. 50 m die hydrochemischen Prozesse mit ihrer räumlich-zeitlichen Entwicklung modelliert. Innerhalb der modellierten Fließstrecke liegt die durchströmte BHV. Der Rest der Fließstrecke sind die Nebengesteine. Die Gesetzmäßigkeiten, die bestimmen, welche und wie die hydrochemischen Prozesse ablaufen, sind diejenigen, die zuvor auch in den Batch-Modellierungen wirksam waren. Die hydraulischen Randbedingungen wie Durchlässigkeiten, Potenzialunterschiede, Abstandsgeschwindigkeit des die BHV durchströmenden Tiefengrundwassers und dessen Fließstrecke durch die BHV ergeben sich aus den Grundwasserströmungsmodellierungen, deren Ergebnisse im Frühjahr 2016 vorliegen werden.

Die Veränderungen der Durchlässigkeiten innerhalb der BHV, z. B. durch Minerallösungen, können mit der reaktiven 1D-Stofftransportmodellierung nicht berücksichtigt werden. Dieser Einfluss kann aber über Grundwasserströmungsmodellierungen mit verschiedenen Durchlässigkeiten abgeschätzt werden (s. Erläuterung: Zeitliche Änderung der Durchlässigkeiten, s. Abschn. 8.5.2).

Reaktive 1D-Stofftransportmodellierung

Mit der reaktiven 1D-Stofftransportmodellierung werden auf konzeptionell einfachste Art die hydrogeochemischen Reaktionen an die Strömung des Porenwassers (des sich verändernden „RAG Wassers“) durch die BHV gekoppelt. Für vorgegebene Bedingungen (u. a. die Strömungsgeschwindigkeit) werden damit dimensionsmäßige Abschätzungen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der hydrogeochemischen Prozesse möglich: Nach welchen Zeiträumen treten wo auf der Fließstrecke durch den BHV und das unmittelbare abstromige Nahfeld.

- welche Stoffumsätze der Ausfällungs-, Umwandlungs- und Auflösungsreaktionen,
- welche pH-Werte im Porenwasser (BHV) bzw. Tiefengrundwasser und
- welche Stoffkonzentrationen (u. a. von Blei und Zink)

auf?

Aufgebaut sind solche reaktiven 1D-Stofftransportmodelle aus beispielsweise 100 hintereinander „in Reihe geschalteten“ chemischen Reaktoren aus den Batch-Modellen. In den ersten dieser Reaktoren (Zellen) tritt das „RAG-Wasser“ ein und reagiert dort bis zur Gleichgewichtseinstellung mit den vorhandenen Mineralphasen. Nach einem vorgegebenen Zeitschritt von z. B. 10 Jahren gelangt dieses durch die Gleichgewichtseinstellung veränderte „RAG-Wasser“ über eine bestimmte Fließstrecke (z. B. 0,5 m) in den nächsten der „in Reihe geschalteten“ Reaktoren, wo es erneut bis zur Gleichgewichtseinstellung reagiert und dann wieder weiter in den nächsten Reaktor strömt.

Ausgelöst wird dieser Stofftransportprozess durch das mit jedem Zeitschritt in den ersten Reaktor einströmende „frische RAG-Wasser“, das die Porenwässer aus den „nachgeschalteten“ Reaktoren verdrängt. Die Gesamtanzahl der Zeitschritte von jeweils 10 Jahren gibt den Gesamtzeitraum dieses stationär anhaltenden Stofftransportprozesses vor. Auf diese Art kann die Stofffreisetzung (basierend auf den Gesetzmäßigkeiten der chemischen-Gleichgewichtsthermodynamik) und die Stoffausbreitung im unmittelbaren Nahfeld (basierend auf den Gesetzmäßigkeiten der chemischen Gleichgewichtsthermodynamik und des advektiven Transports) mit ihrer zeitlich-räumlichen Entwicklung eingeschätzt werden.

Die mit solchen Modellierungen erzeugten Ergebnisse zur Stofffreisetzung im BHV und zur Stoffausbreitung im unmittelbaren Nahfeld sind mit einem einfachen Modell erzeugt. Dessen ungeachtet sind diese Modellierungen in der Lage, die prinzipielle Entwicklung solcher Systeme mit ihrer Entwicklungsrichtung und den Größenordnungen der dabei auftretenden Stoffkonzentrationen im Wasser, der Mineralphasenvorräte sowie der räumlichen und zeitlichen Dimension solcher Entwicklungen zu beschreiben.

8.5.2.2 Identifizierung und Bewertung wichtiger hydrogeochemischer Prozesse

Im Rahmen der bisherigen Arbeiten wurden wichtige hydrogeochemische Prozesse in einer BHV identifiziert und mit chemisch-thermodynamischen Modellierungen nachvollzogen. Über den Bearbeitungsstand zur Beschreibung und Bedeutung der folgenden Prozesse wird zum jetzigen Zwischenstand kurz berichtet:

- Abbindeprozess,
- pH-Wert Entwicklung,
- Mineralneubildung,
- Mineralumwandlung,
- Mineralauflösung.

Abbindeprozess (LFH, Prof. █████)

Zwischenfazit: Aus den verschiedenen Gründen, die in Kap. 11 aufgeführt wurden und die im späteren Detailbericht 3 (LFH, Prof. █████) noch eingehend erläutert werden, gehen die Gutachter in ihrer Bewertung derzeit von einer erfolgten „Erhärtung“ aus.

pH-Wert Entwicklung, Mineralneubildung, Mineralumwandlung

Diese komplexen Prozesse laufen zum einen zeitgleich, zum anderen aber auch nacheinander in Reaktionsketten ab.

Die in den empirischen Versuchen beobachtete Entwicklung, also der schnelle und hohe Anstieg des pH-Wertes bis mindestens pH 9, wird durch die verschiedenen thermodynamischen Modellierungen bestätigt und gilt als sicher. In den Modellierungen wurden pH-Werte bis pH 12 nachgewiesen.

Die pH-Wert-Erhöhung in den Porenwässern wird durch die Auflösung von Mineralphasen bewirkt, die OH-Gruppen enthalten. Bei der pH-Wert-Erhöhung können sich dann allerdings auch Mineralphasen neu bilden, die die neu freigesetzten OH-Gruppen wieder einbauen.

Die Bildung vieler neuer Mineralien beginnt bereits bei der Zumischung von Wasser und setzt sich während des Abbindeprozesses fort („Zementminerale“ wie Portlandit, Ettringit und Calciumsilikathydrate (CSH-Phase)).

Bei diesem Prozess wurde u. a. auch das zugesetzte (Anmisch-)Wasser in das Kristallgitter der neuen Minerale eingebaut. Das eingebrachte Wasser sowie das Porenwasser sind also nicht aus dem System „verschwunden“, sondern in den neu gebildeten Mineralien enthalten. So enthält z. B. ein neu gebildetes Molekül Ettringit 26 Moleküle Kristallwasser ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$). Auch bei der Bildung von Gips aus Anhydrit werden pro Molekül Gips zwei Moleküle Wasser eingebaut.

Mineralauflösung

Sehr viele der eingebrachten und entstandenen Mineralien sind **in Abhängigkeit vom pH-Wert** wasserlöslich: z. B. Halit / NaCl, Sylvit / KCl, Anhydrit / CaSO_4 , Gips / $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Calcit / CaCO_3 , Ettringit / $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$, Portlandit / $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Ca-Hydroxochloridphasen / $\text{Ca}_2\text{Cl}_2(\text{OH})_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ und Glauberit / $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$. Bei einem pH-Wert von 12 ist selbst Quarz Diese Prozesse der Lösung und Wiederausfällung gelten auch für die Schwermetalle (s. Detailbericht).

Falls sich diese Mineralien wieder auflösen, wird auch das zuvor gebundene Kristallwasser frei. Das z. B. bei der Auflösung von Ettringit wieder frei werdende Kristallwasser hat dann selbst wieder eine hohe Lösungskraft. Hierzu muss sich aber erst wieder ein niedriger pH-Wert einstellen.

Eine Bewertung dieser Prozesse ist noch nicht erfolgt. So wird in der Literatur mehrfach berichtet, dass sich bei der Entstehung von Lösungskanälen (channeling) die Lösungsfronten für längere Zeit nicht weiter in den Körper hineinbewegen, sondern sich auf den Lösungskanal beschränken.

8.6 Aussagen zur Langzeitstabilität und zum Freisetzungspotenzial (v. a. für die Parameter Blei und Zink)

Aussagen zur Langzeitstabilität und zum Freisetzungspotenzial erfolgen auf der Grundlage der reaktiven 1D-Stofftransportmodellierung ab Frühjahr 2016. Hierzu müssen zunächst die hydraulischen Randbedingungen wie die Durchlässigkeiten, der Potenzialunterschied, die Abstandsgeschwindigkeit des die BHV durchströmenden Tiefengrundwassers und dessen Fließstrecke durch den BHV aus den Grundwasserströmungsmodellierungen vorliegen und das Tiefengrundwasser in seiner Zusammensetzung definiert werden.

8.7 Gesamtbewertung des Freisetzungspotenzials

Die Gesamtbewertung des Freisetzungspotenzials erfolgt nach Abschluss der reaktiven 1D-Stofftransportmodellierungen. Aus den reaktiven 1D-Stofftransportmodellierungen wird wiederum der Quellterm als Eingangsgröße für das Ausbreitungspotenzial abgeleitet, das mit der Grundwasserströmungsmodellierung abgeleitet wird.

9 AUSBREITUNGSPOTENZIAL: STAND DES GRUNDWASSER-STRÖMUNGSMODELLS (delta h, Prof. █████)

9.1 Modellkonzept Zweistufiger Aufbau

Innerhalb des Gesamtprojekts sollen die numerischen Grundwassersimulationen Aufschluss darüber geben, inwieweit sich das Porenwasser im Nahbereich der untertägig eingebrachten Reststoffe insbesondere in der Phase des Grubenwasserwiederanstiegs austauscht und gegebenenfalls in welchem Zeitrahmen ausgebrachte Stoffe über das Gebirge in die Biosphäre gelangen können (Ausbreitung). Die Grubenwasserübertritte und die Grubenwasserstände im Jahr 2015 nach Angaben der RAG sind in der Abb. 25 dargestellt.

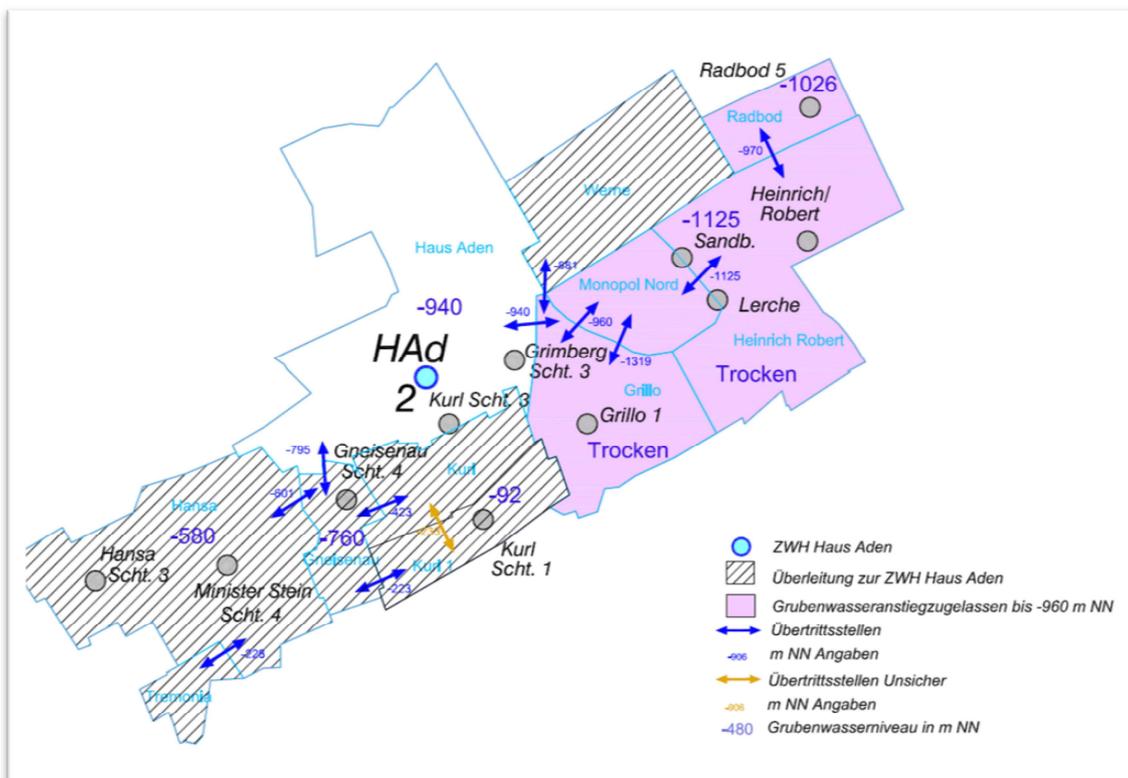


Abb. 25: Grubenwasserstände und Übertrittsstellen in der Wasserprovinz Haus Aden (Quelle: RAG 2015)

Aufgrund der Komplexität der bestimmenden Prozesse wird ein zweistufiges Modellkonzept entwickelt. Das Fernfeld-Modell umschließt den Bereich des Grubengebäudes vollständig. Die Differenzierung und Parametrisierung des geologischen Schichtenverbandes im Fernfeld-Modell erfolgt parallel zum Modellaufbau. Das Nahfeld-Modell umfasst den Teilbereich des Fernfeld-Modells, der die untertägig verbrachten Reststoffe (BHV) beinhaltet (Abb. 26). Die Simulationen mit dem Fernfeld-Modell liefern zum einen die Randbedingungen und Anfangsbedingungen für das Nahfeld-Modell; zum anderen kann die Ausbreitung von Stoffen simuliert werden. Damit ist es auch möglich,

ggf. aus dem Nahbereich austretende Stoffe des BHV in ihrem Ausbreitungsverhalten in Richtung Biosphäre zu berechnen. Tab. 19 liefert einen Überblick über das Modellkonzept.

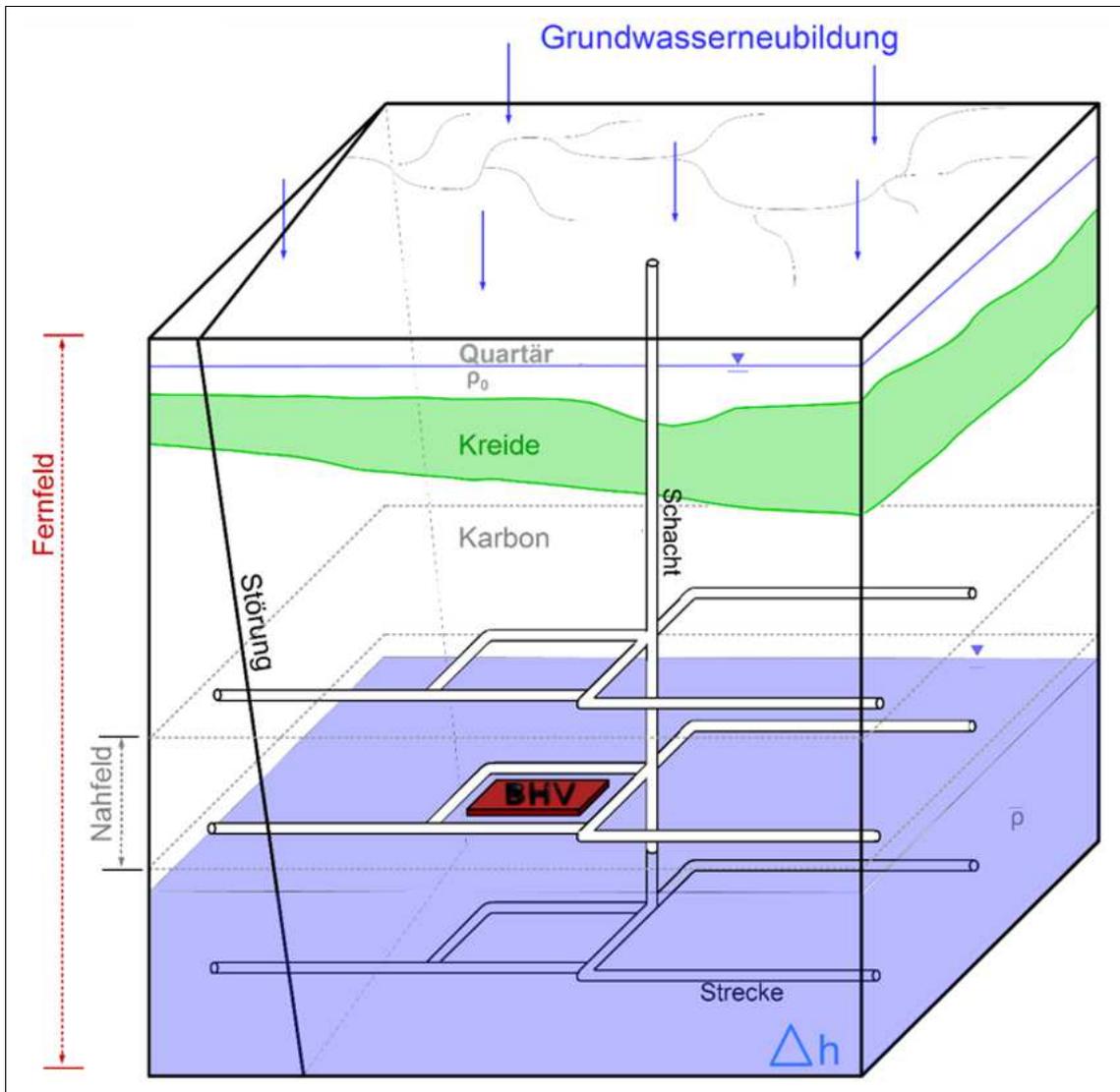


Abb. 26: Schematische Darstellung der Modellbereiche im Anfangszustand (Quelle: delta h). Das Nahfeld umfasst den unmittelbaren Bereich der BHV.

Tab. 19: Modellkonzept

	Modell	Ergebnis	Verwendung
Fernfeld	3D, abhängig von Dichte und Temperatur	Grundwasserpotenziale regional, ggf. Stoffverteilung	Potenzial-Randbedingungen für das Nahfeld, Stoffverteilung
Nahfeld	3D, Klufftströmung, abhängig von Dichte und Temperatur	Potenziale, Dichte, Fließgeschwindigkeit im umliegenden Gebirge, Stoffverteilung	Austausch Gebirge – Grubengebäude: Wassermengen, Stoffmengen Zeitraum pro Porenwasseraustausch

Beide Modelle, das Fernfeld-Modell und das Nahfeld-Modell sind dreidimensionale Modelle und simulieren die Strömung des Grundwassers unter Berücksichtigung der Dichteschichtung und Temperaturabhängigkeit. Die Stoffverteilung erfolgt innerhalb dieser Modelle über einen Tracer-Transport. Mit beiden Modellen werden sowohl der Ist-Zustand (Anfangsbedingung für die weiteren Berechnungen) als auch der Flutungszustand und der Zustand nach vollständiger Flutung berechnet.

Die Tab. 20 gibt eine Übersicht über die benötigten Daten der Geometrie, der Materialparameter und der Rand- und Anfangsbedingungen beider Modelltypen.

Tab. 20: Benötigte Daten für den Aufbau des Modells

	Geometrie	Materialparameter	Randbedingungen, Anfangsbedingungen
Fernfeld	Geländehöhen, Grubengebäude Haus Aden/Monopol, Schichtgrenze Kreide/Karbon, Schichtgrenze Kreide/Quartär, Oberflächengewässer, Störung	Durchlässigkeiten, Speicherkoeffizienten	Untertägige Wasserscheide, Potenzialverteilung vor Flutung, Dichteschichtung
Nahfeld	Geometrie BW Haus Aden/Monopol, Wasserhaltung, Schichtung Sandstein, Tonschiefer, BHV	Durchlässigkeiten, Speicherkoeffizienten	Potenziale im Grubengebäude (aus Boxmodell) vor und während der Flutung, Potenziale im Gebirge aus Fernfeldsimulation

9.2 Fernfeld

Das Fernfeld-Modell hat eine horizontale Ausbreitung von etwa 200 km² und geht damit über den Bereich des Grubengebäudes deutlich hinaus und berücksichtigt auch das regionale Gewässernetz (Abb. 27). Bei dieser Ausdehnung sind Unsicherheiten in den Annahmen der Randbedingungen ohne nennenswerten Einfluss auf die Grundwasserströmung im Aussagebereich.

Der obere Rand des Modells ist die Geländeoberkante (ca. 80 mNHN), der untere Rand liegt unterhalb der Bergwerkssohle bei 1.400 m u. GOK.

In der geologischen Schichtung finden von oben nach unten der quartäre Grundwasserleiter, der Emscher Mergel und mit dem Grubengebäude das Karbon Berücksichtigung (gemäß Abschn. 7.2).

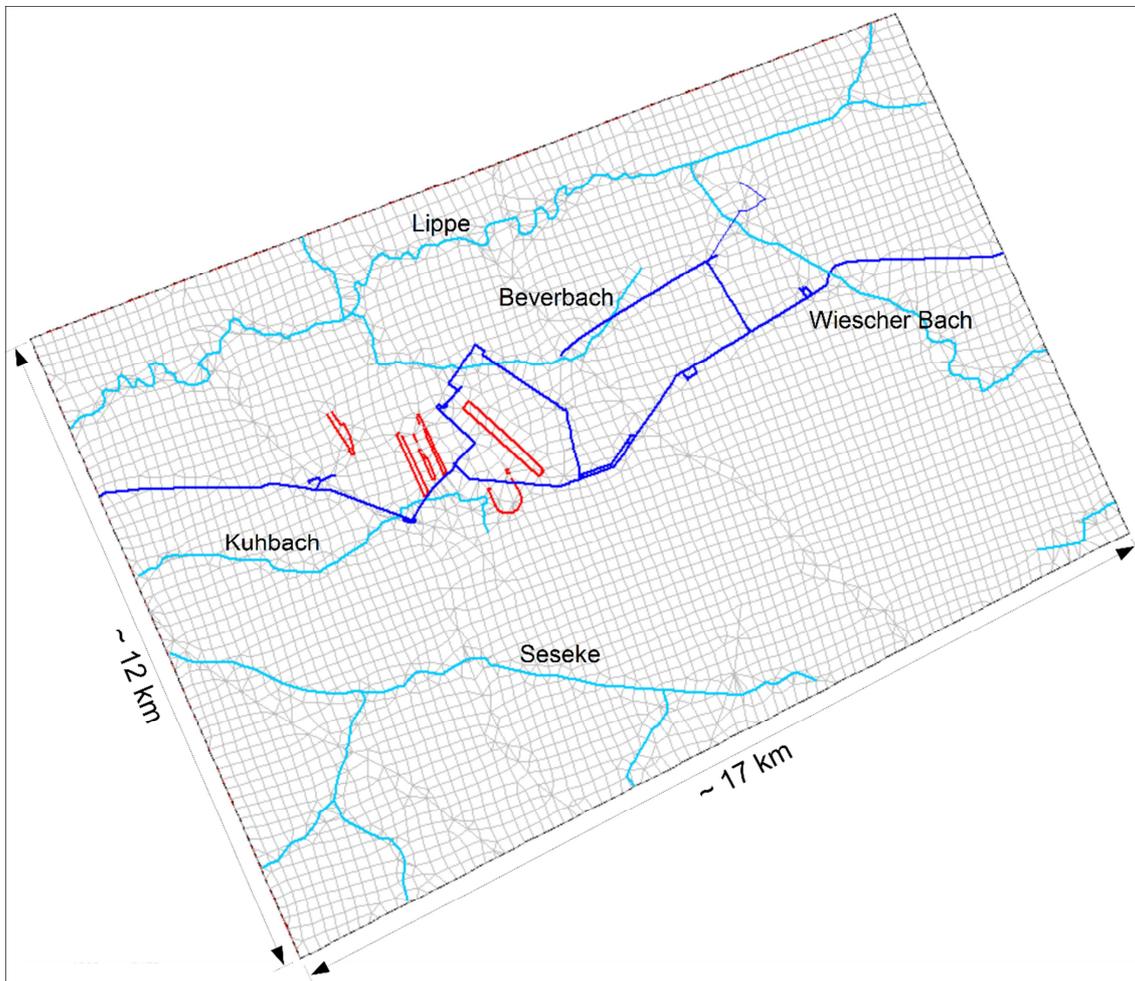


Abb. 27: Gewässersystem (hellblau), Streckennetz (dunkelblau) und BHV (rot)
(Quelle: delta h)

Oberflächengewässer sind sowohl in ihrer Geometrie als auch über ihren Austausch mit dem quartären Grundwasserleiter berücksichtigt (Leakage-Randbedingung); dies sind insbesondere im nördlichen Modellgebiet die Lippe und ihre Nebenbäche. Die Grundwasserneubildung des quartären Grundwasserleiters wird nach dem Verfahren von Schröder & Wyrwich (1990) berechnet, das von delta h weiterentwickelt wurde.

Das Grubengebäude innerhalb des Karbons ist in seinem Streckensystem mit dem Bereich des BHV in seiner Geometrie sowohl horizontal als auch in den Höhenlagen netzbestimmend. Die Abbaugelände (Alter Mann) schlagen sich in den Materialparametern nieder. Die im Bereich des Grubengebäudes bekannten großräumig relevanten Störungen werden in Geometrie und Materialparametern berücksichtigt. Das Röhrensystem der Wasserhaltung wird geometrisch berücksichtigt, die Austauschmengen mit der Wasserhaltung fließen als Randbedingungen in das Modell ein. Die Abb. 28 zeigt die Lage des Grubengebäudes im Raum, die Abb. 29 die Draufsicht auf das Modell mit

horizontalem Netz und den netzbestimmenden, geometrischen Strukturen. Die Abb. 30 zeigt die Berücksichtigung der Störungen in einer 3D-Ansicht.

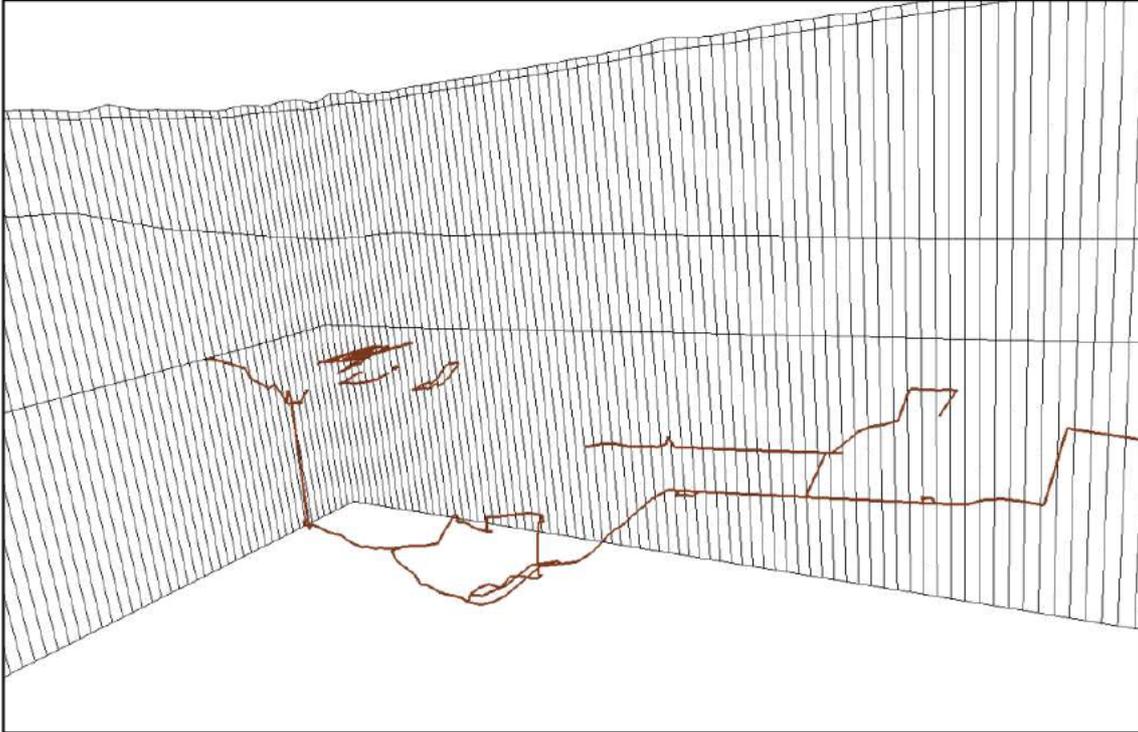


Abb. 28: Lage des Grubengebäudes im Raum (Quelle: delta h)

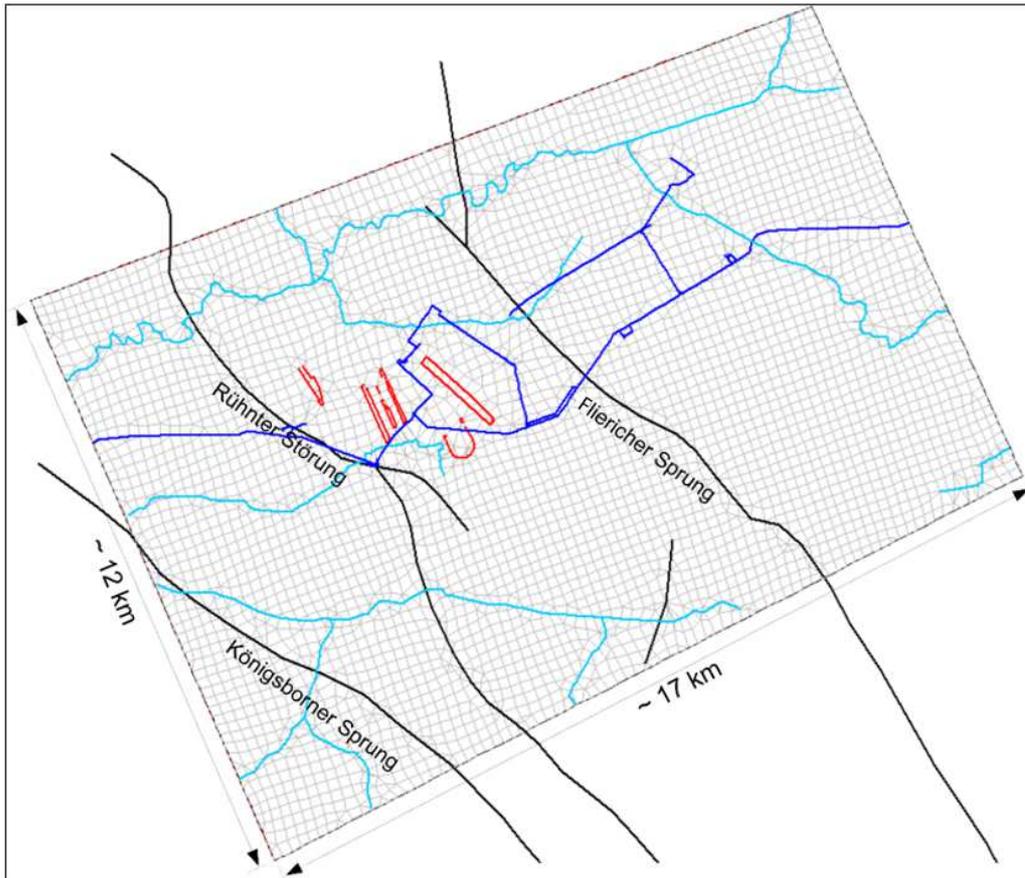


Abb. 29: Draufsicht inklusive Haupt-Störungssystem (Quelle: delta h)

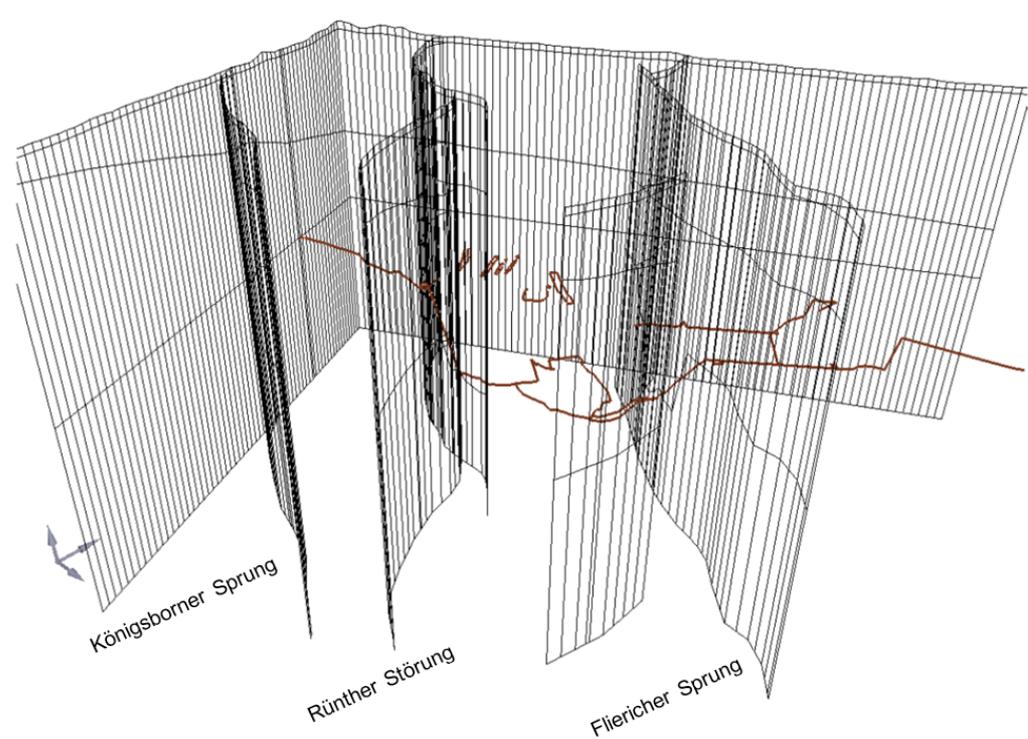


Abb. 30: 3D-Ansicht mit Störungssystem (Quelle: delta h)

9.3 Nahfeld

Das Nahfeld der untertägig verbrachten Reststoffe wird durch ein dreidimensionales Modell mit einer horizontalen Modellausdehnung von etwa 1.000 bis 2.500 m und einer Modellhöhe von etwa 300 bis 500 m abgebildet. Das Modell beinhaltet die Bruchhohlraumverfüllung mit der entsprechenden Abbausohle und dem umliegenden Schichtsystem aus Sandstein, Schieferthon und Flözen, die gemeinsam das Untersuchungsgebiet für die Ermittlung der Porenwasseraustauschmenge innerhalb der BHV darstellen. Dieses Schichtsystem ist exemplarisch in der Tab. 21 dargestellt.

Die Sandsteinschichten werden durch eine poröse Gesteinsmatrix mit darin statistisch verteilten Klüften höherer Durchlässigkeit abgebildet. Die Schieferthonschichten, Flöze und der verfüllte Hohlraum werden als poröse Medien berechnet. Die Berechnungen sind dichte- und temperaturabhängig.

Als Grundlage des geologischen Aufbaus wird das Schachtprofil des Schachtes Grillo 4 herangezogen.

Tab. 21: Parameter: Gebirgsdurchlässigkeiten und Porositäten der betrachteten Schichtenfolge im Nahfeld (Quelle: delta h)

Matrix	Horizontaler K-Wert [K _h]	Verhältnis horizontaler/ vertikaler K-Wert [K _h /K _v]	Porosität [n]
Schieferthon	3*10 ⁻⁹ m/s	1/3	0,02
Sandstein, geklüftet	7*10 ⁻⁹ m/s	1/1	0,07
Schieferthon	3*10 ⁻⁹ m/s	1/3	0,02
Sandstein, geklüftet	7*10 ⁻⁹ m/s	1/1	0,07
Schieferthon	3*10 ⁻⁸ m/s	1/3	0,02
BHV/Alter Mann	1*10 ⁻⁸ m/s / 2*10 ⁻⁸ m/s	1/1	0,05
Schieferthon	1*10 ⁻⁸ m/s	1/3	0,02
Kohleflöz	3*10 ⁻⁸ m/s	1/1	0,03
Schieferthon	3*10 ⁻⁹ m/s	1/3	0,02
Sandstein, geklüftet	7*10 ⁻⁹ m/s	1/1	0,06
Schieferthon	1*10 ⁻⁹ m/s	1/3	0,02

Als Ergebnisse liefert das Nahfeld-Modell die Potenzial-, Dichte- und Geschwindigkeitsverteilung im umliegenden Gebirge, woraus der Austausch von Wasser- und Stoffmengen zwischen dem Gebirge und dem Grubengebäude bzw. des Bruchhohlraumversatzes abgeleitet werden kann.

10 PRÜFUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN AN DER TAGESOBERFLÄCHE (ahu AG)

10.1 Anlass und bisherige Ergebnisse

Ein Anlass für das vorliegende Gutachten waren die Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche südwestlich von Bergkamen (Abb. 31) auf einer privaten landwirtschaftlich genutzten Fläche und im Holzbach. Die Auffälligkeiten wurden in einem Gutachten beschrieben (Kruz 2011). Gemäß dem Gutachten *treten auf den bewirtschafteten Ackerflächen Vernässungsprobleme auf.*

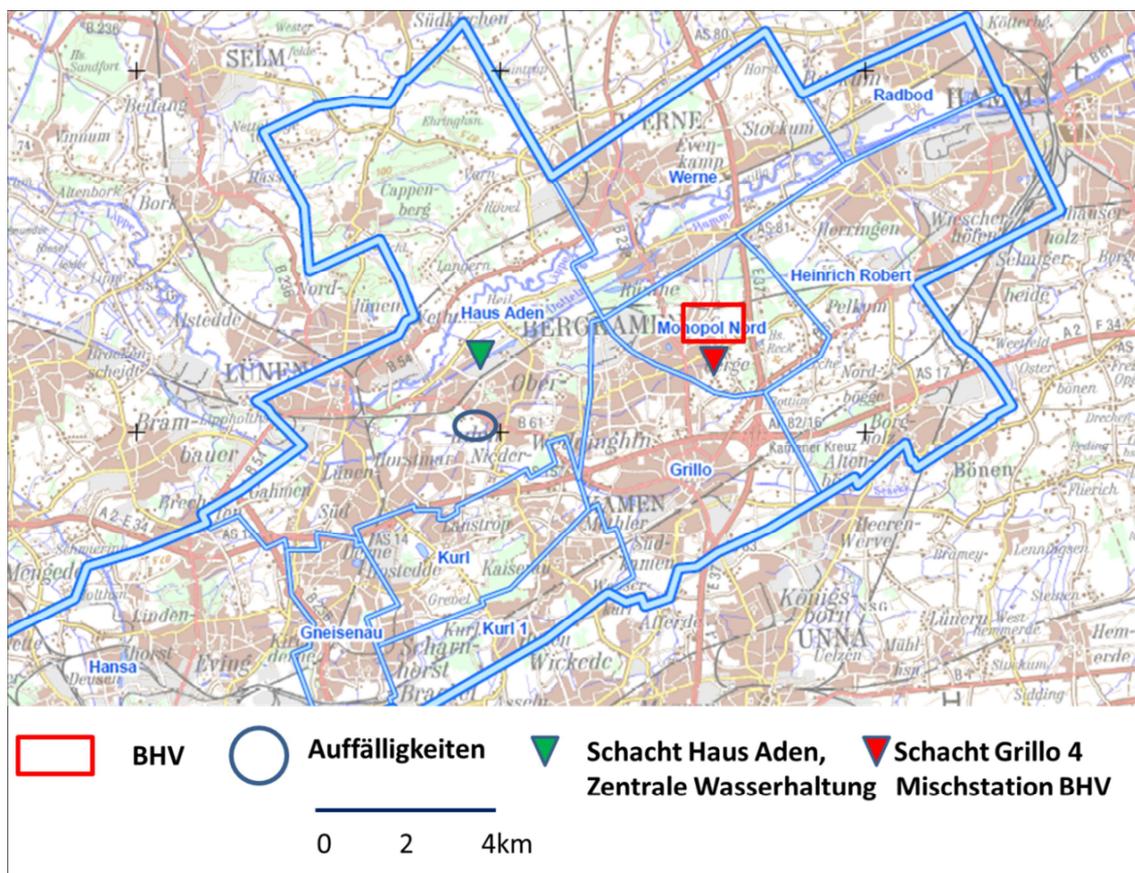


Abb. 31: Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche (verändert nach RAG)

Grundlage des o. g. Gutachtens waren drei Wasserproben und zwei Bodenproben vom 07.11.2011. Die Proben und die wichtigsten Ergebnisse zeigt die Tab. 22. Die größte Auffälligkeit waren die erhöhten Fluoridgehalte in den Wasserproben. Die Probe W4 liegt weit außerhalb des Untersuchungsgebietes am Oberlauf des Kuhbachs oberhalb des Pumpwerks. Das Pumpwerk liegt in einem bergbaubedingten Senkungsschwerpunkt.

Als Erklärung wurde im Gutachten (Kruz 2011) formuliert: *Es scheint naheliegend, einen ... Einfluss bergbaulicher und/oder wasserbaulicher Maßnahmen in den Fokus*

der Ursachenbetrachtung mit einzubeziehen. Ein Wirkungszusammenhang wurde nicht beschrieben.

Tab. 22: Probenahme und Ergebnisse (zusammengestellt nach Krutz 2011)

Probe	Ort	Ergebnisse			
		Fluorid [mg/L]	Chlorid [mg/L]	Eisen [mg/L]	PAK [mg/kg]
W1	Kuhbach Mündung Seseke	4,9	235	k. A.	n. u.
W2	Wasserfläche Flur 10, Flurstück 166	6,2	< 200	4,8	n. u.
W4	Kuhbach, Schenkstraße	5,2	< 200	5,3	n. u.
B1	Acker bei W2	0,8	k. A.	k. A.	0,3
B2	Gewässersohle Flur 10, Flurstück 166, Einlauf Gewässer 73	0,6	k. A.	k. A.	0,15

k. A. = keine Angaben, n. u. = nicht untersucht

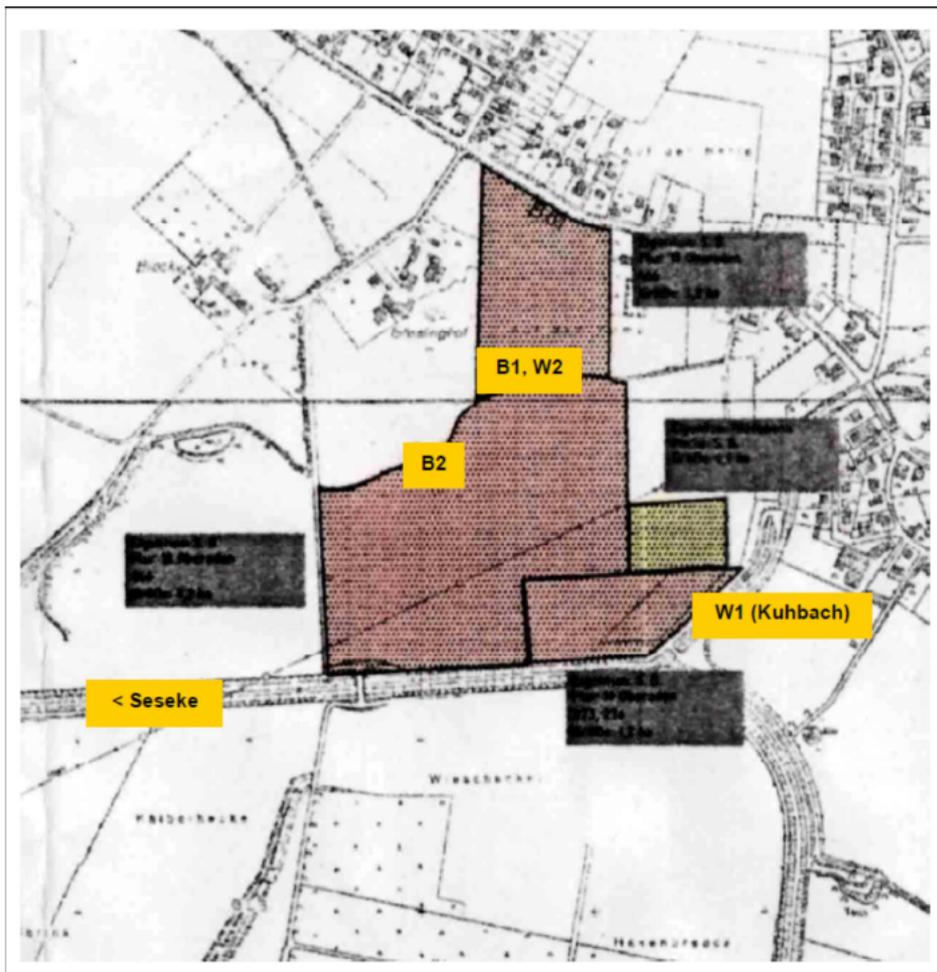


Abb. 32: Lage der Probenahmepunkte (Quelle: Krutz 2011)

10.2 Vorhandenes Messnetz

Zum bisherigen Stand der Arbeiten wurden das Messstelleninventar und die vorliegenden Grundwasser- und Bodenanalysen sowie Gewässeranalysen beim Lippeverband und des Kreises Unna angefragt. Die Angaben des Lippeverbandes zum Messnetz und die bisherigen Probenahmepunkte sind in der Abb. 33 dargestellt.

Nach Auskunft der Kreises Unna existieren noch weitere Bodenproben des Kreises Unna, die auf PAK im Feststoff untersucht wurden. Diese Daten liegen noch nicht vor, da hierfür eine Freigabe des Flächenbesitzers erforderlich ist, die von der ahu AG angefragt, aber bislang noch nicht erteilt wurde.

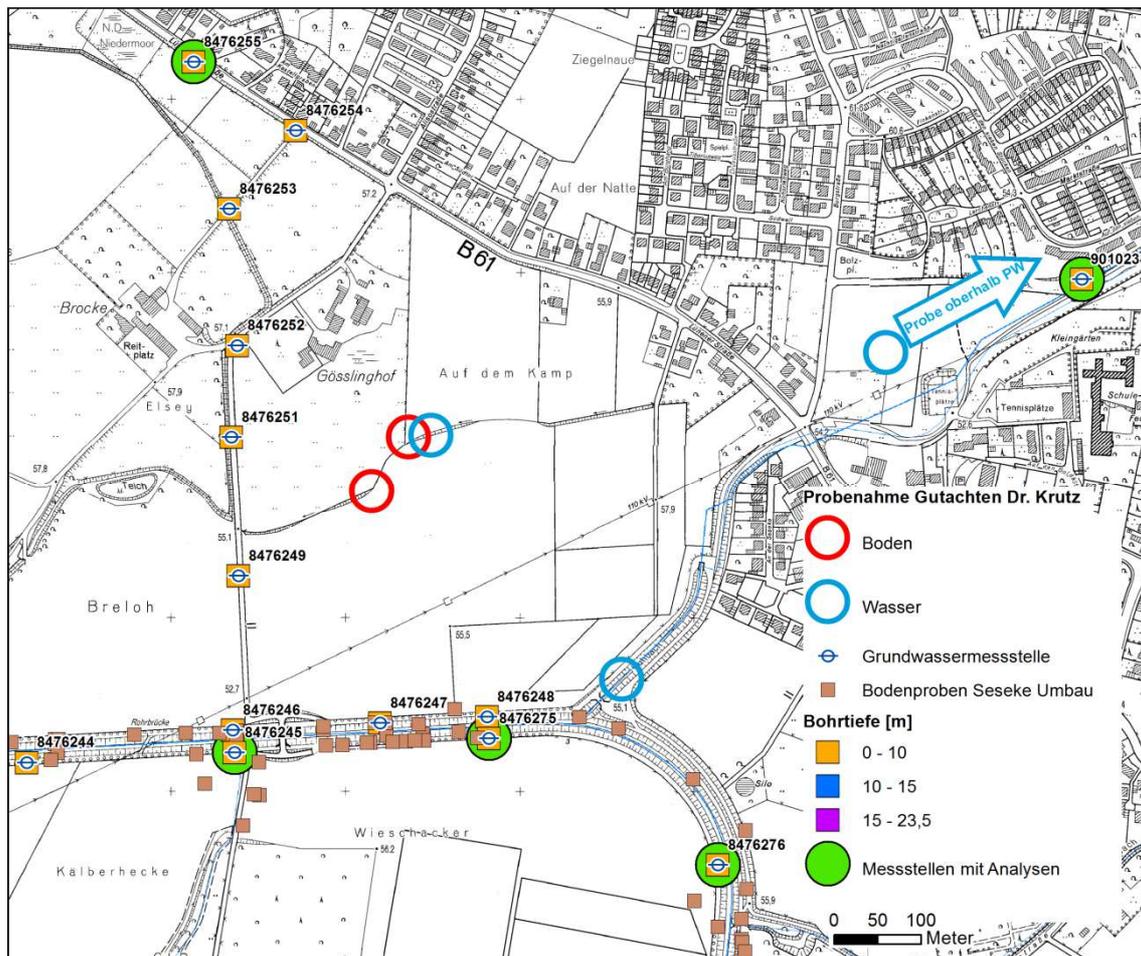


Abb. 33: Lage der Probenahmepunkte (Krutz 2011) und das vorhandene Messstelleninventar nach Angaben des Lippeverbandes

10.3 Weiteres Vorgehen

- Abschluss der Datenerhebung,
- Gespräch mit Prof. ■■■■■,
- Auswertung der Daten (u. a. Vergleichswerte für Fluoridgehalte und Chloridgehalte der oberflächennahen Wasserproben),
- Abschätzung der hydraulischen Wirkungszusammenhänge zwischen den Auffälligkeiten und bergbaubezogenen Ursachen,
 - Theorie Prof. ■■■■■ zu den Wirkungszusammenhängen zwischen der BHV und dem oberflächennahen Grundwasservorkommen,
 - Bergsenkungen,
 -
- Vorschlag der Gutachter und Entscheidung über weitere Untersuchungen.

11 DERZEITIGER KENNNTNISSTAND ZUM ZUSTAND DER BRUCH- HOHLRAUMVERFÜLLUNG IM BW HAUS ADEN/MONOPOL (LFH, Prof. ██████████)

Der Abbindeprozess des eingebrachten Materials sollte gemäß der Auffassung in der Machbarkeitsstudie nach dem Ansteifen und Erstarren zum Erhärten führen. Die Frage „Wurde die eingebrachte pastöse Masse überhaupt fest?“ hat deshalb eine große Bedeutung. Die Beantwortung dieser Frage stützt sich u. a. auf folgende Quellen:

- Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für das Einbringen feinkörniger Aufbereitungs- und Kraftwerksabgänge in untertägigen Bruchhohlräumen (Thiehofer/RAG 1991, gefördert mit Mitteln des BMFT 0326416 B);
- Wissenschaftliche Begutachtung und labortechnische Untersuchungen zum technischen Großversuch – Verbringung vom MVA-Reststoffen als hydraulischer Nachversatz auf der Schachanlage Consolidation (Wilke 1993) ;
- Qualitätssicherungsprogramm Walsum (Wilke 1995);
- Betriebserfahrungen bei der Verbringung, auch aus Betriebsstörungen;
- empirische Versuche, beschrieben in den Basisgutachten zur pH-Wert-Entwicklung;
- thermodynamische Modellierungen Prof. ██████████ zu pH-Wert-Entwicklung;
- internationale Erfahrungen.

Im BW Walsum wurde zwei Jahre nach der Verbringung eine BHV von unten in einem Trockenbohrverfahren angebohrt, um den Abbindeprozess näher zu untersuchen (Wilke 1995). Die dabei gewonnenen Bohrkern zeigen keinen monolithischen, zementierten Block, sondern es wurde ein nicht standfestes, trocken siebbares Material erbohrt. Die festgestellten geringen Schwermetallgehalte in diesem Material ließen es fraglich erscheinen, ob überhaupt die eingebrachten Versatzmengen angebohrt wurden. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als die eingebrachten Versatzmengen nur sehr geringe Volumenprozent eines Auflockerungsbereichs ausmachen. In den Abschlussberichten wurden die erreichten verpressten Mengen mit 0,1 bis 0,5 m³ je m² Verpressbereich angegeben. Bei einem Auflockerungsbereich in Höhe von 10 m entspräche das nur einem Volumenanteil von 1 bis 5 %; bei einem Auflockerungsbereich in Höhe von 5 m wären es 2 bis 10 %.

Auf dem Weg zur Erhärtung kommt es zunächst zum Ansteifen und Erstarren. Es liegen keine vor Ort gemessenen mineralogischen Daten vor, ob in einem verfüllten Bruchhohlraum die Abbindeprozesse erfolgt sind.

Die noch nicht abgeschlossene Auswertung der Abschlussberichte Grimberg hinsichtlich der bei der Verbringung der Versatzmaterialien dokumentierten betriebsbedingten Störungen hat Folgendes ergeben:

In den uns bisher vorliegenden Unterlagen sind sechs betriebsbedingte Störungen während des Zeitraums der Verbringung des Bruchhohlraumversatzes für Haus Aden/Monopol nach Aktenlage der Abschlussberichte dokumentiert (01.07.1993, 09.08.1993, 04.11.1993, 10.11.1994, 19.05.1995, 19.06.1995). In der übernommenen Aktenlage „Sachstandsberichte“ werden für den Zeitraum 01/95 bis 08/95 drei Betriebsstörungen genannt. Von diesen drei Betriebsstörungen wird eine als von der *schlechten Aufmischung der RAA-Schlämme im Mischer durch unbemerkten Ausfall von Zerkleinerungsmessern* beschrieben. Die Ursache entspricht dem Sachstandsbericht vom 10.11.1994. Die Gutachter ordnen diesen Sachstandsbericht der Betriebsstörung vom 10.11.1994 zu. Die übernommene Aktenlage *Sachstandsberichte* weist für die Betriebsstörungen 19.05.1995 und 19.06.1995 zwei Vorberichte aus. Im zweiten Vorbericht wird als Datum der Betriebsstörung vom 19.06.1995 der 20.06.1995 angegeben. Aus der Beschreibung der Betriebsstörungen geht schlüssig hervor, dass dies der gleiche Fall ist. Die Gutachter bewerten nach Abgleich der Texte den Sachstand nach Lage Abschlussbericht als den korrekten.

Festgestellt wurden die betriebsbedingten Störungen anhand eines Anstiegs des Drucks in der Rohrleitung, in einem Fall durch die Auffindung eines geringen Austritts von Suspension durch ein Materialversagen (Rohrschuh) im Rahmen einer Befahrung.

Die Behebung der betriebsbedingten Störungen erfolgte über eine abschnittsweise Öffnung der Rohrleitung. Mit Ausnahme des Falls, der aufgrund eines Materialversagens eingetreten war, konnte die Rohrleitung nur durch Entfernen des verfestigten Materials durch gezieltes untertägliches Anpumpen, in einem Fall durch Aufbohren der gesamten verstopften Rohrleitung, behoben werden.

Die eingestellte Viskosität hatte sich erhöht bis hin zu einem vollständig festen Materialverbund. Die betriebsbedingten Störungen und deren Beseitigung sind gut dokumentiert. Mit Stand der derzeitigen Auswertung haben sie keinen Einfluss auf die in Abschn. 4.2 beschriebenen Mengenanteile von Reststoffen in der Bruchhohlraumverfüllung. Dies wird im Detailbericht 3 (LFH, Prof. [REDACTED]) weiter ausgeführt werden.

Die betriebsbedingten Störungen sind letztlich kein In-situ-Nachweis, zeigen aber deutlich das Erstarren der Mischungen durch die festgestellten Viskositätsänderungen. Ebenfalls wurde ein Aushärten der Versuchskörper bei den triaxialen Elutionsversuchen berichtet, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführt wurden. Im Rahmen des 3. Großversuchs (Bauhöhe EF43, BW Walsum, 10.12.1988) wurde in einer Bohrung festgestellt, dass ein Versatzbereich nach acht Monaten so ausgehärtet war, dass die Erkundungsstrecke gesprengt werden musste (Thiehofe/RAG 1991, gefördert mit Mitteln des BMFT Bericht 0326416B, 1991).

Weiterhin werden noch ergänzende thermodynamische Berechnungen zu Mineralneubildung (s. u.) durchgeführt und internationale Erfahrungen herangezogen. Bisher zeigt zumindest ein Fall aus den Vereinigten Staaten mit wiederholter Beprobung einer BHV, dass die dort festgestellte Erhärtung auch erst nach zwei bis drei Jahren eintreten kann. Hier ist noch zu prüfen, inwieweit die Ergebnisse auf die Bedingungen in Haus Aden/Monopol direkt übertragbar sind.

Zwischenfazit

Aus den verschiedenen Gründen, die oben aufgeführt wurden und die im späteren Detailbericht 3 (LFH, Prof. [REDACTED]) noch eingehend erläutert werden, gehen die Gutachter in ihrer Bewertung derzeit von einer erfolgten „Erhärtung“ aus.

Zusätzliche Bohrungen in die BHV

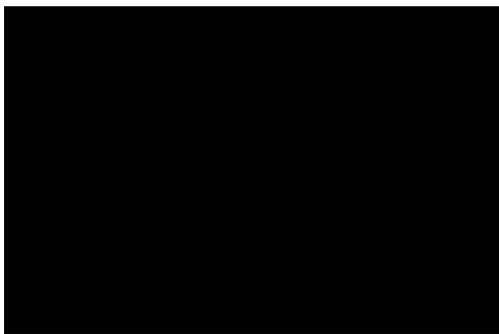
Eine Empfehlung hinsichtlich zusätzlicher Kernbohrungen aus der BHV werden die Gutachter erst nach der Vorlage der Modellergebnisse bzw. nach der vollständigen Systembeschreibung abgeben. Die Ergebnisse würden ohnehin in Teil 1 des Gutachtens nicht mehr verwertet werden können.

Die grundsätzlichen Möglichkeiten, die BHV im BW Haus Aden/Monopol über Bohrungen zu erschließen, bestehen in einer übertägigen Bohrung oder einer untertägigen Bohrung. Zu beiden Möglichkeiten gibt es aktuelle Erfahrungen der RAG. Die Arbeiten würden nach unseren bisherigen Informationen ca. drei Jahre dauern (inkl. umfangreicher Vorarbeiten und Sicherungsmaßnahmen, da abgeworfene Bereiche (Alter Mann) durchbohrt werden müssten).

Weitere Erfahrungen mit Tiefbohrungen

Zurzeit wird die Tiefbohrung Herbern 58 zur Erkundung von Kohleflözgas (ohne Fracking) auf dem Standort der ehemaligen Zeche Radbod vorbereitet (<http://www.hammgas.de/aktuelles/>). Die angestrebte Tiefe liegt bei 1.000 m. Allerdings sollen nach den Informationen der Gutachter keine ehemaligen Abbaubereiche (Alter Mann) mit besonderen Schwierigkeiten durchteuft werden. Die Gutachter schlagen vor, hier weitere Informationen zu den Kosten und der geplanten Dauer der Bohrung einzuholen.

ahu AG, 1. Juni 2016



ANHANG: UNTERLAGENVERZEICHNIS

Die folgenden Unterlagen werden im Rahmen der gutachtlichen Bearbeitung beschafft und ausgewertet. Diese Liste wird entsprechend der Bearbeitung fortgeschrieben.

Stand: 22.01.2016

Die folgenden Unterlagen werden im Rahmen der gutachtlichen Bearbeitung beschafft und ausgewertet. Diese Liste wird entsprechend der Bearbeitung fortgeschrieben.

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
1. Basisgutachten								
1.	Entwicklung eines Verfahrens für das Einbringen von Flugasche und anderen feinkörnigen Verbrennungsrückständen in untertägige Bruchhohlräume	1986	[REDACTED]	26 S	Angebotsaufforderung Projektserver		ahu	
2.	Endbericht über die Koordinierung und wissenschaftliche Begleitung des „Qualitätssicherungsprogrammes zur Verifizierung des in der Machbarkeitsstudie formulierten vollständigen Einschusses der in den Bruchhohlraum eingebrachten Reststoffe“ im Auftrag der Ruhrkohle Montalith GmbH	1991	[REDACTED]	50 S und 34 Anlagen	Angebotsaufforderung Projektserver		ahu	
3.	Abschlussbericht: Verhalten von mobilisierten Schadstoffen in der Umgebung von Untertagedeponien	1991	[REDACTED]	170 S	Angebotsaufforderung Projektserver		ahu	
4.	Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände Förderzeichen 02 C 0224 1 in dauerhaft offene Grubenräume im Festgestein“, Abschlussbericht (Hauptband)	1998	GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) Hrsg. [REDACTED]	116 S 5 weitere Fachbände	Angebotsaufforderung Projektserver		ahu	
5.	Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen, in 4 Bänden im Auftrag des Landesamtes für Wasser und Abfall NRW, Düsseldorf.	1991	[REDACTED]	4 Bände 795 S 55 Zeichnungen als Anlage	Angebotsaufforderung Projektserver	Machbarkeitsstudie	ahu	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
6.	Teil- und Nachversatz mit Reststoffen aus kohle-gefeuerten Kraftwerken und Feuerungsanlagen (Aschen, und Stäube, Naßentschwefelungsgips, -sulfid, Schlämme aus der Kessel-abwasser- und Speisewasseraufbereitung und aus der Kühlturm-abschlammung	1987.12.16 und 1987.12.28	LOBA Rundver- fügungen des Landesober- bergamts NRW (LOBA) -18.21.2 -2 -4	9 S	Angebots- aufforderung Projektserver		ahu	
7.	Gutachten zur Übertragung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie (LWA 1991) auch in den links-rheinischen Steinkohlenabbaubetrieben Binsheimer Feld	1991	Obermann	9 Seiten und 7 Anlagen	Angebots- aufforderung Projektserver		ahu	
8.	Gutachten zur Feststellung der Einhaltung der Anforderungen der Studie in den jeweiligen Ablagerungsbereichen der Bergwerke		Ruhr-Uni Bo- chum	10 S	Angebots- aufforderung Projektserver Liegt beim BW Walsum		ahu	
9.	Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für das Einbringen feinkörniger Aufbereitungs- und Kraftwerksabgänge in untertägige Bruchhohlräume Forschungsbericht 0326416 B Energieforschung und Energietechnologien im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie. Teilvorhaben II: Ruhrkohle Westfalen AG ,Bergwerk Monopol, Phasen I und II, Essen, Forschungsbericht 0326416 B Energieforschung und Energietechnologien im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, RAG Monopol	1991	██████████		Angebots- aufforderung Projektserver		ahu	
10.	Walsumer Horst-Altfeld	1993	██████	7 S und 3 Anlagen	Angebots- aufforderung Projektserver		ahu	
11.	Hydrochemie und Genese der Tiefenwässer im Ruhr-Revier. DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung Bd. 39	1995	██████████	172 S	Angebots- aufforderung Projektserver		ahu	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
2. Bruchhohlraumverfüllung								
2a. Projektspezifische Unterlagen								
1.	Bergmännisches Risswerk des Bergwerks Haus Aden/Monopol				BR Arnsberg RAG, Herne			
2.	Dokumentation UTD			5 Ordner	Sichtung bei BR Arnsberg erfolgt		ahu	
3.	Ablauf der Zulassung + betriebliche Durchführung + behördliche Überwachung			15 Ordner	Sichtung bei BR Arnsberg erfolgt		ahu	
4.	Darstellung des damaligen und heutigen Monito- rings			15 Ordner	Sichtung bei BR Arnsberg erfolgt		ahu	
5.	Daten CD der BR Arnsberg von Unterlagen die an Hr. Dr. Friedrich übergeben worden waren.		BR Arnsberg	2,17 Gigabyte Schrift- verkehr, Zeichnungen, Gutachten	Eingang ahu 5.11.2015	Diese Unterlagen wurden parallel durch die ahu bei der BR Arnsberg bereits ausgewer- tet.	ahu	
6.	Versatz mit Reststoffen im Steinkohlenbergbau unter Tage im Ruhrgebiet	2013.09.13	BR Arnsberg		Mail Hr. █████		ahu	
7.	Umsetzung der Vorgaben des Basisgutachtens bei der Einlagerung		BR Arnsberg, Ergänzung beim nächsten Termin	3 Ordner	Sichtung bei BR Arnsberg erfolgt		ahu	
8.	Gutachtliche Stellungnahme: Die Risiken und langfristigen Umweltauswirkungen des untertägigen Versatzes von gefährlichen hochtoxischen Sonderabfällen in den Bergwerken der Steinkohle von NRW	2013	█████	13 Seiten + 25 Anlagen	Ausschreibungs- unterlagen	Diese Unterlagen wurden parallel durch die ahu bei der BR Arnsberg bereits ausgewer- tet	ahu	
9.	Schreiben an das MKULNV	2015.10.05	█████	2 Seiten 7 Anlagen (Problemkreis 1 bis 7)	Übergabe durch Fr. Dr. █████ 30.09.2015 19.10.2015	Diskussion erfolgt im AK PCB am 16.11.2015		
10.	Bergsenkungen im Ruhrgebiet. In: Heineberg, H.;	2010	Harnischmacher					

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
	[REDACTED] Hrsg.): Westfalen regional. Band 2. Aktuelle Themen, Wissenswertes und Medien über die Region Westfalen-Lippe. Münster, S. 124-125 (= Siedlung und Landschaft in Westfalen 37)							
11.	Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen als Versatz unter Tage Technische Regeln für den Einsatz von bergbau-fremden Abfällen als Versatz	1996.10	Länderaus-schuss Bergbau		Mail Hr. [REDACTED] 09.09.2015	Einteilung in Klasse V1 und V2, Kriterien für den Versatz	ahu	
12.	Technische Regeln für den Einsatz von Abfällen als Versatz	2006.10.17	Länderaus-schuss Bergbau			Nachfolge für die Anforderungen von 10/1996	ahu	
13.	Hintergrundpapier Steinkohle	2015	MKULNV		download	Einhaltung und Gefährdung der Umweltziele der WRRL durch Grubenwas-sereinleitungen	ahu	
14.	Gutachtliche Stellungnahme zur Einhaltung der Anforderungsbedingungen für das Prinzip des vollständigen Einschusses bei der geplanten Ver-bringung von Reststoffen in die Abbaue von Flöz Grimberg 2/3 und Flöz Viktoria 1/2 Obk in den Baufeldern E3 und E4 des Bergwerkes Haus Aden/Monopol, Betriebsbereich Monopol der Ruhrkohle Bergbau AG	1995	[REDACTED]	16 Seiten, 6 Anlagen	Akteneinsicht BR Arnsberg Projektserver		ahu	
15.	Gutachtliche Stellungnahme zur geplanten Einlagerung von Abfällen in die Bruchhohlräume der Flöze Grimberg 2/3 und Viktoria der Baufelder E3 und E4 des Bergwerkes Haus Aden/Monopol unter Berücksichtigung der Kriterien für eine Ver-bringung nach dem „Prinzip des vollständigen Einschusses“	1996	[REDACTED]	13 Seiten	Akteneinsicht BR Arnsberg Projektserver		ahu	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
2b. Relevante Gutachten etc.								
1.	Entwicklung eines Verfahrens für das Einbringen von Flugaschen und anderen feinkörnigen Verbrennungsrückständen in untertägige Bruchhohlräume (BMBF 03E-6416-A)	1996.12	██████	26 Seiten	Scan bei Akteneinsicht in Herne 15.01.2016	Versuchsanlage Walsum EF45	ahu	
2.	Bergwerk Haus Aden / Monopol: Stellungnahme zum Sonderbetriebsplan f. d. Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses - Betriebsbereich Monopol, Baufeld E 1		██████	3 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
3.	Barrieren im Umfeld von Versatzbereichen im Ruhrkarbon (BMFT 02 C 0224 1)	1994.01.01- 1997.12.31	██████	24 Seiten	Scan bei Akteneinsicht in Herne 15.01.2016	Multibarrierenprinzip, Ausbreitungsmodellierungen	ahu	
4.	Verfüllung des Bruchhohlraumes und anderer abgeworfener Grubenbaue mit Flugasche und anderen feinkörnigen Abfallprodukten durch hydraulische Förderung vom Tage aus. technische forschung kohle - Bericht EUR 11721 DE - Forschungs-Nr. 7220-AD/127	1988	Kommission der europäischen Gemeinschaft – Steinkohlenbergbauverein, Essen					
5.	Niederschrift der 9. Sitzung des Arbeitskreises "Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen auf dem Bergwerk Haus Aden / Monopol"		LOBA NW	4 S. 3 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
6.	Niederschrift der 1. Sitzung des Arbeitskreises "Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- u. Reststoffen" beim Landesoberbergamt NW am 27.06.1991	1991.06.27	LOBA NW	2 S. 1 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt		LF H	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
					noch			
7.	Niederschrift der 2. Sitzung des Arbeitskreises "Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen auf dem Bergwerk MONOPOL" am 11. September 1991	11.09.1991	LOBA NW	2 S. 1 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED] Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
8.	Untersuchungen zur Verbesserung der Eindickung und Entwässerung feinstkörniger Flotationsberge (F+E Vorhaben 7220-EA/115)	1988.04.01-1991.03.31	Monostory, H.P. (DMT)	46 Seiten	Scan bei Akteneinsicht in Herne 15.01.2016	Verschiedene Verfahren zur Entwässerung der Flotberge	ahu	
9.	Versatz im untertägigen Steinkohlenbergbau	2002	[REDACTED]	72 S. 10 Anlagen	IFM			
10.	Gutachterliche Stellungnahme zur Einhaltung der Anforderungsbedingungen für das Prinzip des vollständigen Einschlusses bei der gepl. Verbringung von Reststoffen in die Abbaue von Flöz Grimberg 2/3 u. Flöz Viktoria		Rheinische Friedrich-Wilhelms Univ. Bonn	16 S. 6 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED] Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
11.	Bergwerk Haus Aden / Monopol: Abschlußbericht Grimberg 17		Ruhranalytik GmbH; Bergamt Recklinghausen	78 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED] Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
12.	Bergwerk Haus Aden / Monopol: Abschlußbericht Grimberg 31		Ruhranalytik GmbH; Bergamt Recklinghausen	2 S. 174 S. Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED] Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
13.	Bergwerk Haus Aden / Monopol: Abschlußbericht Grimberg 1		Ruhrkohle Bergbau AG	166 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]	Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch	LF H	
14.	Konzept zur Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschusses auf dem Bergwerk Haus Aden / Monopol in das Bau-feld E3 / E4		Ruhrkohle Bergbau AG	2 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]	Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch	LF H	
15.	Nachtrag zu den Sonderbetriebsplänen zur Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschusses auf dem Bergwerk Haus Aden / Monopol in das Bau-feld E3 / E4 und Flöz Grimberg 2/3		Ruhrkohle Bergbau AG	28 S. 5 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]	Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch	LF H	
16.	Bergwerk Haus Aden / Monopol - Sonderbetriebsplan f. d. Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschusses auf dem Bergwerk Haus Aden / Monopol		Ruhrkohle Westfalen AG	8 S. 9 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]	Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch	LF H	
17.	Bergwerk MONOPOL / Kamen - Rahmenkonzept f. d. Verbringung von Gemischen aus Flotationsbergen sowie Flugaschen und -stauben u. Rauchgasreinigungsrückständen aus Hausmuellverbrennungsanlagen z. Bruchhohlraumverfüllung		Ruhrkohle Westfalen AG	5 S. 7 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]	Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch	LF H	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
18.	Errichtung und Betrieb einer Versuchsanlage f. d. Einbringen feinkörniger Aufbereitungs- und Kraftwerksabgaenge in untertaegige Bruchhohlraeume (Versuchsanlage MONOPOL)		Ruhrkohle Westfalen AG	12 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]		LF H	
					Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch			
19.	Sonderbetriebsplan f. d. Verbringung von Reststoffen nach dem Prinzip des vollstaendigen Einschlusses auf dem Bergwerk MONOPOL		Ruhrkohle Westfalen AG	28 S. 74 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]		LF H	
					Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch			
20.	Untersuchungen geogener und betrieblicher Einflußgrößen des Steinkohlengergbaus auf das Durchlässigkeitsverhalten und den Schwermetallaustrag eingebrachtert Hausmüllverbrennungsrückstände (Dissertation Uni Berlin)	1994	[REDACTED]	107 Seiten	Scan bei Akteneinsicht in Herne 15.01.2016	Elution verschiedener Reststoffe, Auswirkungen Gebirgsdruck auf Verfestigung und Durchlässigkeit	ahu	
21.	Gutachtliche Stellungnahme zur Einhaltung der Anforderungsbedingungen f. d. Prinzip des vollst. Einschlusses bei der gepl. Verbring. von Reststoffen in die Abbaue von Floez Grimberg 2/3 im Baufeld E 1		[REDACTED] Uni Bonn, Geolog. Institut	11 S. 9 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]		LF H	
					Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch			
22.	Gutachtliche Stellungnahme zur petrologischen Ausbildung der hangenden Deckschichten von Floez Grimberg 2/3 im Baufeld E 1 des Bergwerkes Haus Aden / Monopol, Betriebsbereich Monopol, der Ruhrkohle AG		[REDACTED] Uni Bonn, Geolog. Institut	4 S. 3 Anlagen	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. [REDACTED]		LF H	
					Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch			
23.	Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für das Einbringen feinkörniger Aufbereitungs- und	1991.12	[REDACTED] (RAG)	101 Seiten	Scan bei Akteneinsicht in Herne	Versuchsdurchführungen mit	ahu	

Nr.	Titel	Datum	Verfasser	Umfang	Eingang / Standort	Inhalt		Sonstiges
	Kraftwerksabgänge in untertägigen Bruchhohlräume (BMBF 0326416 B)				15.01.2016	verschiedenen Gemischen, erbohrte Versatzbereiche		
24.	Gutachtliche Stellungnahme zum Gutachten von Dipl. Geologe Zimmer bezgl. der Reststoffverbringung in den Baufeldern E3 u. E4 des Bergwerkes Haus Aden / Monopol		██████████	4 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
25.	Besprechungsnotiz zur Sitzung am 27.06.1991 (Untertagedeponierung auf Bergwerk MONOPOL)	1991.06.27	██████████	2 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	
26.	Besprechungsnotiz zur Sitzung am 27.06.1991 (Untertagedeponierung auf Bergwerk MONOPOL)	1991.06.27	██████████	2 S.	Übergabe Liste 15.09.2015 durch Hr. Dr. ██████████ Einsichtnahme beim GD NRW erfolgt noch		LF H	

2c. Fachliteratur Bruchhohlraumverfüllung								
1.	Bruchhohlraumverfüllung auf dem BW Haus Aden/Monopol	1996.02.15	anonym	16	ahu	Zusammenfassung der Bruchhohlraumverfüllung auf Haus Aden		
2.	Folgeuntersuchung Immisionskataster Boden im Umfeld der Hohlraumverfüllungsanlage Monopol	1995.09.20	[REDACTED]	48 + 2 Anlagen	ahu			
3.	Mobilisationsverhalten von anorganischen Schadstoffen in der Umgebung von untertägigen Versatzbereichen am Beispiel von Reststoffen aus Müllverbrennungsanlagen im Steinkohlengebirge des Ruhrkarbons, DMT Band 23	1994	[REDACTED]		Projektserver		ahu	
4.	Deckgebirgsdaten im südwestlichen Münsterland und Ruhrgebiet	2006	[REDACTED]		Projektserver		ahu	
5.	Untersuchungen zur Ermittlung der geochemischen Barriere von Gesteinen aus dem Umfeld untertägiger Versatzräume im Steinkohlengebirge des Ruhrkarbons, DMT Band 54	1997	[REDACTED]		Projektserver		ahu	
6.	Der untertägige Steinkohlenbergbau und seine Auswirkungen auf die Tagesoberfläche	1994	[REDACTED]					
7.	Erste Ergebnisse der Bruchhohlraumverfüllung auf dem Bergwerk Walsum	1991	[REDACTED]					
8.	Darstellung und Beschreibung der Bruchhohlraumverfüllung mit bergbaueigenen und bergbau-fremden Abfällen (Verbrennungsrückstände, Filterstäube und Industrieschlämme) auf dem Bergwerk Walsum der Deutschen Steinkohle AG	2000	[REDACTED]					

3. Hydrogeologie / Grubenwasser (Prof. [REDACTED])								
3a. projektspezifische Unterlagen								
1.	Schwermetalle in Böden verschiedener Nutzungsformen im Kreis Unna, Teil I	1986	Kreis Unna, Umweltamt	117S + Karten	ahu AG	Bodenanalyse	ahu	
2.	PP-Vortrag zum Grubenwasserkonzept	2015	RAG	15 S			ahu	
3.	Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG für NRW	2014.08.27 Unterausschusses Bergbausi- cherheit	RAG	29 S			ahu	
3b. Fachliteratur Hydrogeologie / Grubenwasser (noch nicht beschafft)								
4.	DMT, Eckart, Klinger: Flutungsprognose BW Lippe unter Berücksichtigung der Wasserüberleitung BW Auguste Victoria - Wulfen – Fürst Leopold, zzt. in Arbeit						dh	
5.	Fracking in unkonventionellen Erdgaslagerstätten in Nordrhein-Westfalen	2012.09.06	ahu AG	Ca. 800 S	ahu AG			
6.	Studie über die abdichtenden Eigenschaften des Emscher-Mergel	2011.08.02	[REDACTED]				dh	
7.	Gutachten über die Dichtigkeit des Deckgebirges im Bereich der Schachtanlagen Auguste Victoria und Lippe der RAG AG im Hinblick auf einen möglichen Grubenwassereinstau	2012.05.29	[REDACTED]				dh	
8.	Entwicklung eines numerischen Modells zur Prognose der Auswirkungen von Bergwerksflutungen in der Emschermulde auf das Grundwasser (Kurztitel: Boxmodell Emscher Mulde)	Juni 2004	[REDACTED]				dh	
9.	Aktualisierung des Datenbestandes und gebirgsmechanische Analyse des Erschütterungsverhaltens während der Flutung des Bergwerkes Saar, zzt. in Arbeit		[REDACTED]				dh	

10.	Kurzstellungnahme zum Anstieg des Grubenwassers im Bereich der stillgelegten Schachanlage Königsborn und zu möglichen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser	1994.08.24	[REDACTED]					
11.	Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks West RAG Deutsche Steinkohle; PFG-Nr. 341 051 12	15.06.2012	[REDACTED]				dh	
12.	Ermittlung von Parametern für die Flutungsprognose Hansa/Haus Aden im Hinblick auf künftige Grubenwasserableitung	27.05.2013	[REDACTED]				dh	
13.	Mobilisations- und Transportverhalten von PCB aus dem Schotterbett alter Strecken	31.05.2012	[REDACTED]				dh	
14.	Entwicklung eines geochemischen Reaktionsmodell (Waterchem) - Beherrschung der Grubenwasserproblematik und der Ausgasung bei der Stilllegung von Bergwerken	2007	[REDACTED]				dh	
15.	Wasseranstiegs- und Qualitätsprognose im Rahmen der Stilllegung des Bergwerks Walsum unter Einbeziehung des Bergwerkes West und der Grubenfelder Concordia	05.10.2006	[REDACTED]				dh	
16.	Gutachterliche Begleitung zur Optimierung der Wasserhaltung im Zuge der Stilllegung des Bergbaus im Saarland	09.01.2012	[REDACTED]				dh	
17.	Einfluss des Pumpniveaus der Zentralen Wasserhaltung Ost (Haus Aden) auf den Grundwasserhaushalt	05.09.2013	[REDACTED]				dh	
18.	Gutachterliche Stellungnahme zur Ausbildung des Emscher-Mergels im Ruhrgebiet und zu seinen Eigenschaften als geologische bzw. hydrogeologische Barriere	1997.09.22	[REDACTED]				dh	

19.	Schächte Rossenray 1/2, Studie zur Möglichkeit der Schachtverfüllung unter Berücksichtigung zukünftiger Maßnahmen der Wasserhaltung, Brunnenlösung	2011.03.08	[REDACTED]				dh	
20.	Stellungnahme zur möglichen Radonbelastung in Zusammenhang mit dem geplanten Grubenwasseranstieg in der Wasserprovinz Reden im Saarland, zzt. in Arbeit		[REDACTED]				dh	
21.	Hydrogeologisches Gutachten zu möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs nach Einstellung der bergbaulichen Wasserhaltung des Steinkohlenbergwerks Westfalen	2000.03.30	[REDACTED]				dh	
22.	Bericht zu den Untersuchungen zur Optimierung der Wasserhaltung in der Wasserprovinz Heinrich	2001.01.22	[REDACTED]				dh	
23.	Hydrogeologische Bewertung eines geplanten Grubenwasseranstiegs auf -320 m NN in den Grubengebäuden im Bereich der zentralen Wasserhaltung Reden, zzt. in Arbeit		[REDACTED]				dh	
24.	Recherche zu möglichen Aufbereitungstechniken für Grubenwasser im Bergbau, zzt. in Arbeit		[REDACTED]				dh	
25.	Mühlenkamp: Untersuchungen zu den Ursachen von Geländehebungen bei der Flutung von Steinkohlenbergwerken sowie Bearbeitung von Prognosen für das Ruhrrevier - 3. Bericht - Detailbetrachtung Königsborn	31.07.2012	IHS [REDACTED]				dh	
26.	Gutachten zu den Bodenbewegungen im Rahmen der stufenweisen Flutung des Bergwerks Ost - Ausweisung von Risikobereichen und Monitoringkonzept - Anstiegsphase bis -605 m NN	21.11.2013 und 04.04.2014	IHS, [REDACTED]				dh	
27.	Sensibilitätsanalyse des Grubenwasseranstiegs im Bereich des aufgelassenen Grubenfeldes Unna-Königsborn	29.10.2012	LIPPE Wassertechnik Dr. [REDACTED]				dh	
28.	Recherche und Bewertung erfolgter Grubenflutungen in Steinkohlenrevieren Deutschlands und des		Technische Fachhochschule				dh	

	europäischen Raumes, zzt. in Arbeit		Bochum, Dr. Melchers					
29.	Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen des Grubenwassereinstaus im Wasserhebungsbereich Carolinenglück der RAG AG auf Brunnenanlagen im Deckgebirge	08.02.2010	UNI MÜNSTER, Prof. ██████████ ██████████				dh	
30.	Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen des Grubenwassereinstaus im Wasserhebungsbereich Carolinenglück der RAG AG unter besonderer Berücksichtigung der Teilprovinz Carolinenglück Ost	14.10.2011	UNI MÜNSTER, Prof. Dr. ██████████ ██████████				dh	
31.	Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen des Grubenwassereinstaus im Wasserhebungsbereich Bergwerk Ost der RAG AG auf Brunnenanlagen im Deckgebirge	30.09.2013	UNI MÜNSTER, Prof. Dr. ██████████ ██████████				dh	

4. PCB (Prof. ██████████)								
4a. Projektspezifische Unterlagen								
1.	Ergebnisse der Untersuchungsprogramme Oberflächengewässer im Rahmen der Umsetzung WRRL	2001						LE K
2.	Ergebnisse der Untersuchungsprogramme Oberflächengewässer im Rahmen der Umsetzung WRRL	Seit 2001						LE K
3.	Bericht zum Abschluss der Probenahme-Serie	02.06.2015		6S	Mail Frau Dr. ██████████ 16.09.2015	Erfahrungen mit der Probenahme		LE K
4.	Bericht der Landesregierung – PCB im Grubenwasser	28.08.2015		58S	Mail Frau Dr. ██████████ 18.09.2015			
5.	Bericht der Landesregierung – PCB im Grubenwasser (hier Hintergrundpapier Steinkohle – Umweltziele)	28.08.2015		5 S	Mail Frau Dr. ██████████ 18.09.2015			
6.	Sondermessprogramme Bergbehörde Schwebstoff und Wasser in Grubenwässern und Altölproben	05.08.2010, 2013	BR Arnsberg	5S				LE K
7.	Sondermessprogramme Bergbehörde Schwebstoff und Wasser in Grubenwässern und Altölproben	05.08.2010, 2013	BR Arnsberg	5S				LE K
8.	Anschreiben zum Grubenwasser an MWEIMH und MKULNV (Problemkreise 1, 2, 3)	04.10.2015	Friedrich	21 Anlagen	10/2015 ahu AG			
9.	Recherche-Bericht des Landes NRW an die Bundesregierung von 1984 zu den im Bergbau NRW eingesetzten und entsorgten Mengen an PCB	1984	Land NRW			Berichterstattung u.a. Schwebstoffmessungen		LE K
10.	PCB-Belastungen in Steinkohlebergwerken und mögliche Umweltauswirkungen	21.01.2015	Landesregierung Vorlage 16/2631	15 S				LE K
11.	Erkenntnisse der Landesregierung zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen und etwaigen Umweltauswirkungen	25.03.2015	Landesregierung Vorlage 16/2791	38 S		PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten in RAG-Bergwerken		
12.	Ergebnisse von Sonderuntersuchungsprogrammen des LANUV	2007	LANUV			Schwebstoffe in Oberflächenge-		LE K

						wässern		
13.	Ergebnisse von Sonderuntersuchungsprogrammen des LANUV	2007	LANUV			Schwebstoffe in Oberflächengewässern	LE K	
14.	Belastungen von Oberflächengewässern und von aktiven Grubenwassereinleitungen mit bergbaubürtigen PCB (und PCB-Ersatzstoffen) Ergebnisse des LANUV-Sondermessprogramms 2015	2015	LANUV					
15.	PCB im Grubenwasser: Schwebstoffuntersuchungen	27.03.2015	LANUV	6 S	Mail Frau Dr. [REDACTED] 16.09.2015	Vergleich verschiedener Probenahmeverfahren	LE K	
16.	Sonderuntersuchung an Schwebstoffen in Grubenwässern	2015	LANUV + Bergbehörde				LE K	
4b. Fachliteratur PCB								
1.	<p><small>Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2010) 15:5–18 DOI: 10.1007/s00767-009-0119-8</small></p> <p>ÜBERSICHTSBEITRAG</p> <p>Umweltrelevanz von natürlichen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen aus Steinkohlen – eine Übersicht</p> <p><small>Christiane Achten · Thilo Hofmann</small></p>							
2.								
3.								
4.	Duinker J.C.. (1986). The role of small, low density particles on the partition of selected PCB congeners between water and suspended matter (North Sea area). Netherland Journal of Sea Research. Vol. 20. pp. 229-238.	1986		10 S		Verteilungskoeffizienten	LE K	
5.	Shiu, W. Y., & Mackay, D. (1986). A critical review of aqueous solubilities, vapor pressures, Henry's law constants, and octanol–water partition coefficients of the polychlorinated biphenyls. <i>Journal of Physical and Chemical Reference Data</i> , 15(2), 911-929.	1986						
6.	Schulz D.E., Petrick G., Duinker J.C. (1989). Complete Characterization of Polychlorinated	1989		8 S		Technische PCB-Gemische	LE K	

	Biphenyl Congeners in Commercial Aroclor and Clophen Mixtures by Multidimensional Gas Chromatography-Electron Capture Detection. Environ. Sci. Technol.. Vol. 23. pp. 852-859.							
7.	Frame G.M., Wagner R. E., Carnahan J. C., Brown J. F., May R. J., Smullen L. A., Bedard D. L. (1996). Comprehensive, quantitative, congener-specific analyses of eight Aroclors and complete PCB congener assignments on BD-1 capillary GC columns. Chemosphere. Vol. 23. No. 4. Pp. 603-623.	1996		21 S		Technische PCB-Gemische	LE K	
8.	MacDonald, D.D., C.G. Ingersoll, D.E. Smorong, R.A. Lindskoog, G. Sloane, and T. Biernacki. 2003. Development and Evaluation of Numerical Sediment Quality Assessment Guidelines for Florida Inland Waters. MacDonald Environmental Sciences Ltd., United States Geological Survey, and the Florida Department of Environmental Protection. 150 pp.	2003						
9.	Fent, K. (2007). <i>Ökotoxikologie: Umweltchemie-Toxikologie-Ökologie</i> . Georg Thieme Verlag, 3. Auflage, 338 pp.	2007						
10.	Einfluss von Probenahme und Probenvorbereitung auf die Ergebnisse bei der Bestimmung ausgewählter prioritärer Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie" (Texte 32/07, ISSN 1862-4804)		UBA				LE K	
4c. Untersuchungsdaten PCB in Oberflächenwasser und Grubenwasser								
1.	International koordinierter Bewirtschaftungsplan für die internationale Flussgebietseinheit Rhein 2009	2009	IKSR (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins)	106				
2.	Excel Datei PCB Analysen ab 2005		LANUV	24244 Datensätze			PCB in Oberflächengewässern	
3.	Gewässergütebericht 2000	2000	LANUV	339				
4.	Gewässergütebericht 2001	2001	LANUV	274				
5.	Grubenwasseranalysen der RAG		RAG	16 Excel	23.20.2015 mail Dr.	PCB in Grubenwässer 2008-		

				Dateien	Witthaus	2015		
6.	Abschlussberichte Grimberg 1, 2, 16, 17, 31	1993-1998	RAG		██████████	Grubenwasser- analysen		
7.	Internationaler Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Deltarhein 2009-2015	2006	verschiedene	326				
8.	Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 WRRL für die Flussgebietseinheit Ems 2010 - 2015	2009	verschiedene	266				

5. Grundwasser-Strömungsmodellierung (delta h)								
5a. Projektspezifische Unterlagen								
1.	Bewertung der Flutung Walsum unter Berücksichtigung aktueller Schöpfproben	29.10.2012	[REDACTED]	7 S	Mail Dr. [REDACTED] 23.10.15			
2.	Boxmodell gestützte Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost	23.01.2015	[REDACTED]	7 S	Mail Dr. [REDACTED] 23.10.15			
3.	Zentrale Wasserhaltung Haus Aden 2 in Bergkamen. Wasserrechtliche Erlaubnis vom 29.10.2010/20.01.2012 zum Zutagefördern von Grubenwasser und Einleiten in die Lippe	17.02.2014	[REDACTED]	5 S	Mail Dr. [REDACTED] 23.10.15	Angaben über Grubenwassermengen		
4.								
5b. Fachliteratur								

6. Freisetzungspotenzial (Prof. █████)								
6a. Projektspezifische Unterlagen								
6b. Fachliteratur Freisetzungspotenzial								