

GUTACHTEN ZUR PRÜFUNG MÖGLICHER UMWELTAUSWIRKUNGEN DES EINSATZES VON ABFALL- UND RESTSTOFFEN ZUR BRUCH-HOHLRAUMVERFÜLLUNG IN STEINKOHLENBERGWERKEN IN NORDRHEIN-WESTFALEN, TEIL 1

Detailbericht 6:

Risikoanalyse PCB und weitere organische Stoffe

LEK Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle, RWTH Aachen University

Prof. Dr. [REDACTED]

Abgabe April 2017

Dieser Bericht ist Teil des Gutachtens:

Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil 1

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

Auftragnehmer:

ahu AG Wasser · Boden · Geomatik, Aachen (Dr. ██████████)

in Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. ██████████ (TU Clausthal, Abtlg. Hydrogeologie)

delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten (Prof. Dr. ██████████)

LEK Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle,
RWTH Aachen University (Prof. Dr. ██████████)

LFH Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen University (Prof. Dr. ████████e)

IFM Lehrstuhl und Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau,
RWTH Aachen University (Prof. Dr. ██████████)

Auftragsdatum: 16.07.2015

INHALTSVERZEICHNIS

0	Vorbemerkung	1
0.1	Aufbau des Gutachtens und der Detailberichte	1
0.2	Untersuchungsraum	2
1	Einleitung	4
Teil A Organische Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung		
2	Organische Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung: Datenlage und Vorgehen	6
3	Organische Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung: Gefährdungspotential	7
3.1	Gefährdungspotential PCDD/F	7
3.2	Gefährdungspotential PAK	8
4	Freisetzungspotential PCDD/F	11
5	Ausbreitungspotential PCDD/F	12
Teil B PCB- und TCBT-haltige Betriebsstoffe		
6	PCB- und TCBT-haltige Betriebsstoffe: Datenlage und Vorgehen	14
6.1	Aktenführung und Aktenlage bei der Bergverwaltung	14
6.2	Aktenlage PCB	15
6.3	Aktenlage bei der RAG	16
7	Gefährdungspotential Polychlorierte Biphenyle	17
7.1	Allgemein	17
7.2	Einsatz von PCB-haltigen Betriebsmitteln	18
7.3	Historie des PCB-Einsatzes in Bergwerken	18
7.4	PCB-Ersatzstoffe	19
7.5	Abschätzung der im Bundesgebiet im Steinkohlenbergbau eingesetzten Mengen PCB-haltiger Betriebsmittel	20
7.5.1	Datengrundlage zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsmittel im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen	20
7.5.2	Abschätzung I: Grundlage - Deutscher Bundestag	22
7.5.3	Abschätzung II: Grundlage - Rauhut	22
7.5.4	Untertägige Verluste von PCB	24

7.6	Potentieller Austrag von PCB aus Steinkohlenbergwerken	26
7.6.1	Austrag über das Fördergut	26
7.6.2	Austrag über die Entsorgung	26
8	Potentielle untertägige Verteilung von PCB in der Wasserprovinz Haus Aden	28
8.1	Dokumentationsquellen	28
8.1.1	Bezirksregierung Arnsberg	28
8.1.2	Betriebspläne	36
8.1.3	Bergmännisches Risswerk	36
8.1.4	§ 22 a der Bergverordnung	38
8.1.5	Übertägige Entsorgung von Altöl und PCB	38
8.1.6	Sonstige Datenquellen	40
8.2	Potentielle PCB Verteilung in der Wasserprovinz Haus Aden	41
8.3	Abschätzung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage verbliebenen Mengen PCB	44
8.3.1	Abschätzung des PCB-Eintrags	44
8.3.2	Abschätzung des PCB-Austrags aus der Wasserprovinz Haus Aden	46
8.3.3	Gesamtabschätzung Verbleib unter Berücksichtigung eines Austrags	47
8.4	Flächenmäßige Verteilung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage verbliebenen Mengen PCB	48
8.4.1	Einzugsgebiet Victoriadamm	49
8.4.2	Einzugsgebiet Ost	56
8.4.3	Haus Aden 2 und Schacht Grimberg 2	58
9	Untertägige Beprobung	59
9.1	Vorgehen und Datenlage	59
9.2	Ergebnisse der Probenahme	61
9.2.1	PCB Belastungen des partikulären Materials	61
9.2.2	PCB im Schwebstoff	63
9.2.3	PCB gelöst in der Wasserphase	64
9.2.4	TCBT Belastungen des partikulären Materials	65
9.2.5	TCBT im Schwebstoff	65
9.2.6	Korngrößenanalyse	66
10	Freisetzungspotential PCB	67

11	Ausbreitungspotential PCB	70
11.1	Prozesse der Ausbreitung und des Austrags	70
11.1.1	Partikelgröße	73
11.1.2	Strömungsgeschwindigkeit und Erosion, Transport und Sedimentation von Partikeln	73
11.1.3	Fließgeschwindigkeiten in Röhren	74
11.2	Datengrundlage zur Abschätzung des PCB-Austrags	78
11.2.1	Schwebstoffgehalte	79
11.2.2	PCB Konzentrationen	81
11.2.3	Vorgehen zur Kalkulation des Austrags im IST-Zustand	83
11.3	Qualitative Abschätzung des PCB-Austrags im gehobenen Grubenwasser während und nach der Grubenwasseranhebung	85
11.3.1	IST-Zustand	85
11.3.2	Flutungsphase, ohne Pumpbetrieb in der zentralen Wasserhaltung Haus Aden	85
11.3.3	Inbetriebnahme der Pumpen im gefluteten Bergwerk	86
11.3.4	Dauerhafter Pumpenbetrieb	86
11.4	Abschätzung der quantitativen Entwicklung des PCB-Austrags nach der Grubenwasseranhebung	87
12	Mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Austrags von PCB	93
12.1	Verringerung der Höhe des Grubenwasseranfalls und der Schwebmenge durch einen höheren Grubenwasserstand	93
12.1.1	Grubenwasseranstieg bis ca. -600 mNHN	94
12.1.2	Grubenwasseranstieg höher als -600 mNHN	95
12.1.3	Offene Fragen im Zusammenhang mit einem weiteren Grubenwasseranstieg	95
12.1.4	Verringerung der Schwebmenge durch Abdeckung in offenen Strecken mit PCB-Belastung	96
12.2	Verringerung der im Grubenwasser gelösten PCB	96
13	Monitoring	98
14	Offene Fragen und weiteres Vorgehen	99
14.1	Gelöster Anteil an PCB	99
14.2	PCB-Belastung im Sediment/partikulärem Material	99
14.3	Anaerober Abbau von PCB	99
14.3.1	Weitere Recherchen	100
15	Referenzen	101

16 ANHANG: Angewendete Methoden PCB-Analytik 107**ABBILDUNGEN:**

Abb. 1:	Aufbau und Inhalt des Gutachtens	1
Abb. 2:	Überblick über den Untersuchungsraum, die wichtigsten Lokalitäten und Lage des Profils in Detailbericht 1	3
Abb. 3:	Konzentrationen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Kohlen. Die Gesamt-PAK der ersten 15 US-Kohlen umfassen die Summe von 43 PAKs.	9
Abb. 4:	Allgemeine chemische Struktur von PCB	17
Abb. 5:	Allgemeine chemische Struktur von Tetrachlorbenzyltoluolen und Dichlorbenzyltoluolen	20
Abb. 6:	Lineare Extrapolation des PCB-Verbrauchs auf die Jahre vor 1973	23
Abb. 7:	Übersicht über die Hauptverlustquellen der PCB unter Tage	24
Abb. 8:	Akten zum Vorgang 55.15-15 bei der BR Arnsberg	28
Abb. 9:	Gesamtübersicht der Abbaue zwischen 1969 und 1985 in der Wasserprovinz Haus Aden	29
Abb. 10:	Abbaue zwischen 200 bis 300 Meter Tiefe	30
Abb. 11:	Abbaue zwischen 300 bis 400 Meter Tiefe	30
Abb. 12:	Abbaue zwischen 400 bis 500 Meter Tiefe	31
Abb. 13:	Abbaue zwischen 500 bis 600 Meter Tiefe	31
Abb. 14:	Abbaue zwischen 600 bis 700 Meter Tiefe	32
Abb. 15:	Abbaue zwischen 700 bis 800 Meter Tiefe	32
Abb. 16:	Abbaue zwischen 800 bis 900 Meter Tiefe	33
Abb. 17:	Abbaue zwischen 900 bis 1.000 Meter Tiefe	33
Abb. 18:	Abbaue zwischen 1.000 bis 1.100 Meter Tiefe	34
Abb. 19:	Abbaue zwischen 1.100 bis 1.200 Meter Tiefe	34
Abb. 20:	Abbaue zwischen 1.200 bis 1.300 Meter Tiefe	35
Abb. 21:	Abbaue zwischen 1.300 und 1.400 Meter Tiefe	35
Abb. 22:	Auszug aus einem Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Werkstatt	37

Abb. 23:	Auszug aus einem Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Maschinenkammer und eine Sumpfstrecke	37
Abb. 24:	Auszug aus einem älteren Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Maschinenkammer	38
Abb. 25:	Auszug aus dem Nachweisbuch für Altölbesitzer (Bergwerk Prosper Haniel) ohne Differenzierung in PCB-haltige Öle und sonstige Öle	41
Abb. 26:	Wasserprovinz Haus Aden mit Einzugsgebiet Victoriadam und Einzugsgebiet Ost, Grubenwasserständen und Überleitungshöhen	49
Abb. 27:	Potentialdifferenzen Stand 3/2016 zwischen den Teilprovinzen und überschlägige Darstellung der Abbau zur PCB-Zeit und geplanter Grubenwasseranstieg auf -670 mNHN in der Wasserhaltung und -600 mNHN in den Teilprovinzen	52
Abb. 28:	Beispiel für ein offenes Gerinne mit Erosionspotential im Schacht Grimberg	54
Abb. 29:	Übersicht über die Orte der Probenahme am Schacht Grimberg/Umtriebe	60
Abb. 30:	Ergebnisse der 100 L-Grubenwasserprobe und Szenarios für jährliche Austragsmengen bei sich ändernden Schwebstoffgehalten und PCB-Konzentrationen	72
Abb. 31:	Hjulström Diagramm	74
Abb. 32:	Verteilung der Fließgeschwindigkeiten in einer Röhre und berechnet für das Fallbeispiel	75
Abb. 33:	Fließgeschwindigkeiten für den Beispielfall	77
Abb. 34:	Boxplot aller aufgeführten Schwebstoffgehalte im gehobenen Grubenwasser des Bergwerks Haus Aden/Monopol von 2008 – 2016	80
Abb. 35:	Varianz des jährlichen Austrags von PCB in [g] aus dem Bergwerk Haus Aden/Monopol auf Grundlage von im Jahr 2015 genommenen Proben. Der Anteil an gelöstem PCB wurde berechnet anhand der Kd-Werte, die aus der Analyse der 100 L-Grubenwasserprobe ermittelt wurden.	84

TABELLEN:

Tab. 1:	Massenbilanz der PCDF/PCDD	8
Tab. 2:	Mengen der im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen und Saarland in den Jahren 1977 bis 1983 genutzten PCB-haltigen Betriebsmittel	21
Tab. 3:	Mengen der im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1973 bis 1980 genutzten PCB-haltigen Betriebsmittel	21
Tab. 4:	Mengen der im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1974 bis 1984 genutzten PCB-haltigen Betriebsmittel	21
Tab. 5:	Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsmittel im Bergwerk der Bundesrepublik Deutschland	23
Tab. 6:	Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsmittel in der Wasserprovinz Haus Aden/Monopol über Anteile an der Kohlenförderung	45
Tab. 7:	Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsmittel in der Wasserprovinz Haus Aden über Jahresverbrauch und Anteile an der Kohlenförderung	45
Tab. 8:	Vergleich der PCB-Belastungen bei verschiedenen Flächenansätzen im Einzugsgebiet Victoriadamm	50
Tab. 9:	Größe der Abbauflächen und PCB-Belastung durch Verluste im Einzugsgebiet Victoriadamm bei einer Belastung von 10 t / km ²	50
Tab. 10:	Untergliederung der Abbaufläche in der Teilprovinz Victoria	52
Tab. 11:	Untergliederung der Abbaufläche in der Teilprovinz Hansa	53
Tab. 12:	Untergliederung der Abbaufläche in der Teilprovinz Gneisenau	55
Tab. 13:	Untergliederung der Abbaufläche in der Teilprovinz Kurl	55
Tab. 14:	Größe der Abbauflächen und PCB-Belastungen im Einzugsgebiet Ost	57
Tab. 15:	Übersicht über die Probenahme auf PCB am 18.02.2016	61
Tab. 16:	Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf PCB	62
Tab. 17:	Ergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen auf PCB	63
Tab. 18:	Ergebnisse der 100 L-Grubenwasseruntersuchung auf PCB	64
Tab. 19:	Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf TCBT	65
Tab. 20:	Ergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen auf TCBT	65

Tab. 21: Ergebnisse der Korngrößenanalysen von unter Tage genommenen Bodenproben	66
Tab. 22: Physikalisch-chemische Eigenschaften ausgewählter PCB-Kongenere	68
Tab. 23: Adsorptionseigenschaften des partikulären Materials	68
Tab. 24: Volumenströme Strömung und Röhrenquerschnitte	76
Tab. 25: Fließgeschwindigkeiten (v) in Röhren	76
Tab. 26: Untertägige Schwebstoffbestimmungen der RAG Ruhranalytik (1993-1998) im aktiven Bergwerk Haus Aden/Monopol. Die Probenahmetechnik ist nicht bekannt.	79
Tab. 27: Bestimmung von Schwebstofffrachten in gehobenen Grubenwässern des stillgelegten Bergwerks Haus Aden/Monopol	80
Tab. 28: Daten zur untertägigen Grubenwasserbeprobung auf PCB	81
Tab. 29: Beprobungen von am Pumpstandort Haus Aden/Monopol gehobenem Grubenwasserschwebstoffen. Alle hier aufgelisteten Beprobungen ergaben für alle Proben PCB-Konzentrationen unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen.	82
Tab. 30: Schwebstoffuntersuchungen an Grubenwasserproben mit Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze in µg/kg Trockengewicht	82
Tab. 31: PCB-Konzentrationen in der 100 L-Grubenwasserprobe in ng/L	83
Tab. 32: Zusammenfassende Abschätzung der PCB-Belastung in der ZWH	91

0 VORBEMERKUNG

0.1 Aufbau des Gutachtens und der Detailberichte

Die Bearbeitung des „Gutachtens zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil 1“ erfolgt durch sechs Projektpartner, deren fachliche Schwerpunkte in der Abb. 1 dargestellt sind. Die Federführung hat die ahu AG.

Die einzelnen Projektpartner haben inhaltliche Schwerpunkte die in der Abb. 1 im Überblick und in der folgenden Tabelle 1 genauer dargestellt sind, da diese z. T. über die in der Abb. 1 beschriebenen Inhalte hinausgehen.

Die Beschreibung und Erläuterung dieser Arbeitsergebnisse erfolgt in den sechs Detailberichten. Die für die integrierte System- und Risikoanalyse relevanten Grundlagen und Ergebnisse aus den Detailberichten werden – teilweise auch in verkürzter Form – in das Gutachten aufgenommen.

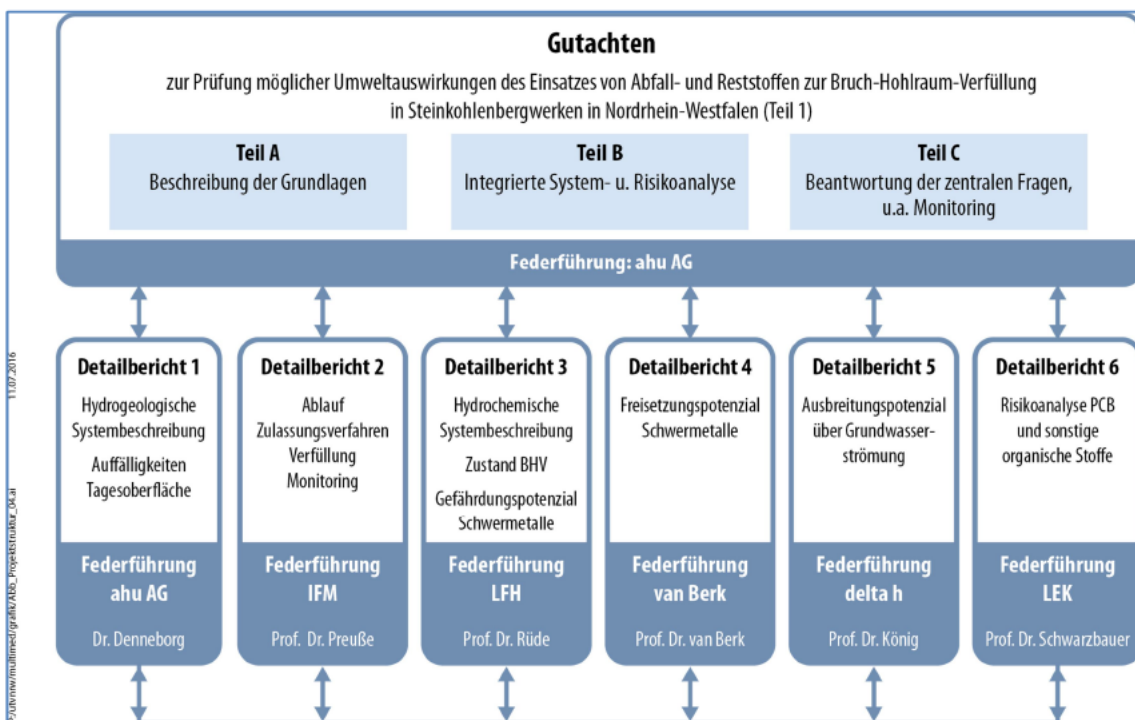


Abb. 1: Aufbau und Inhalt des Gutachtens

Die Detailberichte wurden in enger Abstimmung der Gutachter erstellt, u. a. erfolgten auch Zuarbeiten untereinander.

Inhaltliche Schwerpunkte der Bearbeitung durch das Konsortium in den Detailberichten:

Nr.	Detailbericht	Verantwortlicher Bearbeiter / Projektleiter	Inhalte
1	Hydrogeologische Systembeschreibung und Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche	Dr. [REDACTED] (ahu AG)	<ol style="list-style-type: none"> Hydrogeologische Systembeschreibung Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche Datenerfassung und Dokumentation
2	Ablauf des Zulassungsverfahrens, der Bruchhohlraumverfüllung und des Monitorings	Prof. [REDACTED] (IFM)	<ol style="list-style-type: none"> Ablauf des Zulassungsverfahrens und des Monitorings Dokumentation der Bruchhohlraumverfüllung Bewertung
3	Hydrogeochemische Systemanalyse	Prof. [REDACTED] (LFH)	<ol style="list-style-type: none"> Tiefengrundwasser Grubenwasser Inventar des anorganischen Gefährdungspotential Zustand der Bruchhohlraumverfüllung Nebengesteine
4	Freisetzungspotential	Prof. [REDACTED]	<ol style="list-style-type: none"> Freisetzungspotential Bewertung der damaligen Grundannahmen
5	Ausbreitungspotential	Prof. [REDACTED] (delta h)	<ol style="list-style-type: none"> Ausbreitungspotential (Fernfeldmodell und Nahfeldmodelle) Bewertung der damaligen Grundannahmen
6	Risikoanalyse organische Stoffe	Prof. [REDACTED] (LEK)	<ol style="list-style-type: none"> Risikoanalyse PCB und Substituenten Risikoanalyse andere organische Stoffe

Der vorliegende Bericht ist der Detailbericht 6.

0.2 Untersuchungsraum

Für die Bearbeitung des Gutachtens wurden verschiedene Untersuchungsräume betrachtet, die nicht scharf abgegrenzt werden können. Für die Fragestellungen der hydrogeologischen Systembeschreibung, der Bewertung der Auffälligkeiten an der Tagesoberfläche (private landwirtschaftliche Flächen westlich von Bergkamen) und die Bruchhohlraumverfüllung ist dies der in Abb. 2 dargestellte Untersuchungsraum.

In den Baufeldern Monopol E1, E2 und E3 erfolgt in einer Tiefe zwischen -800 mNHN und -920 mNHN die BHV.

Der Schacht Grillo 4, an dem die Mischanlage für die BHV stand und über den die aufbereiteten Versatzstoffe unter Tage gebracht wurden, wurde mittlerweile verfüllt. Die Schächte Grimberg 2 und der Schacht Haus Aden 2, der Standort der Zentralen Wasserhaltung Haus Aden 2 (ZWH), sowie eine untertägige Verbindungstrecke sind noch

zugänglich. Für die Grundwassermodellierungen wurden ein Fernfeldmodell und drei Nahfeldmodelle abgegrenzt (Detailbericht 5).

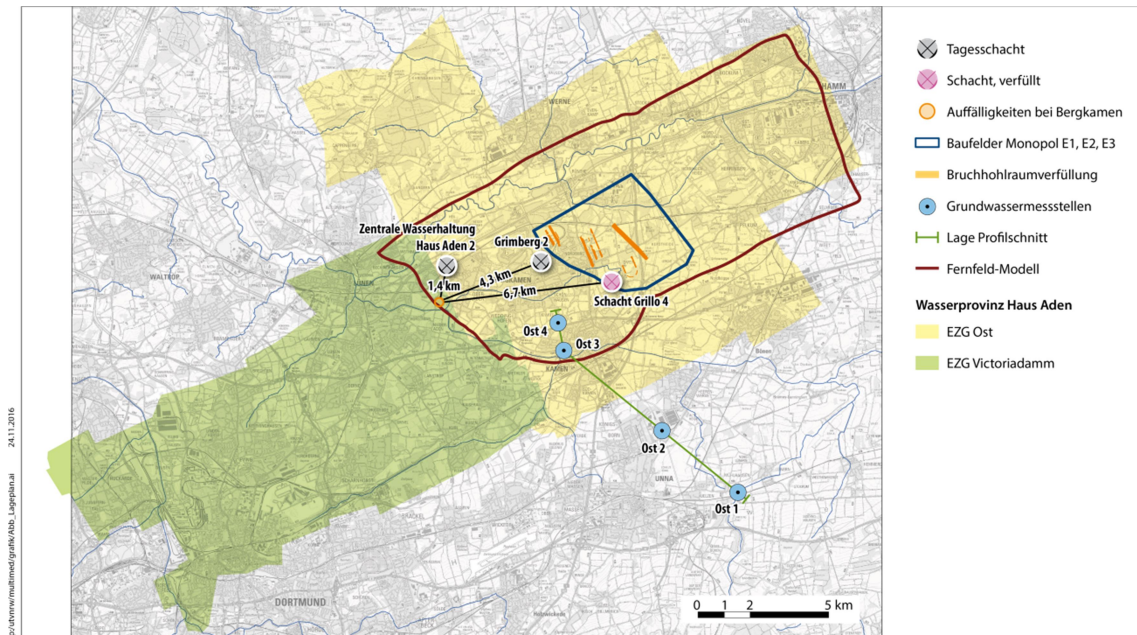


Abb. 2: Überblick über den Untersuchungsraum, die wichtigsten Lokalitäten und Lage des Profils in Detailbericht 1 (ahu AG)

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des Gutachtens zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil 1 hat das LEK, Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle an der RWTH-Aachen (Prof. Dr. [REDACTED]) den Auftrag:

- Erfassung und Bewertung des Gefährdungspotentials organischer Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung,
- Bewertung des Freisetzungs- und Ausbreitungspotential organischer Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung,
- Bilanzierung der eingesetzten PCB- und TCBT-haltige Betriebsstoffe in den Bergwerken in NRW und deren Verbleib,
- Bewertung des Freisetzungs- und Ausbreitungspotential der eingesetzten PCB- und TCBT-haltige Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden,
- Abschätzung des Risikos der eingesetzten PCB- und TCBT-haltigen Betriebsstoffe über die Förderung des Grubenwassers,
- Hinweise zum Monitoring.

Organische Schadstoffe in der Bruchhohlraumverfüllung

TEIL A

2 ORGANISCHE SCHADSTOFFE IN DER BRUCHHOHLRAUM-VERFÜLLUNG: DATENLAGE UND VORGEHEN

Zu den organischen Inhaltsstoffen der für die Bruchhohlraumverfüllungen benutzten Materialien liegen nur sehr wenige Informationen vor. In einigen Reststoffanalysen, durchgeführt vor Nutzung und Einbringung der Materialien, wurden vorselektiert polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF), kurz „Dioxine“ oder PCDD/F, sowie in deutlich geringerem Maße polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, kurz PAK oder PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), quantitativ bestimmt. Diese Stoffauswahl hatte sich am damaligen Kenntnisstand orientiert.

Eine umfangreiche chemische Charakterisierung des gesamten organischen Anteils ist nicht erfolgt. Ebenso sind keine Untersuchungen zu toxikologischen oder ökotoxikologischen Eigenschaften der zur BHV verwendeten Materialien bekannt. Daher kann in diesem Gutachten hinsichtlich organischer Schadstoffe in den Bruchhohlraumverfüllungen nur zu den partiell untersuchten Substanzklassen der Dioxine und PAK Stellung genommen werden. Es muss aber klar formuliert werden, dass damit eine Einschätzung nur eines Anteils der organischen Bestandteile möglich ist, eine umfassende Bewertung kann nicht erfolgen.

Trotz Recherchen seitens der Gutachter in der deutsch- und englischsprachigen Fachliteratur konnten keine weiteren Informationen zu den organischen Inhaltsstoffen von zur Bruchhohlraumverfüllung eingesetzten Materialien (Rauchgasreinigungs-Abwasser-Aufbereitungs (RAA) Schlämme, Filterstäube) erhalten werden. Für die Recherche wurden verschiedene Onlinedatenbanken für wissenschaftliche Fachartikel genutzt (s. Literaturdokumentation).

Analyseergebnisse von RAA-Schlämmen hinsichtlich ihrer organischen Bestandteile liegen weder der Bezirksregierung Arnsberg noch dem LANUV vor. Durchführende Labore waren seinerzeit das Hygiene-Institut des Ruhrgebiets – Institut für Umwelttoxikologie GmbH und die Mineral plus GmbH. Nachfragen seitens der Gutachter ergaben, dass es beiden Unternehmen aus vertragsrechtlichen Gründen nicht gestattet ist, Daten zur Verfügung zu stellen.

3 ORGANISCHE SCHADSTOFFE IN DER BRUCHHOHLRAUMVERFÜLLUNG: GEFÄHRDUNGSPOTENTIAL

3.1 Gefährdungspotential PCDD/F („Dioxine“)

Die in den Abschlussberichten der RAG (1995, 1996 und 1998) dokumentierten organisch-chemischen Reststoffanalysen wurden von RW TÜV und Ruhr Analytik durchgeführt. Hierbei wurden ausschließlich Proben von Filterstäuben (RSN (Reststoffnummer) 31309, 31312) untersucht, Analysen zur Gruppe der RAA-Schlämme liegen nicht vor.

Für die in den Bauhöhen Gb1, Gb2, 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.

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 eine Gesamtmenge von rund 7,2 kg PCDD/F (Tab. 1). Dies entspricht – unter Berücksichtigung der in den damaligen Abschlussberichten verwendeten kongenerenscharfen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF, Bundesgesundheitsamt 1985) – 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 Bruchhohlraumverfüllung ist kein quellspezifisches 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.

Tab. 1: Massenbilanz der PCDF/PCDD

Strecke	Abfall	analysierter Reststoffversatz		Reststoffversatz gesamt	PCDF	PCDD	PCDF/D	TEQ ^a (nach: WHO, 2005)
		%	[t]					
GB1	Filterstaub	99,89	17.616,24	17.636,01	960,67	1.123,15	2.083,83	33,03
	RAA-Schlamm	-	-	23.437,91	-	-	-	-
GB2	Filterstaub	100,00	5.227,49	5.184,10 ^b	414,63	870,00	1.284,63	12,14
	RAA-Schlamm	-	-	23.933,46	-	-	-	-
GB16	Filterstaub	97,54	12.684,32	13.003,70	652,88	560,15	1.213,03	27,73
	RAA-Schlamm	-	-	16.974,42	-	-	-	-
GB17	Filterstaub	97,49	10.827,19	11.105,45	744,71	1.002,32	1.747,03	36,04
	RAA-Schlamm	-	-	13.623,04	-	-	-	-
GB31	Filterstaub	85,67	13.159,17	15.359,87	523,56	368,49	892,05	13,55
	RAA-Schlamm	-	-	27.509,31	-	-	-	-
Summe							7.220,57	122,49

^a Toxizitätsäquivalent (TEQ): Summenwert der Produkte aus kongenerspezifischen Toxizitätsäquivalenzfaktoren und kongenerspezifischen Konzentration zur Darstellung einer der 2,3,7,8-TCDD äquivalenten Belastungen

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

3.2 Gefährdungspotential PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)

In der Bauhöhe GB2 wurde 1992 mit dem Versatz auf dem Bergwerk Haus Aden/ Monopol begonnen. Die auf der Bauhöhe GB2 versetzten Materialien wurden neben PCDD und PCDF singularär auch auf die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe Fluoranthren, Benz(b)fluoranthren, Benz(k)fluoranthren, Benz(a)pyren, Indeno(1,2,3-cd)pyren und Benz(g,h,i)perylen hin untersucht. Die Ergebnisse für alle Einzelstoffe lagen unterhalb der damaligen Bestimmungsgrenze von < 100 µg/kg TS. Bei dem Versatz auf den nachfolgenden Bauhöhen wurden die PAK nicht mehr untersucht.

In Abb. 3 sind Konzentrationen von PAK in verschiedenen Kohlen dargestellt. Hierbei weisen Steinkohlen aus dem Ruhrgebiet einen sehr hohen geogenen Gehalt an PAK auf. 1 kg Steinkohle enthält ca. 100 mg PAK (16 prioritäre PAK, definiert durch die US EPA). Bei Betrachtung der gesamten analysierten PAK (131 PAK und alkylierte PAK) sind dies sogar ca. 1.000 mg/kg (Wilsch und Radke 1995, Achten und Hoffmann 2010).

Wenn man von einem solchen PAK-Gehalt der Kohlen ausgeht, dann wären die PAK-Gehalte (EPA) der Reststoffe mindestens um den Faktor 1.000 niedriger als der natürliche geogene Gehalt der Kohlen an PAK (EPA).

Im Nebengestein der Kohle sind größere Mengen an feinverteiltem Kohlenstoff vorhanden. Es gibt Schätzungen (GD NRW 2011), dass im Nebengestein noch einmal dieselbe Menge Kohle vorhanden ist wie in den abbauwürdigen Flözen.

Analysen des Glührückstandes (bei 815 °C) der Feinfraktion aus der Kohlewäsche (Partikel < 0,5 mm) zeigen, dass das schluffige Material selbst nach der Kohlewäsche immer noch ca. 10 % organischen Kohlenstoff enthält (Achten und Hoffmann 2010).

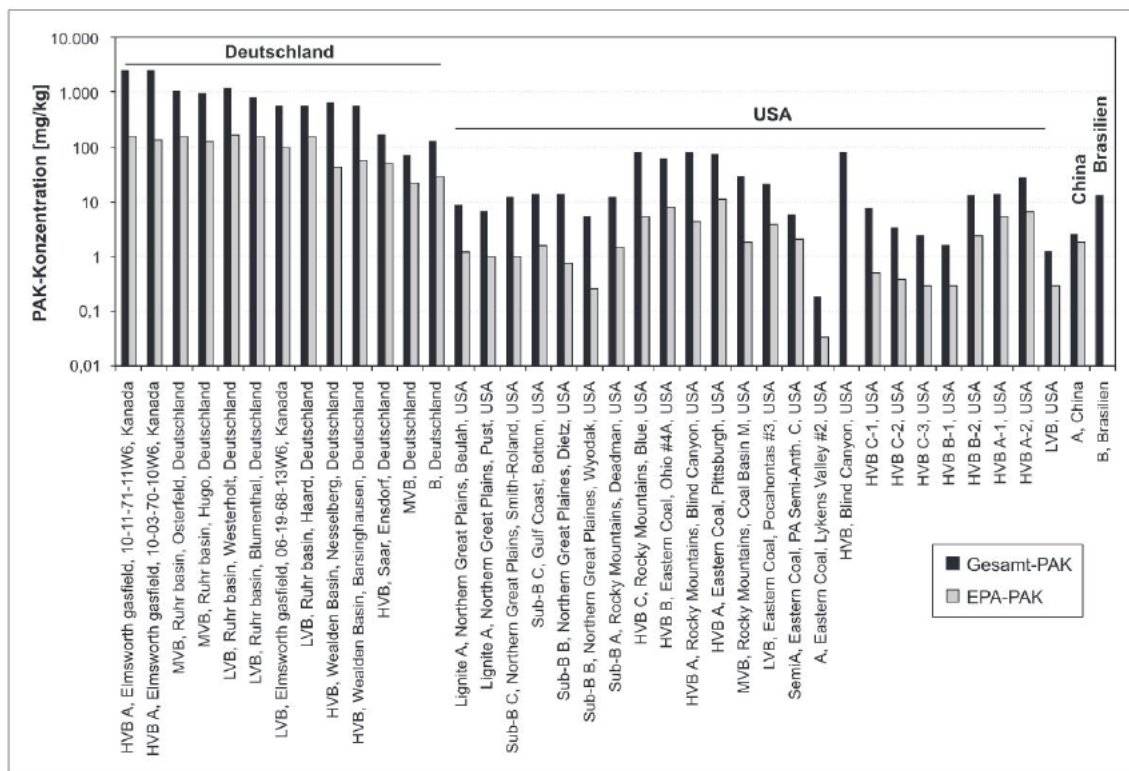


Abb. 3: Konzentrationen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK, mg/kg) in Kohlen (Daten in dargestellter Reihenfolge aus Wilsch und Radke 1995, Radke et al. 1990, Pies et al. 2007, Stout und Emsbo-Mattingly 2008, Stout et al. 2002, Zhao et al. 2000, Chen et al. 2004, Püttmann 1988). Die Gesamt-PAK der ersten 15 US-Kohlen umfassen die Summe von 43 PAKs (Achten und Hoffmann 2010).

„Kohle ist ein ähnlich starker Sorbent wie Black Carbon und aus den bisherigen Kenntnissen über die Sorption von z. B. PAK und PCB ist eine äußerst langsame Desorption und damit verbunden eine sehr schlechte Bioverfügbarkeit zu erwarten“ (Achten und Hoffmann 2010). Dies bedeutet, dass die Kohlen zwar hohe PAK-Gehalte aufweisen, diese aber gleichzeitig stark sorbieren und eine Freisetzung und biologische Verfügbarkeit verhindern.

Aus diesen Gründen schätzen die Gutachter das Gefährdungspotential der PAK als sehr gering ein. Selbst wenn in den Reststoffen der anderen Bauhöhen PAK enthalten sein sollten, dürften auch diese Gehalte deutlich unter den geogenen Gehalten der Kohle liegen. Da im Karbon auch außerhalb der Kohleflöze große Mengen an feinverteilter Kohle vorhanden sind, besteht auch dort ein sehr großes Sorptionspotential.

Das Freisetzungs- und Ausbreitungspotential der PAK wird im Folgenden nicht betrachtet, da das Gefährdungspotential der PAK als sehr gering erachtet wird. Somit besteht auch kein Risiko durch die ggf. zusätzlich mit den Reststoffen eingebrachten PAK.

4 FREISETZUNGSPOTENTIAL PCDD/F („DIOXINE“)

Zu den polaren Schadstoffen, die möglicherweise aus der BHV in die wässrige Phase freigesetzt werden können, können keine Aussagen getroffen werden, da eine entsprechende chemische Charakterisierung der verbrachten Materialien, die auch polare Schadstoffe berücksichtigt, nicht erfolgt ist (s. Kap. 1).

Um die Freisetzung von PCDD/PCDF über die partikuläre und die wässrige Phase abschätzen zu können, müssen zunächst Daten zu deren Adsorptionsaffinität vorliegen (= Neigung an partikuläres Material zu adsorbieren). Bei gleichbleibenden Temperatur- und Druckbedingungen stellt sich zwischen Adsorption und Desorption ein Gleichgewichtszustand ein. Die Adsorptionsaffinität kann vereinfacht mit Verteilungskoeffizienten zwischen organischem Material und wässriger Phase (K_{OC} -Wert) oder zwischen dem gesamten partikulären Material und der wässrigen Phase (K_D -Wert) beschrieben werden.

Für PCDD und PCDF liegen K_{OC} -Werte aus der wissenschaftlichen Fachliteratur vor. Für Schwebstoffe aus der Elbe wurden für PCDD/PCDF mit vier bis acht Chloratomen $\log K_{OC}$ -Werte zwischen 7,2 und 8,4 bestimmt (Götz et al. 1994). Aus diesen sehr hohen $\log K_{OC}$ -Werten und der somit sehr hohen Adsorptionsaffinität der PCDD/PCDF an organisches Material lässt sich ableiten, dass eine Freisetzung über die wässrige Phase aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit ($TCDD-OCDD \leq 0,63 \mu\text{g L}^{-1}$, Shiu et al. 1998) und hohen Adsorptionsaffinität der PCDD/PCDF eine untergeordnete Rolle spielt. Eine Freisetzung von PCDD/PCDF aus den kontaminierten Bereichen kann im Wesentlichen nur über die partikuläre Phase durch eine Grundwasserströmung erfolgen.

5 **AUSBREITUNGSPOTENTIAL PCDD/F („DIOXINE“)**

Wie oben dargestellt, könnte eine Freisetzung von PCDD/PCDF nur in die partikuläre Phase des Grubenwassers erfolgen.

Eine weitere Ausbreitung der Kontamination findet dann statt, wenn ein Transport kontaminierten partikulären Materials mit dem Grubenwasser aus der Bruchhohlraumverfüllung in das Nahfeld/Fernfeld erfolgt. Eine Ausbreitung würde demnach durch den Prozess des advektiven Transports am Schwebstoff stattfinden. Eine Verbreitung über die partikuläre Phase kann fast vollständig ausgeschlossen werden, solange die Fließgeschwindigkeiten und Wasserwegsamkeiten in dem versetzten Alten Mann kaum vorhanden sind.

Die Ausbreitung aus der Bruchhohlraumverfüllung wird im Detailbericht 5 (Grundwasserströmungsmodellierung) beschrieben. Die Ausbreitung über einen advektiven Transport am Schwebstoff wird hier als nicht relevant erachtet.

TEIL B PCB- und TCBT-haltige Betriebsstoffe

6 PCB- UND TCBT-HALTIGE BETRIEBSSTOFFE: DATENLAGE UND VORGEHEN

Die Datenlage über den Einsatz, Austrag und vor allem den Verbleib der PCB unter Tage ist sehr begrenzt. Trotz einer sehr umfangreichen Datenrecherche seitens der Gutachter kann heute nicht mehr aufgeklärt werden, wo unter Tage in welcher Höhe PCB-Belastungen vorliegen. Zugänglich sind in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage nur noch vergleichsweise kurze Strecken (9,2 km).

6.1 Aktenführung und Aktenlage bei der Bergverwaltung (Angaben der BR Arnsberg)

Grundlage für das Anlegen und Führen von Akten bei der BR Arnsberg bildet der „Aktenplan des Landesoberbergamtes und der Bergämter des Landes Nordrhein-Westfalen“. Dieser wurde im Jahre 1967 durch das damalige Oberbergamt Dortmund eingeführt und ist – ständig fortgeschrieben – bis heute gültig. Er galt sowohl für die Bergämter als auch für das Landesoberbergamt NRW. Der Aktenplan umfasst einen Teil

- Allgemeine Akten
- Betriebsakten
- Alphabetisches Verzeichnis der Schachtanlagen und Betriebe

Eine digitale Erfassung und Verschlagwortung besteht nicht. Bei einer Recherche müssen die Akten immer händisch durchgesehen werden.

Während „Allgemeine Akten“ übergeordnete Regelungen, die nicht in unmittelbar betrieblichem Zusammenhang stehen, beinhalten (z. B. Zulassungen für den untertägigen Einsatz eines bestimmten Stoffes bzw. Maschinen etc.) spiegeln „Betriebsakten“ betriebsbezogene Belange wider, für die Betriebspläne einzureichen sind.

Bis zur Auflösung der Bergämter mit Ablauf des 31.12.2006 waren – bis auf wenige Ausnahmen – für das Betriebsplanverfahren die Bergämter zuständig, während für übergeordnete Belange das Landesoberbergamt NRW bzw. die Abteilung Bergbau u. Energie der BR Arnsberg Adressat war. Daraus resultiert, dass bis zum v. g. Zeitpunkt die „Betriebsakten“ i. d. R. bei den Bergämtern vorgehalten wurden, während sich die „Allgemeine Akten“ schwerpunktmäßig beim LOBA/Abteilung Bergbau und Energie der Bezirksregierung Arnsberg befanden.

So wurde die Bruchhohlraumverfüllung als ein übergeordneter Vorgang beim LOBA unter den Aktengruppen „2.17; Reststoffverwertung unter Tage“ bzw. „2.16; Abfallbeseitigung unter Tage“ begleitet. Im Zuge der Recherche wurden die entsprechenden Akten aus dem Staatsarchiv zurückgeholt.

Trotz der einheitlichen Struktur des Aktenplans wurden - je nach Aufgabenschwerpunkten – beim LOBA und den Bergämtern gerade bei den „Allgemeinen Akten“ oft nur die Obergruppe von Akten genutzt. Deshalb können Akten, die den gleichen Sachverhalt betreffen, beim LOBA und den Bergämtern unter unterschiedlichen Aktenzeichen geführt werden.

Seit 1988 wurde die Zahl der Bergämter in NRW von 12 auf 5 zum Zeitpunkt der Integration der Bergämter in die Bezirksregierung Arnsberg zum 01.01.2007 reduziert. In diesem Zusammenhang wurden in Anbetracht der begrenzten Kapazitäten Akten vernichtet (Schriftgutaussonderung, s. Dokumentation im Gesamtgutachten). Nach den damals geltenden Registratur- und Geschäftsordnungen wurden im Regelfall nicht dauerhaft aufzubewahrende Akten nach 10 Jahren ausgesondert und in Absprache mit dem Staatsarchiv vernichtet. Dies betraf als unkritisch angesehene Sachgebiete, insbesondere für Akten stillgelegter Schachtanlagen. Hierunter fielen die meisten Vorgänge über technische Betriebsabläufe unter Tage wie z. B. auch die Akten über die immissionsneutrale Verbringung von Abfällen.

6.2 Aktenlage PCB

In dem Aktenplan von 1967 gibt es keine eigenständige Aktengruppe PCB. Die entsprechenden Vorgänge wurden anderen Vorgängen chronologisch nach Eingang zugeordnet. Dadurch können Informationen zum Thema PCB sowohl beim LOBA als auch bei den Bergämtern unter verschiedenen Obergruppen abgelegt sein, wie zum Beispiel:

Obergruppe 01 Rechtsangelegenheiten (Dezernat 65)

Obergruppe 12 Arbeits- und Gesundheitsschutz (Dezernat 62)

Obergruppe 13 Maschinen und maschinelle Anlagen (Dezernat 62)

Obergruppe 42 Wasserwirtschaft (Dezernat 61)

Obergruppe 55 Ordnung der Oberflächennutzung (Dezernat 61)

Obergruppe 91Sitzungen..... (übergreifend)

Unter diesen Obergruppen wurden vor allem zwei Aktengruppen als wesentliche Informationsquelle für die Gutachten für den Einsatz und Verbleib von PCB unter Tage identifiziert:

- **Vorgang 55.15-15-7** „Entsorgung von Altöl und Hydraulikflüssigkeiten“. Hier wurden v. a. zusammenfassende Auswertungen der Bergämter und des LOBA zum Austausch von PCB ab 1984 bis 1986 archiviert. Sog. Primärdaten, also Aufzeichnungen aus den Bergwerken selbst, sind hier so gut wie nicht vorhanden. Diese wurden mit den Betriebsakten vernichtet. Ebenso fehlen Unterlagen aus den Jahren vor 1984. Der Aktenbestand wurde von der ahu AG digitalisiert (s. Dokumentation im Gesamtgutachten).
- **Vorgang 13.31** „Prüfung von Hydraulikflüssigkeiten“ umfasst die Jahre 1968 – 1994. Der Schwerpunkt liegt auf der Prüfung und Zulassung von Hydraulikflüssigkeiten. Es finden sich auch viele doppelt abgelegte Vorgänge aus 55.15-15-7 (s. Dokumentation im Gesamtgutachten).

In den übrigen Obergruppen der Allgemeinen Akten und in den Betriebsakten, die mehrere hundert Akten umfassen verteilt auf die Standorte Staatsarchiv in Münster und Archiv der BR Arnsberg in Dortmund, ist die Recherche nach Hinweisen auf den Einsatz und Verbleib von PCB insoweit abgeschlossen, wie darin entsprechende Hinweise vermutet wurden.

6.3 Aktenlage bei der RAG

Die RAG wurde 1969 gegründet. Von den damals 52 BW im Ruhrgebiet wurden bis auf Prosper Haniel alle BW bis Anfang 2016 stillgelegt. Die übertägigen Gebäude wurden alle geräumt/abgerissen.

Verfahrensvorgaben, wie bei derartigen Stilllegungen und vor allem wie mit dem das Bergwerk betreffenden Aktenwerk umzugehen ist, bestehen in Form einer Unternehmensrichtlinie erst seit April 2000. Zuvor lag die Aktenarchivierung im Entscheidungsbereich der jeweiligen Werksleitung. Die Aufbewahrungsfristen für einzelne Unterlagen seitens des Unternehmens beträgt maximal 10 Jahre (außer Grubenrisse). Üblicher Weise wurden Dokumente, bei denen die in aller Regel 10-jährige Aufbewahrungspflicht abgelaufen war, vernichtet. Eine Einbringung kompletter Bergwerksarchive in das Zentralarchiv hat es nicht gegeben. Die heute noch bestehenden Akten wurden alle verschlagwortet und sind digital erfasst und können so aus dem Zentralarchiv auf dem BW Pluto herausgesucht werden (ca. 80.000 Akten).

Unterlagen aus den 70er und 80er Jahren werden daher allenfalls noch dann vorhanden sein, wenn sie als „*betriebswesentlich*“ eingeschätzt wurden. Listen mit Aufzeichnungen über bergwerks- oder unternehmensbezogenen Verbrauch von PCB existieren nicht, weil PCB erst im Lauf der Zeit in den Fokus der Betrachtung rückte und da in aller Regel die Aufbewahrungsfristen für diesbezügliche Unterlagen bereits seit Jahrzehnten abgelaufen sind. Ähnliches gilt für die Reparaturtagebücher von Walzenschrammladern, die in der Regel mit der Verschrottung der Maschinen vernichtet wurden.

Eine Suche nach den Schlagworten PCB, HFD, Hydraulik, Nachweisbuch Altölbesitzer, Altöl, Entsorgung, Transformatoren, Kondensatoren, Betriebstagebücher, Werkstatttagebücher, zentrale Aufbereitung Fürst Hardenberg, Abfallbegleitscheine, § 3 Abs. 1, PCB-Verluste ergibt ca. 400 Akten. Diese Akten wurden bislang noch nicht ausgewertet.

Die Beschreibung des Gefährdungspotential PCB beruht deshalb vielfach auf Annahmen und Abschätzungen unter Worst-Case-Ansätzen und aus Rückschlüssen aus 5 untertägigen Sedimentproben und 5 Wasserproben, die am 18.02.2016 in der ZWH Umtriebe am Schacht Grimberg 2 gewonnen wurden. Die Datenlage hinsichtlich der PCB-Gehalte untertägiger Sedimente (partikuläres Material) soll weiter verbessert werden. Hierzu sind in Teil 2 des Gutachtens weitere Sedimentproben geplant (Kriterien für die Auswahl der Probenahmepunkte s. Abschn. 14.2). Weiterhin werden noch die Anzahl und die Lage große Infrastruktureinrichtungen (Lokschuppen, Werkstätten), bei denen von einem hohen PCB-Einsatz ausgegangen werden kann, in Grubenrisse recherchiert.

Die im Gutachten entwickelten Freisetzung- und Ausbreitungskonzepte der PCB stützen sich vor allem auf die im Einzugsgebiet Victoriadamm vorherrschenden Verhältnisse und auf die daraus gewonnenen Erkenntnisse. Hier wurden bereits seit Anfang der 1990er Jahre mehrere Millionen m³ Grubengebäude auf ca. 36 km² aus der PCB-Einsatzzeit geflutet.

7 GEFÄHRDUNGSPOTENTIAL POLYCHLORIERTE BIPHENYLE (PCB)

7.1 Allgemein

Der Begriff polychlorierte Biphenyle (PCB) umfasst eine Gruppe von theoretisch 209 chemischen Verbindungen, sogenannten Kongeneren, die sich durch Anzahl und Stellung der Chloratome am Biphenyl unterscheiden. Die allgemeine chemische Formel für PCB lautet $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, wobei n die Anzahl der Chloratome (1-10) angibt (Erickson 1997).

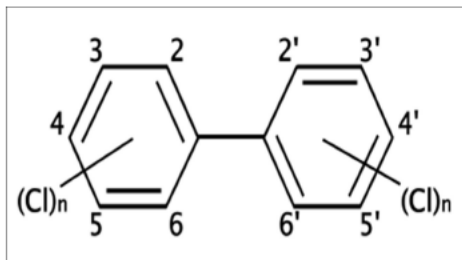


Abb. 4: Allgemeine chemische Struktur von PCB

International durchgesetzt hat sich die Nomenklatur der PCB nach Ballschmitter (Ballschmitter und Zell 1980), nach der alle 209 Kongenere durchnummeriert werden (Lehnik-Habrink et al. 2005).

Von den 209 möglichen PCB-Kongeneren werden diejenigen 12 Kongenere als dioxin-ähnliche PCB (dl-PCB) bezeichnet, die eine den Dioxinen ähnliche räumliche und elektronische Struktur haben (non-ortho PCB Kongenere 77, 81, 126, 169 und mono-ortho PCB Kongenere 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189) (Becker et al. 2010).

Die Bestimmung und Quantifizierung aller 209 Kongenere stellt einen hohen analytischen Aufwand dar. Daher werden bei Untersuchungen häufig sogenannte Indikator PCB (Leitkongenere nach Ballschmitter) bestimmt und quantifiziert (Vergleiche DIN 38 414-S20, DIN 38 407-F2 und DIN 51 527-T1). Hierbei handelt es sich um die PCB Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180, die quantitativ die bedeutendsten Bestandteile industrieller PCB-Gemische darstellen und zugleich stellvertretend für unterschiedliche Chlorierungsgrade stehen (LAGA 2012).

Aufgrund der thermodynamisch gesteuerten Synthese der PCB sowie der hohen Persistenz ändert sich die Zusammensetzung der Kongenere in PCB Mischungen auch nach Emission in die Umwelt nicht signifikant. Bei bekannter Zusammensetzung (d.h. bei bekannten Anteilen der Kongenere) der kommerziellen Mischung lassen sich über den Anteil der Leitkongenere und deren Konzentration die Konzentrationen aller Einzelkomponenten und durch Addition die Gesamtkonzentration bestimmen (Schulte und Malisch 1983).

Um näherungsweise die Gesamtkonzentration einer Feststoffprobe zu bestimmen, wird die Summe der sechs Leitkongenere mit 5 multipliziert (häufig als „PCB-Gesamtgehalt nach LAGA“ bekannt). Dieser Faktor wurde empirisch bestimmt und beruht auf einem

Mischungsverhältnis von Clophen A30:A50:A60 von 2:1:1 (Brank und Wenstrup 1985). Der Faktor 5 stellt eine hinreichend genaue Näherung dar und wurde 1989 in nationales Recht übernommen (BMU 1989). Bei anderen Mischungsverhältnissen kann es jedoch zu Abweichungen des Faktors kommen (4,9 – 5,9; Lehnik-Habrink et al. 2005). Nach Schulz et al. 1989 ergeben sich für Clophen A30 und Clophen A40 Faktoren von 7,6 bzw. 6,3.

7.2 Einsatz von PCB-haltigen Betriebsstoffen

Die kommerzielle Nutzung von PCBs begann im Jahr 1929 (Detzel et al. 1998). PCBs wurden als komplexe Mischungen für eine Vielzahl von Anwendungen hergestellt und in geschlossenen und offenen Systemen und in technischen Formulierungen mit unterschiedlichen Chloranteilen verwendet (Erickson 1997). Die Hauptanwendungen der geschlossenen Systeme lagen im Bereich der Elektroindustrie und im Bergbau zur Ausrüstung von Transformatoren (Isolier- und Kühlflüssigkeiten), Kondensatoren (Dielektrika) und Hydraulikflüssigkeiten (Flammschutz). In offenen Systemen gingen PCBs unter anderem als Flammschutzmittel und Weichmacher in Anwendungen (Detzel et al. 1998).

Die Chlorgehalte der kommerziellen Gemische liegen zwischen 21 und 68 % (Lorenz und Neumeier 1983). Innerhalb der einzelnen Handelstypen (z. B. mit je 30, 40, 50 und 60 % Chloranteil) sind die Zusammensetzungen in den technischen Produkten unterschiedlicher Hersteller nur sehr gering voneinander abweichend (Erickson 1997, Schulte und Malisch 1983). Daher sind in Umweltproben gefundene PCB häufig nur schwer einer bestimmten Mischung bzw. einem bestimmten Markenprodukt zuzuordnen (Schulte und Malisch 1983). Verunreinigungen von kommerziellen PCB-Mischungen liegen in der Regel unter 0,01 % (NRC 1979), in einigen wenigen Fällen kann der Anteil von Biphenyl bis zu 1 % betragen. Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) wurden als Verunreinigungen vereinzelt im µg/g Bereich dokumentiert. Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) wurden in kommerziellen PCB Mischungen nicht detektiert (Erickson 1997, Lorenz und Neumeier 1983).

7.3 Historie des PCB-Einsatzes in Bergwerken

Im Jahr 1956 ereignete sich in Marcinelle (Belgien) ein folgenschweres Bergwerksunglück, bei dem 262 Personen zu Tode kamen. Aus einer beschädigten Schachtleitung wurde unter Druck Mineralöl versprüht und von einem elektrischen Funken gezündet. Das Unglück führte innerhalb der europäischen Gemeinschaft (EGKS) zu der Forderung, in allen hydraulischen Anlagen der Steinkohlebergwerke unter Tage nur noch schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten einzusetzen (Engel und Kihl 1987).

Am 18. Dezember 1964 wurde von den damaligen Oberbergämtern Bonn und Dortmund eine neue Bergverordnung herausgegeben, nach der für die Steinkohlebergwerke in hydraulischen Anlagen, Einrichtungen und Geräten unter Tage sowie in feuer- oder explosionsgefährdeten Räumen und Bereichen über Tage nur zugelassene – in der Regel schwerentflammbare – Flüssigkeiten verwendet werden dürfen. Die Oberbergämter folgten damit einer Empfehlung des „Ständigen Ausschusses für die Betriebssicherheit und den Gesundheitsschutz im Steinkohlenbergbau“ in Luxemburg, der am 16. Oktober 1964 den sogenannten "Zweiten Luxemburger Bericht" über die "Anforderungen und Prüfungen schwer entflammbarer Flüssigkeiten zur hydraulischen

Kraftübertragung und Steuerung" herausgebracht hatte. Später geprüfte und eingeführte Flüssigkeiten hatten dem jeweils neu gültigen "dritten" bzw. "vierten" Luxemburger Bericht zu genügen (Engel und Kihl 1987, Gebhardt et al. 1974).

Ab Mitte der sechziger Jahre wurden im deutschen Steinkohlebergbau PCB unter Tage vor allem in Walzenschrämladern, Strömungskupplungen und in Antriebsmaschinen für seilgetriebene Transportbahnen als schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten des Typs HFD eingesetzt. Nach der Umstellung konnte in Proben aus überwachten Betriebseinsätzen kein Mineralöl in HFD-Flüssigkeiten nachgewiesen werden (Reichel 1973). Ein Mineralölanteil > 4 % hätte die Schwerentflammbarkeit der HFD Flüssigkeiten unzulässig beeinflusst (Gebhardt et al. 1974).

Über den Chlorierungsgrad der nach der Einführung eingesetzten PCB haltigen Hydraulikflüssigkeiten gibt es widersprüchliche Angaben. Laut Engel und Kihl (1987) bestand die erste Generation dieser Flüssigkeiten hauptsächlich aus höherchlorierten Biphenylen, teilweise im Gemisch mit Phosphorsäureestern (Bartz und Möller 2000, BAYER 1971, Reichel 1973). Erst Anfang der siebziger Jahre – nachdem die Persistenz hochchlorierter Biphenyle erkannt wurde – kamen mit der zweiten Generation ausschließlich niedrigchlorierte Biphenyle zum Einsatz. Laut einer Mitteilung des Gesamtverbandes des Deutschen Steinkohlenbergbaues an das Institut für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene aus dem Jahr 1982 wurden höherchlorierte Biphenyle bis ca. 1977 im Bergbau unter Tage eingesetzt, ehe sie anschließend durch Produkte auf Basis niedrig chlorierter Biphenyle (95 % tri- und tetrachlorierte Verbindungen) ersetzt wurden. Lorenz und Neumeier (1983) geben an, dass unter Tage meist hochchlorierte PCB eingesetzt wurden. Laut Informationen der Bayer AG (Lorenz und Neumeier 1983) wurden für den Bergbaubereich noch 1981 1000 t hochchlorierte Biphenyle, vorwiegend aus Frankreich, importiert. Bartz und Möller (2000) sowie Reichel (1973) geben dagegen an, dass nur HFD-Flüssigkeiten bestehend aus weniger als vierfach (Bartz und Möller 2000) bzw. sechsfach chlorierten Biphenylen (Reichel 1973) verwendet wurden.

In Deutschland wurde die Anwendung von PCB 1978 in offenen Systemen verboten und auf geschlossene Systeme beschränkt (Transformatoren, Widerstände, Drosselspulen, Kondensatoren und Hydraulikanlagen für untertägige Bergwerksanlagen). Auslöser hierfür war das zunehmende Bekanntwerden der schädlichen Umweltauswirkungen von PCB (vgl. z. B. Jensen et al. 1969, Hutzinger et al. 1974, NRC 1979). In Folge kam es zur Entwicklung PCB-freier Hydraulikflüssigkeiten. In den Jahren 1983 und 1984 kam es zur Zulassung von zwei schwerentflammbaren Hydraulikflüssigkeiten des Typs HFD auf Basis chlorierter Diphenylmethanderivate (Handelsname Ugilec 121 und 141). Im Zeitraum von 1984 bis 1986 wurden die PCB-haltigen Hydraulikflüssigkeiten durch PCB-freie Betriebsstoffe ersetzt (RAG 2015). 1989 trat schließlich die PCB-Verbotsverordnung in Kraft (Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC- Verbotsverordnung) vom 18. Juli 1989). Seither ist es in Deutschland verboten, PCB-haltige Stoffe herzustellen, in Verkehr zu bringen oder zu verwenden.

7.4 PCB-Ersatzstoffe

Die Kenntnis des Gefährdungspotentials von PCB führte zur Entwicklung PCB freier Hydraulikflüssigkeiten auf Basis polychlorierter Diphenylmethanderivate (PCDM) und Dibrombenzyltoluole (DBBT). Letztere wurden ab Mitte 1984 in mindestens drei Berg-

werken im Steinkohlenbergbau eingesetzt (Engel und Kihl 1987). Hydraulikflüssigkeiten auf Basis polychlorierter Diphenylmethanderivate beinhalten die Gruppe der Hydraulikflüssigkeiten auf Basis von Tetrachlorbenzyltoluolen (TCBT) - Handelsname Ugilec 141 - und Dichlorbenzyltoluolen (DCBT) – Handelsname Ugilec 121. Letztgenannte wurden seit 1981 bzw. 1984 als PCB-Ersatzstoffe vermarktet (Lehnik-Habrink et al. 2005). Bei Ugilec 141 und 121 handelt es sich um Mischungen aus (theoretisch 69) Tetrachlorbenzyltoluolisomeren bzw. Dichlorbenzyltoluolisomeren (Abb. 5). Daneben existierte die kommerzielle Mischung Ugilec T, die zu 60 % aus Ugilec 141 und zu 40 % aus Trichlorbenzenen besteht (Produzent: Prodelec, Frankreich) (Ehmann und Ballschmiter 1989). TCBT wurde überwiegend als Hydraulikflüssigkeit im untertägigen Bergbau eingesetzt. Laut Poppe et al. (1988) wurden seit Anfang der 1980er jährlich rund 1.500 Tonnen Ugilec 141 zu diesem Zweck in die Bundesrepublik Deutschland importiert. 1993 erfolgte das Verbot für Ugilec mit Inkrafttreten der Chemikalienverbotsverordnung (Lehnik-Habrink et al. 2005).

Von der RAG wurden zwischen 1984 und 1991 insgesamt 3.173 t TCBT-haltige Betriebsstoffe eingesetzt (Angabe RAG). In Folge der Diskussion um PCB wurden 1985 alleine 1.014 t eingesetzt. In den Jahren danach nahm die Einsatzmenge kontinuierlich ab. Zur Nutzung und Entsorgung TCBT-haltiger Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden liegen den Gutachtern keine Angaben zu Mengen oder betroffene Abbaue vor.



Abb. 5: Allgemeine chemische Struktur von (A) Tetrachlorbenzyltoluolen (TCBT) und (B) Dichlorbenzyltoluolen (DCBT)

7.5 Abschätzung der im Bundesgebiet im Steinkohlenbergbau eingesetzten Mengen PCB-haltiger Betriebsstoffe

7.5.1 Datengrundlage zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen

Vonseiten des Bergbautreibenden liegen keine Angaben vor, welche Mengen und Formulierungen PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Nutzungszeitraum von 1964 bis 1986 in Steinkohlenvergrütern im Bundesgebiet eingesetzt wurden und unter Tage verblieben sind. Vonseiten der zuständigen Genehmigungs- und Überwachungsbehörden

den liegen abgesehen von den Hauptverlustquellen in Nordrhein-Westfalen keine Informationen über eingesetzte Mengen PCB-haltiger Betriebsstoffe und deren Verbleib in Bergwerken in Nordrhein-Westfalen vor. Vonseiten der damaligen Landesministerien liegen lediglich in einer Antwort des Deutschen Bundestages (1984) Angaben vor, welche Mengen PCB-haltiger Betriebsstoffe von 1977 bzw. 1979 bis 1983¹ in Nordrhein-Westfalen und dem Saarland genutzt wurden (Tab. 2).

Tab. 2: Mengen der im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen und Saarland in den Jahren 1977 bis 1983 genutzten PCB-haltigen Betriebsstoffe (in Tonnen) (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

Weitere Informationen über den Verbrauch PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau kann den folgenden Dokumenten entnommen werden:

- a) de Voogt und Brinkman (1989) beziffern den Einsatz PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1973 bis 1980 mit denen in Tab. 3 dargestellten Werten. Für die Jahre 1975 und 1979 liegen keine Angaben vor.

Tab. 3: Mengen der im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1973 bis 1980 genutzten PCB-haltigen Betriebsstoffe (de Voogt und Brinkman (1989))

Jahr	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	Summe
Menge [t]	658	759	k.A.	976	967	1158	k.A.	1154	5.672

- b) Die den PCB-Bilanzen von Rauhut (1978, 1982, 1986) entnommenen Angaben zum Einsatz PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Mengen der im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1974 bis 1984 genutzten PCB-haltigen Betriebsstoffe (Rauhut 1978, 1982, 1986)

Jahr	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Summe
Menge [t]	871	818	930	967	1.158	1.361	1.587	1.350	1.482	1.241	607	12.372

¹ Der Zeitpunkt 1983 war gewählt worden, weil ab diesem Zeitpunkt kein PCB aktiv eingesetzt wurde (z. B. bei einem Ölwechsel). In vielen Maschinen unter Tage war aber bis 1986 noch PCB im Einsatz.

- c) Hillejan, U. und Schaaffhausen, V. (1990) beziffern den Gesamteinsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Bergbau und vorgelagerter Industrie der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 1984 pauschal mit 12.500 t.

Die jahresspezifischen Einsatzmengen PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Steinkohlenbergbau, angegeben in Deutscher Bundestag (1984), de Voogt und Brinkman (1989) und Rauhut (1978, 1982, 1986), bewegen sich jeweils in der gleiche Größenordnung. Für den Zeitraum vor 1973 liegen keine Einsatzzahlen vor. Lediglich in der Antwort des Deutschen Bundestages finden sich für Nordrhein-Westfalen und das Saarland Angaben zum Nutzungszeitraum vor 1973:

„Für weiter zurückliegende Jahre fehlen Angaben. Der Verbrauch im Jahr 1977 bzw. im Jahr 1979 kann als Anhalt für vorhergehende dienen. Jeweils im Einsatz war in Nordrhein-Westfalen eine Menge von etwa 450 bis 500 t und im Saarland eine Menge von rd. 60 bis 70t.“

Es liegen lediglich unvollständigen Daten für Nordrhein-Westfalen und das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland vor. Eine genaue Bilanzierung der im Bundesgebiet, in Nordrhein-Westfalen und im Saarland eingesetzten PCB-haltigen Betriebsstoffe ist somit nicht möglich. Für eine Abschätzung der ungefähren Größenordnung der in Nordrhein-Westfalen bzw. im Bundesgebiet eingesetzten Mengen werden im Folgenden unterschiedliche Ansätze basierend auf der Datengrundlage Deutscher Bundestag (1984), Rauhut (1978, 1982, 1986) verfolgt.

7.5.2 Abschätzung I: Grundlage – Deutscher Bundestag (1984)

Die in Deutscher Bundestag 1984 für Nordrhein-Westfalen erfassten Mengen PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau (Tab. 2) umfassen die Bergbauggebiete Ruhrgebiet (rechts- und linksrheinisch), Aachen-Erkelenz und Ibbenbüren. Für die Bergbauggebiete liegen keine getrennten Zahlen vor. Gemäß oben zitierter Textpassage wird vor 1977 ein jährlicher Verbrauch von 500 t PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen angenommen. Für die Jahre 1984 bis 1986 liegen keine Angaben vor. Damit ergibt sich für Nordrhein-Westfalen die folgende Gesamtmenge für im Steinkohlenbergbau eingesetzte PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten:

1977 – 83:	9.295 t
1964 – 1976 (13 Jahre à 500 t):	6.500 t
Summe	15.795 t

Bei diesem Wert handelt es sich nur um eine Abschätzung der Größenordnung, eine Quantifizierung und Wiedergabe exakter Mengen ist nicht möglich.

7.5.3 Abschätzung II: Grundlage - Rauhut (1978, 1982, 1986)

Die in Tab. 4 dargestellten chronologischen Werte des PCB-Einsatzes im Bergbau der Bundesrepublik Deutschland weisen abgesehen vom Jahr 1984 eine steigende Tendenz auf. Laut Fiedler 2001 ist dies auf technische Entwicklungen innerhalb des Bergbaues zurückzuführen, die einen höheren Bedarf an schwerentflammaren PCB-

haltigen Hydraulikflüssigkeiten mit sich brachten. Mittels linearer Extrapolation (Abb. 6) dieser Korrelation lassen sich die Einsatzmengen PCB-haltiger Betriebsstoffe im Bergbau der Bundesrepublik Deutschland auch für die Jahre 1964 – 1973 grob abschätzen (Tab. 5), für die keine Daten vorliegen. Das Jahr 1984 bleibt hierbei unberücksichtigt, da bereits die Umstellung auf PCB-freie Flüssigkeiten begonnen hatte.

Tab. 5: Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsstoffe im Bergwerk der Bundesrepublik Deutschland

			1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Einsatz PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau auf Bundesgebiet [t]			110	184	257	331	404	478	552	625	699	772
197	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Summe	
871	818	930	967	1158	1361	1587	1350	1482	1241	607	16.784	

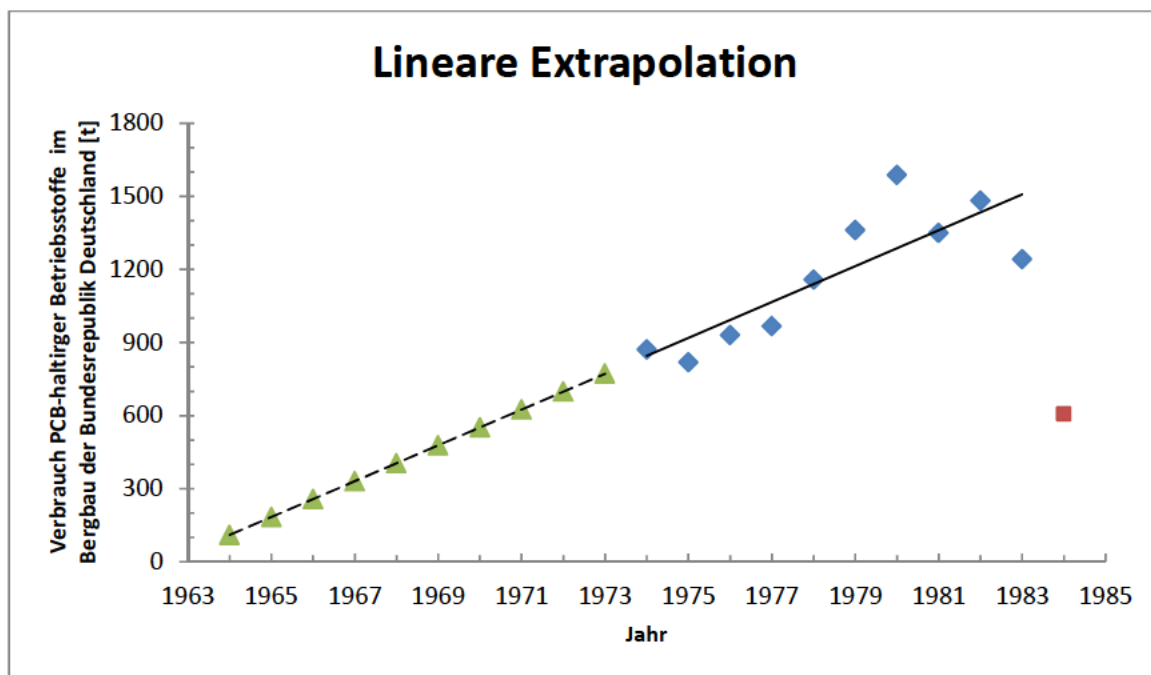


Abb. 6: Lineare Extrapolation des PCB-Verbrauchs auf die Jahre vor 1973

Durch Addition der extrapolierten (vor 1973, grün markiert, Abb. 6) und bekannten (nach 1973, blau markiert, Abb. 6) Einsatzmengen PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau ergibt sich für die Bundesrepublik Deutschland eine Gesamtmenge von 16.784 t. Bei diesem Wert handelt es sich nur um eine Abschätzung der Größenordnung, eine Quantifizierung und Wiedergabe exakter Mengen ist nicht möglich.

7.5.4 Untertägige Verluste von PCB

Die Ergebnisse in diesem Abschnitt stammen vor allem aus der Auswertung des Vorgangs 55.15-15 und den Unterlagen zum Strafverfahren gegen die RAG wegen illegaler Abfallbeseitigung (Staatsanwaltschaft Bochum AZ 41 Js 144/88, s. Dokumentation im Gesamtgutachten).

Ein großer Teil der unter Tage eingesetzten PCB vor Mitte der 1980er Jahre blieb auch unter Tage infolge großer, regelmäßiger Verluste an PCB bei den eingesetzten Maschinen zur Kohlenförderung.

PCB wurde unter Tage dort eingesetzt, wo große Betriebsdrücke in Maschinen auftraten und das Risiko von Überhitzung und Entzündung gegeben war. In Abhängigkeit von den eingesetzten Maschinen kam es dabei zu mehr oder weniger hohen Verlusten der eingesetzten PCB-Öle (wie Leckagen, Undichtigkeiten und Versagen bei Schlauchverbindungen, planmäßiges Abspritzen der Strömungskupplungen bei Überlast). Reparaturen wurden in der Regel durch Fremdfirmen über Tage ausgeführt. Einen Überblick über Einsatz, Verluste und Entsorgung gibt das Schreiben vom BA Gelsenkirchen an das LOBA vom 13.08.1984. In der Dokumentation 8 des Gesamtgutachtens sind weitere Auszüge anderer Bergämter aufgeführt, die die Angaben des BA Gelsenkirchen bestätigen und ergänzen.

Eine Übersicht über die Maschinen mit höchsten Verlusten gibt die Abb. 7.

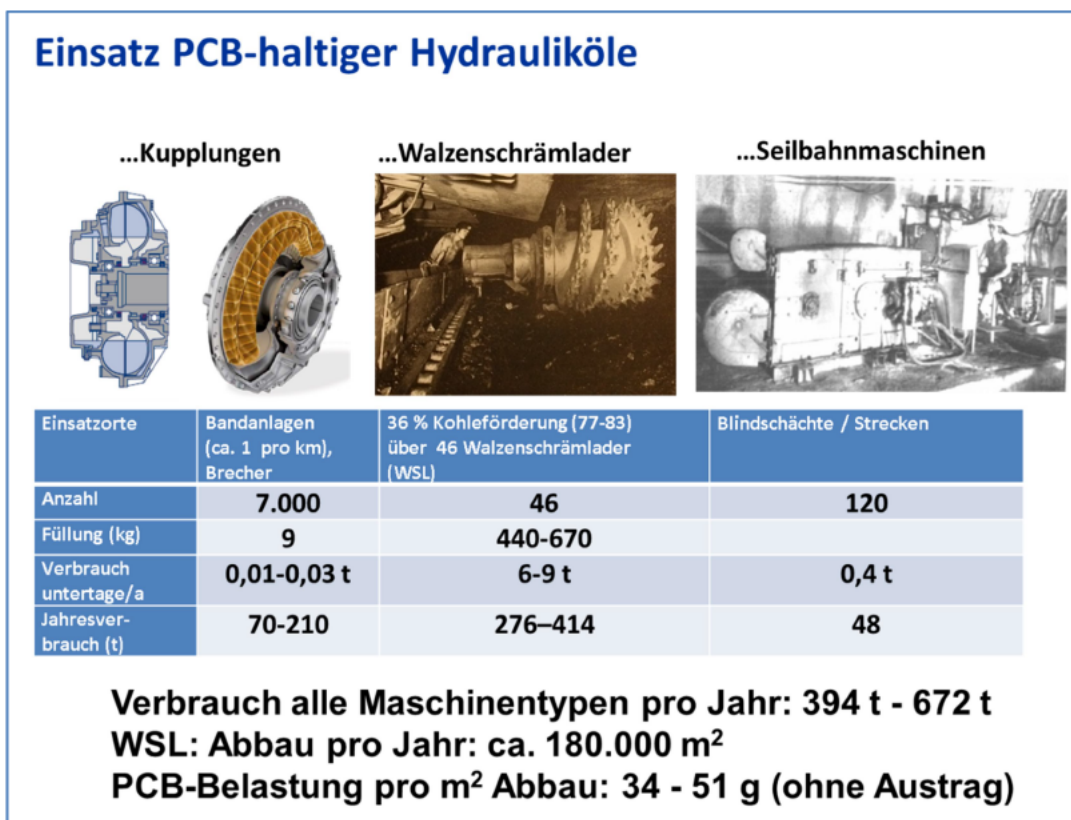


Abb. 7: Übersicht über die Hauptverlustquellen der PCB unter Tage (Daten aus Vorgang 55.15-15 und nach Angaben der RAG)

In den Jahren zwischen 1977 und 1983 wurden minimal 967 t PCB (1977) und maximal 1.587 t PCB (1980) eingesetzt (Tab. 4). Danach gab es alleine durch diese drei Maschinentypen in ihrer Einsatzzeit (1977-1983) bezogen auf das Jahr 1977 PCB-Verluste zwischen 41 % und 70 % und bezogen auf das Jahr 1980 zwischen 25 % und 42 % der insgesamt unter Tage eingesetzten PCB.

Weitere hier nicht näher quantifizierbare Verluste an PCB traten auch bei anderen zwischen 1984 und 1986 untertägig eingesetzten Maschinen auf wie Vollschnittmaschinen, Schlagkopfmotoren (ca. 40), Seitenkipplader (ca. 500) und Senklader (ca. 500), bei denen ebenfalls PCB eingesetzt wurden.

Unter dem AZ 41 Js 144/88 untersuchte die Staatsanwaltschaft Bochum 1988, ob es sich bei den Verlusten um vermeidbare Verluste oder eine verdeckte, strafbare Form der PCB/Altöl Entsorgung gemäß § 324 StGB (Gewässerverunreinigung) und § 326 StGB (Unerlaubter Umgang mit Abfällen). Die Zeugenaussagen einiger im Bergbau Beschäftigter unterstützten die Auffassung der illegalen Abfallentsorgung. In der Folge wurde die Frage sehr intensiv von der Staatsanwaltschaft Bochum untersucht. Hierzu gehörten u. a. Hausdurchsuchungen bei der RAG, in 15 Bergwerken und Fremdfirmen, Aktenbeschlagnahme und die Verhöre von ca. 75 Personen.

Das Ergebnis nach vier Jahren Ermittlung war (Schreiben der Staatsanwaltschaft Bochum vom 19.08.1992):

- *„Die Verluste sind bei den Verhältnissen unter Tage unvermeidbar“*
- *„Die relevanten Rapportbücher, in denen die Reparaturen verzeichnet worden waren, wurden Ende 1988 vernichtet“*
- *„Die Aufklärungsmöglichkeiten sind erschöpft“*
- *„Die Glaubwürdigkeit der Zeugen ist zurückhaltend zu beurteilen“*
- *„Mangels zureichender tatsächlicher Anhaltspunkte für weitere Ermittlungen ist nach allem das Verfahren gemäß Abs. 2 § 170 Strafprozessordnung einzustellen“*

Wenn in einem Worst-Case-Ansatz davon ausgegangen wird, dass **kein** PCB-Austrag über die Kohlenförderung beim Abbau erfolgte, kann nach diesem Ansatz folgende Abschätzung für die untertägige Verteilung der PCB im Alten Mann bei einem alleinigen Abbau durch Walzenschrämlader getroffen werden:

- Bei einer gleichförmigen Verteilung der PCB Verluste von 6 bis 9 t auf die ca. 180.000 m² (jährliche Abbauleistung der Walzenschrämlader, Angabe der RAG) ergibt sich eine geschätzte durchschnittliche PCB Belastung im Alten Mann im Bereich von 34 bis 51 g/m² bzw. 34 bis 51 t/km².
- Dies entspricht bei angenommenen 100 kg Feinmaterial pro m² (entspricht ca. 5 cm Schichtmächtigkeit) einer Konzentrationsspanne von 340 bis 510 mg/kg oder bei angenommenen 200 kg Feinmaterial pro m² (entspricht ca. 10 cm Schichtmächtigkeit) einer Konzentrationsspanne von 170 bis 255 mg/kg PCB.

7.6 Potentieller Austrag von PCB aus Steinkohlenbergwerken

7.6.1 Austrag über das Fördergut

In der Bundesrepublik Deutschland wurden PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten unter Tage überwiegend in Walzenschrämladern, aber auch in hydrostatischen Seilbahnantrieben und Getrieben von GleislofFahrzeugen und besonders in hydrodynamischen Kupplungen in geschlossenen Systemen verwendet (Mierheim 1983). Streng genommen erfolgte die Anwendung jedoch nicht in einem geschlossenen System, da die eingesetzten Hydraulikflüssigkeiten unter Tage verbraucht und somit freigesetzt wurden. Nach einer Mitteilung des Gesamtverbandes Deutscher Steinkohlenbergbau an das Institut für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene (1982) verblieb der weitaus größte Teil der HFD-Flüssigkeiten – als Verluste – unter Tage. Die Verluste traten laut Mitteilung bei nicht vorhersehbaren Schlauchbrüchen bzw. thermischen Überlastungen auf. Gemäß einem Aktenvermerk des Landesoberbergamts aus 1984 (s. Dokumentation im Gesamtgutachten) wurde unter Verlusten verstanden: „*Leckagen, Undichtigkeiten, Abspritzen der Strömungskupplungen bei Überlast und untertage Reparaturen*“. Die häufigste Ursache von Verlusten waren Schlauchrisse von Abbaugeräten. Bei einem Schlauchriss in einem Walzenschrämlader musste mit einem Verlust von ca. 400 L PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeit gerechnet werden (Mierheim 1983). Eine Übersicht über die Maschinentypen mit höchsten Verlusten ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Angaben für die Anzahl der Kupplungen und Seilbahnmaschinen gilt wahrscheinlich nur für den Erhebungszeitraum 1984.

Es ist davon auszugehen, dass der Hydraulikölverlust sowohl in Gestein als auch Kohlen gelangte und die anhaftenden PCB-haltigen Ölrückstände deshalb auch über Fördergut (Kohlen, Berge), Grubenwasser (partikuläres Material) und Bewetterungsanlagen (Stäube) teilweise ausgetragen wurde. Für den Austrag von PCB aus Bergwerken über Kohlen und Berge gibt es mehrere Hinweise:

- 1986 wurden beim Bergwerk Walsum Auffälligkeiten in der Kohlewäsche festgestellt und Proben auf PCB untersucht. Hierbei wurden in den Kohlen keine PCB nachgewiesen (NWG < 40 µg/kg). In den Flotationsschlämmen fanden sich 1 bis 3 mg/kg und im Flotationswasser, 0,5 bis 13 µg/L (Auswertung Akten BR Arnsberg, Bd. 3, Seite 60, 05.03.1986, Labor Claytex).
- Mitteilung des Gesamtverbandes des Deutschen Steinkohlenbergbaus an das Institut für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene aus dem Jahr 1982.

Eine genaue Quantifizierung dieser Austräge ist nicht möglich. Eine Abschätzung des Austrages PCB-haltiger Betriebsstoffe über das Fördergut aus der Wasserprovinz Haus Aden wird in Abschnitt 8.3.2.1 vorgenommen.

7.6.2 Austrag über die Entsorgung

Für 1983 ist vom Landesoberbergamt erstmalig eine PCB-Bilanz für Nordrhein-Westfalen dokumentiert: Demnach wurden 1983 ca. 1.250 t PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten im Steinkohlenbergbau eingesetzt. Davon wurde ca. 85 % unter Tage „verbraucht“, rund 10 % in Filteranlagen gereinigt und wiederverwendet und etwa 5 % planmäßig entsorgt. Bei der entsorgten Menge handelt es sich um Filtrerrückstände, um

wasserfreie synthetische Hydraulikflüssigkeiten, die bei übermäßigen Reparaturen anfallen und nicht mehr regeneriert werden konnten, sowie um wasserfreie synthetische Hydraulikflüssigkeiten, die in Maschinen und Geräten im Rahmen von Reparaturaufträgen an Fremdfirmen mitabgegeben wurden (Deutscher Bundestag 1984). Mierheim (1983) gibt für 1983 eine Reinigungs- und Wiederverwendungsrate von rund 3 % an. Für die Wasserprovinz Haus Aden sind keine getrennten Zahlen verfügbar. Für den Zeitraum vor 1983 gibt es keine Informationen über entsorgte bzw. wiederverwendete Mengen PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Anteile unter den für 1983 angegebenen Daten liegen.

8 POTENTIELLE UNTERTÄGIGE VERTEILUNG VON PCB IN DER WASSERPROVINZ HAUS ADEN

8.1 Dokumentationsquellen

Zu Konkretisierung der räumlichen Verteilung von PCB unter Tage wurden die im Folgenden dargestellten, vom Bergbautreibenden und der zuständigen Genehmigungs- und Überwachungsbehörde zur Verfügung gestellten Dokumente ausgewertet. Bis auf die Risswerke sind viele dieser Akten aus mehreren Gründen aus den oben beschriebenen Gründen nicht mehr vollständig:

8.1.1 Bezirksregierung Arnsberg

Bei der Bezirksregierung Arnsberg wurden die vorliegenden Akten zum Einsatz, Verbleib und Entsorgung von PCB ausgewertet (02.05.2016). Dabei handelt es sich um folgende Aktenvorgänge:

- Behandlung und Einsatz von Hydraulikölen im Bergbau → **13.31** (14 Bände)
- Verbleib und Nachweis der PCB-haltigen Altöle → **55.15-15** (6 Bände)

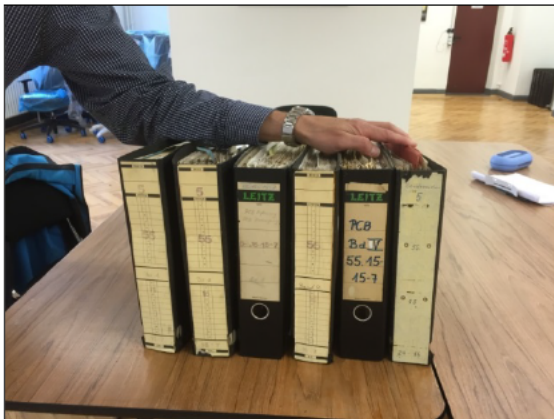


Abb. 8: Akten zum Vorgang 55.15-15 bei der BR Arnsberg (digital erfasst)

Abbaue in der Zeit des Einsatzes von PCB in der Wasserprovinz Haus Aden

Von der RAG wurden den Gutachtern am 02.12.2015 Auswertungen übergeben, die für die Wasserprovinz Haus Aden/Monopol die Abbaue zeigen, die zwischen 1969 und 1985 abgebaut wurden abgebaut wurden. 1969 wurde die RAG gegründet. Aus der Zeit davor liegen keine digital auswertbaren Unterlagen vor. Das Grubenwasser aus der Wasserprovinz Haus Aden wird heute und zukünftig in der Zentrale Wasserhaltung Haus Aden gefasst. Bisher stammen die gehobenen Grubenwässer nur aus dem westlichen Teil, dem Einzugsgebiet Victoriadamme.

Die Abbaubereiche der Bergwerke sind nicht mit einer PCB-Belastung gleichzusetzen; sie werden im Folgenden mit „potenziellen PCB-Bereichen“ oder Abbaue aus der PCB-Zeit bezeichnet. Dargestellt ist der Zeitraum zwischen 1969 und 1985. Zwischen 1964 und 1969 wurden nach Angaben der RAG PCB in der Wasserprovinz Haus Aden nur vereinzelt eingesetzt. Die Abb. 9 zeigt eine Gesamtübersicht.

Die Auswertungen wurden von der RAG für alle 100-m-Scheiben durchgeführt. In den Teufen zwischen 200 und 400 m liegen nur einige wenige ältere Abbaue im Westen von Dortmund (Abb. 10 und Abb. 11). Die meisten Abbaue liegen zwischen 700 und 1.000 m (Abb. 15 bis Abb. 17). Der zeitliche Schwerpunkt dieser Abbaue lag in der ersten Hälfte der 1980er Jahre. Ab einer Tiefe von 1.000 m gibt es deutlich weniger Abbaue. Ab 1.100 m wurden nur noch einige Bauhöhen zwischen Bergkamen und Kamen abgebaut (Abb. 19 bis Abb. 21).

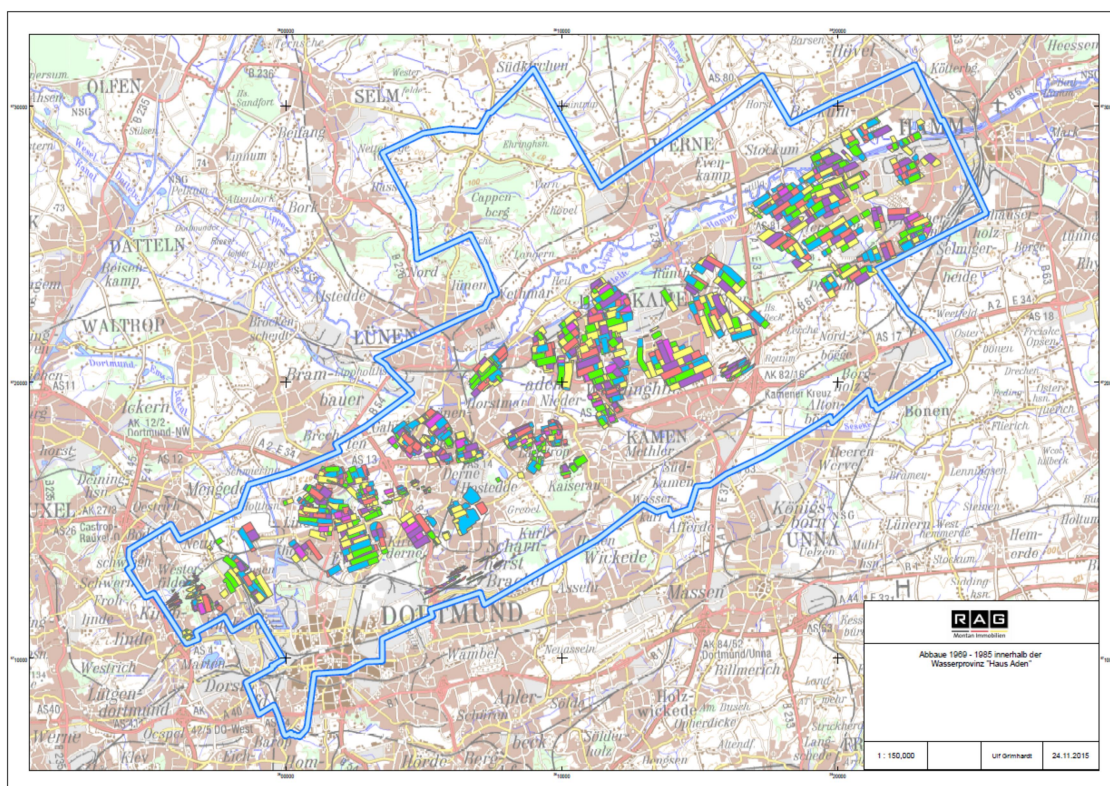


Abb. 9: Gesamtübersicht der Abbaue zwischen 1969 und 1985 in der Wasserprovinz Haus Aden (RAG 02.12.2015)

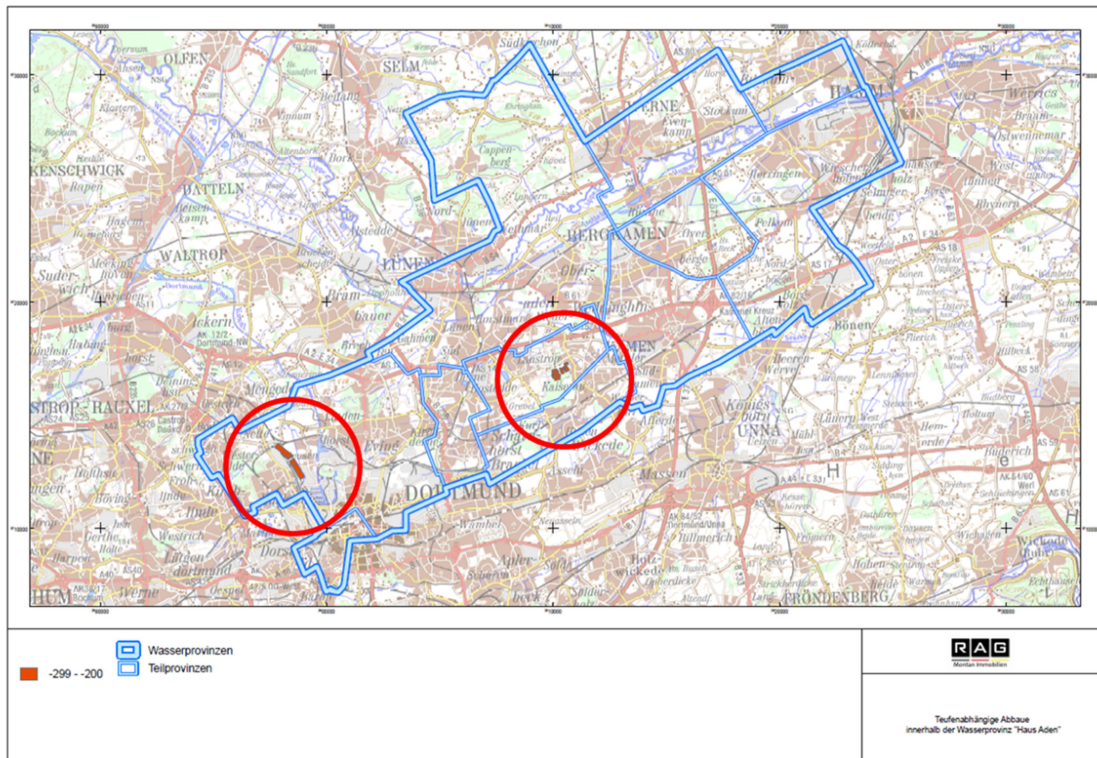


Abb. 10: Abbaue zwischen 200 bis 300 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

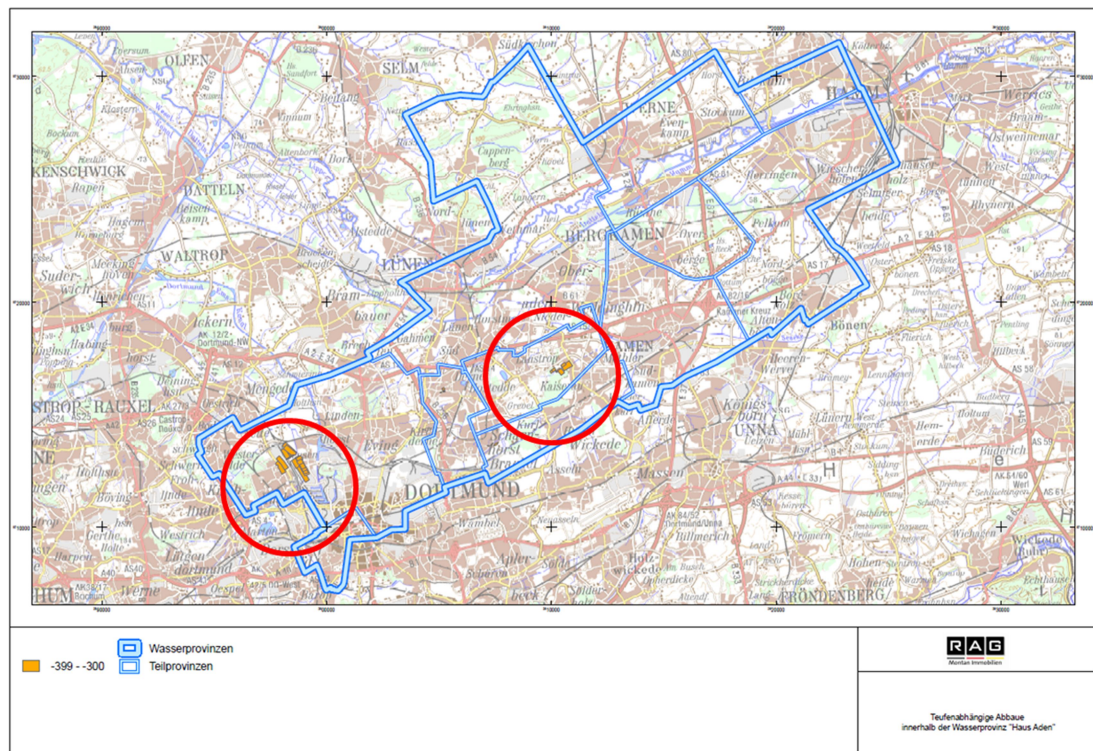


Abb. 11: Abbaue zwischen 300 bis 400 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

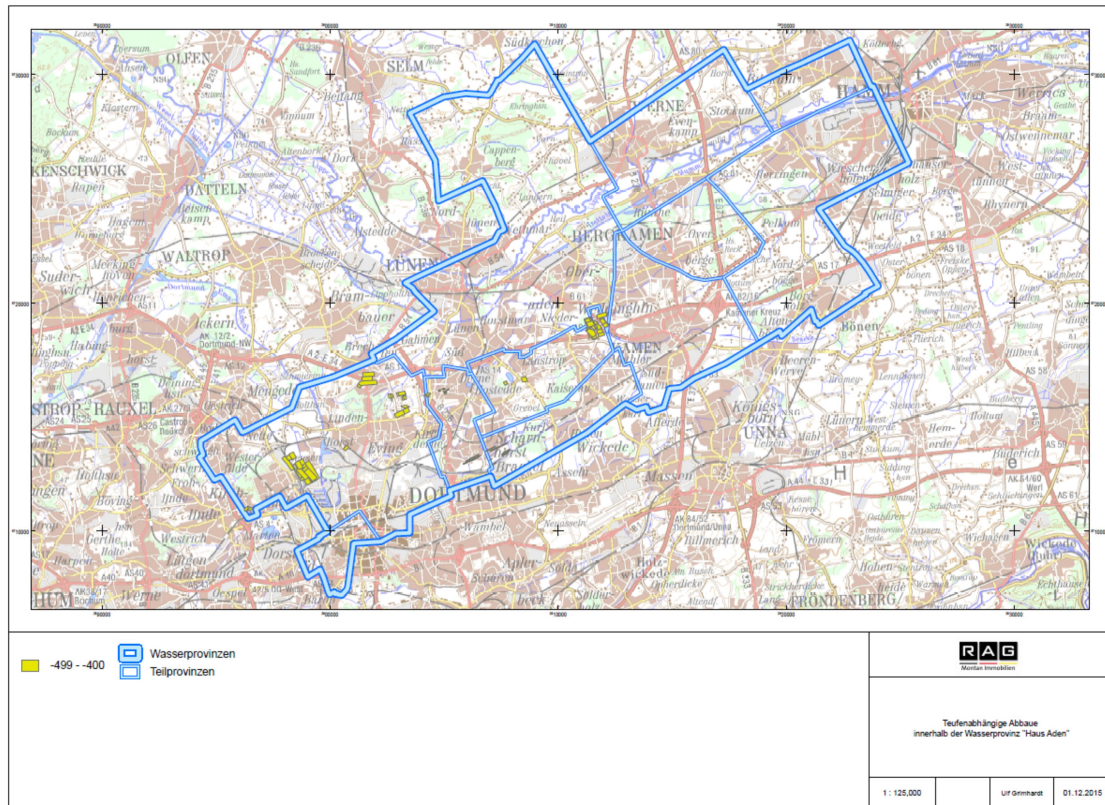


Abb. 12: Abbaue zwischen 400 bis 500 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

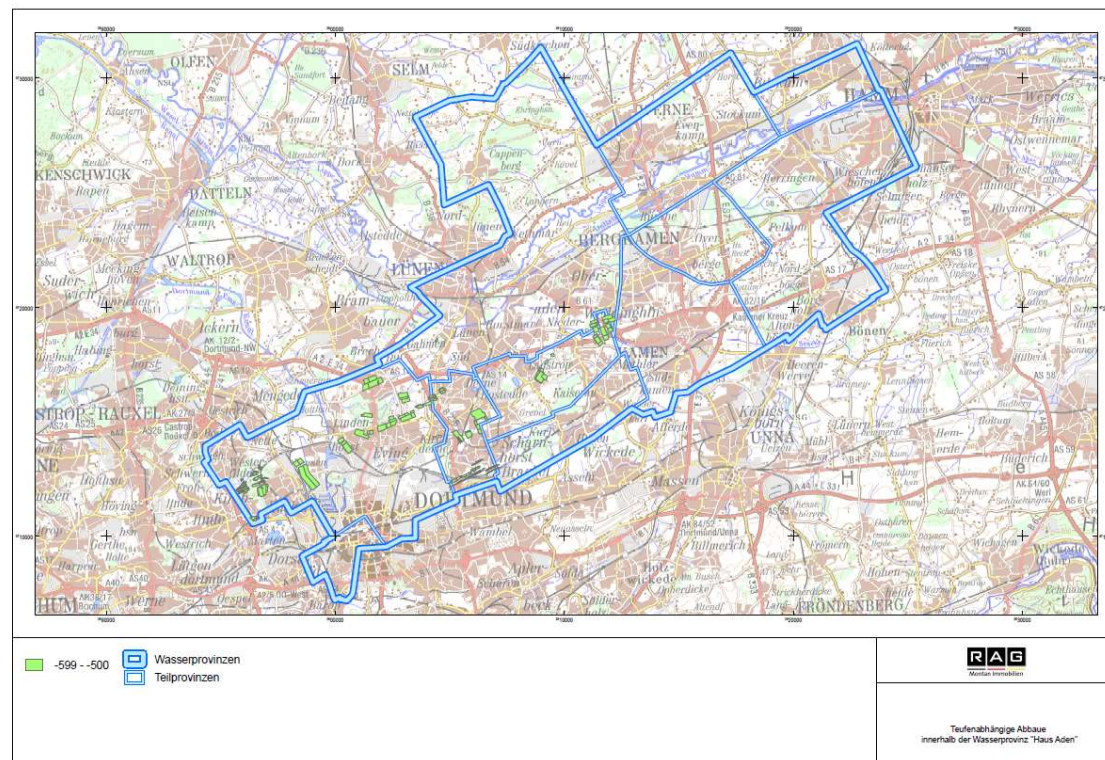


Abb. 13: Abbaue zwischen 500 bis 600 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

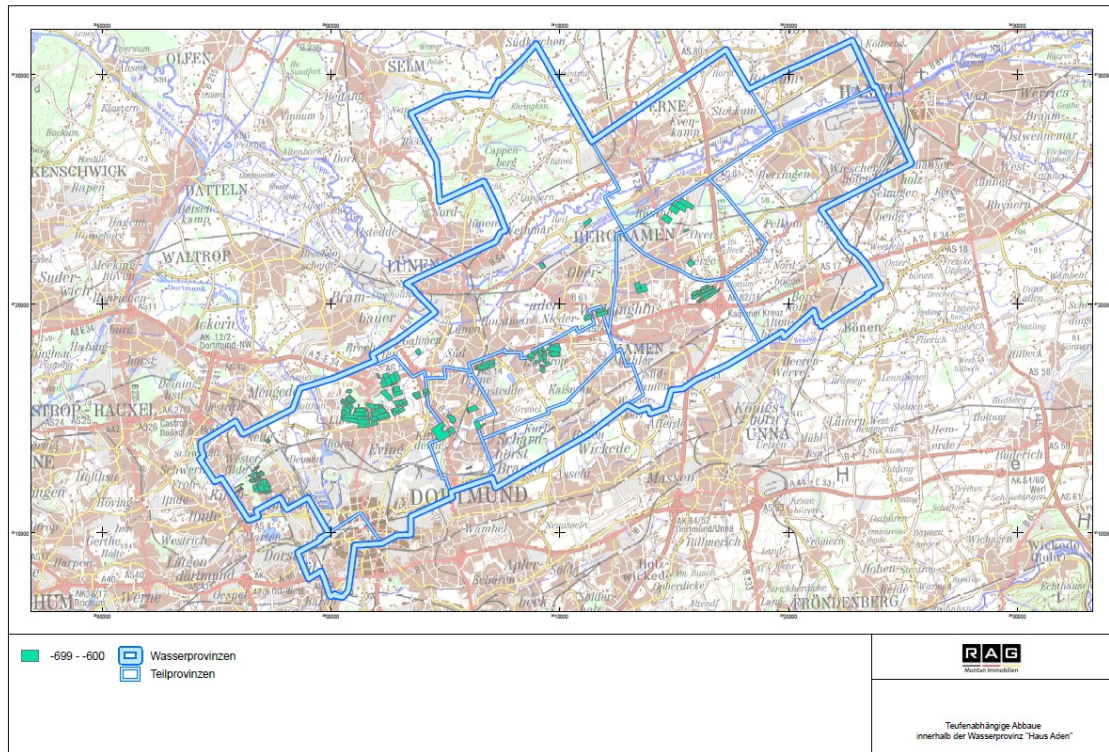


Abb. 14: Abbaue zwischen 600 bis 700 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

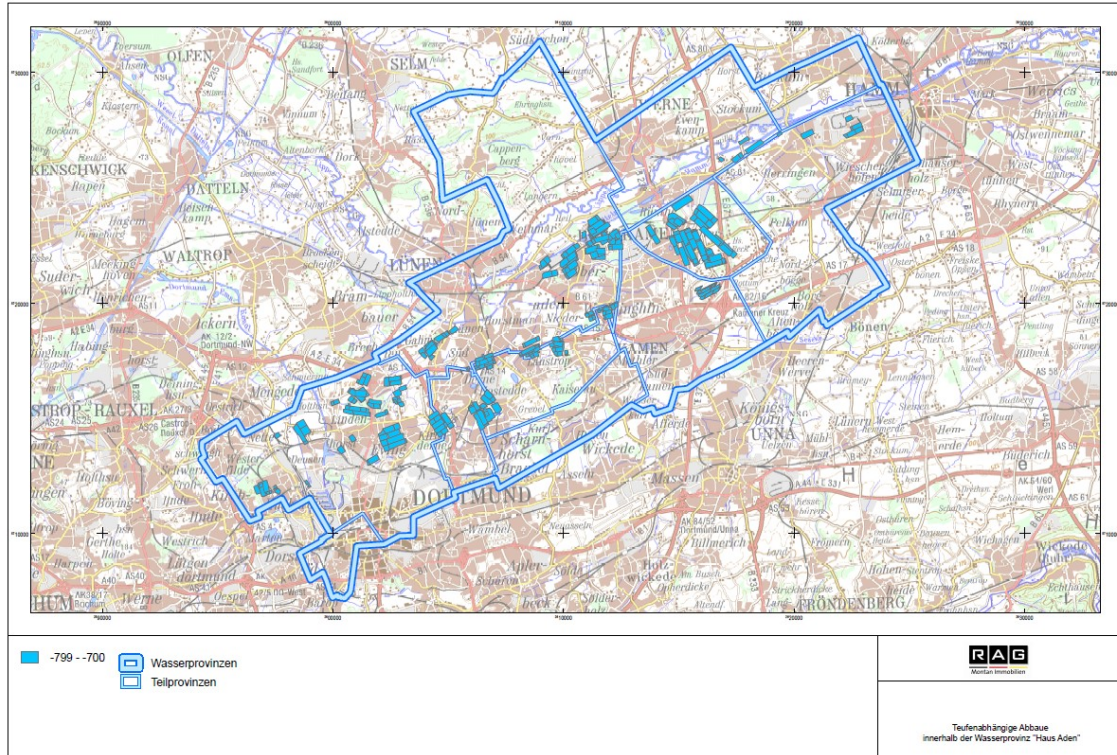


Abb. 15: Abbaue zwischen 700 bis 800 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

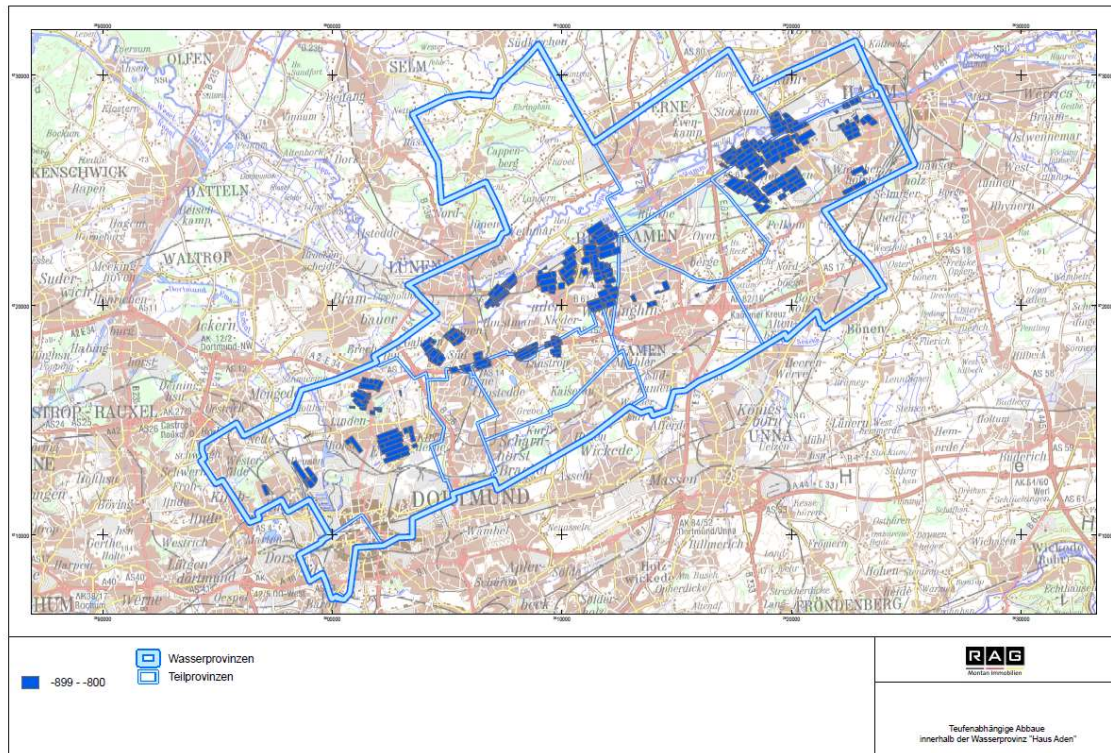


Abb. 16: Abbaue zwischen 800 bis 900 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

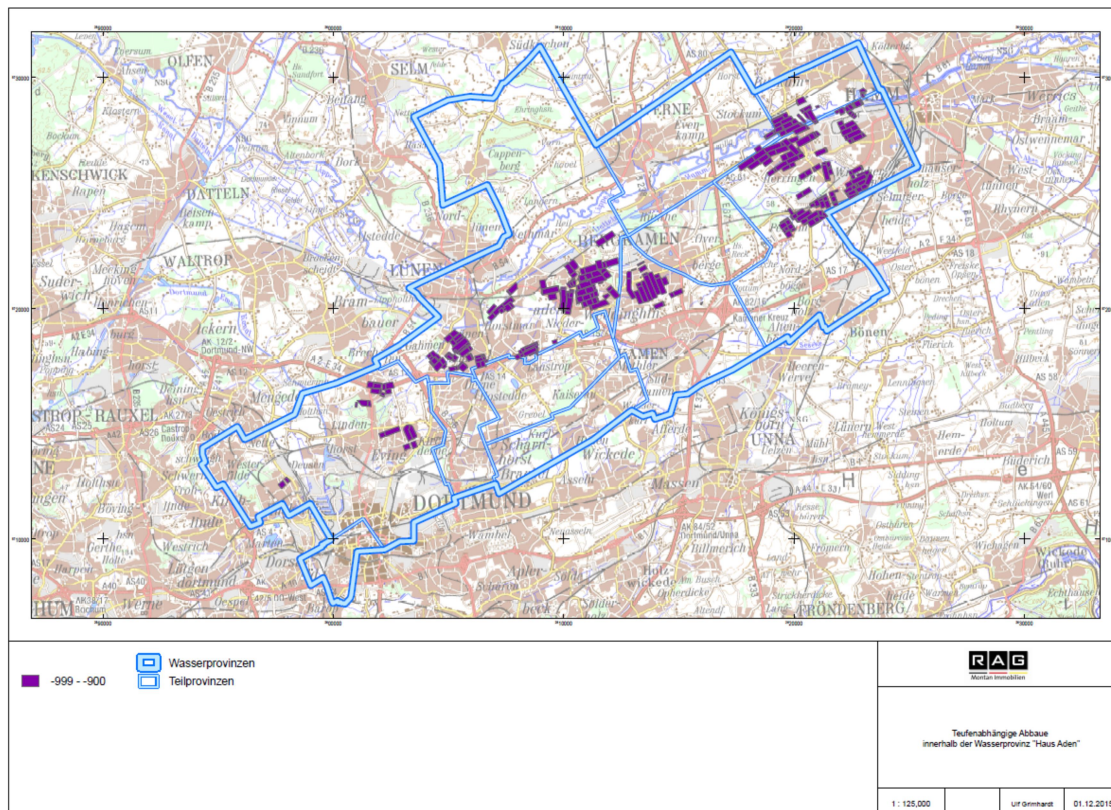


Abb. 17: Abbaue zwischen 900 bis 1.000 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

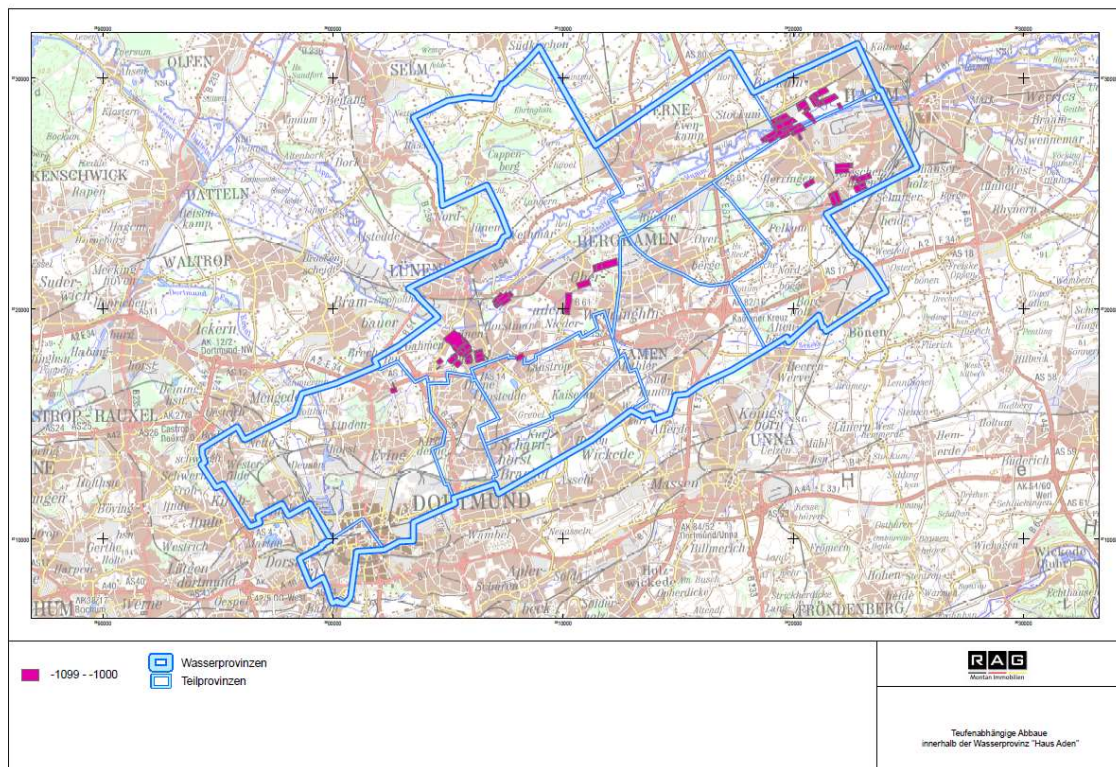


Abb. 18: Abbaue zwischen 1.000 bis 1.100 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

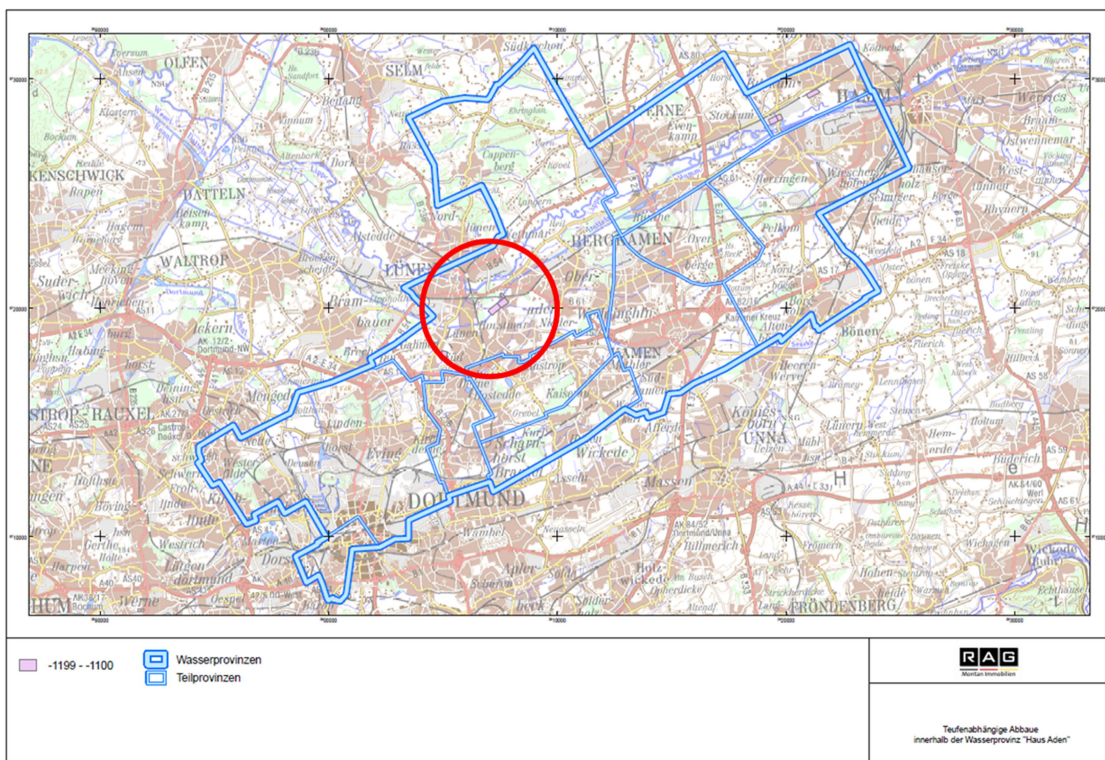


Abb. 19: Abbaue zwischen 1.100 bis 1.200 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

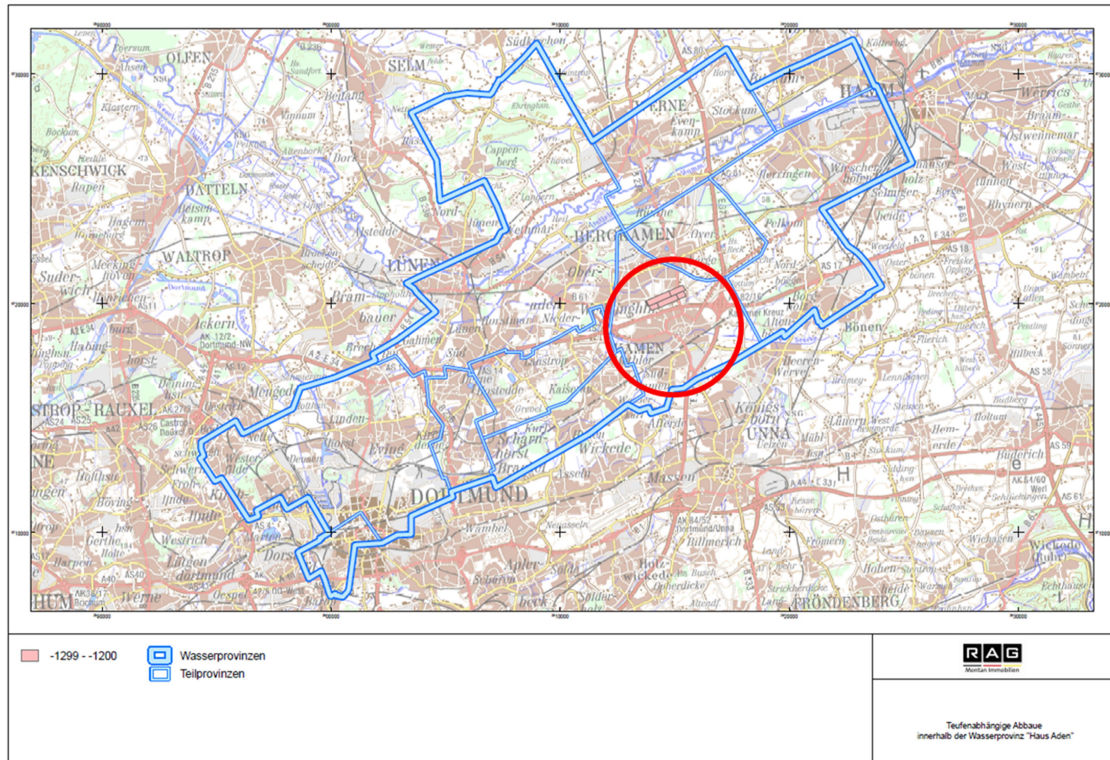


Abb. 20: Abbaue zwischen 1.200 bis 1.300 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

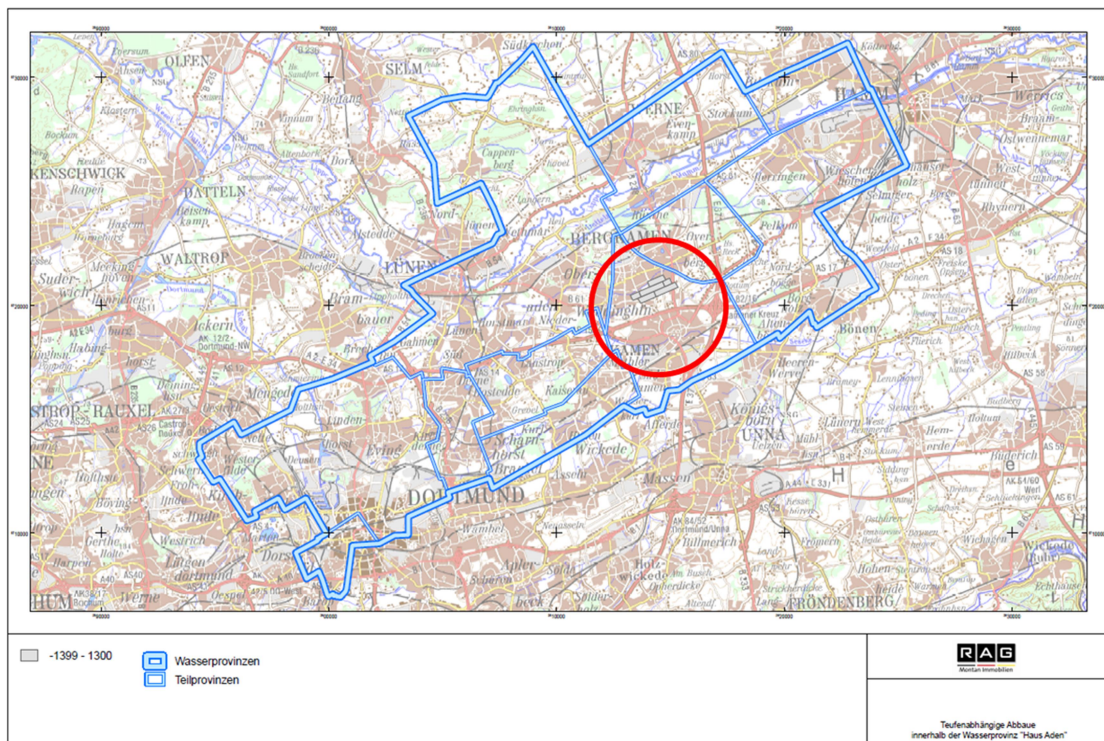


Abb. 21: Abbaue zwischen 1.300 und 1.400 Meter Tiefe (RAG 02.12.2015)

8.1.2 Betriebspläne

Betriebspläne sind die Genehmigungsgrundlagen für den unter- und übertägigen Bergbaubetrieb. Für die vorliegende Fragestellung – Hinweise auf PCB-Emittenten – sind drei Betriebspläne zu nennen. Die Aufbewahrungsfrist beträgt 10 Jahre.

- Untertägige Hauptbetriebspläne:
 - Generelle Planung des Maschineneinsatz und der Abbaue
 - viele detaillierte und Bergwerk-bezogene Nebenbestimmungen
- Sonderbetriebspläne:
 - Es wurden ca. 400 – 500 Sonderbetriebspläne pro Jahr und Bergwerk erstellt, in denen fast alle Vorgänge unter Tage geregelt wurden u. a. auch die Lage und Funktion von untertägigen und übertägigen Einrichtungen wie z. B. für Werkstätten, Umpumpen schlammgefüllter Sumpfstrecken etc. Diese Sonderbetriebspläne wurden bei den einzelnen Bergwerken geführt und sind heute in der Regel nicht mehr vorhanden, da sie oft mit der Aufgabe der Bergwerke vernichtet wurden.
- Abschlussbetriebspläne (ABB) Bergwerk Ost
 - Angaben zu Lage und Funktion von Einrichtungen mit Umgang wassergefährdender Stoffe (u. a. Hydrauliköle) und Auflagen zu deren Umgang bei der Räumung des Bergwerks.
Der ABB enthält keine Hinweise auf PCB.
 - Es erfolgt ein untertägliches Monitoring von Teilströmen des Grubenwassers (10-L-Methode²), bei Auffälligkeiten werden weitere Untersuchungen unter Tage zur Identifizierung von punktuellen Belastungen eingeleitet.
Dies ist bislang jedoch nicht eingetreten.

8.1.3 Bergmännisches Risswerk

Die Risswerke werden dauerhaft bei der BR Arnsberg aufbewahrt.

Das Risswerk nach § 63 BBergG (vorliegend bei der Bezirksregierung Arnsberg) enthält im Wesentlichen die Lage der Grubenbaue ohne die Art der Nutzung.

Die RAG wurde 1969 gegründet. Aus vorherigen Zeiten liegen keine digital auswertbaren Daten vor. Die betriebliche Risse (teilweise noch vorliegend bei der RAG) enthalten teilweise auch die Funktion der Grubengebäude³. Beispiele für die Dokumentation in den betrieblichen Rissen zeigen die Abb. 22 bis Abb. 24. Für die Wasserprovinz Haus Aden sind dies ca. 1.000 bis 1.200 großformatige Risse (ca. 1 x 1 m). Das Risswerk

² Unter Tage können keine Zentrifugen (Explosionsschutz) eingesetzt werden. Deswegen werden jeweils 10 L Wasserproben untertäglich für die Analysen genommen

³ Gemäß der Markscheiderverordnung vom 19.12.1986, Anlage 3, Teil 2, Punkt 3.1.6 ist nur die Verortung von „Grubenbauen für die Wasserhaltung“ verpflichtend. Alle anderen Eintragungen zur Nutzung der Grubenbaue lagen in der Entscheidung des Markscheiders, der das Risswerk führte.

wurde nicht hinsichtlich der Lage aller Infrastruktureinrichtungen wie Werkstätten ausgewertet.

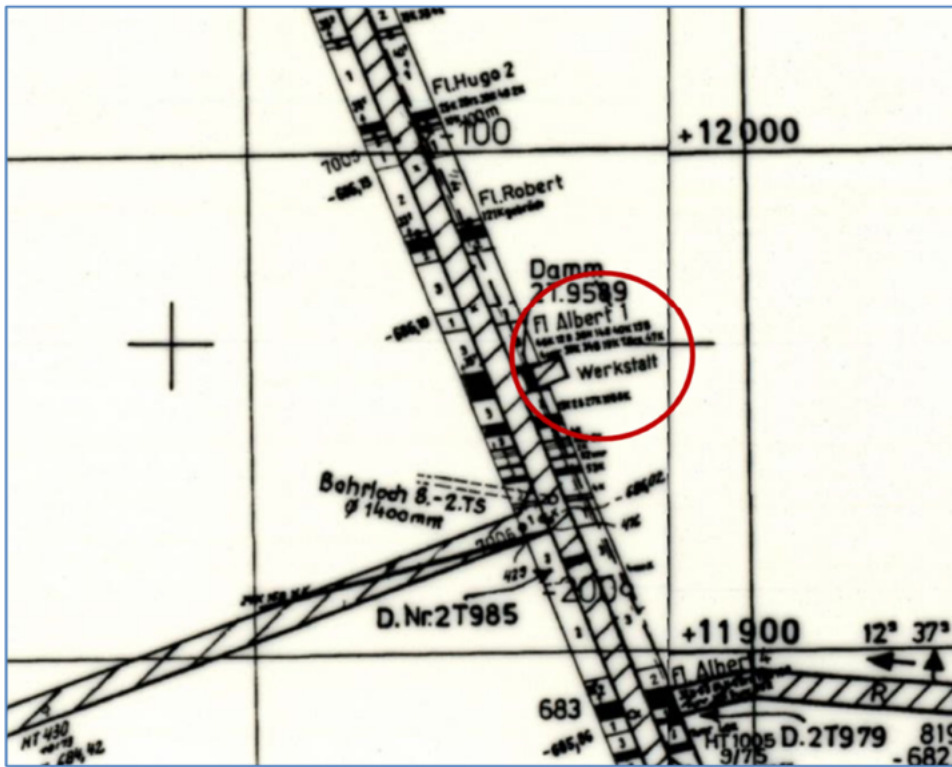


Abb. 22: Auszug aus einem Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Werkstatt

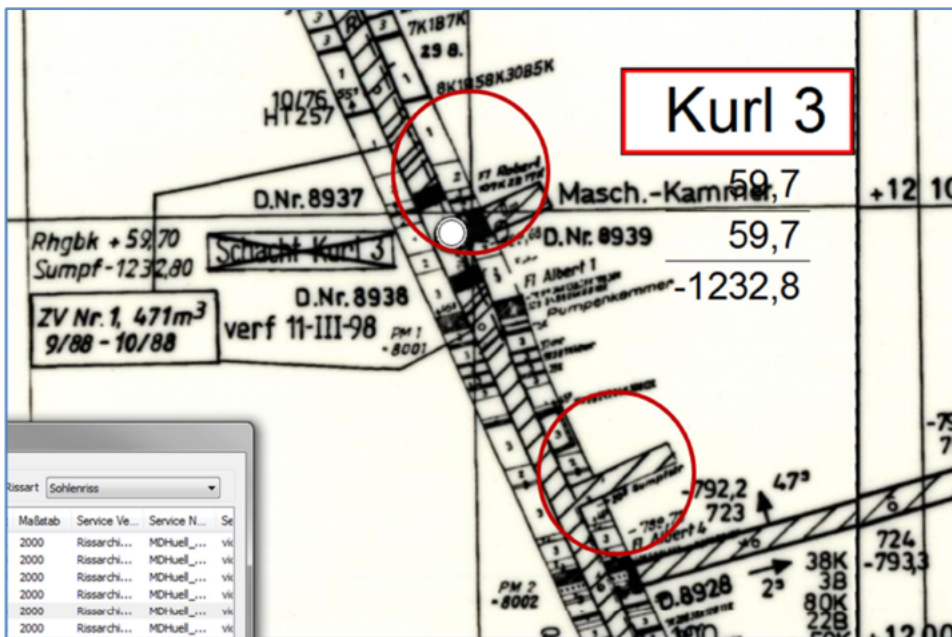


Abb. 23: Auszug aus einem Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Maschinenkammer und eine Sumpfstrecke

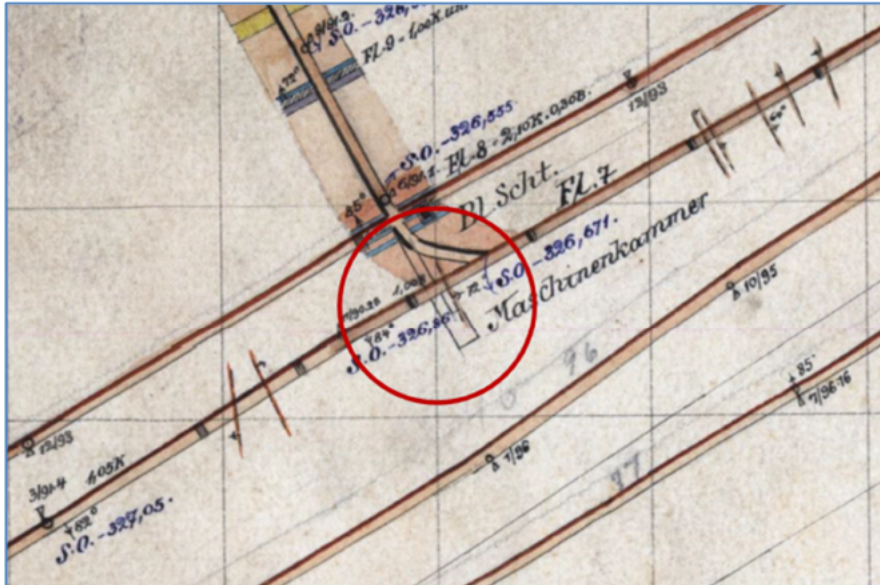


Abb. 24: Auszug aus einem älteren Betriebsriss mit Verweis auf eine (kleine) Maschinenkammer

8.1.4 § 22 a der Bergverordnung (ABergV)

Mit der 3. Verordnung zur Änderung bergrechtlicher Vorschriften vom 24.1.2008 BGBl I S. 85 wurde § 22 a in die ABergV eingefügt. Damit wurde die EU-Richtlinie 2006/21/EG „Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie“ umgesetzt. Dies erlaubt jedoch keine Analogien zum behördlichen Handeln vor 1986 und es gibt keine Hinweise für potentielle PCB-Emittenten. Im Wesentlichen muss jetzt nach § 22 a ABergV bei der Aufgabe eines Bergwerk alles (Ausbaue, Förderbänder, Kabel, Rohre etc.) aus dem Bergwerk entfernt werden, was nicht sicherheitsrelevant ist. Vor Gültigkeit des § 22 a ABergV verblieb alles in den Bergwerken was „mit dem Berg verbunden war“ (wie Ausbaue, Förderbänder etc.).

Die Arbeiten im Zuge der Umsetzung des § 22 a ABergV ergibt keine Informationen hinsichtlich potentieller PCB-Emittenten.

8.1.5 Übertägige Entsorgung von Altöl und PCB

Bis ungefähr Mitte der 1980er Jahre wurden PCB nicht gesondert erfasst und geregelt entsorgt (Schreiben der Staatsanwaltschaft Bochum vom 19.08.92). Die PCB wurden zusammen mit den anderen im Bergbau verwendeten Ölen (die einen viel größeren Anteil als die PCB ausmachten) in den Altölmarkt gemäß AltölG eingeschleust (Abb. 24). Diese Altöle wurden vielfach verbrannt (Abb. 25). Ein Verwendungszweck für Altöl war auch die Zugabe bei der Erzeugung von Kokssteine, damit diese bei der Verkokung nicht zusammenbacken (Hinweis aus der Aktenauswertung 55.15-15).

Dies erfolgte vor 1986 durch jedes Bergwerk dezentral. Die entsorgte Altölmenge betrug 1984 1.143 t, was auch ungefähr der üblichen, jährlichen Abgabe der RAG von Altöl an Wiederaufbereitungsfirmen entspricht (Dok. 6 Gesamtgutachten).

Wenn PCB-haltige Hydraulikflüssigkeit vor Mitte der 1980er Jahre separat erfasst wurde, geschah dies häufig weil diese synthetischen Hydraulikflüssigkeiten sehr teuer waren und aufbereitet werden konnten. Die synthetischen PCB-haltigen Öle wurden teilweise über Tage aufbereitet (Bergmannsglück/Westerholt, Gelsenkirchen). Die PCB-Schlämme aus der Reinigung (ca. 1 t/a) wurden teilweise als Altöl abgegeben und auch deponiert (Besprechung LOBA, 13.09.1985, s. Dokumentation im Gesamtgutachten).

Am 18.07.1984 erfolgte eine Rundverfügung des LOBA mit dem Hinweis eine „*ordnungsgemäße Entsorgung*“ zu veranlassen und zu überwachen.

Im Jahr 1984 wurden so 11,09 t PCB-haltige Öle über die Bergwerke direkt und 19,64 t PCB-haltige Öle über die Reparaturbetriebe entsorgt, also in der Summe ca. 30 t.

In einer Bilanz für das Jahr 1983 im Verantwortungsbereich des LOBA wurden 1.174,5 t PCB eingesetzt; davon wurden 95 % „nicht geregelt entsorgt“ (Verfügung LOBA vom 28.09.1984, Dok. 8 Gesamtgutachten).

Im November 1984 wurde von der Umweltministerkonferenz eine PCB-Grenze in Altölen von 50 ppm (50 mg/L) vorgeschlagen. Bei höheren Gehalten handelte es sich fortan um Sonderabfall. Dies bedeutet auch, dass in den PCB-Bilanzen alle Öle mit einem höheren Gehalt als 50 ppm als „PCB-haltige Öle“ deklariert worden waren. Da aber die eingesetzten Hydrauliköle überwiegend ausschließlich aus PCB bestanden, kann somit die Bilanz der entsorgten PCB-haltigen Öle nicht direkt mit der Bilanz der eingesetzten PCB verglichen werden.

Am 28.01.1985 erfolgte ein Erlass des Ministeriums für Mittelstand und Wirtschaft (MWMW) mit Hinweisen auf eine zwischenzeitlich eingerichtete LWA Arbeitsgruppe, die Empfehlungen zur Verminderung der PCB-Verunreinigungen von Altöl erarbeitet hatte. Am 06.03.1985 erfolgte eine Rundverfügung des LOBA „*die Maßnahmen (Verminderung der PCB-Verunreinigungen von Altöl) unverzüglich verbindlich zu machen*“. Am 06.05.1985 erfolgte nochmals eine Rundverfügung des LOBA, um den Grenzwert von 50 ppm für Altöl verbindlich zu machen. Dies führte zu einem Entsorgungsengpass, da mit PCB vermisches Altöl nun Sonderabfall war. Mit der Rundverfügung vom 18.07.1985 hat das LOBA alle Bergämter gebeten „*ab sofort...verstärkt Sorge für die ordnungsgemäße Entsorgung der im Bergbau eingesetzten Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe D zu tragen*“. Eine weitere Rundverfügung des LOBA zur Entsorgung der Hydrauliköle wurde am 03.10.1985 erlassen.

Untertage wurde bei Maschinen PCB zunächst durch Ersatzstoffe wie UGILEC ersetzt. Der Austausch der PCB unter Tage war 1986 überwiegend abgeschlossen (Dok. 6 Gesamtgutachten).

Über Tage führte die Einordnung der PCB-haltigen Öle (> 50 ppm, bzw. 50 mg/L) als Sondermüll schnell zu einem Entsorgungsengpasses, da die Verbrennungskapazitäten begrenzt waren. So wurden 1984 oberirdische Lagerbestände von ca. 350 t PCB und PCB-haltigen Öle gemeldet, die nach und nach abgebaut wurden.

Anfang 1986 wurden im Zuge der Diskussion um die Entsorgung der PCB-haltigen Öle die beiden Altölsammelstellen ZW Prosper (auf dem Betriebsgelände der Zentralwerkstatt Prosper) und ZW Fürst Hardenberg (ehemaliges Bergwerk Fürst Hardenberg) zugelassen und eingerichtet. Der grundsätzliche Entsorgungsweg war ab da die Sammlung der Altöle nach Betriebsplan für jedes Bergwerk und die Weiterleitung an

die Zentralen Sammelstellen und von da die Entsorgung über die Hochtemperaturverbrennung in Brunsbüttel. Für die Errichtung der ZW Fürst Hardenberg wurde der Hauptbetriebsplan für das BW Fürst Hardenberg durch einen Sonderbetriebsplan ergänzt. Ein Sonderbetriebsplan für die ZW Fürst Hardenberg liegt bei der RAG nicht mehr vor. Die erteilte Genehmigung nach § 4 BImSchG von 09/1994 durch das LOBA NRW Dortmund ist noch vorhanden, wurde aber noch nicht ausgewertet.

Das Ziel war die zentrale Annahme fester und flüssiger Abfälle der Bergwerke und Betriebe der RAG. Nach dem Muster-Betriebsplan „Entsorgung“ waren alle Bergwerke/Betriebe verpflichtet die Sammlung über die Zentralen Sammelstellen und den weiteren Entsorgungsvorgang einzuhalten. Ein weiteres Ziel war die Abkopplung vom Altölmarkt. Der „Jahresumsatz“ betrug ca. 18.000 t.

1993 erfolgte die Übernahme der Betriebsführung der Industrieabfallbehandlungsanlage (IAB) Fürst Hardenberg durch die Ruhrkohle Öl und Gas.

PCB-haltige Altöle wurden grundsätzlich bis 1993 / 1994 über die IAB Fürst Hardenberg entsorgt. Nach 1994 wurde die Entsorgung anhand der PCB-Konzentration in den Altölen differenziert und PCB-freie Altöle in den Altölmarkt z. B. über die Firma Schöning entsorgt. 1995 wurde die ZW Prosper und in 12/1997 auch die IAB Fürst Hardenberg stillgelegt.

Mit der Stilllegung der IAB Fürst Hardenberg im Jahre 1997, aufgrund der stark rückläufigen Altölmengen mit PCB, wurde die Entsorgung von der Zentralen Altölaufbereitung des BW Auguste Victoria übernommen. Diese war als zertifizierter Entsorgungsbetrieb zugelassen und wurde 12/2015 stillgelegt.

Akten zum Thema „**oberirdische Altölentsorgung**“ wurden bislang noch nicht ausgewertet. Eine erste Suche im Zentralarchiv der RAG nach den Schlagworten *PCB, HFD, Hydraulik, Nachweisbuch Altölbesitzer, Altöl, Entsorgung, Transformatoren, Kondensatoren, Betriebstagebücher, Werkstatttagebücher, zentrale Aufbereitung Fürst Hardenberg, Abfallbegleitscheine, § 3 Abs. 1, PCB-Verluste* ergibt ca. 400 Akten.

8.1.6 Sonstige Datenquellen

Es wurden noch weitere Datenquellen ausgewertet, die möglicherweise Hinweise auf den untertägigen Verbleib oder die Entsorgung von PCB geben können.

- Zulassungen (i.d.R. Sonderbetriebspläne) aller eingesetzten Betriebsstoffe und Betriebsstoffe (u. a. PCB haltige Öle) gemäß Aktenvorgängen AZ: 13.31. Die Zulassungen ergeben keine Informationen hinsichtlich potentieller untertägiger PCB-Emittenten.
- Entsorgungsnachweise (Kreislaufwirtschaftsgesetz) für Altöle (Beispiel Abb. 25). PCB-haltige Öle wurden jedoch erst ab 1984 separat erfasst. Die Entsorgungsnachweise ergeben keine Informationen hinsichtlich potentieller PCB-Emittenten.
- Internes Umweltmanagementhandbuch (RAG): Verfahrensanweisungen zum Umgang mit Betriebsstoffe; jedoch keine Hinweise auf potentiellen PCB-Emittenten.
- Betriebsbücher wurden nur in den Bergwerken an der Saar geführt.

Nachweisbuch der Altölbesitzer (§ 3 Abs. 1 der Zweiten Verordnung zur Durchführung des Altölggesetzes) (Anlage 1)

Anfall der Altöle			Weitergabe der Altöle						Eigenbeseitigung				
Menge in Litern	Davon Fremdstoffe in Litern	Datum mit Bestätigung des Verantwortlichen	an abnahmepflichtiges Unternehmen		an nicht abnahmepflichtiges Unternehmen		Itd. Nr. des Annahmescheins/Beleg	Datum mit Bestätigung des Verantwortlichen	Verbrennung Menge in Litern	Sonstige Beseitigung			Datum mit Bestätigung des Verantwortlichen
			Menge in Litern	Firma	Menge in Litern	Firma				Menge in Litern	Art	Ort	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
									55,500				
4,920		27.9.87		Zerbe Fr.-Hauer		H. Kinsinger	191		4,920 /				
									68,720	2.7.87	8.5.87	7.5.87	1.4.87
2,620		7.10.87		Mietberg 1		Büchel	193		2,620 /				
2,780		27.10.87		Prosper 2		Prosper	194		2,780 /				
2,620		19.10.87				Prosper	195		2,620 /				
820				Prosper-Feldberg		Prosper	196		820 /				
1,720		27.10.87		Zerbe Mietberg 3		Prosper	199		1,720 /				
2,520				Prosper		Prosper	200		2,520 /				
4,420		27.10.87		Prosper 2		Prosper	202		4,420 /				
2,570		7.11.87		Prosper		Prosper	203		2,570 /				
1,060		12.11.87		Prosper 2		Prosper	204		1,060 /				
									24,840				

Abb. 25: Auszug aus dem Nachweisbuch für Altölbesitzer (Bergwerk Prosper Haniel) ohne Differenzierung in PCB-haltige Öle und sonstige Öle

8.2 Potentielle PCB Verteilung in der Wasserprovinz Haus Aden

Im Rahmen der Risikoabschätzung gehen die Gutachter davon aus, dass sich ein Großteil der PCB-haltigen Betriebsstoffe noch unter Tage befindet. In Folge wird betrachtet, wo sich diese PCB befinden können und welche Art der Dokumentation vorliegt.

Für die Risikoanalyse wird zwischen drei Arten von potentiellen PCB Verteilungen unterschieden:

1. Disperse Verteilung

a. Sediment (partikuläres Material) im Alten Mann

Wie in 0 dargestellt wurde ein Großteil der eingesetzten Hydraulikflüssigkeiten unter Tage verbraucht und somit freigesetzt. Auf Grundlage der oben beschriebenen Sachverhalte (s. Dokumentation im Gesamtgutachten) kann die PCB Belastung im Alten Mann in den Abbaubereichen der Walzenschrämlader sehr grob mit 34 – 51 vgl/m² bzw. 170 – 510 mg/kg abgeschätzt werden (vgl. Abb. 7). Bei den anderen Abbauarten (z. B. Kohlehobel) und beim Einsatz in Kupplungen und von Seilmaschinen traten ebenfalls erhebliche Verluste von PCB-haltigen Betriebsstoffe auf, die sich aber räumlich nicht so genau wie beim Einsatz von Walzenschrämladern zuordnen lassen.

b. Sediment (partikuläres Material) im Bereich offener Strecken (Wasserwege)

Die offenen Strecken sind das heutige (in den bereits gefluteten Grubenbereichen) und zukünftige Grubenwasserfließsystem (Röhrensystem). In offenen Strecken im Schacht Grimberg wurden im Rahmen der Beprobung am 18.02.2016 fünf Sedimentproben genommen, deren Analyse eine Belastung zwischen ca. 4 und 30 mg/kg mit einer mittleren PCB-Belastung von ca. 13 mg/kg ergab (s. Tab. 16). Die ermittelten Werte sind nicht repräsentativ, geben aber einen groben Hinweis auf das ungefähre Belastungsniveau im Bereich offener Strecken. Im Vergleich zu den abgeschätzten Belastungen im Alten Mann sind sie deutlich niedriger.

2. Punktuelle PCB-Belastungen

Standorte von:

a. Infrastruktureinrichtungen (wie Lokschuppen, Werkstätten mit Tanklagern, Fasslagern, Ölsammelstellen)

In der Regel waren diese Infrastruktureinrichtungen pro Sohle jeweils einmal vorhanden. Im Bereich des Einzugsgebiet Victoriadamm wurden ca. 60 Bauhöhen abgebaut, so dass auch von einer ungefähr gleichen Anzahl der jeweiligen Infrastruktureinrichtungen ausgegangen werden kann. Für diese Bereiche sind aufgrund eines intensiven Umgangs mit PCB-haltigen Betriebsstoffe höhere PCB-Gehalte als in den offenen Strecken zu vermuten ($>> 13 \text{ mg/kg}$, bzw. $1,3 \text{ t/km}^2$). Da diese Standorte aus der „PCB-Zeit“ in der Wasserprovinz Haus Aden heute nicht mehr zugänglich sind, kann diese Vermutung nicht durch Analysen bestätigt werden. Die Standorte können aus den Grubenbildern abgeleitet werden. Bei einem ordnungsgemäßen Rückzug aus den Bergwerken wurden nach Aussage der RAG alle Tank- und Fasslager und Ölsammelstellen zurückgebaut und entsorgt. Bei der Auswertung der Akten (siehe Dokumentation im Gesamtgutachten) ergaben sich keine Hinweise auf ein genteiliges Verhalten.

Eine Recherche im Zentralarchiv der RAG, ob solche Akten aus der PCB-Zeit noch vorhanden sind, ist noch nicht abgeschlossen.

Das Risswerk wurde nicht hinsichtlich der Lage aller Infrastruktureinrichtungen wie Werkstätten ausgewertet.

b. Pumpensümpfe / Sumpfstrecken

Hierbei handelt es sich um Teile der Grubenbaue an den tiefsten Stellen der Bergwerke, an denen sich die Grubenwässer sammelten, ehe sie an die Tagesoberfläche gepumpt wurden. In den Sumpfstrecken sedimentierten die in den Grubenwässern enthaltenen Schwebstoffe. Auch hier ist zu vermuten, dass höhere PCB-Gehalte in den Schlämmen auftreten. Viele Pumpensümpfe/ Sumpfstrecken aus der „PCB-Zeit“ sind heute nicht mehr zugänglich. Es gibt aber noch einige Pumpensümpfe/ Sumpfstrecken auf Haus Aden, die in abgeworfenen Bereichen hinter Dämmen liegen. Der Zustand hinter den Dämmen ist nicht bekannt. Eine Öffnung der Dämme und Begehung ist mit Unsicherheiten (Stabilität der Strecken), Risiken (schädliche Gase) und hohem Aufwand (Bewetterung, Stabilisierung der Strecken) verbunden. Eine Öffnung der Dämme und Beprobung ist aufgrund der hohen Risiken zzt. nicht geplant.

Das Risswerk wurde nicht hinsichtlich der Lage aller Pumpensümpfe und Sumpfstrecken ausgewertet.

c. Umgelagerte Schlämme aus Pumpensämpfen/ Sumpfstrecken

Wenn das Fassungsvermögen einer Sumpfstrecke erschöpft war, wurden die Schlämme in andere, nicht mehr benötigte Grubenbaue umgelagert. Für die Zugänglichkeit gilt dasselbe wie für die Pumpensämpfe /Sumpfstrecken.

Das Risswerk wurde nicht hinsichtlich der Lage aller Pumpensämpfe und Sumpfstrecken ausgewertet.

d. Unfälle

Nur im Bergwerk West ist ein Unfall dokumentiert bei dem größere Mengen PCB ausgetreten sind. Der Bereich wurde mit Beton abgedeckt. Angaben über die damalige Sedimentbelastung mit PCB liegen nicht vor, sondern nur Analysen der Grubenwässer.

3. Umschlossene Quellen

a. Zurückgelassene Maschinen

Zurückgelassene Maschinen (wie Tunnelbohrmaschinen) sind gemäß den Sonderbetriebsplänen zu entleeren und zu reinigen.

In den ausgewerteten Unterlagen der BR Arnsberg gibt es keine Hinweise auf ein abweichendes Verhalten. Eine Recherche im Zentralarchiv der RAG, ob solche Akten aus der PCB-Zeit noch vorhanden sind, ist noch nicht abgeschlossen.

b. Transformatoren/Kondensatoren

Das LOBA hat im Juni 1984 ein Kataster für diese Geräte angelegt. Für den Zeitraum 1983/1984 wurden 7.042 Trafos und 30.736 Kondensatoren sowie weitere 729 Geräte mit einer PCB-Füllung von insgesamt 143.629 Liter erfasst. Gemäß der Aktenlage wurden diese Geräte durch die Firmen BBC, ASEA und Siemens geordnet entsorgt und die Entsorgung wurde nachgewiesen (s. Dokumentation im Gesamtgutachten).

In der Risikoanalyse wird auch der Fall berücksichtigt, dass es unter Tage noch „PCB-gefüllte umschlossene Quellen“ zu denen auch Trafos gehören, gibt.

c. Gefüllte Fässer, Tanks

In den ausgewerteten Unterlagen (BR Arnsberg, RAG) gibt es keine Hinweise auf den Verbleib von „PCB-gefüllten umschlossenen Quellen“ unter Tage.

Ausgelöst durch eine anonyme Anzeige beim WDR am 4.4.1986, dass mehrere 1000 L PCB in ca. 50 Fässern im BW Consolidation hinter dem Damm 9327, 9. Sohle in 950 m Tiefe, illegal entsorgt wurden, erfolgte durch die Staatsanwaltschaft Essen eine Untersuchung des Vorgangs. Eine Zusammenfassung des Ermittlungsstandes vom 10.04.1986 ist in der Dokumentation im Gesamtgutachten enthalten. Das Ergebnis war:

- „Nach den bisherigen Ermittlungen – und 5 Zeugenaussagen – muss davon ausgegangen werden, dass ausschließlich leere Fässer und Kanister eingestapelt wurden“
- „nach übereinstimmenden Aussagen von 5 Zeugen waren die Fässer und Kanister leer“
- „Möglicherweise ist eine unbestimmte Anzahl von Fässern und Kanistern vormals mit PCB-haltigen Flüssigkeiten gefüllt gewesen“

Zur Frage, ob die Fässer hinter dem Damm verbleiben können, wurde ein Gutachter eingeschaltet. Der Gutachter, die Westfälische Berggewerkschaftskasse (WBK), Prof. Dr. [REDACTED], kam 24.06.1986 zu dem Schluss:

- *„Die leeren Fässer und Kanister können somit ...verbleiben, ohne daß eine schädliche Verunreinigung des Wassers und des Grubenwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu besorgen ist (s. Dokumentation im Gesamtgutachten)“*

In der Risikoanalyse wird auch der Fall berücksichtigt, dass es unter Tage noch „PCB-gefüllte umschlossene Quellen“, zu denen auch Fässer und Tanks gehören, gibt.

8.3 Abschätzung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage verbliebenen Mengen PCB

8.3.1 Abschätzung des PCB-Eintrags

Eine genaue Bilanzierung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage eingesetzten PCB-haltigen Betriebsstoffe ist auf Grundlage der verfügbaren Informationsquellen (vgl. Abschn. 7.5.1 und 8.1) nicht möglich. Zur Verteilung der eingesetzten PCB-Mengen auf die einzelnen Bergbaugebiete und Bergwerke gibt es keine Informationen. Für eine Abschätzung der ungefähren Größenordnung der in der Wasserprovinz Haus Aden eingesetzten Mengen PCB-haltiger Betriebsstoffe unter Tage werden die in Abschnitt 7.5.2 für Nordrhein-Westfalen und Abschnitt 7.5.3 für das Bundesgebiet abgeschätzten Einsatzmengen als Grundlage verwendet.

Die Abschätzung kann über eine postulierte Korrelation von PCB-Einsatz und Kohleförderungsrate erfolgen. Somit kann zur Abschätzung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage eingesetzten PCB-Mengen angenommen werden, dass sich diese gemäß der Anteile der Kohlenförderung innerhalb der Wasserprovinz Haus Aden an der Gesamtfördermenge Nordrhein-Westfalens bzw. am Bundesgebiet über die Jahre verteilen. Die Anteile an der Gesamtfördermenge sind der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. zu entnehmen.

Abschätzung I: Grundlage – Deutscher Bundestag (1984) (Abschn. 7.5.2)

Für die Jahre 1964 bis 1976 betrug der Anteil der Kohlenförderung innerhalb der Wasserprovinz Haus Aden an der Gesamtfördermenge Nordrhein-Westfalens durchschnittlich 14 % (gelb markiert), die Werte für die Jahre 1977 bis 1983 sind in Tab. 6 dargestellt. Diesem Ansatz folgend ergeben sich für die in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage eingesetzten PCB-haltigen Betriebsstoffe die in Tab. 6 dargestellten extrapolierten Werte (blau markiert), die aufsummiert eine Gesamtmenge von rund **2.400 t** ergeben (alle PCB-Verbrauchsquellen). Bei diesem Wert handelt es sich nur um eine Abschätzung der Größenordnung. Eine Quantifizierung und Wiedergabe exakter Mengen ist nicht möglich.

Tab. 6: Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsstoffe im Wasserprovinz Haus Aden/Monopol über Anteile an der Kohlenförderung (Daten Deutscher Bundestag 1984)

	1964 - 1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Summe
Menge der im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen genutzten PCB-haltigen Betriebsstoffe [t]	6.500	1.200	1.250	1.335	1.400	1.460	1.400	1.250	15.795
Anteil der Kohlenförderung in der Wasserprovinz Haus Aden an NRW [%]	14	16	16	16	17	17	17	16	
eingesetzte Menge PCB-haltiger Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage [t]	912	187	195	218	236	245	231	199	2.423

Abschätzung II: Grundlage: Rauhut (Abschn. 7.5.3)

Für die Jahre 1964 bis 1973 betrug der Anteil der Kohlenförderung innerhalb der Wasserprovinz Haus Aden an der Gesamtfördermenge des gesamten Bundesgebietes durchschnittlich 12 % (gelb markiert), die Werte für die Jahre 1977 bis 1983 sind in Tab. 7 dargestellt. Diesem Ansatz folgend ergeben sich für die in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage eingesetzten PCB-haltigen Betriebsstoffe die in Tab. 7 dargestellten extrapolierten Werte (blau markiert), die aufsummiert eine Gesamtmenge von rund 2.300 t ergeben (alle PCB-Verbrauchsquellen). Bei diesem Wert handelt es sich nur um eine Abschätzung der Größenordnung. Eine Quantifizierung und Wiedergabe exakter Mengen ist nicht möglich.

Tab. 7: Extrapolation eingesetzter PCB-haltiger Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden über Jahresverbrauch und Anteile an der Kohlenförderung

	1964 - 1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Menge eingesetzter PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau auf Bundesgebiet [t]	4.412	871	818	930	967	1.158	1.361	1.587
Anteil der Kohlenförderung in der Wasserprovinz Haus Aden an der BRD [%]	12	5	5	5	5	5	6	6
eingesetzte Menge PCB-haltiger Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage [t]	553	134	122	136	134	161	197	236

	1981	1982	1983	1984	Summe
Menge eingesetzter PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten im Bergbau auf Bundesgebiet [t]	1.350	1.482	1.241	607	16.784
Anteil der Kohlenförderung in der Wasserprovinz Haus Aden an der BRD [%]	6	6	6	6	
eingesetzte Menge PCB-haltiger Betriebsstoffe in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage [t]	199	214	173	87	2.347

Es ergeben sich geringfügige Unterschiede beim Bezug der Kohleförderung nur auf NRW oder die gesamte BRD (2.347 bis 2.423 t PCB). Im Folgenden wird von einem Einsatz von **2.400 t PCB** in der Wasserprovinz Haus Aden ausgegangen.

Gemäß der oben dargelegten Vorgehensweise zur Abschätzung der eingesetzten PCB-Mengen über die Kohlenförderung ergibt sich für das Einzugsgebiet Victoriadamm eine eingesetzte PCB-Menge von **ca. 780 t PCB**.

Die restlichen Mengen, ca. 1.620 t PCB, wurden demnach im Einzugsgebiet Ost eingesetzt. Der Hauptanteil der Kohlenförderung im Einzugsgebiet Ost erfolgte im Bergwerk Heinrich Robert.

8.3.2 Abschätzung des PCB-Austrags aus der Wasserprovinz Haus Aden

8.3.2.1 Abschätzung des Austrages über das Fördergut

Für die Abschätzung des Austrages PCB-haltiger Flüssigkeiten aus der Wasserprovinz Haus Aden über das Fördergut werden nur Verluste beim Abbau mit Walzenschrämladern betrachtet. Verluste über Kohlehobel, Kupplungen und Seilbandmaschinen und deren Austrag über das Fördergut lassen sich nicht abschätzen und werden daher nicht berücksichtigt. Es werden folgende Annahmen getroffen:

- Der Verlust an PCB betrug jährlich 6 bis 9 T pro Walzenschrämlader.
- Der Anteil des jährlichen Austrages über Kohle und Berge an diesen Verlusten kann nicht exakt bestimmt werden und wird mit 25 bis 75 % abgeschätzt. Diese Spanne berücksichtigt die hohe Affinität der lipophilen PCB an partikuläres Material, insbesondere an kohlehaltige Materialien zu adsorbieren (s. Kap. 10 – Freisetzung).
- Vordringen vollmechanischer schneidender Gewinnung mit Walzenschrämlader gab es erst ab 1970 (Reuther 1982). Dies bedeutet eine Einsatzzeit der Walzenschrämlader mit PCB-haltigen Betriebsstoffen mit zunehmenden Anteilen von ca. 15 Jahren.
- Die Anzahl der in der Wasserprovinz Haus Aden im Zeitraum von 1970 bis 1984 eingesetzten Walzenschrämlader wird durch den durchschnittlichen Anteil der Wasserprovinz an der Gesamtkohlenförderung von NRW (14 % bis 17 %) abgeschätzt. Damit ergibt es eine vermutete Anzahl von sieben Walzenschrämladern. Dies stimmt mit den Angaben der RAG überein (RAG 2016).

Nach diesem Ansatz kann für die heutige Wasserprovinz Haus Aden für den Einsatzzeitraum von 1970 bis 1984 ein Austrag PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten aus den Bergwerken durch Fördergut wie folgt abgeschätzt werden:

Sieben Walzenschrämlader mit einem jährlichen Verlust von 6 bis 9 Tonnen PCB- und einem davon 25 %-, 50 %-, bzw. 75 %igen Austrag über das Fördergut im Zeitrahmen von 15 Jahren:

25 %: rund 160 – 240 t

50 %: rund 320 – 470 t

75 %: rund 470 – 710 t

8.3.2.2 Abschätzung des Austrags über die Entsorgung

Für den Austrag PCB-haltiger Flüssigkeiten aus der Wasserprovinz Haus Aden über die Entsorgung wird von einer maximalen Entsorgungsrate von 5 % ausgegangen (vgl. Abschn. 7.6.2).

8.3.3 Gesamtabeschätzung Verbleib unter Berücksichtigung eines Austrags

Basierend auf den unterschiedlichen Ansätzen zum Einsatz PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten in der Wasserprovinz Haus Aden (Abschn. 8.3.1) ergeben sich unter Berücksichtigung der Abschätzung des Austrages über das Fördergut (Abschn. 8.3.2.1) und die Entsorgung (Abschn. 8.3.2.2) für die in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage verbliebenen Mengen PCB-haltiger Hydraulikflüssigkeiten folgenden Gesamt-mengen:

Abschätzung I:

geschätzte Gesamtmenge PCB	geschätzter Anteil PCB Adsorption an Material gefördert nur durch Walzenschrämlader		geschätzter Anteil geregelter PCB-Entsorgung		verbliebene PCB-Gesamtmenge
	[t]	[%]	[t]	[%]	
2.400	25	160 – 240	5	120	2.000 – 2.100
2.400	50	320 – 470	5	120	1.800 – 2.000
2.400	75	470 – 710	5	120	1.600 – 1.800
Abschätzungsbereich					1.600 – 2.100

Abschätzung II:

geschätzte Gesamtmenge PCB	geschätzter Anteil PCB Adsorption an Material gefördert nur durch Walzenschrämlader		geschätzter Anteil geregelter PCB-Entsorgung		verbliebene PCB-Gesamtmenge
	[t]	[%]	[t]	[%]	
2.300	25	160 – 240	5	115	1.900 – 2.000
2.300	50	320 – 470	5	115	1.700 – 1.900
2.300	75	470 – 710	5	115	1.500 – 1.700
Abschätzungsbereich					1.500 – 2.000

Bei diesen Werten handelt es sich nur um eine Abschätzung der Größenordnung, eine Quantifizierung und Angabe exakter Mengen ist nicht möglich.

Zur Beantwortung der Frage, welche durchschnittliche Flächenbelastung in allen BW (außerhalb der Abbaubereiche durch die Walzenschrämlader) angenommen werden kann, dient folgende Abschätzung.

Eine Flächenbelastung von 16 t / km^2 kann angenommen werden, wenn davon ausgegangen wird, dass die eingesetzten ca. 15.795 t PCB gleichmäßig auf die in der PCB-Zeit abgebauten 735 km^2 verteilt sind und ein 25 %-Austrag stattgefunden hat.

Eine Flächenbelastung von 10 t / km^2 kann angenommen werden, wenn davon ausgegangen wird, dass die eingesetzten ca. 15.795 t PCB gleichmäßig auf die in der PCB-Zeit abgebauten Kohlen (ca. 735 km^2) gleichmäßig verteilt sind und ein 50 % Austrag stattgefunden hat.

8.4 Flächenmäßige Verteilung der in der Wasserprovinz Haus Aden unter Tage verbliebenen Mengen PCB

Nach Detailauswertungen an den drei Baufeldern Prosper Nord, Auguste Victoria Baufeld 50 und Ost Baufeld Monopol geht die RAG (RAG 2016) davon aus, dass der Flächenanteil der Strecken zusätzlich ca. 5 % der Abbauflächen (Alter Mann) beträgt.

Für den Alten Mann werden langfristig Durchlässigkeiten von $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ (GRS 1998) angenommen. In den Grundwasserströmungsmodellierungen (Detailbericht 5) wurde als ungünstige Annahme eine fünfmal höhere Durchlässigkeit von $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ angenommen. Ein nicht quantifizierbarer Anteil der zunächst offenen Strecken verbricht nach und nach. Von diesen ca. 5 % Strecken wird deshalb längerfristig nur ein kleinerer, nicht quantifizierbarer Anteil, durchströmt.

Die Wasserprovinz Haus Aden gliedert sich in drei Bereiche (Abb. 26)

- 1) Einzugsgebiet Victoriadamm
- 2) Einzugsgebiet Ost
- 3) Zugängliche Bereiche zwischen Haus Aden 2 und Schacht Grimberg 2

Für diese einzelnen bereits gefluteten und die nicht gefluteten Bereiche wurde jeweils abgeschätzt:

- Flächen Alter Mann und offene Strecken (heutige und spätere Wasserwege)
- PCB-Massen in den einzelnen Bereichen

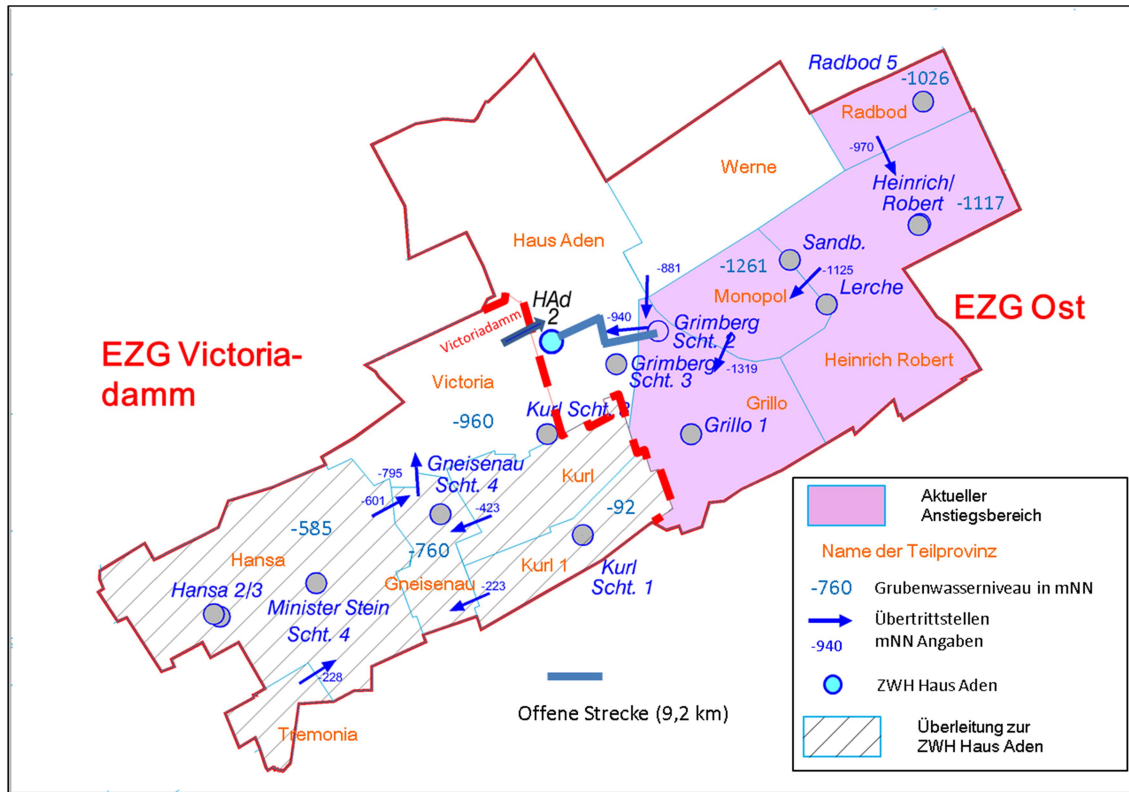


Abb. 26: Wasserprovinz Haus Aden mit Einzugsgebiet Victoriadamm und Einzugsgebiet Ost, Grubenwasserständen und Überleitungshöhen (Stand 3/2016, Abbildung RAG 2016)

8.4.1 Einzugsgebiet Victoriadamm

Die Abb. 26 zeigt die Wasserprovinz Haus Aden unterteilt in die einzelnen Teilprovinzen, die den ehemaligen BW entsprechen, mit dem Einzugsgebiet Victoriadamm und Einzugsgebiet Ost, die Grubenwasserstände (Stand 3/2016) und Überleitungshöhen zwischen den einzelnen Teilprovinzen.

Insgesamt wird der PCB-Einsatz in der Wasserprovinz Haus Aden zwischen 2.347 t und 2.423 anhand der gesamten Kohleförderung geschätzt. Eine entsprechende Abschätzung nur für das Einzugsgebiet Victoriadamm ergibt einen PCB-Einsatz von ca. **780 t**.

Die PCB-Belastung in den offenen Strecken beträgt etwa $1,3 \text{ t/km}^2$ gemäß der bislang genommenen Bodenproben. Die Tab. 8 zeigt zusammenfassend das Ergebnis für verschiedene spezifische Flächenansätze für die Belastung.

Unabhängig von den hier angenommenen Belastungsverteilungen zwischen 10 und 51 t PCB/km^2 ist aus Tab. 8 abzuleiten, dass die PCB-Massen mit 99 % im Alten Mannes liegen.

Ursache dafür ist der hohe Flächenanteil des Alten Mann an den Grubengebäuden und die höhere spezifische Flächenbelastung an PCB durch den Kohlenabbau gegenüber den offenen Strecken.

Tab. 8: Vergleich der PCB-Belastungen bei verschiedenen Flächenansätzen im Einzugsgebiet Victoriadamm

Bereich	Fläche km ²		10 t PCB/km ²		16 t PCB/km ²		34 t PCB/km ²		51 t PCB/km ²	
	Abbau (Alter Mann, AM)	Strecke	AM	Strecke*	AM	Strecke*	AM	Strecke*	AM	Strecke*
geflutet	35,1	1,8	351	2,34	562	2,34	1.193	2,34	1.790	2,34
Anstieg bis -600 mNHN in den Teilprovinzen	7,6	0,4	76	0,52	122	0,52	258	0,52	388	0,52
Vollanstieg	21,5	1,1	215	1,43	344	1,43	731	1,2	1097	1,2
Summe	64,2	3,3	642	4,3	1.027	4,3	2.182	4,1	3.275	4,3
Verhältnis PCB im AM Strecke			99,3 : 0,7		99,6 : 0,4		99,8 : 0,2		99,9 : 0,1	

Eine Flächenbelastung von 10 t / km² wird als ein oberer, realistischer Wert angesehen, da sich bei höheren Werten (16-51 t/km²) deutlich zu große PCB-Gesamt mengen für das Einzugsgebiet Victoriadamm ergeben (Abschätzung Einsatz 780 t).

Die Tab. 9 zeigt die Flächengrößen der einzelnen Abbaubereiche, aufgeteilt nach Strecke und Alter Mann, geflutet und nicht geflutet, sowie die Abbauezeit in oder außerhalb der PCB-Anwendungszeiten sowie die hier angenommenen PCB-Mengen.

Tab. 9: Größe der Abbaufächen und PCB-Belastung durch Verluste im Einzugsgebiet Victoriadamm bei einer Belastung von 10 t / km²

	Fläche [km ²]	Belastung [t/km ²]	Masse PCB [t]
Abbau (Alter Mann) gesamt	337,1		
Abbau (Alter Mann) außerhalb PCB-Zeit	270,5		
Abbau PCB-Zeit gesamt	64,2		
Abbau PCB-Zeit geflutet	35,1	10	350
Strecken (5 %) geflutet	1,8	1,3	2,34
PCB-Zeit nicht geflutet	29,1	10	291
Strecken (5 %) nicht geflutet	1,5	1,3	2,1
Summe			645,4
bereits geflutet außerhalb PCB-Zeit	47,3		
noch nicht geflutet außerhalb der PCB-Zeit	223,2		

Diese Summe der PCB-Verluste liegt um ca. 135 t niedriger als die für das Einzugsgebiet Victoriadamm abgeschätzte Einsatzmenge von 780 t anhand des Ansatzes über

die Kohlenförderung. Dies zeigt, dass es heute – auch über verschiedene Ansätze – nicht mehr möglich ist eine genaue Verteilung der untertägigen PCB zu ermitteln. **Dennoch gilt, dass die größten PCB-Massen im Alten Mann liegen.**

Weiterhin zeigt die Tab. 9, dass der überwiegende Teil der Abbaue außerhalb der PCB-Zeit stattfand (80 %). Von den Abbauen aus der PCB-Zeit sind bereits ca. 53 %, 35 km², geflutet. Dies betrifft auch Bereiche aus alten BW, die höher als -600 mNHN liegen. Damit kann das Einzugsgebiet Victoriadamms als ein typischer Bereich angesehen werden, an dem die PCB-Belastung im Grubenwasser in einem seit längerem stillgelegten Bereich abgeleitet werden und wo bereits größere Abbaubereiche aus der PCB-Zeit geflutet sind.

Von den noch nicht gefluteten PCB-Bereichen im Einzugsgebiet Victoriadamms liegen die meisten Flächen in der Teilprovinz Hansa (17 km²). Diese würden aber erst bei einem Grubenwasseranstieg höher als -600 mNHN geflutet. Bei einem Grubenwasseranstieg bis -600 mNHN in den Teilprovinzen (wie von der RAG beantragt) würden in den einzelnen Teilprovinzen weitere 7,7 km² geflutet.

Bei einer Flutung – unabhängig von der Höhe – nimmt im Einzugsgebiet Victoriadamms der Anteil der Flächen außerhalb der PCB-Zeit gegenüber den Flächen aus der PCB-Zeit zu, da nur ca. 20 % der Flächen aus der PCB-Zeit stammen, aber ca. 80 % außerhalb der PCB-Zeit.

Zurzeit beträgt gemäß Tabelle 9 das Verhältnis geflutete Flächen aus der PCB-Zeit/geflutete Flächen außerhalb der PCB-Zeit **1 : 1,4** (35 km² : 47 km²). Bei einer vollständigen Flutung aller Abbauflächen wäre das Verhältnis geflutete Flächen aus der PCB-Zeit/geflutete außerhalb der PCB-Zeit **1 : 4,2** (64,2 km² : 270,5 km²).

8.4.1.1 Teilprovinz Victoria

Der Victoriadamms liegt im nordöstlichen Bereich der Teilprovinz Victoria (Abb. 26). Die Bereiche Victoria 1/2/3/4 werden zusammenfassend betrachtet. Am Victoriadamms werden auf einer Höhe von -960 mNHN zur Zeit Grubenwasser in Höhe von ca. 22 bis 24 m³/min angenommen und über eine geschlossene Leitung nach übertage gepumpt und dann in die Lippe eingeleitet⁴. Hinter dem Victoriadamms steht im Baufeld Victoria geflutetes Resthohlraumvolumen von ca. 4 Mio. m³ an, das seit Ende der 1990er Jahre in eingestaut ist. Die Abbautiefen reichten hier bis ca. -1.460 mNHN. Die wassererfüllte Mächtigkeit im Bergwerk Victoria beträgt damit ca. 500 Meter. Diese mehrere 10er Kilometer langen wassergefüllten Strecken haben ein Gesamtvolumen von ca. 3 Mio. m³ und dienen aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit auch als Sedimentationstrecke. Weitere 22 Mio. m³ Wasser sind in den übrigen Teilprovinzen eingestaut, die im Folgenden beschrieben werden.

Die Größe der gesamten Abbauflächen liegt bei ca. 52 km². Die Abbaue während der PCB-Zeit⁵ liegen hier zwischen -700 mNHN und -1.100 mNHN, mit einem Schwerpunkt zwischen -800 mNHN und -1.000 mNHN mit einer Größe von insgesamt 14 km². Bei

⁴ Die aktuelle Grubenwasseranalyse ist im Detailbericht 3 dargestellt. An dieser Grubenwassereinleitung wurde auch die Untersuchungskampagne des LANUV in 2015 durchgeführt.

⁵ Unter der „PCB-Zeit“ wird hier die Zeit zwischen 1964 bis 1986 verstanden. Zwischen 1983 und 1992 wurde unter Tage (z. B. bei Neubefüllung von Maschinen) statt PCB Ugilec eingesetzt. PCB war aber weiterhin bis 1986 im Einsatz.

einem derzeitigen Wasserstand von -960 mNHN sind hiervon ca. 9 km² bereits geflutet (Tab. 10).

Tab. 10: Untergliederung der Abbaufäche in der Teilprovinz Victoria

	Fläche km ²
Abbau (Alter Mann) gesamt	52
davon PCB-Zeit	14
PCB-Zeit geflutet	9
Strecken	0,45
PCB-Zeit nicht geflutet	5
Strecken	0,25

Wie die Abb. 27 zeigt besteht zwischen den Teilprovinzen Hansa, Gneisenau und Haus Aden/Victoria ein großes Gefälle. Zudem werden die Abbaue oberhalb der derzeitigen Grubenwasserflächen zwischen 585 mNHN und -960 mNHN im Einzugsgebiet Victoriadamm und 1.261 mNHN und 1.026 mNHN im Einzugsgebiet Ost ebenfalls mit hohem Gefälle von Wasser aus dem Deckgebirge durchströmt.

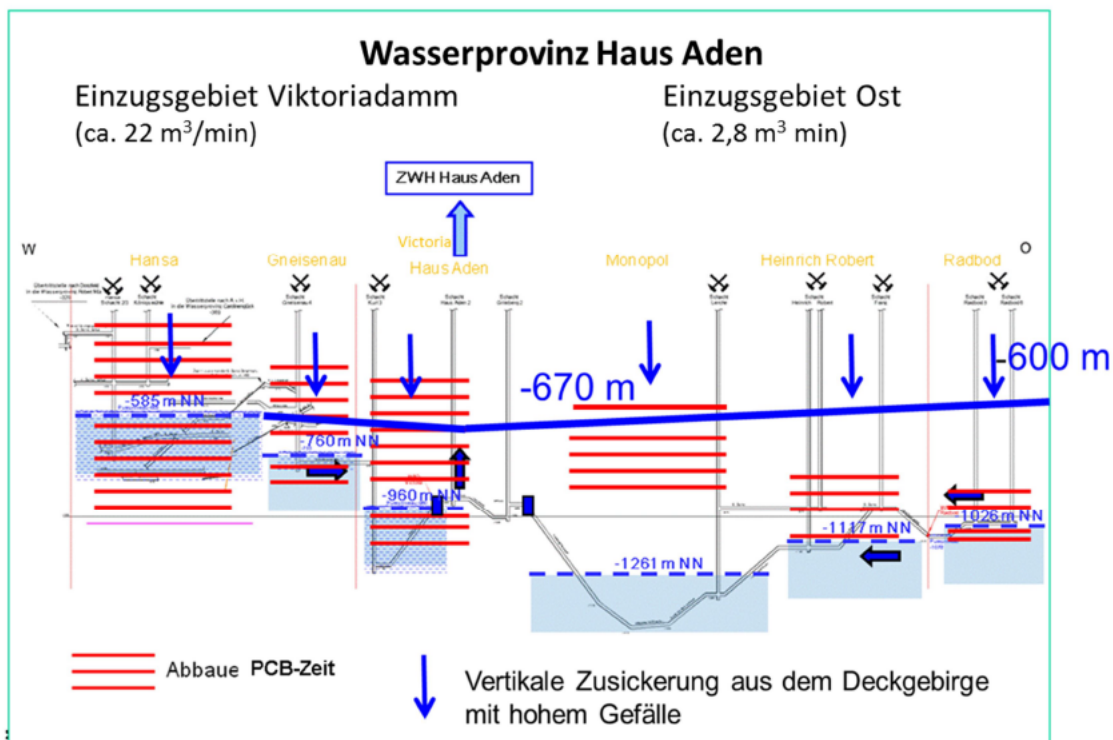


Abb. 27: Potentialdifferenzen Stand 3/2016 zwischen den Teilprovinzen und überschlägige Darstellung der Abbau zur PCB-Zeit und geplanter Grubenwasseranstieg auf -670 mNHN in der Wasserhaltung und -600 mNHN in den Teilprovinzen (Quelle RAG, Ergänzungen ahu AG)

8.4.1.2 Teilprovinz Hansa

Der Abbau reicht von -167 mNHN bis -974 mNHN. Das Grubenwasser steht derzeit bei -585 mNHN. Derzeit sind 18 km² der Abbaue aus der PCB-Zeit bereits geflutet.

Tab. 11: Untergliederung der Abbaufäche in der Teilprovinz Hansa

	Fläche [km ²]
Abbaue (alter Mann) PCB-Zeit	35
PCB-Zeit geflutet	18
Strecken	0,9
PCB-Zeit nicht geflutet*	17
Strecken	0,85

* Die noch nicht gefluteten Abbaubereiche aus der PCB-Zeit liegen **oberhalb** des Niveaus von -600 m. Das heißt, bei einem Grubenwasseranstieg bis auf ca. -600 mNHN würden diese Bereiche nicht geflutet, so dass von hier weiterhin Wasser mit teilweise hohen Fließgeschwindigkeiten und hohem Erosionspotential zufließen werden.

Die Übertrittsstelle in die Teilprovinz Gneisenau liegt bei -601 mNHN. Das Grubenwasser überwindet dann kaskadenartig eine Höhendifferenz von ca. 175 m bis auf das Niveau von -760 mNHN in Gneisenau. Dies erfolgt über wassergefüllte Strecken, aber auch in offenen Gerinnen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Ein Beispiel für ein solches Gerinne zeigt die Abb. 28. Die Grubenwassermenge, die in die Teilprovinz Gneisenau überströmt, beträgt ca. 1,7 m³/min. Eine Untergliederung der Abbaufäche in der Teilprovinz Hansa ist in Tab. 11 dargestellt.

In der Teilprovinz Hansa liegt bezogen auf das Einzugsgebiet Victoriadamms der größte Anteil der noch nicht gefluteten PCB-Bereiche.



Abb. 28: Beispiel für ein offenes Gerinne mit Erosionspotential im Schacht Grimberg

8.4.1.3 Teilprovinz Gneisenau

In der Teilprovinz Gneisenau reichte der Abbau von -290 mNHN bis ca. -787 mNHN (Abb. 27). Bereits beim Auffahren des Bergwerks im Jahr 1875 soff die Grube aufgrund starker Wasserzutritte aus dem Deckgebirge zunächst ab. Bis heute strömen große Wassermengen in Höhe von ca. $11 \text{ m}^3/\text{min}$ aus dem Deckgebirge in das Bergwerk Gneisenau. Deshalb stammt auch heute noch ein Großteil der am Victoriadam ange-nommenen Grubenwässern aus der Teilprovinz Gneisenau. Das Grubenwasser über-windet eine Schwelle bei -509 mNHN im Bergwerk Scharnhorst und fließt dann – wahrscheinlich auch über offene Gerinne – in den nördlichen Bereich der Teilprovinz Gneisenau bis auf das Niveau von -760 mNHN (Abb. 27).

Die Abbaue während der PCB-Zeit haben eine Fläche von 3 km^2 (Tab. 12) und liegen v. a. zwischen -500 mNHN und -800 mNHN, das heißt, die Abbaue aus dieser Zeit sind noch nicht geflutet und werden von den gerade hier sehr großen Wassermengen mit hohem Gefälle kaskadenartig durchströmt.

Tab. 12: Untergliederung der Abbaufäche in der Teilprovinz Gneisenau

	Fläche [km ²]
Abbaue (Alter Mann) PCB-Zeit	3
PCB-Zeit geflutet	0
PCB-Zeit nicht geflutet*	3
Strecken	0,15

* Die noch nicht gefluteten Abbaubereiche aus der PCB-Zeit liegen zu einem Drittel (1 km²) **oberhalb** des Niveaus von -600 mNHN. Das heißt, bei einem Grubenwasseranstieg bis auf ca. -600 mNHN würden diese Bereiche nicht geflutet, so dass von hier weiterhin Wasser mit teilweise hohen Fließgeschwindigkeiten und hohem Erosionspotential zufließen werden.

8.4.1.4 Teilprovinz Kurl

Auch in der Teilprovinz Kurl kommt es zu großen Wasserzutritten aus dem Deckgebirge in Höhe von ca. 6,5 m³/min. Der Wasserstand in Kurl liegt bei ca. -423 mNHN also in der Höhe der Übertrittsstelle zur Teilprovinz Gneisenau bei -423 mNHN (Abb. 26). Die Abbaue während der PCB-Zeit mit einer Größe von 9 km² liegen zwischen -300 mNHN und -800 mNHN, so dass bereits große Bereiche (8 km²) eingestaut worden sind (Tab. 13).

Das Wasser überwindet dann kaskadenartig – und wahrscheinlich auch über offene Gerinne – einen sehr großen Höhenunterschied von 390 m auf dem Weg zum Victoriadamm. Die Fließmengen liegen ungefähr bei 7 m³/min.

Tab. 13: Untergliederung der Abbaufäche in der Teilprovinz Kurl

	Fläche [km ²]
Abbaue (Alter Mann) PCB-Zeit	9
PCB-Zeit geflutet	8
Strecken	0,4
PCB-Zeit nicht geflutet*	1
Strecken	0,05

* Die vergleichbar kleinen noch nicht gefluteten Abbaubereiche aus der PCB-Zeit liegen **oberhalb** des Niveaus von -600 m. Das heißt, bei einem Grubenwasseranstieg bis auf ca. -600 mNHN würden diese Bereiche nicht geflutet, so dass von hier weiterhin Wasser mit teilweise hohen Fließgeschwindigkeiten und hohem Erosionspotential zufließen werden.

8.4.1.5 Teilprovinz Kurl 1

Auch in der Teilprovinz Kurl 1 kommt es zu großen Wasserzutritten aus dem Deckgebirge. Der Wasserstand in Kurl 1 liegt bereits bei -92 mNHN, das heißt das gesamte Bergwerk ist bereits bis ins Deckgebirge hinein eingestaut. Das Deckgebirge liegt hier bei -108 mNHN.

Das Bergwerk wurde bereits 1930 stillgelegt, so dass während der Abbauzeit kein PCB eingesetzt wurde.

Das Wasser fließt dann kaskadenartig – und wahrscheinlich auch über offene Gerinne – von -92 mNHN über den Übertritt bei -223 mNHN zum Bergwerk Gneisenau (-509 mNHN) und weiter zum Victoriadamm (-960 mNHN). Die Fließmengen liegen ungefähr bei 2 m³/min.

Die hohen Potentialdifferenzen im Einzugsgebiet Victoriadamm in und zwischen den älteren Teilprovinzen treten auch deshalb auf, weil beim Rückzug die Wasserwege noch nicht für einen dauerhaften Grubenwasserdurchfluss gesichert worden waren wie es seit Mitte der 1990er Jahre der Fall ist (Beruhigungsstrecken Teilprovinz Victoria, Einzugsgebiet Ost). So ist z. B. im Bergwerk Kurl 1 ein Überstau von ca. 130 m erforderlich, damit das Grubenwasser zum Bergwerk Kurl übertritt.

8.4.2 Einzugsgebiet Ost

Das Einzugsgebiet Ost besteht aus den Teilprovinzen Haus Aden, Grillo, Heinrich Robert, Monopol Nord, Werne und Radbod. Das gesamte Einzugsgebiet Ost ist abgeworfen und nicht mehr zugänglich. Das Grubenwasser befindet sich in den Teilprovinzen Grillo, Heinrich Robert, Monopol Nord und Radbod im Anstieg und die Grubenwasserstände liegen derzeit bei ca. -1.125 mNHN und -1.026 mNHN (Abb. 26). Es gibt keine technischen Einrichtungen mehr, um den Wasserstand in diesem Bereich zu beeinflussen. Das Grubenwasser kann nicht beprobt werden. Eine Überleitung in die ZWH findet noch nicht statt.

Aus der Teilprovinz Werne fließt das Grubenwasser nach Haus Aden über. Der Grubenwasserstand in der Teilprovinz Haus Aden wird zurzeit auf dem Niveau von -940 mNHN gehalten. Die Wasserwege zwischen den Teilprovinzen sind – im Gegensatz zu den alten Verbindungen im Einzugsgebiet Victoriadamm – gezielt auf eine hohe und langfristige Durchlässigkeit ausgebaut (Detailbericht 1). Deswegen werden geringere Potentialdifferenzen zwischen den Teilprovinzen erwartet. Bis zu dem zugelassen Anstieg von -960 mNHN wird nur ein kleiner Flächenanteil aus der PCB-Zeit geflutet werden (Tab. 14). Der weitaus überwiegende Teil wird dann weiterhin von Grubenwässern mit hohem Potentialgefälle, teilweise hohen Geschwindigkeiten und hohem Erosionspotential durchflossen.

Tab. 14: Größe der Abbauflächen und PCB-Belastungen im Einzugsgebiet Ost

Einzugsgebiet Ost	Fläche [in km²]	PCB [in t]
Abbau (Alter Mann) gesamt	244	
Abbau (Alter Mann) außerhalb PCB-Zeit	178,3	
Abbaue PCB-Zeit gesamt	65,7	
Abbau PCB-Zeit geflutet	7,5	75
Strecken (5 %) geflutet	0,4	0,5
PCB-Zeit nicht geflutet	58,2	582
Strecken (5 %) nicht geflutet	2,9	3,8
Summe PCB		661,3
bereits geflutet außerhalb PCB-Zeit	15,5	
noch nicht geflutet außerhalb der PCB-Zeit	162,8	

Bei dem geplanten Anstieg bis auf -670 mNHN in der ZWH und ca. -600 mNHN in den Abbaubereichen wären die PCB-Abbaubereiche nahezu vollständig geflutet. Es würde dann nach wie vor zur Durchströmung alter, aber wahrscheinlich weitgehend PCB-freier Abbaubereiche und einem Eintrag von Schweb kommen.

Bei einer Flutung – unabhängig von der Höhe – nimmt auch im Einzugsgebiet Ost der Anteil der Flächen außerhalb der PCB-Zeit gegenüber den Flächen aus der PCB-Zeit zu, da nur ca. 27 % der Flächen aus der PCB-Zeit stammen, aber ca. 73 % außerhalb der PCB-Zeit.

Zur Zeit beträgt das Verhältnis geflutete Flächen aus der PCB-Zeit/geflutete Flächen außerhalb der PCB-Zeit **1 : 2,1** (7,5 km² : 15,5 km²). Bei einer vollständigen Flutung aller Abbauflächen wäre das Verhältnis aus der PCB-Zeit/geflutete Flächen außerhalb der PCB-Zeit **1 : 2,7** (65,7 km² : 178,3 km²).

8.4.3 Haus Aden 2 und Schacht Grimberg 2

Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um die Strecken zwischen Haus Aden 2 und Schacht Grimberg 2 sowie die sogenannten Umtriebe am Schacht Grimberg 2 (Abb. 26). Die Länge der noch offenen Strecken beträgt 9,2 km, die durchschnittliche Breite 7 m. Diese Umtriebe und Strecken sind die einzigen noch zugängliche Bereiche in der Wasserprovinz Haus Aden. In diesem Bereich fand auch die Probenahme am 18.02.2016 statt. Anfallendes Grubenwasser wird an der tiefsten Stelle, der Nebenerhaltung Bunkersohle, gefasst und dann zur ZWH gepumpt.

Die PCB-Belastung wird gemäß der angenommenen durchschnittlichen Streckenbelastung von 1,3 t/ km² zu auf ca. 65,7 kg geschätzt.

9 UNTERTÄGIGE BEPROBUNG

9.1 Vorgehen und Datenlage

Für die Bewertung des Gefährdungs-, Freisetzungs-, und Ausbreitungspotenzials der PCB erfolgten am 18.02.2016 untertägige Beprobungen. Die Probenahmepunkte sind in der Abb. 29 dargestellt und in Tab. 15 beschrieben.

Es war nicht Ziel der Untersuchungen, gegebenenfalls punktuelle PCB-Belastungen und/oder eine diffuse, repräsentative PCB-Belastung zu ermitteln. Dafür ist der noch zugängliche Bereich im Bergwerk Haus Aden/Monopol gemessen an der ursprünglichen Ausdehnung zu klein.

Von den Gutachtern wurden folgende Untersuchungsziele und Anforderungen an die Probenahmeorte definiert und dann gemäß den Anforderungen und Möglichkeiten Probenahmeorte ausgewählt:

1. Gelöstes PCB im Grubenwasser

- Eine großvolumige Probe (ca. 100 L)
- langjährig, großflächig überflutete Bereiche mit PCB-Einsatz, damit die PCB und das Grubenwasser in einen Gleichgewichtszustand gelangen können.

Es wurde eine 100-L-Probe des Grubenwassers aus dem Einzugsgebiet Victoriadamm beprobt.

2. Durchschnittlichen Belastungen des partikulären Materials

- PCB-Gehalte im partikulären Material

Es wurden fünf Sedimentproben an verschiedenen Stellen genommen.

3. Rückhalteeigenschaften Boden und Schlämme für PCB

- typisches Material mit dem das Grubenwasser in Berührung kommt
- noch zugängliche Pumpensümpfe, Kohlenverladung, Strecken

Es wurden fünf Sedimentproben an verschiedenen Stellen genommen.

4. Teilstrombeprobung Grubenwasser (10-L-Methode)

- ausreichend Grubenwasser mit ausreichender Schwebstofffracht
- noch zugängliche Grubengebäude

Es wurden 4 Wasserproben genommen. Bei einem kleinen Pumpensumpf war zu wenig Wasser für eine Probenahme vorhanden.

5. Zusickerndes Tiefengrundwasser aus dem Karbon

- Wasserzutritte, unvermischt mit Grubenwasser
- noch zugängliche Grubengebäude

Es wurde eine Wasserprobe aus einem Gerinne entnommen.

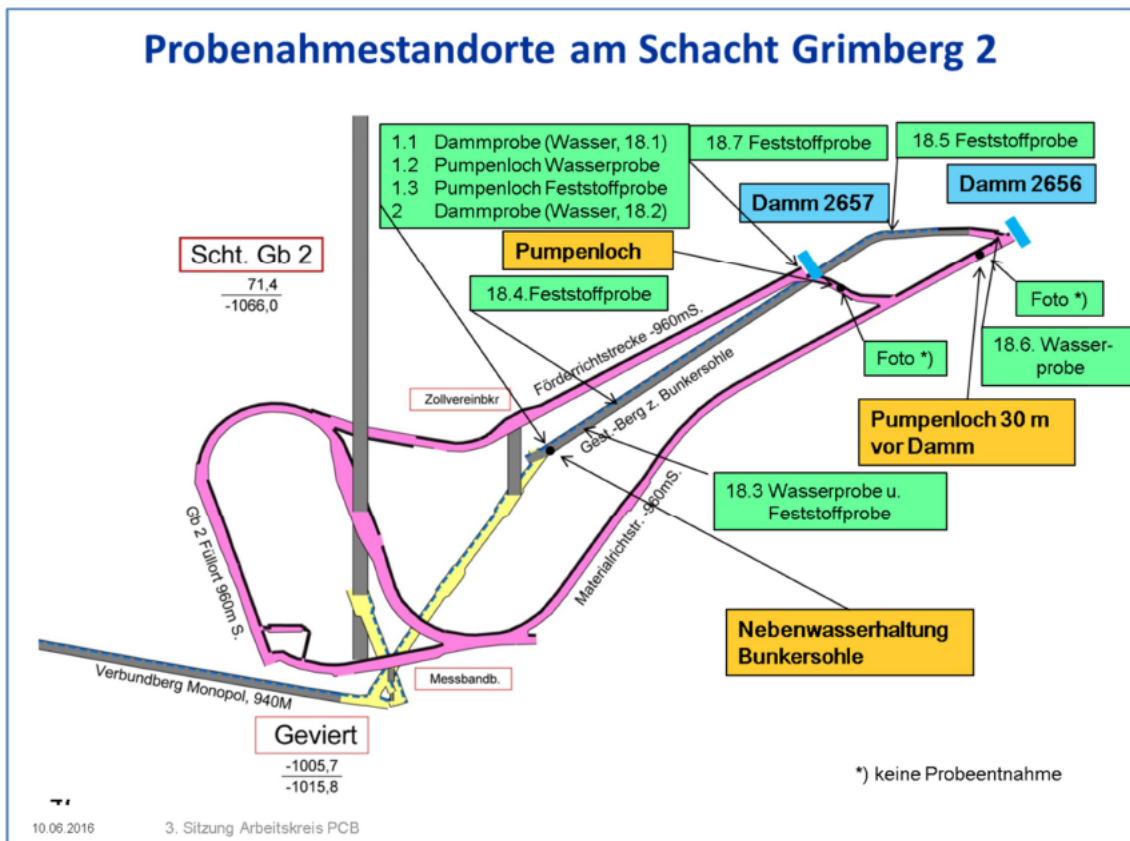


Abb. 29: Übersicht über die Orte der Probenahme am Schacht Grimberg/Umtriebe (Darstellung RAG)

Tab. 15: Übersicht über die Probenahme auf PCB am 18.02.2016

Probenahme-lokalität	18.1		18.2	18.3		18.4
Probe	Pumpensumpf Nebenwasser- haltung	Nebenwas- serhaltung Bunkersohle	Wiederholung von Beprobung 18.1	Bunkersohle Absturz Gerinne	Gerinne Berg zur Bunkersohle	Bunkersohle Boden 1
Analytik	Sediment	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Sediment	Schwebstoff 10L	Sediment
Labor	LANUV	UCL	UCL	LANUV	UCL	LANUV

Probenahme-lokalität	18.5	18.6	18.7	18.8	
Probe	Bunkersohle Boden 2	Becken an Damm 2656	Förderrichtstre- cke, Boden	100 Liter Probe Victoriadamm	
Analytik	Sediment	Schwebstoff 10L	Sediment	Schwebstoff 100L	Wasserpha- se
Labor	LANUV	UCL	LANUV	UCL	LEK

9.2 Ergebnisse der Probenahme

9.2.1 PCB Belastungen des partikulären Materials

Trotz intensiver Recherche konnten ruhrgebietsweit keine weiteren untertägigen Bodenproben, die auf PCB untersucht wurden, ermittelt werden. Auch beim Unfall auf dem Bergwerk West wurden nur Wasserproben genommen.

Im Bergwerk Haus Aden wurden erstmalig am 18.02.2016 fünf Bodenproben genommen und im Anschluss analysiert. Bis auf die Probe 18.1 (Sedimente aus einem kleinen Pumpensumpf) waren dies keine Probenahmeorte an denen punktuelle PCB Belastungen vermutet worden waren. In Tab. 16 sind die Ergebnisse der untertägigen Untersuchungskampagne vom 18.02.2016 enthalten.

Die Gehalte liegen zwischen 3.800 und 31.000 µg/kg. Aus den 5 Proben ergibt sich ein rechnerischer Mittelwert von 13 mg/kg. Es muss betont werden, dass diese Datenbasis nicht repräsentativ für die Bergwerke im Ruhrgebiet, ja noch nicht einmal für das Bergwerk Haus Aden/Monopol ist. Die Analyse erfolgte mit Accelerated Solvent Extraction (ASE) und Toluol nach DIN EN 1948 und nach der VDI-Richtlinie 3498 (in Kombination mit verschiedenen Clean-up Säulen).

Tab. 16: Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf PCB (Probenahme 18.02.2016)

Probenahme-lokalität	18.1	18.3	18.4	18.5	18.7
Probe	Pumpensumpf Nebenwasser- haltung	Bunkersohle Absturz Gerinne	Bunkersohle Boden 1	Bunkersohle Boden 2	Förderricht- strecke, Boden
Material	Sediment	Sediment	Sediment	Sediment	Sediment
Labor	LANUV	LANUV	LANUV	LANUV	LANUV
	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*
PCB-28	2200	4400	1700	480	370
PCB-52	690	1500	570	180	360
PCB-101	150	270	110	67	100
PCB-138	34	47	21	21	15
PCB-153	23	32	15	14	10
PCB-180	8,9	11	5,4	5,6	4
Summe 6 DIN- Kongeneren * 5	16.000	31.000	12.000	3.800	4.300
PCB-77	160	420	100	47	13
PCB-81	6,2	14	4,5	2,1	0,7
PCB-105	130	220	81	57	50
PCB-114	7,8	16	5,4	3,4	3,1
PCB-118	160	280	100	73	67
PCB-123	4,2	9,8	3,6	2,3	2,6
PCB-126	0,91	1,9	0,61	0,39	0,39
PCB-156	3,6	6,3	2,2	2,2	<1,1
PCB-157	0,79	1,5	0,46	0,46	<0,22
PCB-167	1,4	2	0,73	0,73	2,5
PCB-169	0,0056	0,0073	0,0043	0,0047	0,061
PCB-189	<0,12	<0,21	<0,078	<0,085	0,089

* Fraktion < 63 µm. Die Summe der 6 DIN Kongeneren wird gemäß LAGA mit 5 multipliziert

9.2.2 PCB im Schwebstoff

PCB in Schwebstoffen wurden nach DIN 38414 S20 und nach DIN CEN/TS16190 analysiert.

Tab. 17: Ergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen auf PCB
(Probenahme 18.02.2016)

Probenahme-lokalität	18.1	18.2	18.3	18.6	18.8
Probe	Nebenwasser-haltung Bunker-sohle	Wiederholung von Beprobung 18.1	Gerinne Berg zur Bunkersohle	Becken an Damm 2656	100 Liter Probe Victoriadam
Material	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 100L
abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	74	76	77	32	11
Labor	UCL	UCL	UCL	UCL	UCL
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
PCB-28	<5,1	<4,8	140	200	110
PCB-52	<5,1	<4,8	48	180	61
PCB-101	<5,1	<4,8	14	50	25
PCB-138	<5,1	<4,8	<4,7	<14	<17
PCB-153	<5,1	<4,8	<4,7	<14	<17
PCB-180	<5,1	<4,8	<4,7	<14	<17
Summe 6 DIN-Kongenerne * 5	>NWG	>NWG	1010	2150	980
PCB-77	0,587	0,248	28,6	16,2	1,03
PCB-81	0,107	0,0777	1,5	1,45	16,8
PCB-105	1,41	1,07	35,1	42,3	32,9
PCB-114	0,0605	0,0323	1,88	2,94	2,01
PCB-118	4,98	3,85	37,1	62,2	44,4
PCB-123	0,0366	0,0208	1,34	2,06	1,39
PCB-126	<0,04	<0,04	0,361	0,155	0,153
PCB-156	1,72	1,34	0,853	3,57	2,71
PCB-157	0,171	0,132	0,206	0,529	0,439
PCB-167	0,587	0,55	278	1,23	0,779
PCB-169	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
PCB-189	0,172	0,169	<0,02	0,339	0,191

UCL – Umwelt Control Labor GmbH, Lünen *Die Summe der 6 DIN Kongenerne wird gemäß LAGA mit 5 multipliziert

9.2.3 PCB gelöst in der Wasserphase

Im Allgemeinen gelten stark unpolare, also lipophile Stoffe als schlecht oder sogar wasserunlöslich. Wissenschaftlich gesehen gibt es jedoch den Begriff „wasserunlöslich“ nicht, sowenig wie es in der Hydrogeologie den Begriff „undurchlässig“ gibt. Bei einem großen Konzentrationsunterschiede zwischen Partikel und Wasserphase, großen Wassermengen und ausreichend Zeit führen thermodynamisch gesteuerte Verteilungsprozesse zum Erreichen eines dynamischen Gleichgewichtszustandes.

Die Tab. 18 zeigt, dass PCB auch im Grubenwasser in sehr geringem Maße gelöst vorliegt. **Unter dem Begriff „gelöst“ wird per Definition auch der Feinschweb < 0,45 µm verstanden.**

Die Ergebnisse passen sehr gut mit den ebenfalls ermittelten Verteilungskoeffizienten überein. Diese werden v. a. durch den Gehalt an fein verteiltem organischem Material (z. B. Kohle) bestimmt.

Im Vergleich zum PCB-Gehalt im Schweb, ca. 1 mg/kg TS, ist die Konzentration an gelöstem PCB im Wasser ca. um den Faktor 600.000 geringer.

Tab. 18: Ergebnisse der 100 L-Grubenwasseruntersuchung auf PCB
(Probenahme 18.02.2016)

Probenahmelokalität	18.8
Probe	100 Liter Probe Victoriadamm
Material	Wasser
Labor	LEK
	ng/L
PCB-28	0,167
PCB-52	0,137
PCB-101	0,005
PCB-138	0,004
PCB-153	0,006
PCB-180	<0,004*
Summe 6 DIN-Kongenere * 5	1,6

* Bestimmungsgrenze: 0,004 ng/L

Die angewendete Methode zur Analyse der sechs PCB-Leitkongenere in der 100 L-Grubenwasserprobe ist im Anhang detailliert beschrieben. Die Bestimmung der PCB-Gesamtkonzentration aus den sechs analysierten PCB-Leitkongeneren (Faktor 5) ist im Abschnitt 2.1 dargelegt.

9.2.4 TCBT-Belastungen des partikulären Materials

Die Analyse von TCBT in den Bodenproben erfolgte nach DIN 38414 S20.

Tab. 19: Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf TCBT (Probenahme 18.02.2016)

Probenahme-lokalität	18.1	18.3	18.4	18.5	18.7
Probe	Pumpensumpf Nebenwasser-haltung	Bunkersohle Absturz Gerinne	Bunkersohle Boden 1	Bunkersohle Boden 2	Förderricht-strecke, Boden
Material	Sediment	Sediment	Sediment	Sediment	Sediment
Labor	LANUV	LANUV	LANUV	LANUV	LANUV
	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*	µg/kg TS*
TCBT 21	210	51	290	170	370
TCBT 27	66	19	74	43	98
TCBT 28	59	47	96	49	120
TCBT 52	32	9,3	60	26	68
TCBT 74	190	44	320	150	330
TCBT 80	270	66	420	210	460

* Fraktion < 63 µm

9.2.5 TCBT im Schwebstoff

Die Konzentrationen der technischen TCBT-Mischung „Ugilec“ in den Schwebstoffproben wurden nach DIN EN ISO 12766-3 bestimmt.

Tab. 20: Ergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen auf TCBT (Probenahme 18.02.2016)

Probenahme-lokalität	18.1	18.2	18.3	18.6	18.8
Probe	Nebenwasser-haltung Bunker-sohle	Wiederholung von Beprobung 18.1	Gerinne Berg zur Bunkersohle	Becken an Damm 2656	100 Liter Probe Victoriadam
Material	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 10L	Schwebstoff 100L
abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	74	76	77	32	11
Labor	UCL	UCL	UCL	UCL	UCL
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
TCBT/"Ugilec"	< 51	< 48	< 330	< 1400	< 340

UCL – Umwelt Control Labor GmbH, Lünen

9.2.6 Korngrößenanalyse

Tab. 21: Ergebnisse der Korngrößenanalysen von unter Tage genommenen Bodenproben (18.02.2016)

Probenahme-lokalität	18.1/18.2			18.3		18.4			18.5		18.7		
	Frak-tion		RWTH	LANU V	RWTH	LANU V	RWTH	LANU V	RWTH		RWTH		
< 0,2	%	1	94	90	nicht gemes-sen Anteil > 2.000 nahezu 100 %	44	0	54	28	1	67	0	87
< 0,63	%	3				1	4			2		4	
< 2	%	4				2	5			7		6	
< 6,3	%	10				4	3			4		11	
< 20	%	21				5	4			7		13	
< 36	%	10				3	2			3		7	
< 63	%	7				4	7			2		7	
< 200	%	17				10	17			7		18	
< 630	%	14				14	17			17		17	
< 2.000	%	6				10	21			3		3	
> 2.000	%	6	6	10	56	46	46	72	33	33	13	13	

Masse < 2.000	[g]	13,76	723,4		420,5	21,32	197	18,62	35,31
Masse > 2.000	[g]	0,87	79		535,9	18,26	503	9,17	5,30
gesamt	[g]	14,63	802,4		956,4	39,58	700	27,79	40,61

RWTH: Vorsiebung (> 2 mm) und Abtrennung der Grobfraktion. Korngrößenanalyse der Feinfraktion (< 2 mm) mittels Laserbeugung; Mittelwerte aus 3 – 6 Messungen.

LANUV: Vorsiebung (Proben 18/1, 18/3, 18/4) und Abtrennung der Grobfraktion (> 2 mm). Zerkleinerung der Feinfraktion (< 2 mm) in einer Mörsermühle und Siebung (< 63 µm).

10 FREISETZUNGSPOTENTIAL PCB

Die Freisetzung organischer Schadstoffe aus kontaminierten wassergesättigten Sedimentschichten kann grundsätzlich über die partikuläre und/oder die wässrige Phase erfolgen. PCBs sind ausgeprägt lipophile organische Verbindungen, wie es durch hohe K_{OW} -Werte indiziert ist (Tab. 22), PCBs haben daher eine starke Tendenz an partikuläres Material zu adsorbieren und sind nur in geringem Maße wasserlöslich (Tab. 22). Die Freisetzung von PCBs aus den mit PCB-haltigen Betriebsstoffen kontaminierten Bereichen des Bergwerks Haus Aden/Monopol während und nach der Flutung dieser Bereiche erfolgt parallel über beide Pfade in die wässrige und die partikuläre Phase.

Für die Abschätzung der Freisetzung von PCBs aus kontaminierten Bergwerksbereichen in die partikuläre und die wässrige Phase, ist eine Betrachtung über dynamische Prozesse nicht möglich. Eine quantitative Abschätzung ist aber über die Gleichgewichtssituation möglich (s. a. Schwarzenbach et al. 1993). Dies ist insbesondere für die Situation nach der Flutung ein sinnvoller Ansatz, da von einem langzeitlichen Kontakt zwischen kontaminiertem Wasser- und Partikelphase ausgegangen werden kann, eine Gleichgewichtseinstellung also ein realistisches Szenario ist.

Dazu müssen Daten zur Adsorptionsaffinität der PCBs vorliegen (= Neigung an partikuläres Material zu adsorbieren). Bei gleichbleibenden Temperatur- und Druckbedingungen stellt sich zwischen Adsorption und Desorption ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein. Die Adsorptionsaffinität kann vereinfacht mit Verteilungskoeffizienten zwischen organischem Material und wässriger Phase (K_{OC} -Wert), zwischen 1-Oktanol (als universeller Stellvertreter für partikuläres Material) und wässriger Phase (K_{OW} -Wert) oder zwischen dem gesamten partikulären Material und der wässrigen Phase (K_d -Wert) beschrieben werden.

Nach Einstellung eines Phasenverteilungsgleichgewichts kann aus der gemessenen Konzentration des Stoffes in der partikulären Phase (C_s) und der Konzentration des Stoffes in der wässrigen Phase (C_w) der K_d -Wert bestimmt werden:

$$K_d = C_s [\text{ng g}^{-1}] / C_w [\text{ng ml}^{-1}] \quad (\text{z. B. Schwarzenbach et al. 1993})$$

Neben den physikalisch-chemischen Eigenschaften des adsorbierten Stoffes wirken sich die Eigenschaften der partikulären Phase (u. a. Gehalt an organischem Material, Korngröße) maßgeblich auf die Verteilung des Stoffes zwischen partikulärer und wässriger Phase aus.

Für den speziellen Fall von PCB in Grubenwässern existieren keine spezifischen Daten zu Gleichgewichtskonstanten K_d . Daher wurden im Rahmen des Gutachtens an der RWTH-Aachen K_d -Werte für PCB an Stichproben partikulären Materials aus dem Bergwerk Haus Aden/Monopol ermittelt. Es wurden K_d -Werte für die PCB-Kongenere 28, 52, 101, 118, 138, 153 und 180 für zwei Proben partikulären Materials mit stark unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen (TOC-Werte, Korngrößenverteilungen) ermittelt (Informationen zur experimentellen Durchführung s. Anhang). In Tab. 23 sind die erhaltenen Ergebnisse anhand der zwei vorliegenden Proben zusammengestellt. Hier sind den gemessenen Werten auch verwandte, publizierte Daten (Verteilung zwischen Flusswasser und fluviatile Schwebstoffen, Duinker 1986) gegenübergestellt.

Weiterhin wurde durch die Analyse einer ersten 100 L-Wasserprobe aus der Wasserhaltung Victoriadamms überprüft, ob der Gleichgewichtsansatz gültig ist. Hierzu wurden

die Konzentrationen der PCB-Kongenere in der Wasserphase getrennt von der Belastung der Schwebstoff bestimmt und ebenfalls ins Verhältnis gesetzt (Tab. 23).

Weitere Untersuchungen zur Überprüfung dieser ersten Ergebnisse sind geplant.

Tab. 22: Physikalisch-chemische Eigenschaften ausgewählter PCB-Kongenere.

Kongener	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-138	PCB-153	PCB-180
Wasserlöslichkeit [mg/L] bei 20 °C Shiu und Mackay 1986	0,13	0,055	0,012	0,0036	0,0034	0,0012
Log K _{OW} Shiu und Mackay 1986	5,6	5,9	6,4	6,8	6,8	7,2
Log K _d (für Schwebstoffe des Rheins) Duinker 1986	4,3	4,9	5,0	-	-	6,5
Log K _{OC} Becker et al. 2010	4,7 - 5,6	5,0 - 5,9	5,5 - 6,4	5,9 – 6,9	5,9 – 6,9	6,4 – 7,5

Tab. 23: Adsorptionseigenschaften des partikulären Materials

Kongener	K _d -Wert Literatur Duinker, 1986	Verteilungskoeffizient (K _d , experimentell)		Verteilung (gemessen) 100 L-Grubenwasserprobe Victoriadamm
		Probe 18.7 - Förderrichtstrecke kohlehaltig Mittelwert (n = 2)	Probe 18.1 – Pumpensumpf Mittelwert (n = 2)	
PCB-28		2,5x10 ⁶	2,4x10 ⁴	6,6x10 ⁵
PCB-52	5,2x10 ⁴	1,2x10 ⁶	1,8x10 ⁴	4,5x10 ⁵
PCB-101	8,8x10 ⁴	3,1x10 ⁶	5,8x10 ⁴	4,9x10 ⁶
PCB-118		5,3x10 ⁶	1,2x10 ⁵	2,3x10 ⁶
PCB-138		7,6x10 ⁶	2,3x10 ⁵	<4,3x10 ⁶ *
PCB-153		6,3x10 ⁶	2,2x10 ⁵	<2,9x10 ⁶ *
PCB-180	8,6x10 ⁵	1,2x10 ⁷	7,9x10 ⁵	<4,3x10 ⁶ **

* Konzentration Filtrerrückstand < 17 µg/kg TS. Zur Kalkulation wurde die Bestimmungsgrenze genutzt.
 ** Konzentration Filtrerrückstand < 17 µg/kg TS; Konzentration gelöst <0,004 ng/L. Zur Kalkulation wurden die Bestimmungsgrenzen genutzt.

Die ermittelten K_d-Werte geben einen guten Richtwert für die Verteilung der verschiedenen PCB-Kongenere zwischen partikulärer und wässriger Phase nach Einstellung eines Phasenverteilungsgleichgewichts im Grubenwasser. Die ermittelten Werte liegen für das kohlehaltige Material aus der Förderrichtstrecke über und für das Material aus

dem Pumpensumpf unter den ermittelten Werten für die 100 L-Grubenwasserprobe (Tab. 23). Die höheren K_d -Werte für das kohlehaltige Material im Vergleich mit dem Material aus dem Pumpensumpf zeigen, dass die untersuchten PCBs stark an kohlehaltiges Material adsorbiert werden. Aufgrund steigender Lipophilie nimmt mit zunehmender Anzahl der Chloratome im Molekül die Adsorptionsaffinität der PCBs zu. Die für das PCB-Kongener 180 (sieben Chloratome) ermittelten K_d -Werte lagen daher für alle untersuchten Proben um eine Größenordnung höher als die K_d -Werte für das PCB-Kongener 28 (drei Chloratome) (Tab. 23). Diese Ergebnisse sollen durch weitere untertägige Probenahmen in Teil 2 des Gutachtens überprüft werden.

Wichtig ist festzuhalten, dass mit großer Wahrscheinlichkeit eine annähernde Gleichgewichtseinstellung bereits im geförderten Grubenwasser zwischen Schwebstoff und Wasserphase anzunehmen ist. Für die langzeitliche Abschätzung zu Freisetzung und nachfolgender Ausbreitung ist die Verwendung von Gleichgewichtskonstanten also sinnvoll. Dies bedeutet auch, dass die Belastung im Grubenwasser als Folge von PCB Freisetzung in einem stabilen System durch relativ stabile Konzentrationen in den beiden Phasen gekennzeichnet ist

Damit wird die Konzentration in der wässrigen Phase nach jetzigen Erkenntnissen durch die mittlere Konzentration der PCB im partikulären Material determiniert. Das Verteilungsgleichgewicht der PCBs zwischen den Schwebstoffen des Grubenwassers (= partikuläre Phase) und der wässrigen Phase wird wohl nicht durch einen veränderten Schwebstoffgehalt beeinflusst.

11 AUSBREITUNGSPOTENTIAL PCB

11.1 Prozesse der Ausbreitung und des Austrags

Wie in Kapitel 10 (Freisetzungspotential) dargestellt, erfolgt die Freisetzung von PCB parallel in die wässrige und die partikuläre Phase des Grubenwassers. Die weitere Ausbreitung der PCB Kontamination erfolgt dann über das Grubenwasser. Innerhalb des Bergwerks ist von einem ständigen Kontakt zwischen der wässrigen Phase und der partikulären Phase in Schweb aber auch zwischen wässriger Phase und dem partikulären, sedimentierten Material (z. B. Staub) auszugehen. Der letztere Kontakt ist in gefluteten Bereichen permanent, im Falle nicht gefluteter Bereiche nur partiell anzunehmen. Eine Ausbreitung findet durch drei Prozesse statt: Advektiver und diffusiver Transport gelöst in der Wasserphase, sowie advektiver Transport am Schwebstoff.

Ein Austrag der PCB-Belastung aus dem Bergwerk heraus erfolgt – solange das Grubenwasser auf einem Niveau von -670 mNHN in der ZWH gehalten wird – ausschließlich über das gehobene Grubenwasser. Für eine erste quantitative Abschätzung dieses Austrags wären folgende Parameter relevant:

- Volumen gehobenes Grubenwasser
- Schwebstoffgehalt
- Konzentrationen der PCB in wässriger Phase
- Konzentrationen der PCB partikelgebunden
- Partikelgröße
- Strömungsgeschwindigkeiten in offenen Strecken (Röhrensystem)

Die Konzentrationen, sowohl gelöst im Wasser als auch partikelgebunden, hängen primär von der PCB-Gesamtbelastung ab, mit der das System in Kontakt steht. Solange die PCB-Gesamtbelastung gleich bleibt, stellt sich auf Grundlage des spezifischen Verteilungskoeffizienten (K_d) ein Gleichgewicht zwischen den PCB-Belastungen der wässrigen und der partikulären Phase ein. Diese Gleichgewichtsverteilung betrachtet stets das Verhältnis der Konzentrationen von 1 Liter wässriger Phase zu 1 Kilogramm partikulärem Material.

Schwankungen im Austrag von PCB über gehobenes Grubenwasser werden bei konstantem Grubenwasserspiegel maßgeblich über den Schwebstoffgehalt beeinflusst. Dies zeigt exemplarisch Abbildung 30. Den in Abbildung 30 dargestellten Szenarien zum jährlichen Austrag von PCB über das gehobene Grubenwasser liegt die gleiche Förderrate zugrunde. Außerdem liegen dem ersten Szenario (grün hinterlegt) tatsächlich ermittelte PCB-Konzentrationen (100 L-Probe) zugrunde. Den orange bzw. grau hinterlegten Szenarien liegen verdoppelte bzw. vervierfachte Konzentrationen der 100 L-Probe zugrunde. Anhand der Fördermenge des gehobenen Grubenwassers und der PCB-Konzentration für die wässrige Phase lässt sich nun der jährliche PCB-Austrag über die wässrige Phase (100 L-Probe: 19 g/a) ermitteln. Um außerdem den PCB-Austrag über die partikuläre Phase zu bestimmen, wurde der Schwebstoffgehalt (100 L-Probe: 11 mg/L) bestimmt. Anhand der Fördermenge, der PCB-Konzentrationen am

Schweb und dem Schwebstoffgehalt ergibt sich ein jährlicher Austrag von 125 g/a für die 100 L-Probe. Drei weitere jährliche Austräge wurden unter Verwendung derselben Konzentrationen, aber mit variierenden Schwebstoffgehalten (2,5 mg/L, 5 mg/L und 20 mg/L) ermittelt. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, hat ein variierender Schwebstoffgehalt keinen Einfluss auf die ausgetragene Menge gelöst vorliegender PCB. Der Schwebstoffgehalt muss bei der Abschätzung der Menge der über das Grubenwasser freigesetzten ungelöst vorliegenden PCB berücksichtigt werden.

Da diese Abbildung nur auf einem realen Messwert beruht, sollten zur Absicherung der Ergebnisse weitere Proben aus dem Grubenwasser genommen werden.

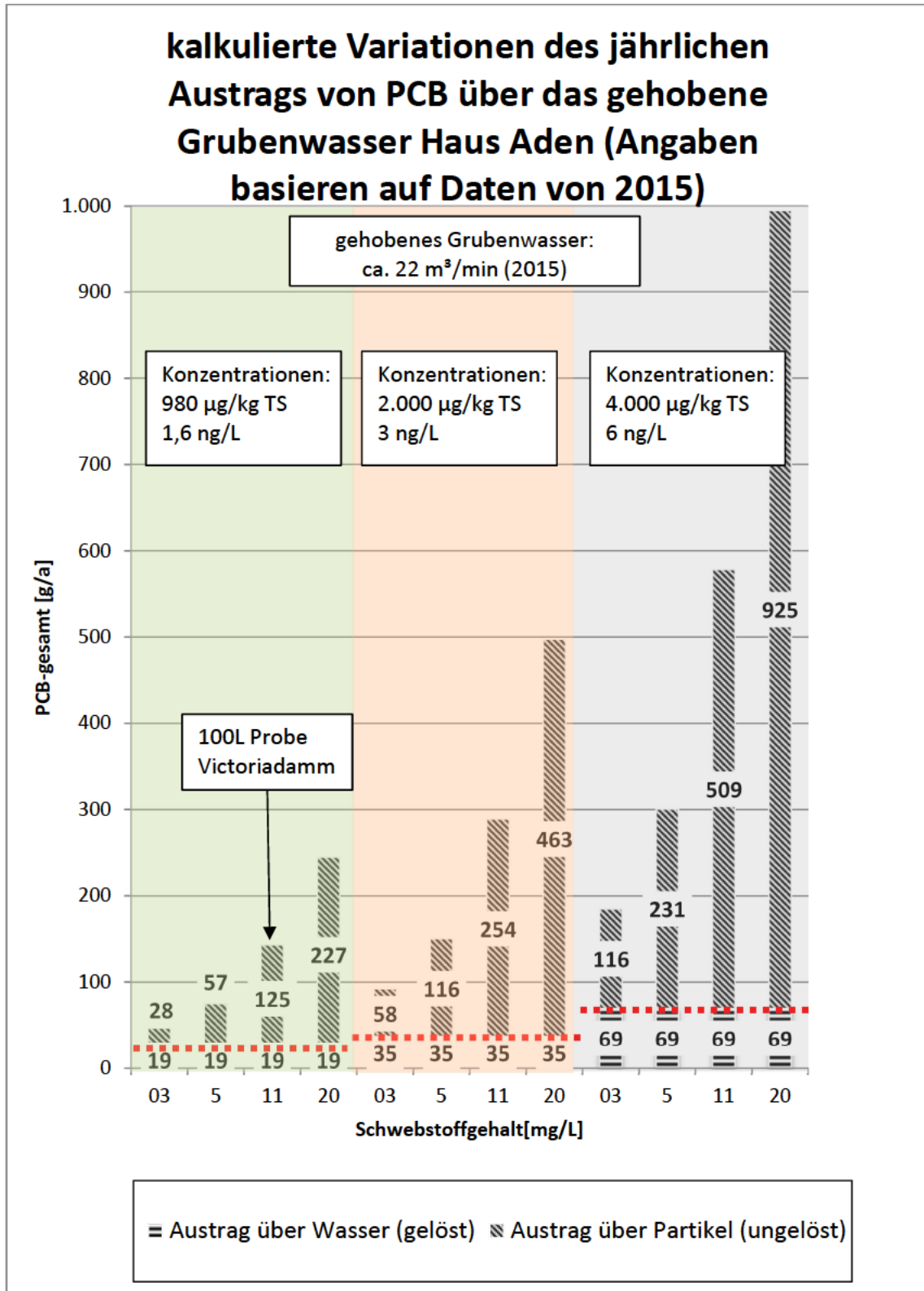


Abb. 30: Ergebnisse der 100 L-Grubenwasserprobe und Szenarios für jährliche Austragsmengen bei sich ändernden Schwebstoffgehalten und PCB-Konzentrationen (wässrige Phase und partikulär-gebunden)

11.1.1 Partikelgröße

Exakte Daten zur Partikelgrößenzusammensetzung des partikulären Materials unter Tage sind nicht vorhanden. Die Zusammensetzung der Partikel kann grob über die Proben aus der Beprobung vom 18.02.2016 unter Tage Haus Aden/Schacht Grimberg abgeschätzt werden (s. Abschn. 4.2.1). Die Daten zeigen eine relativ große Varianz und somit Inhomogenität des partikulären Materials (z. B. schwanken die Anteile < 63 µm von 19 % bis 57 %). Für alle Proben wurden jedoch immer nennenswerte Anteile feinkörnigen Materials bestimmt. Diese feinkörnige Fraktion ist in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit mobilisierbar. Dieser Zusammenhang ist im Hjulström-Diagramm gekennzeichnet (s. Abschn. 6.1.2). Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass es eine bevorzugte Assoziation von organischen, insbesondere lipophilen Schadstoffen an die feinkörnige Fraktion (< 63 µm) gibt (für PCB siehe dazu z. B. Busch et al. 2007).

11.1.2 Strömungsgeschwindigkeit und Erosion, Transport und Sedimentation von Partikeln

Die Abb. 31 zeigt in dem sog. Hjulström Diagramm den nicht linearen Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeiten und Partikelgröße hinsichtlich Erosion, Transport und Sedimentation von Partikeln. Sehr kleine Partikel sind schwerer zu erodieren, weil bei einmal sedimentierten Partikeln wie Tonplättchen Adhäsionskräfte wirken und nicht nur – wie bei kleinen Sandkörnern – die Schwerkraft überwunden werden muss.

Das Erosionsoptimum liegt bei einer Korngröße zwischen 0,1 und 0,5 mm. Bei größeren Korndurchmessern kommt zum Tragen, dass das Gewicht in der 3. Potenz des Durchmessers zunimmt und Körner dadurch sehr schnell schwerer werden. Die für die Ausbreitung der PCB kritischen Partikel haben eine Größe < 63 µm (rechter Bereich des roten Rahmens).

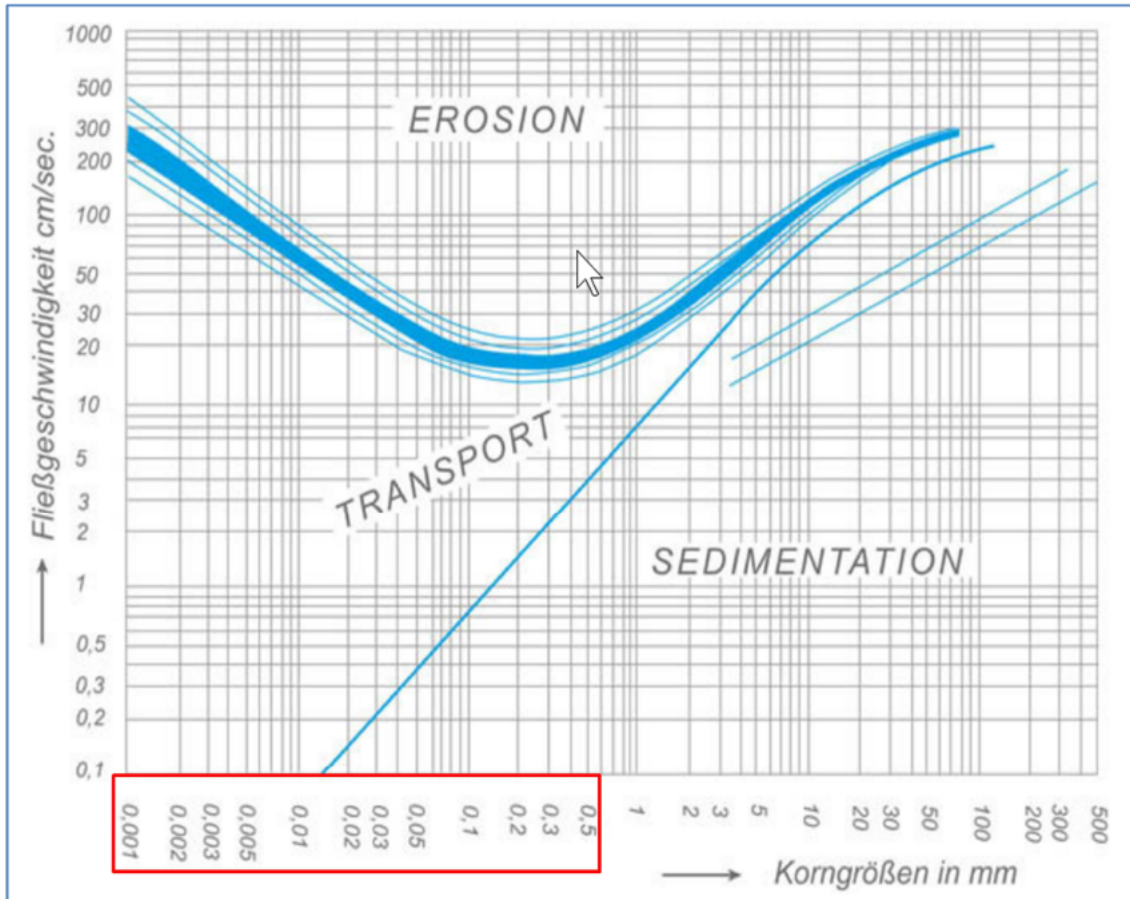


Abb. 31: Hjulström Diagramm (nach Louis und Fischer 1979)

11.1.3 Fließgeschwindigkeiten in Röhren

Grundlagen

Die Fließgeschwindigkeit in den vollständig wassergefüllten Röhren nach einer Flutung sind zunächst von der Durchflussmenge und dem Querschnitt abhängig und wird mit der Formel [1] – zunächst ohne die Rauigkeit zu berücksichtigen – berechnet:

$$\text{Formel [1]:} \quad v = \frac{Q}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{2,8 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{\pi \cdot \left(\frac{3\text{m}}{2}\right)^2} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,67 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Beispiel mit: 2,8 m³/min, Durchmesser 3 m. Dies entspricht in etwa dem Hauptwasserweg aus dem Einzugsgebiet Ost.

Bei diesen geringen Fließgeschwindigkeiten ist von einem laminaren Strömen auszugehen. Die Strömungseigenschaften eines Fluids können mithilfe der dimensionslosen Reynolds-Zahl beschrieben werden. Dabei findet der Übergang von einer laminaren Strömung zu turbulenten bei einer Reynoldszahl von ~ 2.300 statt. Aus der Formel [2]

ergibt sich für die bestimmten Bedingungen ein Reynoldszahl von 10, was auf eine sehr stabile laminare Strömung deutet. Eine turbulente Strömung ist bei diesem Durchmesser ab ungefähr 550 m³/min (9 m³/s) zu erwarten, was fast das 200-fache der angenommenen Fließmenge wäre.

Formel [2]:
$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

Das Ergebnis der Formel [1] ist die mittlere Fließgeschwindigkeit. Diese gilt unter der Annahme, dass die Fließgeschwindigkeit über den Querschnitt des Rohres gleich verteilt ist. Die tatsächliche Verteilung bei der laminaren Strömung hat die maximale Fließgeschwindigkeit in der Rohrmitte und geht gegen Null an der Rohrwand (Abb. 32).

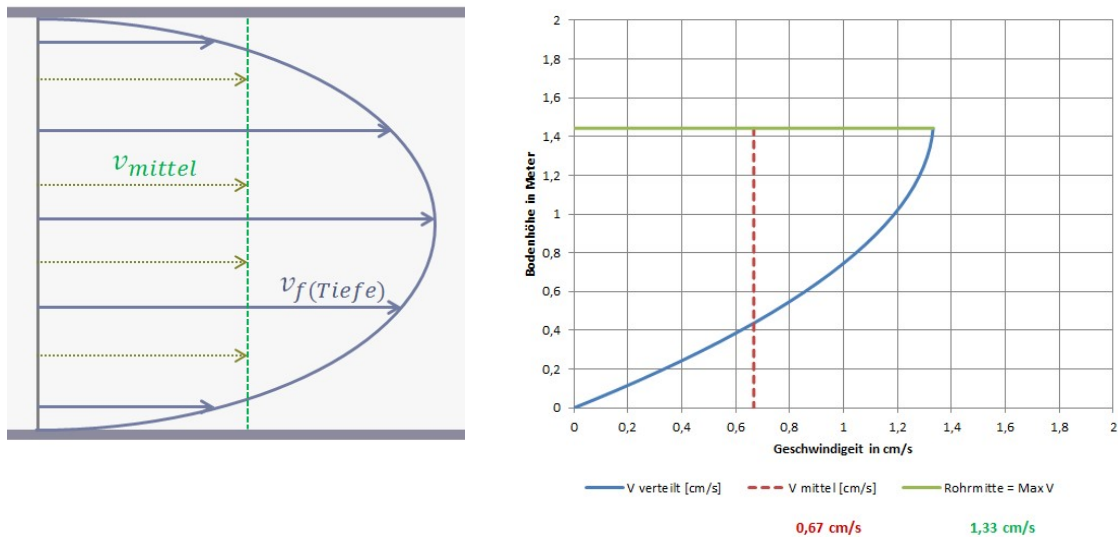


Abb. 32: Verteilung der Fließgeschwindigkeiten in einer Röhre und berechnet für das Fallbeispiel (ahu AG)

Bei diesem Beispiel ist in ca. 10 cm Entfernung von der Rohrwand die Fließgeschwindigkeiten ca. 4-mal geringer als der mit der Formel [1] berechnete Mittelwert und beträgt bei dem oben gewählten Beispiel 0,16 cm/s. In einer 5 cm mächtigen Grenzschicht ist die Strömungsgeschwindigkeit ca. 9-mal geringer als der mit der Formel [1] berechnete Mittelwert und beträgt bei dem gewählten Beispiel 0,075 cm/s.

In der Realität (Zanke 2013) und vor allem in Bergwerken existieren keine glatten Röhren. Dies bedeutet, dass der Unterschied zwischen dem berechneten Mittelwert und der Strömung in der Nähe der Sohle noch größer ist und dass mobilisierte Partikel nicht sehr weit transportiert werden können, wenn sie im Grenzbereich zum Transport liegen. Diese beiden Aspekte werden im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die Tab. 24 zeigt typische Volumenströme für drei Querschnitte im Röhrensystem (A = großer Querschnitt, B = mittlere Querschnitt, C = kleiner Querschnitt) und verschiedene Volumenströme (_g = großer Volumenstrom, _m = mittlerer Volumenstrom, _k = kleiner Volumenstrom). Der ungünstigste Fall sind große Fließmengen und kleine Querschnitte (C_g in rot dargestellt).

Tab. 24: Volumenströme Strömung und Röhrenquerschnitte

Maximale Volumenströme	Volumenstrom m^3/min	Fall	Querschnittsfläche m^2
EZG Victoriadamm	22	A _g	20
		B _g	15
		C _g	10
Mittelwert	ca. 10	A _m	20
		B _m	15
		C _m	10
EZG Ost	2,8	A _k	20
		B _k	15
		C _k	10

Für diese Fälle gemäß Tab. 24 wurden in Tab. 25 die mittleren Fließgeschwindigkeiten für Röhren sowie die Geschwindigkeiten in den Grenzbereichen berechnet. Die Grenzbereiche wurden mit 5 cm und mit 10 cm gewählt, weil das auch ungefähr der Höhe des Bodenreliefs einer Strecke entspricht. Der ungünstigste Fall sind große Fließmengen und kleine Querschnitte (C_g in rot dargestellt).

Tab. 25: Fließgeschwindigkeiten (v) in Röhren

Fall	Mittlere v cm/s	v in Bodenähe (10 cm)	v in Bodenähe (5 cm)
A _g	1,83	0,28	0,14
A _m	0,83	0,129	0,065
A _k	0,23	0,036	0,018
B _g	2,44	0,437	0,221
B _m	1,11	0,199	0,101
B _k	0,47	0,1	0,05
C _g	3,67	0,799	0,405
C _m	1,67	0,363	0,184
C _k	0,47	0,102	0,052

Die Abb. 33 zeigt, für einen kritischen Fall (kleiner Querschnitt und großen Durchflüsse) die mittlere Fließgeschwindigkeiten (in der Mitte einer Röhre, relevant für den Transport) und die Fließgeschwindigkeiten in Bodennähe, die für die Erosion relevant sind.

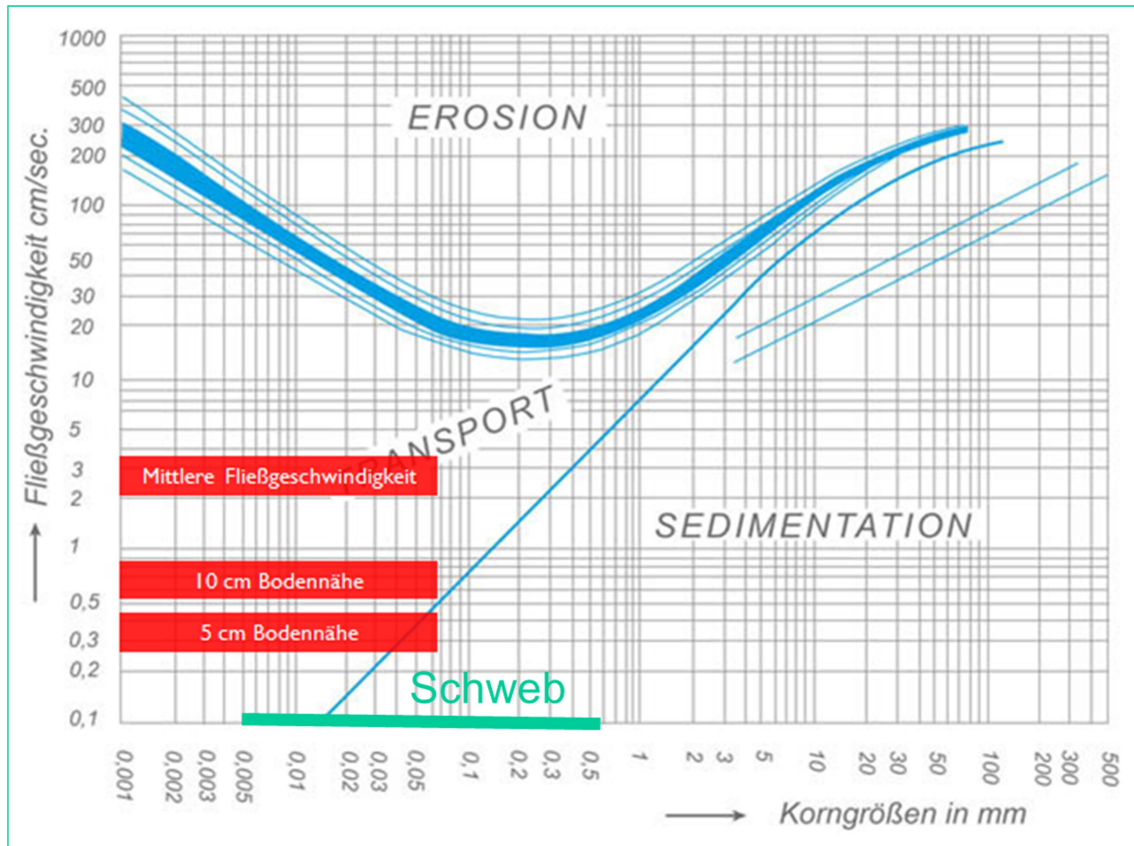


Abb. 33: Fließgeschwindigkeiten für den Beispielfall (Worst Case)

Der rote Bereich stellt die Verbreitung der Korngrößen $< 63 \mu\text{m}$ bis $1 \mu\text{m}$ dar. Die bodennahen Geschwindigkeiten sind nochmal um den Faktor 5 – 10 geringer. Sie zeigt, dass alle Fließgeschwindigkeiten außerhalb des Erosionsfensters liegen. Damit ist eine Erosion von Bodenpartikel $< 63 \mu\text{m}$ in der Regel ausgeschlossen.

Für den Transport sind nicht die Fließgeschwindigkeiten in Bodennähe, sondern in der Mitte der Röhre maßgeblich. Hier liegen die Geschwindigkeiten deutlich im Bereich des Transportes. Eine Sedimentation würde erst bei Partikeln $> 5 - 6 \mu\text{m}$ bedeutsam werden.

Dies bedeutet zusammenfassend:

- Es ist von einer stabilen laminaren Strömung in den Röhren auszugehen.
- In Bodennähe einer rauen Röhre (wie in BW anzunehmen) ist die Fließgeschwindigkeit deutlich kleiner als gemäß der Formel für Fließgeschwindigkeiten berechnet wird (über die Formel wird eine mittlere Fließgeschwindigkeit berechnet). Damit wird von einem zu hohen Erosionspotential in Bodennähe ausgegangen (ungünstige Annahme).
- In der Mitte einer Röhre ist die Fließgeschwindigkeit deutlich höher als gemäß der Formeln berechnet wird. Damit wird von einem zu geringen Sedimentationspotential ausgegangen (ungünstige Annahme).

- In Abb. 33 wird für einen kritischen Fall (große Fließmengen ($22 \text{ m}^3/\text{min}$) und kleiner Querschnitte (10 m^2)) das Erosions- und das Sedimentationspotential betrachtet. Der grüne Balken zeigt die Hauptkorngrößen für den Schweb (0,54 bis $63 \mu\text{m}$). Die Geschwindigkeiten in Bodennähe liegen ca. um den Faktor 100 unterhalb des Erosionsfensters, das ab ca. 15 cm/s beginnt. Bei der Fließgeschwindigkeit in der Mitte der Röhre beginnt gerade das Sedimentationsfenster. Partikel kleiner als $0,4 \text{ mm}$ ($40 \mu\text{m}$) werden nicht mehr sedimentiert.
- Kleine Partikel im Schwebzustand werden in der Regel im wassergefüllten Röhrensystem nicht mehr sedimentiert. Auch nach den langen Beruhigungsstrecken hinter dem Victoriadamm enthält das Grubenwasser noch ca. 11 mg/L Schweb (Messung Victoriadamm, bzw. $4 - 7 \text{ mg/L}$ (LANUV Sondermessprogramm 2015)).
- Die angenommenen Strömungsgeschwindigkeiten in wassergefüllten Röhren reichen in der Regel nicht aus, um neue Partikel zu erodieren und diese in einen Schwebzustand zu transportieren.

Somit verbleiben als Schwebstoffquellen:

- Überleitungen aus anderen Bergwerken mit einer hohen Reliefenergie wie derzeit noch im Einzugsgebiet Victoriadamm.
- Zuläufe z. T. über Gerinne aus höherliegenden, noch nicht gefluteten Abbaubereichen aus der PCB-Zeit.
- Singuläre Ereignisse wie sich lösende Steine aus der Firste und/ oder treibende Holzstücke, Erschütterungen, etc. in wassergefüllten Strecken.

Eine Berechnung der zukünftigen Entwicklung der PCB-Konzentrationen bzw. -frachten aufgrund der Schwebstoffgehalte im gehobenen Grubenwasser nach einem Grubenwasseranstieg ist nicht möglich, da viele grundlegende Daten zur Kalkulation der Ausbreitung und zum Austrag nicht vorhanden sind.

11.2 Datengrundlage zur Abschätzung des PCB-Austrags

Eine Berechnung der Entwicklung der PCB-Konzentrationen bzw. -frachten und des Schwebstoffgehalts im gehobenen Grubenwasser nach einem Grubenwasseranstieg ist nicht möglich, da viele grundlegende Daten zur Kalkulation der Ausbreitung und zum Austrag nicht vorhanden sind.

Verfügbar sind quantitative Daten zur PCB-Belastung im Schwebstoff des gehobenen Grubenwassers, die Menge des Grubenwassers und die darin enthaltene Schwebstoffmenge. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Im Abschnitt 7.5 ist dargelegt, dass keine belastbaren, repräsentativen Daten zur Belastungsverteilung der im Bergwerksgebäude dispers verteilten PCB zur Belastungshöhe im partikulären Material der Abbaubereiche (Alter Mann) und offenen Strecken für das Bergwerk Haus Aden/Monopol vorliegen.

11.2.1 Schwebstoffgehalte

Nachfolgend sind alle den Gutachtern zur Verfügung gestellten und im Rahmen des Gutachtens verwendeten Daten zur Schwebstofffracht für das Bergwerk Haus Aden / Monopol zusammengefasst. In Tab. 26 sind alle Daten untertägiger Schwebstoffmessungen im **aktiven** Bergwerk Haus Aden/ Monopol zusammenfassend aufgelistet. Die Gehalte sind breit gestreut und liegen teils unterhalb der Nachweisgrenze von < 5 mg/L und erreichen bis zu 9.400 mg/L. Die ebenfalls angegebenen Medianwerte (13 – 103 mg/L) liegen deutlich unterhalb der maximal gemessenen Schwebstoffkonzentrationen und zeigen, dass besonders hohe Werte nur in vereinzelt Messungen auftreten.

Tab. 26: Untertägige Schwebstoffbestimmungen der RAG Ruhranalytik (1993-1998) im aktiven Bergwerk Haus Aden / Monopol. Die Probenahmetechnik ist nicht bekannt.

Jahr	Strecke	Anzahl der Proben	Schwebstoffgehalt [mg/L]	Median Schwebstoffgehalt [mg/L]
1996	Grimberg 1 ¹	2	13-102	-
1993-1994	Grimberg 2 ²	9	<5 - 3.336	13
1995	Grimberg 16 ³	25	<5 - 9.400	50
1995	Grimberg 17 ⁴	20	<5-1.380	88
1996-1998	Grimberg 31 ⁵	42	<5-1.796	103

¹ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 1 (1995)

² Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 2 (1994)

³ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 16 (1995)

⁴ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 17 (1995)

⁵ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 31 (1998)

Gemäß Gutachten „Mobilisations- und Transportverhalten von PCB aus dem Schotterbett alter Streckenauffahrungen“) der DMT aus dem Jahr 2010 sind die hohen Schwebstoffgehalte auf den laufenden Bergwerksbetrieb zurückzuführen. Nach Außerbetriebnahme ist mit einem Rückgang der im gehobenen Grubenwasser enthaltenen Schwebstoffkonzentration zu rechnen.

In Tab. 27 und Abb. 34 sind alle Messergebnisse des vom LANUV 2008 initiierten Grubenwassermonitorings, des vom LANUV initiierten Sonderuntersuchungsprogramms sowie aller im Rahmen dieses Gutachtens veranlassten Sonderbeprobungen dargestellt. Diese Werte wurden in den letzten acht Jahren (inaktives Bergwerk mit stationärem Pumpenbetrieb) gemessen. Daher repräsentieren diese Messungen den Schwebstoffaustrag im jetzigen Betriebszustand aus dem Einzugsgebiet Victoriadam und wurden deshalb als Datengrundlage für die Kalkulation der partikelassoziierten PCB-Austräge in den folgenden Kapiteln genutzt.

Tab. 27: Bestimmung von Schwebstofffrachten in gehobenen Grubenwässern des stillgelegten Bergwerks Haus Aden/Monopol (2008-2016).

Jahr	Labor	Probenah- mevolumen	Anzahl der Proben	Schwebstoff- konzentration [mg/L]	Messprogramm
2008- 2014	RAG Ruhranalytik ¹	10 L	44	< 1–21 Mittelwert=7	Grubenwassermonitoring LANUV*
2013	BR A ²	10 L	k.A.	5	Sonderuntersuchungs- programm Bezirksregie- rung Arnsberg 2013
2015	RAG Ruhranalytik ¹	10 L	29	2,9 – 7,9 Mittelwert=4	LANUV Sondermess- programm 2015
2015	RAG Ruhranalytik ¹	70 L	1	3,6	LANUV Sondermess- programm 2015
2015	LANUV	Durchlauf- zentrifuge	8	1 – 7	LANUV Sondermess- programm 2015
2015	BR A ²	10 L	9	3,4	LANUV Sondermess- programm 2015
2015	BR A ²	50 L	1	4	LANUV Sondermess- programm 2015
2016	LEK ³ / UCL ⁴	100 L	1	11	Einzugsgebiet Victoriadam

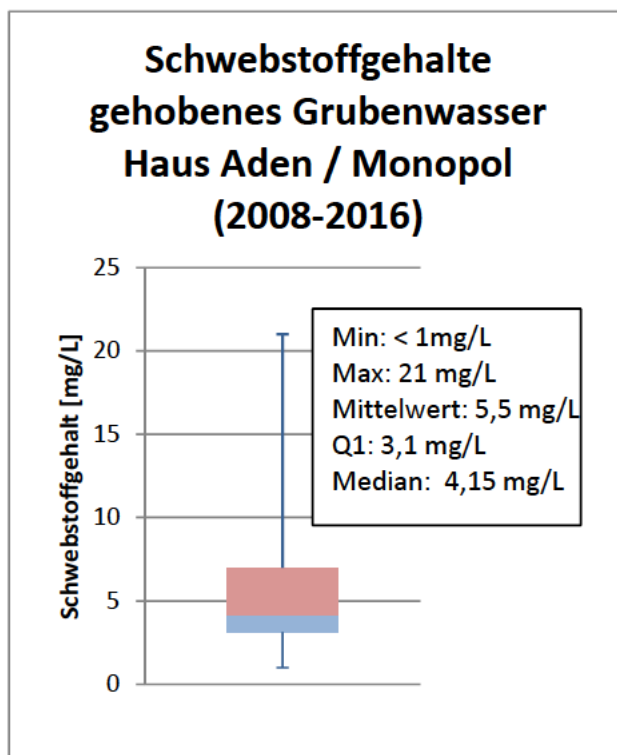


Abb. 34: Boxplot aller aufgeführten Schwebstoffgehalte im gehobenen Grubenwasser des Bergwerks Haus Aden/Monopol von 2008 – 2016

11.2.2 PCB Konzentrationen

Nachfolgend sind alle im Rahmen des Gutachtens ausgewerteten PCB-Analysen an Grubenwasserschwebstoff bzw. im Grubenwasser des Pumpstandortes Haus Aden/ Monopol zusammengefasst.

In Tab. 28 sind die Daten zur PCB-Belastung des Wassers aus untertägigen Grubenwasserbeprobungen aufgelistet. Für die in den 1990er Jahren durchgeführten Untersuchungen ist unklar, ob nur die Wasserphase (gelöste Menge PCB) oder ob die Wasserphase einschließlich des Schwebstoffs (also ohne Filtration) untersucht wurde.

Tab. 28: Daten zur untertägigen Grubenwasserbeprobung auf PCB

Jahr	Strecke	BW aktiv/ inaktiv	Anzahl der Proben	Beprobung	PCB gesamt nach LAGA
1996	Grimberg 1 ¹	aktiv	2	Grubenwasser*	<0,05 [µg/L]
1993-1994	Grimberg 2 ²	aktiv	9	Grubenwasser*	≤0,05 [µg/L]
1995	Grimberg 16 ³	aktiv	25	Grubenwasser*	<0,05 – 0,1 [µg/L]
1995	Grimberg 17 ⁴	aktiv	20	Grubenwasser*	<0,05 – 0,15 [µg/L]
1996-1998	Grimberg 31 ⁵	aktiv	42	Grubenwasser*	<0,05 – 0,85 [µg/L]
2016	Grimberg 2 ⁶	inaktiv	4	Schwebstoff im Grubenwasser	4,8 – 2.150 [µg/kg TS]

¹ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 1 (1995)

² Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 2 (1994)

³ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 16 (1995)

⁴ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 17 (1995)

⁵ Quelle: RAG Abschlussbericht Grimberg 31 (1998)

⁶ Quelle: siehe Tab. 17

* unklar ob gefilterte oder ungefilterte Probe

Seit 2010 wurde der Schwebstoff des gehobenen Grubenwassers von Pumpstandort Haus Aden/Monopol im Zuge zweier Sondermessprogramme (Bezirksregierung Arnberg, LANUV) 71 Mal beprobt. Knapp 85 % der Beprobungen ergaben Konzentrationen unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Die Nachweisgrenzen reichten bemerkenswerterweise von < 1 µg/kg bis < 100 µg/kg. Aufgrund zum Teil sehr hoher Bestimmungsgrenzen sind die vorliegenden Daten nur eingeschränkt oder gar nicht aussagekräftig.

In den übrigen Untersuchungen wurden PCB-Konzentrationen (PCB gesamt nach LAGA) von 165 – 1.102 µg/kg TS nachgewiesen (Tab. 30). Die zeitlich eng durchgeführte Beprobung in 2015 (März – August, 9 Messungen) ergab eine relativ geringe Varianz der PCB-Gehalte von ca. 325 bis 1.100 µg/kg.

In Tab. 31 sind die Ergebnisse der Grubenwasserprobe (gefilterte Wasserphase) von der Beprobung vom 18.02.2016) im Rahmen dieses Gutachtens dargestellt. **Diese**

Daten sind gemäß Kenntnisstand der Gutachter die einzigen gesicherten Informationen zu PCB-Konzentrationen gelöst⁶ in der Wasserphase. Sie zeigen die aktuelle PCB-Belastung der Wasserphase im gehobenen Grubenwasser des Bergwerks Haus Aden/Monopol. Dabei liegen die Konzentrationen einzelner PCB Leitkongenere (Bestimmungsgrenze < 4 µg/L) im Bereich von <0,004 bis 0,167 ng/L.

Tab. 29: Beprobungen von am Pumpstandort Haus Aden/Monopol gehobenem Grubenwasserschwebstoffen. Alle hier aufgelisteten Beprobungen ergaben für alle Proben PCB-Konzentrationen unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen.

Jahr	Labor / Behörde	Probenahmevolumen	Anzahl der Proben	PCB NWG
2010-2014	BR A		18	< 1 µg/kg
2011	BR A		1	< 10 µg/kg
2013	BR A	10 L	1	< 0,01 µg/L*
2015	BR A	10 L	1	< 10 µg/kg
2015	BR A	10 L	9	< 100 µg/kg
2015	RAG Ruhranalytik	10 L	29	< 6 – < 16 µg/kg
2015	RAG Ruhranalytik	70 L	1	< 2 µg/kg

* unklar ob gefilterte oder ungefilterte Probe

Tab. 30: Schwebstoffuntersuchungen an Grubenwasserproben mit Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze in µg/kg Trockengewicht

Datum	Labor	Probenahme-technik	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-138	PCB-153	PCB-180	Σ Indikator PCBs	PCB Gesamt nach LAGA
08.09.2010	BR A	k.A	< 1	< 1	11	11	9	2	33	165
18.02.2016	UCL	100 L	110	61	25	< 17	< 17	< 17	196	980
16.03.2015	RAG	10 L	18	20	10	6	6	5	65	325
13.05.2015	LANUV	Zentrifuge	44	51	13	< 5	< 7,5	< 2	108	540
24.08.2015	LANUV	Zentrifuge	28	32	5,2	< 2,5	< 2,3	< 2,3	65,2	326
25.08.2015	LANUV	Zentrifuge	36	47	8,2	< 2,8	< 2,8	< 2,8	91,2	456
25./26.08.2015	LANUV	Zentrifuge	42	51	9,6	2,1	2	< 1	106,7	533,5
26.08.2015	LANUV	Zentrifuge	58	86	22	4,8	< 4	< 4	170,8	854
26./27.08.2015	LANUV	Zentrifuge	57	88	23	4,4	3,6	1,2	177,2	886
27./28.08.2015	LANUV	Zentrifuge	64	84	26	5,3	4,7	1,4	185,4	927
28.08.2015	LANUV	Zentrifuge	72	110	29	5,3	4,1	< 4	220,4	1102

k.A. – keine Angaben

⁶ Unter dem Begriff „gelöst“ wird per Definition auch der Feinschweb < 0,45 µm verstanden.

Tab. 31: PCB-Konzentrationen (gelöster Anteil) in der 100 L-Grubenwasserprobe in ng/L

Datum	18.02.2016
Labor	LEK
Probenahmetechnik	100 L
	[ng/L]
PCB-28	0,167
PCB-52	0,137
PCB-101	0,005
PCB-138	0,004
PCB-153	0,006
PCB-180	<0,004
∑ Indikator PCBs	0,319
PCB Gesamt nach LAGA	1,6

* Bestimmungsgrenze: 0,004 ng/L

11.2.3 Vorgehen zur Kalkulation des Austrags im IST-Zustand

Auf Grundlage der gemessenen PCB-Konzentrationen im Schwebstoff und in der Wasserphase wie in der 100-L-Grubenwasserprobe (vom 18.02.2016) kann zukünftig die Gesamtmenge an PCB bezogen auf das Grubenwasservolumen (Summe gelöster und partikulär-gebundener Anteile) und in Abhängigkeit von der Schwebstoffkonzentration abgeschätzt werden. Nach einer vorläufigen Abschätzung bezogen auf die z. T. nur einmalig erhobenen Werte macht der schwebstoffgebundene PCB-Anteil ca. 90% und der PCB-Anteil in der Wasserphase ca. 10% aus.

Schwankungen im Austrag von PCB über gehobenes Grubenwasser werden maßgeblich über den Schwebstoffgehalt in selbigem Grubenwasser beeinflusst. Die Schwankungen in den bisherigen Messungen im Schwebstoffgehalt zeigt die Abb. 34 und die Auswirkung auf die Frachtberechnung exemplarisch die Abb. 35. Die Jahresfracht ergibt sich aus den Schwebstoffgehalten (mg/L, Tab. 27) und den Schwebstoffbelastungen ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TS, Tab. 30) sowie dem Volumen des gehobenen Grubenwassers ($22 \text{ m}^3/\text{min}$) und den PCB Konzentrationen in der wässrigen Phase (Kd-Wert 100 L-Probe). Anhand der für die 100 L-Grubenwasserprobe bestimmten Konzentrationen der PCBs in der Wasserphase und in der Schwebstoffphase (grün hinterlegt) sowie zwei weiterer, angenommener Szenarios mit erhöhten PCB-Konzentrationen wurden Austragsvariabilitäten in Kapitel 11.1 und Abbildung 30 dargestellt. **Wichtig ist hierbei, dass ein variierender Schwebstoffgehalt keinen Einfluss auf die ausgetragene Menge gelöst vorliegender PCB hat.** Der Schwebstoffgehalt muss aber bei der Abschätzung der Menge der über das Grubenwasser freigesetzten ungelöst vorliegenden PCB berücksichtigt werden. Je höher der Schwebstoffgehalt, desto höher die Menge kontaminierter Partikel, die freigesetzt werden können.

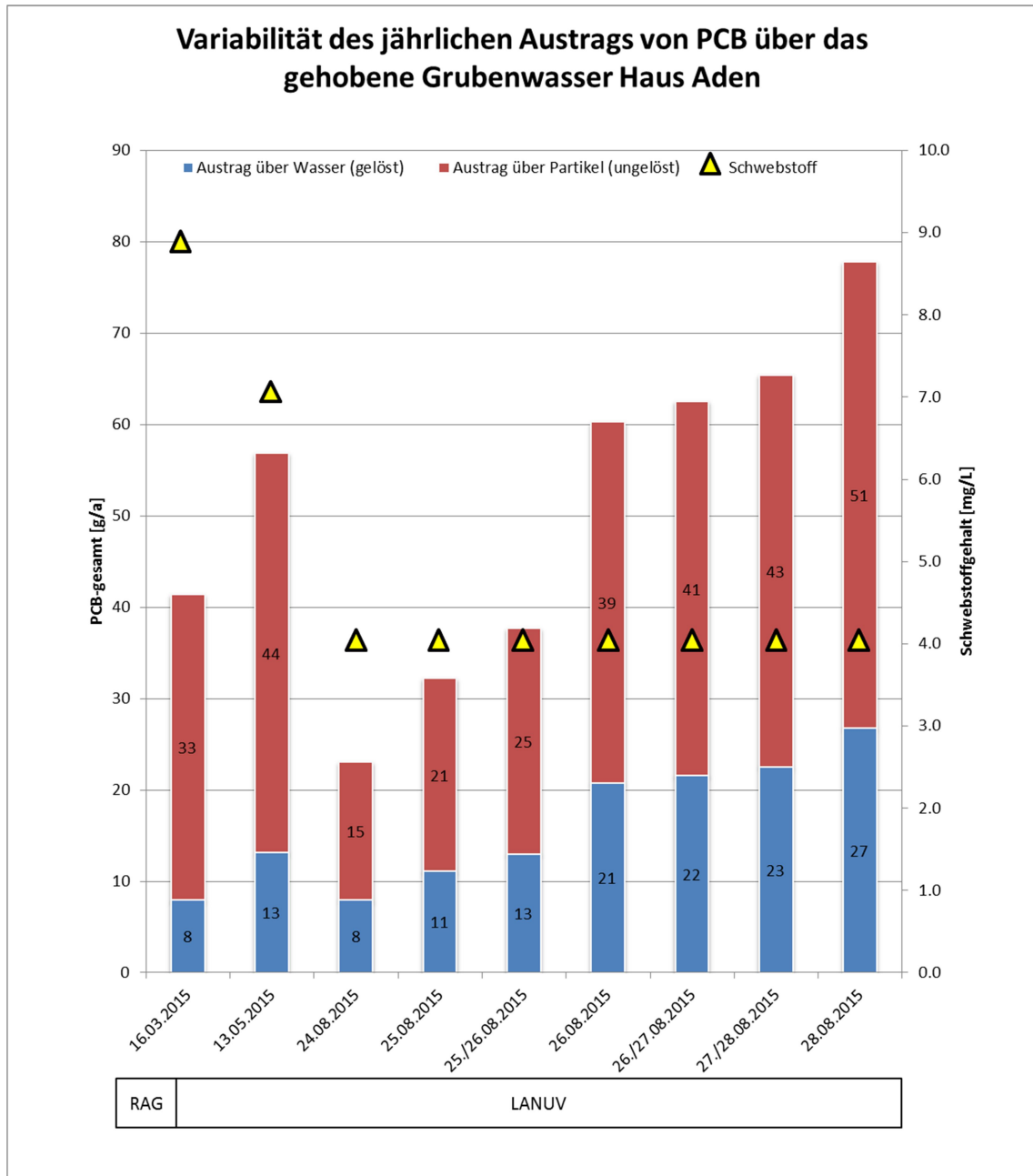


Abb. 35: Varianz des jährlichen Austrags von PCB in [g] aus dem Bergwerk Haus Aden/Monopol auf Grundlage von im Jahr 2015 genommenen Proben. Der Anteil an gelöstem PCB wurde berechnet anhand der Kd-Werte, die aus der Analyse der 100 L-Grubenwasserprobe ermittelt wurden.

11.3 Qualitative Abschätzung des PCB-Austrags im gehobenen Grubenwasser während und nach der Grubenwasseranhebung

Aus Sicht der Gutachter sind folgende Stadien für eine Abschätzung des PCB-Austrags über das Grubenwasser während und nach der Grubenwasseranhebung relevant:

- IST Zustand
- Flutungsphase ohne Pumpen
- Inbetriebnahme der Pumpen im geflutetem BW
- Dauerhafter Pumpenbetrieb

11.3.1 IST-Zustand

In dieser Phase finden bereits Freisetzung und Ausbreitung (wie in 10 und Abschnitt 11.1 beschrieben) statt. An der Ausbreitung nehmen die einzelnen Bereiche in unterschiedlichem Maße teil. Weiterhin offene Strecken in gefluteten Bereichen können höhere Fließgeschwindigkeiten haben und eine PCB-Ausbreitung liegt dominant durch advektiven Transport in gelöster und partikel-gebundener Form vor (Abschn. 11.1). Im Alten Mann findet kein relevanter advektiver Transport statt. Eine Ausbreitung der PCB-Belastung findet hier also dominant über die Diffusion in der Wasserphase und nicht partikel-assoziiert oder gelöst in Form von Advektion statt. In den weiterhin "trocken" liegenden Bereichen des Grubengebäudes hat abgesehen vom Sickerwasser noch keine Freisetzung stattgefunden. In Bereichen von lokalen Gerinnen – wie in den Übertrittsstellen zwischen den einzelnen Bergwerken – ist von einer Freisetzung und Ausbreitung über die Erosion von PCB-kontaminierten Bodenpartikeln auszugehen. Der mengenmäßige Anteil der remobilisierten Partikel ist aber vernachlässigbar im Vergleich zum gesamten partikulären Material in den ehemaligen Abbaubereichen – seien sie geflutet oder noch trocken. Es ist also von einer dominant heterogenen/ dispersen Verteilung der eingesetzten PCBs im partikulären, immobilen Material auszugehen, wovon der überwiegende Teil (ca. < 90 %) im Alten Mann vermutet wird.

11.3.2 Flutungsphase, ohne Pumpbetrieb in der zentralen Wasserhaltung Haus Aden

Die Flutung des Grubengebäudes in der Wasserprovinz Haus Aden wird mit 100 m – 150 m Anstieg pro Jahr erfolgen (max. 0,0004 cm/s). Durch die vertikalen Geschwindigkeiten ist keine Erosion von Feinmaterial in den offenen Strecken wahrscheinlich (s. Abschn. 11.1.3).

Allerdings kann es während dieser Phase temporär auch zu höheren Fließgeschwindigkeiten (und Erosion) in geneigten Strecken und nach dem Erreichen von Übertrittsstellen zwischen einzelnen Bergwerken kommen, die nicht im Einzelnen vorhersehbar sind. Die Dauer dieser Phase beträgt 2 bis 3 Jahre während der kein Grubenwasser gepumpt wird. Im Zuge dieses Anstiegs ändern sich folgende Randbedingungen:

Im Zuge des Grubenwasseranstiegs nimmt die Gesamtmenge an PCB, welche mit dem Grubenwasser in Kontakt kommt, zu. Allerdings nimmt der Anteil an Flächen, die außerhalb der PCB-Zeit abgebaut wurden sind, ebenfalls und in einer höheren Masse zu. Neben Abbaubereichen in denen PCBs eingesetzt wurden, werden mit ansteigendem Grubenwasserstand und sinkendem hydraulischen Gradienten auch Abbaubereiche und Strecken geflutet, welche bislang noch nicht mit PCBs in Kontakt gekommen sind. Im Mittel wird aber die Partikelkonzentration gesenkt. Dies ist ein wichtiger Parameter, da die PCB-Konzentrationen in der gelösten Phase sich in Abhängigkeit von der mittleren Partikelbelastung, die im Kontakt mit dem Grubenwasser steht, ändert.

Eine Quantifizierung, wie sich diese mittlere PCB-Belastung im partikulären Material und damit der gelöste Anteil ändert, ist nicht abschätzbar. Zur Orientierung gibt es bislang erst eine Analyse aus dem Einzugsgebiet Victoriadamm.

In Abhängig vom Strömungsregime kann sich – bei Erosion von partikulärem Material – auch die Schwebstofffracht ändern, dies ist aber ebenso nicht abschätzbar. Während des Grubenwasseranstiegs gibt es keinen Austrag von Grubenwasser in die Lippe.

11.3.3 Inbetriebnahme der Pumpen im gefluteten Bergwerk

Eine Abschätzung der maximal auftretenden Fließgeschwindigkeiten gemäß den in Abschn. 11.1.3 beschriebenen Grundlagen ergibt, dass die Fließgeschwindigkeiten – unabhängig von der Korngröße – in der Regel deutlich unterhalb des Erosionsfensters liegen (Abb. 33).

Somit verbleiben als Schwebstoffquellen vor allem Überleitungen aus anderen Bergwerken mit einer hohen Reliefenergie, Zuläufe über Gerinne aus höherliegenden, noch nicht gefluteten Abbaubereichen aus der PCB-Zeit oder singuläre Ereignisse wie sich lösende Steine aus der Firste und/ oder treibende Holzstücke, Erschütterungen, etc. in wassergefüllten Strecken.

Der gelöste Anteil an PCB wird weitgehend unverändert bleiben.

11.3.4 Dauerhafter Pumpenbetrieb

In diesem Stadium kann von konstanten Fördermengen, konstantem hydraulischen Gradient und konstanten Fließgeschwindigkeiten ausgegangen werden.

Ein unveränderter hydraulischer Gradient bewirkt konstante Schwebstoffmengen, da die kinetische Energie unverändert bleibt. Letzteres setzt voraus, dass es im Grubengebäude keinerlei singuläre Ereignisse wie oben beschrieben gibt, wodurch Partikel in Schweb gelangen.

Der gelöste Anteil an PCB wird weitgehend unverändert bleiben.

Weiterhin wird ein dauerhafter Übergang von PCB aus belastetem partikulärem Material in das Grubenwasser, aber auch umgekehrt, über einen langen Zeitraum erfolgen. Wenn mit gelöstem, PCB-belastetes Grubenwasser bislang unbelastete Bereiche erreichen, werden gelöste PCB aus dem Grubenwasser sich im partikulären Material (Sediment) durch Adsorption bis zu einem Gleichgewichtszustand anreichern. Über

das Grubenwasser erfolgt somit langfristig auch eine Angleichung der PCB-Belastung im gesamten, gefluteten partikulären Material. Die durchschnittliche Konzentration an partikel-gebundenen PCB jedoch wird, wie bereits ausgeführt, durch diesen Prozess entsprechend sinken.

Theoretisch nimmt die Gesamtmenge PCB, welche sich unter Tage befindet, mit fortschreitender Grubenwasserhebung ab. Der Austrag (in der Größenordnung von ca. 100 – 200 g/a, s. Tabelle 11, ist jedoch verglichen mit der PCB Menge, welche noch unter Tage ist, so gering, dass die verbleibende Menge als konstant angenommen wird.

Ebenfalls als gering werden die Mengen von PCB angenommen, welche unter Tage in geschlossenen Systemen vorliegen und nicht am Austausch teilnehmen. Theoretisch könnten diese bei einer Leckage (z. B. durch Gebindeleckage in Folge von Korrosion) zu einem Anstieg der PCB-Konzentrationen führen. Die Konzentrationen von PCB in/ an beiden Kompartimenten sind ausgehend von einem Erreichen der Gleichgewichtseinstellung abhängig von der Menge an PCB in dem betrachteten System. Die Gleichgewichtseinstellung ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Adsorptionsaffinitäten der beteiligten Materialien (Kohle, Gestein, etc.) von Abschnitt zu Abschnitt verschieden. Betrachtet man die mengenmäßige Verteilung von PCB führt dies zu einer Konzentrierung von PCB an Materialien mit hoher Adsorptionsaffinität und ergibt eine heterogene Verteilung. Da keine Daten vorliegen, um eine entsprechend detaillierte Betrachtung vorzunehmen, wird im Folgenden von einem durchschnittlichen Verteilungskoeffizienten für das gesamte Grubengebäude ausgegangen.

11.4 Abschätzung der quantitativen Entwicklung des PCB-Austrags nach der Grubenwasseranhebung

Aufgrund der Datengrundlage ist es nicht möglich, konkrete Prognosen bezüglich zukünftiger Grubenwasserkonzentrationen zu erstellen. In diesem Kapitel wird ein Ansatz vorgestellt, welcher der auf den oben vorgestellten Grundlagen beruht. Diese Abschätzung kann lediglich sehr grob erfolgen. Folgende Annahmen werden für die Abschätzung der PCB-Entwicklung in Tab. 32 aus den Ergebnissen der Analyse und Messungen im Einzugsgebiet Victoriadamm getroffen:

- Das Einzugsgebiet Victoriadamm in der Wasserprovinz Haus Aden wird als repräsentativ für die weiteren Abschnitte der Wasserprovinz angesehen. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der Einzugsgebietsbeschreibungen in Abschnitt 8.4.1 (Einzugsgebiet Victoriadamm) und Abschnitt 8.4.2 (Einzugsgebiet Ost). So ergeben sich für die Anteile an verbrochenen und offenen Bereichen, für die Merkmale punktuell belasteter Bereiche etc. hohe Ähnlichkeiten.
- Das Verhältnis belastete Flächen aus der PCB-Einsatzzeit zu (weitgehend) unbelasteten Flächen (Abbaue außerhalb der PCB-Zeit) beträgt in der Wasserprovinz Haus Aden derzeit ca. 1 : 1,5. Mit Umsetzung des Grubenwasserkonzepts wird der Flächenanteil der Abbaue außerhalb der PCB-Zeit auf 1 : 2 und bei einer vollständigen Flutung der Grubenbaue auf sogar 1 : 3,4 steigen.
- Die PCB-Belastungen im Grubenwasser Wasserprovinz Haus Aden stellen einen integrierten Querschnitt der Unter-Tage-Belastungen aus einem großen, langjährig gefluteten Bereich mit vielen punktuellen Kontaminationen (ca. 120 Infrastrukturein-

richtungen wie Werkstätten und Lokschuppen), vermutlich sehr hoch belasteten Bereichen im Alten Mann (PCB-Gehalte in der Größenordnung von und 10 - 50 t/km²) und mehreren Kilometern offenen Strecken (mit einem PCB-Gehalt im Sediment in der Größenordnung von ca. 1,3 t/km²). Dies gilt im IST Zustand für die derzeitig bereits gefluteten Bereiche, wird aber genauso für die nach Grubenwasseranstieg gefluteten Bereiche gelten.

- Wasserphase und partikuläres Material im Einzugsgebiet Victoriadamms befinden sich in einem quasi-Gleichgewichtszustand. Dies ergibt sich aus der Analyse der 100-L-Probe.
- Die Messergebnisse der (bisher einzigen) 100-L-Probe (PCB-Belastungen partikulär und gelöster Phase, s. Tab. 18) und entsprechende Verteilungskoeffizienten werden als repräsentativ für das Einzugsgebiet des Victoriadamms angenommen. Dies soll in Teil 2 des Gutachtens überprüft werden.
- Der Wasserbeitrag aus der Wasserprovinz Ost liegt nach Grubenwasseranstieg nur bei 10 % des gesamten gehobenen Grubenwassers. Daher ist ein Beitrag zur PCB Belastung aus diesen zu flutenden Bereichen von untergeordneter Bedeutung.
- Die zukünftige geförderte Wassermenge aus dem Einzugsgebiet Victoriadamms wird sich wahrscheinlich so lange nicht ändern, wie die hohen Potentialdifferenzen und Zuflüsse aus dem Deckgebirge gleichbleiben. Durch einen Einstau bis ins Deckgebirge würden sich die Zuströme sehr wahrscheinlich verringern, da dann die hohen Potentialdifferenzen nicht mehr bestehen würden. Diese Option wurde jedoch nicht weiter untersucht.
- Es erfolgt ein Übergang von PCB aus belastetem partikulärem Material in das Grubenwasser, aber auch umgekehrt. Wenn mit gelöstem, PCB-belastetem Grubenwasser bislang unbelastete Bereiche geflutet werden, werden gelöste PCB aus dem Grubenwasser sich im partikulären Material (Sediment) bis zu einem Gleichgewichtszustand anreichern. Über das Grubenwasser erfolgt somit langfristig eine Angleichung der PCB-Belastung im gesamten, gefluteten partikulären Material und dadurch letztlich wieder die langfristig (Rück)-Kontamination an gelöstem PCB im Grubenwasser.
- Da weder quantitative Daten über die im betrachteten Bergwerken der Wasserprovinz Haus Aden eingesetzte Menge von PCB vorliegen, noch mit Bestimmtheit gesagt werden kann in welchen Strecken PCB eingesetzt wurde, wird die Wasserprovinz in zwei Sektionen unterteilt.
 1. belastete Flächen mit Abbau zur PCB-Einsatzzeit
 2. unbelastete Flächen mit Abbau außerhalb der PCB-Zeit.

Für die Abschätzung der zukünftigen Grubenwasserbelastung wird angenommen, dass

- 1) sich die mittlere PCB-Belastung im partikulären Material wie das Verhältnis belasteter zu unbelasteter Abbaufächen verhält bzw. verändern wird; dies hat durch die postulierte quasi-Gleichgewichtseinstellung direkten Einfluss auf die Veränderung der PCB-Belastung der gelösten Phase,

- 2) sich die mittlere PCB-Belastung im Schwebstoff des Grubenwassers wie das Verhältnis belasteter zu unbelasteter Abbaufächen verhält bzw. verändern wird.

Die Tab. 32 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der Abschätzung der PCB-Entwicklung im Einzugsgebiet Victoriadam, da das Einzugsgebiet Victoriadam der maßgebliche Bereich für die PCB-Belastung in der ZWH ist:

- Herkunft von ca. 80 % – 90 % des zukünftig gehobenen Grubenwassers,
- auch bei einem Grubenwasseranstieg bis ca. -600 mNHN in den Grubengebäuden bleiben noch große Flächenanteile aus der PCB-Zeit (ca. 24 km²) mit hohem Erosionspotential nicht geflutet.

Der Wasserbeitrag aus der Wasserprovinz Ost liegt nach dem Grubenwasseranstieg nur bei 10 % des gesamten gehobenen Grubenwassers. Daher ist ein Beitrag zur PCB-Belastung aus diesen zu flutenden Bereichen bei vergleichbarer Belastung an gelöstem PCB und Schweb von untergeordneter Bedeutung. Zudem werden bei einer Flutung der Grubengebäude bis ca. -600 mNHN die Grubenbaue aus der PCB-Zeit im Einzugsgebiet Ost weitestgehend geflutet sein, so dass selbst bei einem geringen Erosionspotential der nicht gefluteten Grubenbereiche der Beitrag zur Gesamtbelastung der PCB in der ZWH gering ist.

Erläuterungen zur Tab. 32.

Tabellentext	Erläuterung
PCB-geflutet/ nicht geflutet	Flächengröße der Abbaubereiche aus der PCB-Zeit, die bereits geflutet sind bzw. noch nicht geflutet sind
Ist Fracht	PCB-Fracht, die derzeit (2016) über das Grubenwasser aus dem Einzugsgebiet Victoriadam gelöst im Grubenwasser (ca. 1/10 der Fracht) und über den Schweb (ca. 9/10 der Fracht) ausgetragen wird.
Ist Konzentration	PCB-Konzentration im Grubenwasser in der ZWH (gelöst in ng/L) und in der Trockensubstanz (TS) des Schweb (in mg/kg)
→ ↑ ↓	Veränderung der PCB-Belastung in der ZWH bleibt gleich, erhöht sich, erniedrigt sich
(→)	eingeschränkte Gültigkeit, da in der Anstiegsphase (ca. 3 Jahre) keine Grubenwasserhebung in der ZWH erfolgt
ggf. Mobilisierung und tw. wieder Sedimentation	Bei dem ersten Fluten eines Grubengebäudes kann durch schneller fließendes Grubenwasser Schweb im Grubenwasser aufgenommen werden. Da das Grubenwasser in gefluteten Grubenteilen aber nicht gepumpt wird und dadurch in Strömung versetzt wird, können die gröberen Partikel auch wieder sedimentiert werden. Die kleineren Partikel bleiben aber als Schweb im Grubenwasser.

Tabellentext	Erläuterung
<p>Gleichgewichtseinstellung. Verhältnis PCB-Flächen/ Nicht-PCB-Flächen Reduktion der mittl. Partikelbelastung und Reduktion der Wasserbelastung</p>	<p>Zwischen den PCB-Gehalten im Sediment (partikuläres Material) und der im Grubenwasser gelösten PCB-Gehalte stellt sich ein Gleichgewicht ein (derzeit ca. 1,6 ng/L). Wenn bei der Flutung wie in der Wasserprovinz Haus Aden der Anteil der Flächen aus der „Nicht-PCB-Zeit“ gegenüber dem Flächenanteil aus der „PCB-Zeit“ zunimmt, kommt es langfristig wieder zu einer Festlegung der im Wasser gelösten PCB im Sediment, bis wieder ein Gleichgewichtszustand herrscht. Durch die verstärkte Flutung der Flächen aus der „Nicht-PCB-Zeit“ reduziert sich langfristig der PCB-Gehalt im Grubenwasser. Dies gilt auch für den an den Schweb gebundenen PCB-Gehalt, der sich ebenfalls verringert, wenn Flächen aus der „Nicht-PCB-Zeit“ mit so belasteten Grubenwässern geflutet werden.</p>
<p>ggf. „Anfangsschweb“</p>	<p>Bei Aufnahme des Pumpenbetriebs ist es möglich, dass zunächst ein etwas höherer Schwebgehalt in der ZWH gefördert wird, bis sich ein neues Gleichgewicht einstellt (ungünstige Annahme). Die reale Entwicklung der Schwebgehalte kann aus dem anlaufenden Monitoring der Grubenwasserhaltung in Walsum abgeleitet werden.</p>
<p>Dichteschichtung</p>	<p>Eine Dichteschichtung wird sich umso stärker ausbilden, desto geringer die Störungen durch eine Grubenwasserhaltung ausfallen. Die Störungen entstehen durch das strömende Grubenwasser zu einer ZWH. Das sich derzeit in Bearbeitung befindliche Gutachten soll Aussagen zum zukünftigen Salzgehalt der Grubenwässer machen. Hieraus können auch Aussagen zur Dichteschichtung abgeleitet werden. Bei einer ausgeprägten Dichteschichtung ist davon auszugehen, dass der Schwebgehalt in einem dann noch geförderten Grubenwasser weiter abnimmt, da das Grubenwasser dann aus einem höheren Niveau gefördert wird.</p>

Tab. 32: Zusammenfassende Abschätzung der PCB-Belastung in der ZWH

EZG Victoriadamm		
PCB-geflutet	35,1 km ²	
PCB-nicht geflutet	29,1 km ²	
Grubenwasserhydraulik (2016)	- z. T hohe Potentialdifferenzen zwischen Teilprovinzen - großvolumige Beruhigungsstrecken - Zustrom/Gerinne aus nicht gefluteten Bereichen auch aus der PCB-Zeit	
	gelöst	Schweb
Ist Fracht (Schätzung)	1/10 Fracht gelöst	9/10 Fracht über Schweb
Anstieg bis -670 mNHN ZWH (keine Förderung nächsten ca. 3 Jahre)	(→)	(↑) ggf. Mobilisierung und tw. wieder Sedimentation
Beginn Förderung (Inbetriebnahme der Pumpen)	↓	↑ ggf. „Anfangsschweb“
Anstieg bis ca. -600 mNHN im Grubengebäude	Neue Gleichgewichtseinstellung: Verhältnis PCB-Flächen/ Nicht-PCB-Flächen wird immer kleiner. Dadurch Reduktion der mittl. Partikelbelastung und der Wasserbelastung.	→ wie Ist-Zustand, da fast unveränderter Zustrom von „oben“ durch die PCB-Bereiche
vollständige Flutung Grubengebäude (z. B. -400 mNHN)	1 : 1,4 1 : 1,5 1 : 4,2	↓ - keine Durchströmung der PCB-Bereiche Reduktion der mittl. Partikelbelastung - ggf. auch Rückgang Grubenwassermengen - ggf. Auswirkungen Dichteschichtung

Zusammenfassend sehen die Gutachter nach dem im Detailbericht 6 beschriebenen Wirkungsmodell bei einer zunehmenden Flutung – auch über das derzeitige Flutungsziel von -670 mNHN in der ZWH hinaus – langfristig folgende Entwicklungstendenzen:

1. Es kommen in der Summe einmalig größere Volumina an Grubenwasser mit PCB in Kontakt. Das Gesamtvolumen unter Tage an mit PCB belastetem Grubenwasser nimmt zu.
2. Die geförderte Grubenwassermenge nimmt **tendenziell** aus hydraulischen Gründen ab (Verringerung der Potentialdifferenzen und dadurch Verringerung des Zustroms). Dies macht sich bei einem Anstieg nur bis -670 mNHN in der ZWH wahrscheinlich noch nicht relevant bemerkbar, weil dann weiterhin große Wassermengen aus dem Deckgebirge in das Einzugsgebiet Victoriadamm strömen (ca. 90 % des Grubenwassers in der ZWH).
3. Die Schwebbelastung des Grubenwassers in mg/L nimmt tendenziell ab (Verringerung der Potentialdifferenzen, weniger offen durchströmte Bereiche, verringertes Erosionspotential).

4. Die Höhe der PCB-Belastung im Schwebstoff (mg/kg/TS) nimmt tendenziell ab (anteilig weniger offen durchströmte PCB-Abbaubereiche, geringere mittlere Partikelbelastung). Dies liegt daran, dass die Flächen mit einer PCB-Belastung zwar absolut zunehmen, relativ jedoch sinken, weil vermehrt Flächen außerhalb der PCB-Zeit geflutet werden. Dies führt insgesamt zu einer Reduktion der mittleren PCB-Belastung am Schwebstoff.
5. Die Konzentration an gelöstem PCB im Grubenwasser nimmt tendenziell ab (zunehmende Flutung von Abbaubereichen außerhalb der PCB-Zeit und PCB-Austrag aus dem Grubenwasser in die Sedimente in diesen Bereichen).
6. Es wird eine Angleichung der PCB-Belastung über das Grubenwasser auch in bislang nicht oder geringer belastete Bodenbereiche geben, die mittleren Partikelbelastungen sinken aber (s. o.).

12 MÖGLICHE MAßNAHMEN ZUR VERRINGERUNG DES AUSTRAGS VON PCB

Die zukünftigen Austräge aus der BHV (Schwermetalle, PAK und Dioxine) werden nicht messbar bzw. nicht der BHW zuzuordnen sein und werden in den nächsten Jahrhunderten keine Maßnahmen erfordern (s. Hauptgutachten, Kap. 10). Hingegen ist die PCB-Belastung messbar und reduzierbar – auch wenn sie bei Flutung sich nicht weiter erhöhen, sondern sogar abnehmen würde. Dies kann durch übertägige wie untertägige Maßnahmen erfolgen. Die übertägigen Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung der Schwebstoffphase wie der wässrigen Phase werden jedoch in einem anderen Gutachten betrachtet (IWW 2016: Gutachterliche Untersuchung/Recherche zu den technischen Möglichkeiten einer PCB-Elimination von Grubenwässern).

12.1 Verringerung der Höhe des Grubenwasseranfalls und der Schwebmenge durch einen höheren Grubenwasserstand

Bei der Flutung wird sich das gesamte untertägige Grubenwasservolumen, das PCB in gelöster und partikulärer Form enthält, erhöhen. Die zutage geförderte Menge an Grubenwasser wird sich dadurch jedoch nicht ändern, da nach dem Anstieg i. W. nur die Grundwasserneubildung gefördert wird, um den Grubenwasserstand auf dem vereinbarten Niveau zu halten.

Da eine strömungsbedingte Erosion in offenen Strecken (heutige und zukünftige Wasserwege) maßgeblich die Schwebstofffracht im Grubenwasser bestimmt und dadurch einen wichtigen Parameter für den partikelgebundenen PCB-Austrag darstellt, ist nach Ansicht der Gutachter ein **höherer Grubenwasserstand grundsätzlich geeignet, den partikelgebundenen und auch den gelösten PCB-Austrag zu reduzieren**. Hierbei kommen v. a. drei Wirkungszusammenhänge in den unterschiedlichen Kombinationen zum Tragen:

1. **Verringerung der Erosion und der Entstehung von Schweb (partikuläre Fracht)**. Durch einen Grubenwasseranstieg werden Flächen aus der PCB-Zeit der direkten Erosion durch schnell fließendes Grubenwasser entzogen. Dadurch vermindert sich die **Menge** an belastetem Schweb im Grubenwasser.
2. **Flächen außerhalb der PCB-Zeit wirken als Flächenfilter (gelöste Fracht)**. Bei einem Grubenwasseranstieg steigt überproportional der Anteil an Flächen außerhalb der PCB-Zeit (Abb. 66 im Gutachten). Diese Zahlen sind, neben den PCB-Belastungsmessungen im Grubenwasser, belastbare und mit einer großen Sicherheit ermittelte Werte. In diesen Flächen mit einem hohen Anteil an fein verteilten Kohlen erfolgt eine (Rück-)Festlegung der gelösten PCB aus dem Grubenwasser im kohlenhaltigen Sediment, da zwischen den beiden Medien ein Konzentrationsgefälle besteht, das sich ausgleichen wird. Damit wirken diese Flächen ähnlich wie ein „Flächenfilter“. Der Gehalt an gelöstem PCB wird durch diesen Effekt tendenziell sinken.
3. **Verringerung der Grubenwassermenge (partikuläre und gelöste Fracht)**. Der Grubenwasseranstieg reduziert die großen Gefälleunterschiede der Grubenwasserstände im Einzugsgebiet Victoriadam. Hier erfolgte in den 1930er und 1940er Jahren der Kohlenabbau relativ nahe unterhalb des Deckgebirges, so dass bis heu-

te große Mengen an Grundwasser aus dem Deckgebirge über noch nicht geflutete BW der ZWH zulaufen. Nach dem Grubenwasseranstieg werden ca. 90 % des zu fördernden Grubenwassers aus dem EZG Victoriadamn stammen. Der erwartete positive Effekt: Je geringer der Gefälleunterschied ist, **desto niedriger ist tendenziell die zuströmende Grubenwassermenge aus dem Deckgebirge.**

Weitere Maßnahmen zur Reduzierung des gelösten Anteils an PCB im Grubenwasser sind unter Tage nicht möglich.

12.1.1 Grubenwasseranstieg bis ca. -600 mNHN

- Bei einem Grubenwasseranstieg bis ca. -600 mNHN in den Grubenbauen sehen die Gutachter in der Summe die folgenden Effekte, die zu **einer langfristigen Verringerung vor allem der partikelgebundenen PCB-Belastung** im Grubenwasser in der ZWH gegenüber dem Ist-Zustand führen werden:

1. Verringerung der Erosion und der Entstehung von Schweb

- Dies gilt vor allem für das Einzugsgebiet Ost, wo bislang nur ca. 11,4 % der Flächen aus der PCB-Zeit geflutet sind (7,5 km²). Bei einem Anstieg des Grubenwassers bis ca. -600 m NHN in den Grubenbauen ca. 94 % der Flächen aus der PCB-Zeit geflutet (61,7 km²) und der Erosion entzogen werden (Abb. 66).
- Im Einzugsgebiet Victoriadamn reduziert der geplante Grubenwasseranstieg den Schwebanfall nicht so wirkungsvoll, da weiterhin ca. 24 km² (das entspricht 37 % der Flächen aus der PCB-Zeit) in erhöhtem Maße der Erosion ausgesetzt sind, weil hier der Bergbau früh begann und viele Abbaue aus der PCB-Zeit oberflächennäher sind als im Einzugsgebiet Ost. Nach wie vor sind dann große Flächen aus der PCB-Zeit im BW Hansa noch nicht geflutet (Tab. 23). Da im Einzugsgebiet Victoriadamn zudem fast 90 % des später zu hebenden Grubenwassers anfallen werden, bleibt ein großes Freisetzungspotential für PCB – über den erodierten PCB-belasteten Schweb – bestehen.

2. Flächen außerhalb der PCB-Zeit wirken als Flächenfilter

- Derzeit beträgt das Verhältnis der Flächen aus der PCB-Zeit zu den Flächen gemäß Abb. 66 außerhalb der PCB-Zeit in der Wasserprovinz Haus Aden 1 : 1,5 (42,5 km² : 62,8 km²). Nach einem Anstieg bis auf auf ca. -600 m NHN in den Grubenbauen steigt das Verhältnis auf 1 : 2 (104,4 km² : 211,5 km²).
- Im Einzugsgebiet Ost nehmen beide Flächenanteile vergleichbar zu, so dass sich das Verhältnis nur geringfügig zu Gunsten der Flächen außerhalb der PCB-Zeit verschiebt (von 1 : 2,1 zu 1 : 2,4).
- Im Einzugsgebiet Victoriadamn mit großen Anteilen an Abbaufächen oberhalb von – 600mNHN wäre der Effekt kaum wahrnehmbar, da sich das Verhältnis nur von 1 : 1,4 auf 1 : 1,5 verändern würde.

3. Verringerung der Grubenwassermenge

- Die Verringerung dürfte vernachlässigbar sein, da der Grubenwasserzustrom aus dem Deckgebirge davon weitgehend unberührt bleibt.

12.1.2 Grubenwasseranstieg höher als -600 mNHN (optimierter Grubenwasserstand)

Bei einem Grubenwasseranstieg höher als -600 mNHN und Flutung aller/der meisten PCB-Flächen sehen die Gutachter in der Summe die folgenden Effekte, die zu einer **langfristigen Verringerung der partikelgebundenen und der gelösten PCB-Belastung im Grubenwasser** in der ZWH gegenüber dem Ist-Zustand führen werden:

1. **Verringerung der Erosion und der Entstehung von Schweb**
 - Vor allem im Einzugsgebiet Victoriadam mit großen Anteilen an PCB-Flächen oberhalb von -600 mNHN wäre der Effekt am stärksten, da hier die letzten 37 % der PCB-Flächen geflutet würden (Abb. 66).
2. **Flächen außerhalb der PCB-Zeit wirken als Flächenfilter**
 - Bei einer Flutung aller Grubengebäude in der Wasserprovinz Haus Aden würde das Verhältnis den Wert 1 : 3,4 (132,3 km² : 448,80 km²) erreichen (Abb. 66).
 - Vor allem im Einzugsgebiet Victoriadam mit großen Anteilen an PCB-Flächen oberhalb von -600 mNHN wäre der Effekt am stärksten, da hier die letzten 37 % der PCB-Flächen geflutet würden (Abb. 66).
3. **Verringerung der Grubenwassermenge**
 - Es ist zu vermuten, dass dieser Effekt vor allem dann zum Tragen kommt, wenn das Grubenwasser bis in das Deckgebirge ansteigt. Gegebenenfalls sind hier auch noch andere hydraulische Maßnahmen möglich (z. B. Entnahmen im Deckgebirge, Abdichtungen), die im Rahmen des Gutachtens nicht weiter untersucht wurden.

12.1.3 Offene Fragen im Zusammenhang mit einem weiteren Grubenwasseranstieg

Die Untersuchungen des Risikos eines Grubenwasseranstiegs über ca. -600 mNHN hinaus ist bislang nicht Aufgabenbestandteil in Teil 1 und 2 des vorliegenden Gutachtens.

Die Gutachter empfehlen in diesem Zusammenhang einen „**optimierten Grubenwasserstand**“ zu ermitteln, der gemäß den oben beschriebenen Wirkungszusammenhängen die Belastung mit partikelgebundenem und gelöstem PCB verringern wird. Hierbei sind nach unserem derzeitigen Kenntnisstand zu beachten:

1. Risiko der Grubenwasserübertritte in die Abbaubereiche Carolinenglück (Einzugsgebiet Emscher) und Robert Müser (Einzugsgebiet Ruhr) bei ca. -320 mNHN
2. Sicherheit älterer Schachtverfüllung beim Grubenwasseranstieg
3. Schutz vor (ungleichmäßigen) Hebungen beim Einstau des Deckgebirges
4. Trinkwasserschutz (v. a. bei Grundwasserleitern wie Haltern Sande)
5. (erwartete) positive Auswirkung einer Dichteschichtung im Grubenwasser

Die Auswirkung einer Dichteschichtung im Grubenwasser auf eine weitere Reduzierung des Schwebstoffgehalts im geförderten Grubenwasser bei unterschiedlichen

Pumpniveaus kann derzeit nicht abgeschätzt werden. Zurzeit wird in einem weiteren Gutachten die Verteilung der Salzgehalte in der Wasserprovinz Haus Aden untersucht. Auf dieser Grundlage könnten wahrscheinlich auch Aussagen zur Dichteschichtung des Tiefengrundwassers getroffen werden.

12.1.4 Verringerung der Schwebmenge durch Abdeckung in offenen Strecken mit PCB-Belastung

Im Folgenden werden nur untertägige Maßnahmen betrachtet. Die ebenfalls möglichen übertägigen Maßnahmen werden in einem separaten Gutachten beschrieben und bewertet (IWW 2016: Gutachterlichen Untersuchung/Recherche zu den technischen Möglichkeiten einer PCB-Elimination von Grubenwässern).

Neben der Verringerung des Austrags an PCB über eine Reduzierung der geförderten Grubenwassermenge und/oder der Schwebbelastung durch einen möglichst hohen Grubenwasserstand sind auch Maßnahmen zur Verringerung der Exposition der mit PCB belasteten Sedimente in den offenen Strecken zu prüfen. Hier kann möglicherweise durch die Abdeckung mit Beton oder Schotter (oder anderen Materialien) die Aufnahme von Schweb durch schnell strömendes Wasser minimiert werden. Dies tritt vor allem dann auf, wenn im Grubengebäude ansteigendes Wasser mit großem Gefälle und freier Oberfläche in bislang nicht geflutete Bereiche fließt. Kritisch sind solche Bereiche v.a. dann, **wenn sie nahe einer Wasserhaltung bzw. eines kurzen Fließweges zu einer Wasserhaltung liegen**. Kilometerweit von einer Wasserhaltung entfernt liegende Strecken haben ein deutlich geringeres Freisetzungspotential. Bei einem langsamen Anstieg des Grubenwassers „von unten“ kommt es nicht zur Erosion.

In der Wasserprovinz Haus Aden sind dies nur ca. 9,2 km offene Strecken, von denen ein Teil bereits geschottert ist.

Vor einer Entscheidung über Art und Umfang der Abdeckung sollte v.a. geprüft werden:

- Relevanz (wasserhaltungsnahe Strecken mit hohem Erosionspotential)
- Belastung in den offenen Strecken mit PCB
- Grenzwerte für Maßnahmen
- Mögliche Maßnahmen
- Technische Machbarkeit
- Wirksamkeit
- Kosten/Nutzen
- Langzeitauswirkung auf das Fließsystem bei Einbringung von Schotter (wasserdurchlässig) oder Beton (weniger wasserdurchlässig) oder anderer Materialien)

12.2 Verringerung der im Grubenwasser gelösten PCB

Eine Verringerung der Belastung des Grubenwassers an gelöstem PCB kann nur über eine technische Nachbehandlung des Grubenwassers erfolgen.

Die Konzeptionierung von nachgelagerten technischen Maßnahmen zur Eliminierung der PCB-Fracht im Grubenwasser, insbesondere durch eine Grubenwasserbehandlung, ist Gegenstand eines separaten Gutachtens.

13 MONITORING

Ein kontinuierliches Monitoring der in die Lippe eingeleiteten Grubenwässer hinsichtlich des PCB-Austrags wird empfohlen. Im Sinne einer kontinuierlichen Erfassung der PCB-Fracht ist eine integrative Probenahme von Schwebstoff z. B. durch Schwebstoff-sammelkästen möglicherweise zu empfehlen (s. PCB AK Protokoll 3, Anlage 4 Info LANUV Monitoring). Die weiteren Einzelheiten wie Art der Untersuchungen, Ort(e) der Probenahme, Häufigkeit von ergänzenden Zentrifugenuntersuchungen, Vergleichsuntersuchungen an anderen Standorten, Analysemethoden etc. werden zzt. auch in dem begleitenden Arbeitskreis zur PCB-Problematik zwischen allen Beteiligten, unter anderem auch der Gutachter, diskutiert und dort festgelegt.

Darüber hinaus werden folgende Empfehlungen gegeben:

- 1) Zeitlich enge Überwachung der Phase des Einschaltens der Pumpen nach der Anstiegsphase.
- 2) Es soll der PCB-Gehalt in den Schwebstoffen und der Schwebstoffgehalt selbst erfasst werden.
- 3) Für die Monitoring-Messungen ist es ausreichend, wie bislang die 6 PCB-Leitkongenere (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 sowie PCB 180) zu bestimmen. Die Erfassung weiterer Kongenere (z. B. dl-Kongenere) ist aufgrund der stabilen Kongenerenzusammensetzung nicht notwendig. Entsprechende Daten sind aus den Messdaten der Leitkongenere mit hinreichender Genauigkeit ableitbar.
- 4) Alle Analysen sollten auf Basis von GC-/MS-Messungen durchgeführt werden. Hierbei sollten die Ionenspurchromatogramme der Messungen für die jeweiligen Chlorierungsgrade erfasst und gespeichert werden. Dadurch wird auch eine nachträgliche Berechnung anderer relevanter Parameter, z. B. die dl-PCB, auf Basis der Zusammensetzung technischer Gemische möglich.
- 5) Für die Schwebstoffaufbereitung sollte die Probenbehandlung analog zu den Analysen des LANUV im Rahmen der Probenahmekampagne vom 18.02.2016 erfolgen.

14 OFFENE FRAGEN UND WEITERES VORGEHEN

14.1 Gelöster Anteil an PCB

Zur Abklärung der Repräsentativität der 100 L-Probe bzw. zur Bestimmung des gelösten Anteils sollten weitere Analysen in Teil 2 des Gutachtens vorgenommen werden.

14.2 PCB-Belastung im Sediment/partikulärem Material

Wie auf dem Ad-hoc-AK PCB 4 am 11.08.2016 vereinbart wurde, ist geplant, weitere Bodenproben aus zugänglichen Bergwerken zu untersuchen, um die Datenbasis zu verbessern. Die Anforderungen an die Probenahmeorte und die mit den Untersuchungen verbundenen Ziele sind:

- Bessere Datenbasis für die Belastungen des **partikulären Materials** außerhalb von potentiellen punktuellen PCB-Belastungen, aber aus der Einsatzzeit der PCB.
 - Probenahme in Grubenteilen, die vor 1986 aufgefahren wurden.
- Gibt es auch außerhalb der PCB-Einsatzbereiche PCB-Belastungen?
 - Probenahme in Grubenteilen, die nach 1992 aufgefahren wurden, aber transport-/wassertechnisch mit Grubenbauen aus Nr. 1 in Verbindung stehen (Verschleppungsbereich PCB).
 - Grubenbaue, die nach 1992 aufgefahren wurden, aber nicht transport-/wassertechnisch mit Grubenbauen aus (1) in Verbindung stehen (Nullbereich bzw. Bereich von Belastungen durch ubiquitäre PCB-Verschleppung [z. B. wegen Grundbelastung in den angesaugten Wettern, zulässige Restkonzentrationen in als PCB-frei geltenden Betriebsstoffen – vgl. AltöIV]).
- Wie hoch ist die Belastung in **punktuell betroffenen Bereichen** (Werkstätten, Pumpensümpfe) aus der PCB-Zeit oder kurz danach?
 - Probenahme in potentiell punktuell belasteten Bereichen.

14.3 Anaerober Abbau von PCB

Die bislang ausgewerteten Unterlagen deuten darauf hin, dass der anaerobe Abbau nach einer Flutung von Grubengebäuden bedeutender als der aerobe Abbau ist und somit langfristig zu einer Verringerung des PCB-Vorrates beiträgt. In der Phase 2 sollen in einer vertieften Literaturlauswertung die Randbedingungen und Abbauraten bei einem anaeroben Abbau erfasst werden. Gegebenenfalls können auf dieser Grundlage auch weiterführende Labor-/Felduntersuchungen zu einem möglichen anaeroben Abbau von PCB konzipiert werden. Parallel sollen auch Konzepte zur Messung möglicher Abbauprozesse z. B. durch Isotopenanalysen (C, Cl) oder Erfassung von langzeitlichen Änderungen in den Kongenerenmustern entwickelt werden.

14.3.1 Weitere Recherchen

Es sollen weitere Recherchen, v. a. in den Archiven der Bezirksregierung Arnsberg und der RAG durchgeführt werden. Die Schwerpunkte sind die Auswertung von ca. 400 Akten zum Thema „Oberirdische Altölentsorgung“ und die Auswertung von Grubenrisiken zur Anzahl und Lage von großen untertägigen Infrastruktureinrichtungen wie Werkstätten, Lokschuppen und Schlammstrecken.

15 REFERENZEN

- Achten, C., Hofmann, T. (2010). Umweltrelevanz von natürlichen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen aus Steinkohlen–eine Übersicht. *Grundwasser*, 15(1), 5-18.
- Ballschmiter, K., Zell, M. (1980). Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography. Composition of Technical Aroclor- and Clophen-PCB Mixtures. *Fres. Z. Anal. Chem.* 302, 20-31.
- Bartz, W. J., Möller, U.J. (2000). *Expert Praxislexikon – Tribologie PLUS: 2010 Begriffe für Studium und Beruf.* Expert Verlag, Renningen.
- BAYER (1971). Elaol S-B/ Elaol V-I. Schwerbrennbare Schmier- und Hydraulikflüssigkeiten.
- Becker, L., Düring, R., Hennecke, D. (2010). Expositions Betrachtung und Beurteilung des Transfers von Dioxinen, dioxinähnlichen PCB und PCB–Literaturstudie. Umweltforschungsplan des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungskennzahl 3709 72 228 UBA-FB 001496. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Bekanntmachung vom 06.12.1989 - I G II 5 - 134/11 - „Analytische Verfahren zur Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) und polychlorierten Terphenylen (PCT) gemäß § 5 der PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung vom 18. Juli 1989“.
- Brank, F.-R., Wentrup, G.-J. (1985). Quantifizierung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Altöl. *Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie vereinigt mit Brennstoffchemie*, Bd. 38, Heft 10
- Bundesgesundheitsamt (1985). Berechnungsmethode des BGA/ UBA in: *Sachstand Dioxine – Stand 1984*, Erich Schmidt Verlag. Berlin.
- Busch, D., Furtmann, K., Schneiderwind, A., Zyuzinam, I., Reupert, R., Sielex, K. (2007): Einfluss von Probenahme und Probenvorbereitung auf die Ergebnisse bei der Bestimmung ausgewählter prioritärer Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie. Landesumweltamt NRW, Düsseldorf. Forschungsbericht 204 22 213, UBA-FB 000982. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.
- Chen, Y., Bi, X., Mai, B., Sheng, G., & Fu, J. (2004). Emission characterization of particulate/gaseous phases and size association for polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustion. *Fuel*, 83(7), 781-790.
- Detzel, A., Patyk, A., Fehrenbach, H., Franke, B., Gingrich, J., Lell, M., & Vogt, R. (1998). Ermittlung von Emissionen und Minderungsmaßnahmen für persistente organische Schadstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltforschungsplan des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Luftreinhaltung*. Forschungsbericht 295 44 365 UBA-FB 98-115. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Deutscher Bundestag (1984). Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage des Abgeordneten Drabiniok und der Fraktion DIE GRÜNEN - Drucksache 10/2153 - Verwendung von Chlorkohlenwasserstoffen im Untertagebergbau.

- de Voogt P, Brinkman U. A. Th. (1989). Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. In: Kimbrough, R. D., Jensen, A. A. (eds.), Halogenated biphenyls, terphenyls, naphthalenes, dibenzodioxins and related products. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 3 – 43.
- DMT (2010). Mobilisations- und Transportverhalten von PCB aus dem Schotterbett alter Streckenauffahrungen.
- Dsikowitzky, L., Schwarzbauer, J., & Littke, R. (2002). Distribution of polycyclic musks in water and particulate matter of the Lippe River (Germany). *Organic Geochemistry*, 33(12), 1747-1758.
- 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). *Netherlands Journal of Sea Research*, 20(2), 229-238.
- Engel, W., Kihl, H. (1987). Schwerentflammbare und gesundheitsschädliche Hydraulikflüssigkeiten des Typs HFD für den Bergbau.
- Erickson, M. D. (1997). *Analytical Chemistry of PCBs*, 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Fiedler H. (2001). Global and local disposition of PCB. In: *PCBs—Recent Advances in the Environmental Toxicology and Health Effects*, pp. 11-15. University Press of Kentucky.
- GD NRW (2011). Unkonventionelle Erdgasvorkommen in NEW. –Online im Internet: http://www.gd.nrw.de/zip/l_rcbm01.pdf
- Gebhardt, L., Mitze, M., Reichel, J. (1974). Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten. Technischer Schlußbericht des Steinkohlenbergbauvereins/ Bergbau-Forschung GmbH in Essen. In :Kommission der Europäischen Gemeinschaft (Hrsg.): *Forschungsheft Kohle. Bergtechnik Heft Nr. 54*. Luxemburg.
- Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus (1982), Stellungnahme des deutschen Steinkohlenbergbaus zur Verwendung polychlorierter Biphenyle (PCB) als Hydraulikflüssigkeit untertage vom 4. Mai 1981 und Zusatz zu der Stellungnahme des deutschen Steinkohlenbergbaus vom 4. Mai 1981 vom 20. Januar 1982. Mitteilung an das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene.
- Götz, R., Enge, P., Friesel, P., Roch, K., Kjeller, L. O., Kulp, S. E., & Rappe, C. (1994). Sampling and analysis of water and suspended particulate matter of the river Elbe for polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs). *Chemosphere*, 28(1), 63-74.
- Govers H.A.J., Krop H.B. (1996). Partition constants of chlorinated dibenzofurans and dibenzo-p-dioxins. *Chemosphere*. 37(9-12). 2139-2152.
- Hutzinger, O., Safe, S., Zitko, V. (1974). *The Chemistry of PCB's*. CRC Press, Boca Raton, FL
- Jensen, S., Johnels, A. G., Olsson, M., Olterlind (1969). DDT and PCB in marine animals from Swedish waters. *Nature (London)* 224:247 - 250
- LAGA (Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall. LAGA-Methodensammlung Abfalluntersuchung. LAGA-Forum Abfalluntersuchung. Stand: 01. Oktober 2012.
- LANUV (2015). Belastung von Oberflächengewässern und von aktiven Grubenwassereinleitungen mit bergbaubürtigen PCB (und PCB-Ersatzstoffen); Ergebnisse des LANUV-Sondermessprogramms 2015.

- Lehnik-Habrink, P., Schütz, S., Redlich, C., Win, T., Philipp, R., Kaminski, K. (2005). Erarbeitung und Validierung von Verfahren zur Bestimmung von polychlorierten Biphenylen und polychlorierten Terphenylen in organischen Materialien. Umweltforschungsplan des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Abfallwirtschaft. Förderzeichen (UFOPLAN) 201 31 327. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Lorenz, H.; Neumeier, G. (Hg.) (1983). Polychlorierte Biphenyle (PCB) – Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes und des Umweltbundesamtes. In: bga-Schriften 4/83, MMV Medizin Verlag, München.
- Mierheim, H. (1983) Wirtschaftliche Aspekte der Substitution der PCB. In: Lorenz, H.; Neumeier, G. (Hg.) (1983). Polychlorierte Biphenyle (PCB) – Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes und des Umweltbundesamtes. In: bga-Schriften 4/83, MMV Medizin Verlag, München.
- National Research Council (NRC) (1979). Polychlorinated Biphenyls. Washington D.C.: National Academy of Sciences.
- Pies, C., Yang, Y., & Hofmann, T. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distribution in bank and alluvial soils of Mosel and Saar River. *J Soils Sediments*, 7, 216-22.
- Poppe, A., Alberti, J., Friege, H., Roennefahrt, B. (1988). Umweltgefährdung durch chlorierte Diphenylmethane (Ugilec 141). *Vom Wasser* 70, 33-42.
- Püttmann, W. (1988). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in solid sample material using a desorption device coupled to a GC/MS system. *Chromatographia*, 26(1), 171-177.
- Radke, M., Willsch, H., & Teichmüller, M. (1990). Generation and distribution of aromatic hydrocarbons in coals of low rank. *Organic Geochemistry*, 15(6), 539-563.
- RAG (1994). Abschlußbericht Grimberg 2
- RAG (1995). Abschlußbericht Grimberg 1
- RAG (1995). Abschlußbericht Grimberg 16
- RAG (1995). Abschlußbericht Grimberg 17
- RAG (1998). Abschlußbericht Grimberg 31
- RAG (2015). Historie PCB/PCDM. Stand 01.10.2015
- Reichel, J. (1973). Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten für hydraulische Bergwerksmaschinen.
- Reuter, E.-U. (1982). Einführung in den Bergbau. Ein Leitfaden der Bergtechnik und der Bergwirtschaft. Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- Schulte, E., Malisch, R., 1983. Berechnung der wahren PCB-Gehalte in Umweltproben. *Fresenius. Z. Anal. Chem.* 314, 545 – 551.
- Schulz, D.E., Petrick, G., Duinker, J.C., 1989. Complete characterization of polychlorinated biphenyl congeners in commercial Aroclor and Clophen mixtures by multidimensional gas chromatography-electron capture detection. *Environ. Sci. Technol.* 23, 852–859.

- Schwarzbauer, J., Littke, R., & Weigelt, V. (2000). Identification of specific organic contaminants for estimating the contribution of the Elbe river to the pollution of the German Bight. *Organic Geochemistry*, 31(12), 1713-1731.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. (1993). *Environmental organic chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 681 S.
- 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. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 15(2), 911-929.
- Shiu, W. Y., Doucette, W., Gobas, F. A., Andren, A., & Mackay, D. (1988). Physical-chemical properties of chlorinated dibenzo-p-dioxins. *Environmental science & technology*, 22(6), 651-658.
- Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. Persönliche Kommunikation mit Joachim Löchte (RAG).
- Stout, S. A., & Emsbo-Mattingly, S. D. (2008). Concentration and character of PAHs and other hydrocarbons in coals of varying rank—implications for environmental studies of soils and sediments containing particulate coal. *Organic Geochemistry*, 39(7), 801-819.
- Stout, S. A., Uhler, A. D., McCarthy, K. J., & Emsbo-Mattingly, S. (2002). Chemical fingerprinting of hydrocarbons. *Introduction to environmental forensics*, 137-260.
- Takasuga, T., Senthilkumar, K., Matsumura, T., Shiozaki, K., Sakai, S., 2006. Isotope dilution analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oil and global commercial PCB formulations by high resolution gas chromatography-high resolution mass spectrometry. *Chemosphere* 62, 469–484.
- Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., ... & Rose, M. (2006). The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicological sciences*, 93(2), 223-241.
- Willsch, H., & Radke, M. (1995). Distribution of polycyclic aromatic compounds in coals of high rank. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 7(4), 231-251.
- Zhao, Z. B., Liu, K., Xie, W., Pan, W. P., & Riley, J. T. (2000). Soluble polycyclic aromatic hydrocarbons in raw coals. *Journal of hazardous materials*, 73(1), 77-85.

Dokumentation Literaturrecherche

- Literatursuche in wissenschaftlichen Online-Datenbanken wie zum Beispiel: Science Direct, Google Scholar, Elsevier

Suchwörter TEIL A

Organische Schadstoffe, RAA-Schlämme	Organic pollutants, residual sludge
Organische Schadstoffe, Filterstäube	Organic pollutants, RAA sludge
Organische Schadstoffe, Müllverbrennung	Organic pollutants, filter residues
Organische Schadstoffe, Müllverbrennungsanlagen	Organic pollutants, waste incinerator, ashes
Organische Schadstoffe, Filterkuchen	Organic pollutants, waste incinerator, residues
	Organic pollutants, incineration plants
	Organic pollutants, waste incinerator, filter dust

Suchwörter TEIL B

PCB, Rhine	PCB, adsorption, coal	PCB, distribution
PCB, Lippe	PCB, hard coal	PCB, Punktquelle
PCB, Risk Assessment	PCB, mining	PCB, Kinetik
PCB, risk, mining	PCB, coal	PCB, Ausbreitung
PCB, mass balance	PCB, mobility	PCB, Massenbilanz
PCB, quantification	PCB, mobilisation	PCB, Quantifizierung
PCB, quantification, mining	PCB, remobilisation	PCB, Bergbau
mining contamination	PCB, adsorption	PCB, Kohle
Mining, Contamination, PCB	PCB, Discharge, Mine	PCB, Hydrauliköl
PCB, Output, Mine	PCB, Release	PCB, hydraulic oil
PCB, Input	PCB, Input, Mining	PCB, Risikoanalyse
Walsum, PCB	Walsum, Mine	PCB, Transport
Walsum, Mine, Risk	PCB Kinetics	PCB, Mobilität
PCB, Kinetics, Equilibrium	PCB, point source	PCB, sources, mining

- Recherche in öffentlich zugänglichen Dokumenten der Europäischen Kommission und zwischenstaatlicher Kommissionen
- Quellenrecherche in deutschen Universitätsbibliotheken

- Daten und Dokumente, die von der RAG erhalten wurden und öffentlich zugängliche Dokumente von Zuliefererfirmen
- Daten und Dokumente, die von der Bezirksregierung Arnsberg erhalten wurden
- öffentlich zugängliche Ausschussprotokolle und Vorlagen des Landtages in NRW, Drucksachen des Deutschen Bundestages
- öffentlich zugängliche Publikationen des LANUV in NRW und des Bundesumweltamtes; direkt vom LANUV NRW erhaltenen Dokumente und Messdaten

16 ANHANG: ANGEWENDETE METHODEN PCB-ANALYTIK

Labor für organisch-geochemische Analytik,
Lehrstuhl für Geologie, Geochemie
und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle
RWTH-Aachen
Arbeitsgruppe Prof. Dr. ██████████

Quantifizierung von ausgewählten PCB-Kongeneren in der wässrigen Phase einer Grubenwasserprobe vom Victoriadamm, Bergwerk Haus Aden/Monopol

Probenvolumen: 108 L, Probenahme am 18.02.2016

Extraktion der Probe: 22.-24.02.2016

Die Filtration der Grubenwasserprobe wurde durch die Fa. UCL (Umwelt Control Labor GmbH, Lünen) durchgeführt. Zur Filtration wurden Glasfaserfilter mit einer Porengröße von 0,7 µm benutzt (Whatman, GF/F-Filter) (DIN 38409 H2-3; L).

Im Labor für organisch-geochemische Analytik des Lehrstuhls für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle, RWTH-Aachen University, wurden jeweils 1 L-Aliquote der filtrierten Probe in einen Scheidetrichter überführt und 30 mL Dichlormethan hinzugefügt. Durch flüssig/flüssig Extraktion und Abtrennen der wässrigen Phase wurden die Zielsubstanzen aus der Probenmatrix isoliert. Der Extrakt wurde eingengt, mit Natriumsulfat getrocknet und mit elementarem Kupfer entschwefelt. Nach Überführung in n-Hexan erfolgte die Fraktionierung des Extrakts flüssigchromatographisch unter Verwendung von Kieselgel als stationärer Phase. Dazu wurde der auf ca. 0,5 mL eingengte Extrakt auf eine mit 2 g Kieselgel trocken gepackte und anschließend mit 5 mL Pentan konditionierte Mikrosäule (Typ Bakerbond SPE, Borosilikatglas) gegeben. Die Elution erfolgte mit Lösungsmitteln unterschiedlicher Polarität: 5 mL n-Pentan (WB1), 5 mL n-Pentan-Dichlormethan (90:10, v/v) (WB2), 5 mL n-Pentan-Dichlormethan (40:60, v/v) (WB3), 5 mL Dichlormethan (WB4) und 5 mL Methanol (WB5). Zu den Fraktionen WB2-WB4 wurden 25 µL eines Surrogatstandards hinzugefügt (6 ng/µL d34-Hexadacen und 6.3 ng/µL d10-Benzophenon). Alle Fraktionen wurden auf 50 µL eingengt. Die nachfolgende gaschromatographisch-massenspektrometrische Analyse der PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 und 180 erfolgte an den Fraktionen WB2, WB3 und WB4.

Experimentelle K_d-Wertbestimmung für ausgewählte PCB-Kongeneren an Proben partikulären Materials aus dem Bergwerk Haus Aden/Monopol

Für die Bestimmung von K_d-Werte wurden Aliquote von zwei Proben (18.1 und 18.7) aus der Probenahme vom 18.02.2016 benutzt.

Die Proben wurden bei 100 °C getrocknet. Jeweils 1 g der getrockneten, gemörserten Probe wurde mit 100 µL eines Standards mit den PCB-Kongeneren 28, 52, 101, 118, 138, 153 und 180, dotiert (Konzentration: jeweils 1 µg/µL pro Kongener, Lösungsmittel Dichlormethan). Nach dem Dotieren wurden die Proben erneut 15 min. bei 50 °C getrocknet. Die Proben wurden mit 1 L Leitungswasser versetzt, und die entstandene Suspension wurde 96 h mit einem Magnetrührer intensiv durchmischt. Danach wurde das partikuläre Material abfiltriert (MNGF-6 Glasfaserfilter, Macherey-Nagel, Deutschland, Porengröße 0,45 µm).

Das Filtrat wurde mit jeweils 50 ml n-Pentan und Dichlormethan gemäß Abschnitt 1 extrahiert. Zu beiden Fraktionen wurde jeweils 50 µL Surrogatstandard (6 ng/µL d34-Hexadacen und 6,3 ng/µL d10-Benzophenon) hinzugefügt.

Das partikuläre Material im Filtrationsrückstand wurde mit 50 ml Aceton versetzt und 15 min. mit Ultraschall extrahiert. Danach wurde die Suspension 24 h mit einem Magnetrührer intensiv durchmischt. Nach der Abtrennung des Acetons wurde diese Prozedur mit einer n-Hexan-Aceton-Mischung (30 ml n-Hexan und 20 ml Aceton) wiederholt. Nach Abtrennen dieses Lösungsmittelgemischs erfolgte eine nochmalige Extraktion mit n-Hexan (10 min., Ultraschall). Die Lösungsmittel wurden in einem Scheidetrichter zusammengeführt, eingeeengt und die wässrige Phase wurde abgetrennt. Der Extrakt wurde auf ca. 1 mL eingeeengt, mit elementarem Kupfer entschwefelt und mit Natriumsulfat getrocknet. Die flüssigchromatographische Fraktionierung des Extrakts erfolgte wie in Abschnitt 1 beschrieben mit folgenden Elutionsmitteln: 5 mL n-Pentan (B1), 8,5 mL n-Pentan-Dichlormethan (95:5, v/v) (B2), 5 mL n-Pentan-Dichlormethan (90:10, v/v) (B3), 5 mL n-Pentan-Dichlormethan (60:40, v/v) (B4), 5 mL Dichlormethan (B5) und 5 mL Methanol (B6). Die Fraktionen B1 bis B5 wurden mit je 50 µL Surrogatstandard (6 ng/µL d34-Hexadacen und 6,3 ng/µL d10-Benzophenon) versetzt und auf 50 µL eingeeengt. Die sechste Fraktion wurde mit 200 µL Surrogatstandard versetzt und auf 200 µL eingeeengt.

Um Kontaminationen durch das für die Versuche verwendete Leitungswasser auszuschließen, wurde ein Blankversuch durchgeführt. Der Blank wurde extrahiert wie in Abschnitt 1 beschrieben. Es wurden keine Fremdkontaminationen durch PCB festgestellt.

Analyse mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie

Die Analyse der Extrakte erfolgte mit einem Quadrupol-Trace MS Massenspektrometer, das an einen Trace GC gekoppelt war (Thermoquest, Deutschland). Für die gaschromatographische Separation der organischen Verbindungen wurde eine ZB-5 Kapillarsäule verwendet (Phenomenex, Deutschland, 30 m x 0,25 mm ID x 0,25 µm Filmdicke). Der Gaschromatograph wurde mit folgendem Temperaturprogramm betrieben: 3 min. bei 60°C, mit 3°C/Min. auf 310 °C, 20 min bei 310 °C. Die Injektion erfolgte im Splittless-Modus, bei einer Injektortemperatur von 270 °C. Es wurde jeweils 1 µL injiziert. Folgende Einstellungen des Massenspektrometers wurden benutzt: Quellentemperatur 200 °C, EI+-Modus (70 eV). Die Detektion der PCBs erfolgte im SIM-Modus (Single Ion Monitoring) von zuvor ausgewählten charakteristischen Ionen für die verschiedenen PCB-Kongeneren (m/z 190,192, 224, 226, 258, 260, 292, 294, 326, 328, 362, 364, 396 und 398).

Die Kalibration des Messsystems für die Quantifizierung erfolgte als externe 5-Punkt-Eichung mit Referenzsubstanzen in einem Konzentrationsbereich (0,125 – 5 ng/µL), der innerhalb des linearen Bereichs des Detektors und innerhalb des erwarteten Konzentrationsbereichs in den Probenextrakten lag. Der Regressionskoeffizient der Kalibration lag bei > 0,99 (für jedes der sieben Einzelkongeneren).

Dabei wurde für jedes PCB-Kongener der Response-Faktor von jeweils einem ausgewählten charakteristischen Ion bestimmt. Die Quantifizierung der Zielsubstanzen erfolgte über die Integration der Peakflächen in die jeweiligen charakteristischen Ionenspektren. Bei der Berechnung wurden die eingesetzten Probenmengen und unterschied-

liche Volumina der Fraktionen sowie Injektionsvolumina (Korrektur durch Surrogatstandard) berücksichtigt.

Die angewendeten Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung ein breiten Spektrums lipophiler niedermolekularer organischer Verbindungen in Wasserproben und Sedimentproben wurde detailliert unter anderem in Schwarzbauer et al. (2000) und Dsikowitzky et al. (2002) beschrieben.