

Abschlussbetriebsplan

des

Steinkohlenbergwerks Ibbenbüren

Anlage 14

**Einfluss eines Wasseranstiegs
im Ostfeld des
Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren
auf die PCB-Gehalte im Grubenwasser**

DMT GmbH & Co. KG

Geo Engineering & Exploration
Hydrogeologie & Wassermanagement
Am TÜV 1
45307 Essen



Einfluss eines Wasseranstiegs im Ostfeld des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren auf die PCB-Gehalte im Grubenwasser

Auftraggeber: RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH
Osnabrücker Str. 112
49477 Ibbenbüren

Bestellung: 5363198/104/DA vom 14.03.2018

Sachverständiger: Dr. C. Klinger
Dr. M. Eckart
Dipl. Geol. Rüterkamp
T. Steinmetz

Tel.-Durchwahl: 0201/172-1812
Fax: 0201/172-1891

DMT-Bearbeitungs-Nr.: GEE5-2018-00188

Essen, den 28.02.2019

DMT GmbH & Co. KG


(Klinger)


(Eckart)

Dieser Bericht besteht aus 77 Seiten.



DIN EN ISO
9001
zertifiziert

DIN EN ISO
14001
zertifiziert

Earth. Insight. **Values.**

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
1 Einleitung	6
2 Bearbeitungsgegenstand	7
3 Standortbedingungen	9
3.1 Wassermengen.....	10
3.2 Wasseranstieg.....	11
3.3 Abflussverhältnisse.....	13
4 Einsatz von PCB/PCDM-haltigen Betriebsmitteln	14
4.1 Einsatz und untertägiger Verbleib von PCB/PCDM im Ostfeld	14
4.2 Potenzielle PCB/PCDM Verteilung im Ostfeld	18
4.3 Vertikale Verteilung der Abbauaktivitäten	22
4.4 Flächenverhältnisse.....	25
5 Untertägige Beprobung und PCB/PCDM-Verteilung.....	28
5.1 Untersuchungen in Wasserproben	30
5.2 Feststoffe / Sohlmaterial.....	34
5.3 Charakterisierung der PCB / PCDM-Gehalte im Ostfeld.....	36
6 Freisetzung und Transport von PCB	42
6.1 PCB-Verhalten.....	42
6.2 Fließprozesse im Bergwerk	43
6.3 Erosion.....	45
6.4 Sedimentation.....	47
7 Quantitative Modellprognose zur Entwicklung des PCB/PCDM- Austrags nach der Grubenwasseranhebung	50
7.1 Grundlagen der PCB-Quantifizierung.....	51
7.2 Schwebstoffgehalte	53
7.3 PCB / PCDM.....	57
7.4 Vergleichende Bewertung	69
8 Zusammenfassung und Fazit	73

ABBILDUNGSVERZEICHNIS
Seite

Abbildung 1:	Schematischer West-Ost-Schnitt durch das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren mit wesentlichen Elementen zum Zeitpunkt nach erfolgtem Wasseranstieg.	10
Abbildung 2:	Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel +63 mNN.....	11
Abbildung 3:	Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel 0 mNN.^	12
Abbildung 4:	Nach Wasseranstieg +63 mNN verbleibende Zuflüsse (m ³ /min) entsprechend Standortanalyse und Modellrechnungen mit hydraulisch wirksamen Verbindungen und erwarteten Hauptwasserbewegungen.	13
Abbildung 5:	Beschaffungsmengen von PCB/PCDM und Steinkohlenförderung zwischen 1964 und 1992 als Basisdaten für den Stoffeinsatz untertage.....	16
Abbildung 6:	Verteilung von Abbaufeldern (digitalisiert vorliegende Flächen) im Ostfeld Ibbenbüren.....	19
Abbildung 7:	Verteilung der in den Jahren 1969–1984 (PCB) betriebenen Abbaue als Polygone in den Teilbereichen des Boxmodells Ostfeld Ibbenbüren.	20
Abbildung 8:	Verteilung der in den Jahren 1985–1992 (PCDM) betriebenen Abbaue als Polygone in den Teilbereichen des Boxmodells Ostfeld Ibbenbüren.	21
Abbildung 9:	Vertikale Verteilung von Gesamt RHV und PCB- bzw. PCDM-Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina.	23
Abbildung 10:	Vertikale Verteilung der den Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina.	23
Abbildung 11:	Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot) und außerhalb der PCB-Zeit (grün) bei unterschiedlichen Grubenwasserständen (eingestaute Abbauflächen ausgefüllt).	26
Abbildung 12:	Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot), PCDM-Zeit (magenta) und außerhalb der PCB/PCDM-Zeit (grün).	27
Abbildung 13:	Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot) und außerhalb der PCB-Zeit (grün) nochmals differenziert in zwei Stockwerke im Ostfeld.	28
Abbildung 14:	Gehalte an PCB und PCDM in Proben der Grubenwasserableitung aus dem Ostfeld.....	31
Abbildung 15:	Probenahmestellen im Ostfeld Ibbenbüren bezüglich PCB/PCDM mit farblicher Charakterisierung der Befundsituation.	32

Abbildung 16:	Vertikale Verteilung der den Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina mit Zuordnung der als Wasserzuflüsse charakterisierten Proben aus Abbildung 15 (nur PCB-Belastungen).....	33
Abbildung 17:	Lage der Probenahmestellen ahu/LANUV zur Feststoffuntersuchung.	35
Abbildung 18:	Anteile der PCB-Kongenere an der analytisch bestimmten PCB-Summe in Feststoffproben.	37
Abbildung 19:	Anteile der PCB-Kongenere an der analytisch bestimmten PCB-Summe in 10 L-Proben mit PCB-Belastung.....	38
Abbildung 20:	Mittelwerte zu Anteilen der PCB-Kongenere an der analytisch bestimmten PCB-Summe in verschiedenen Probengruppen.	39
Abbildung 21:	Vergleich der Kongener-Anteile an der analytisch bestimmten PCB-Summe an verschiedenen Standorten und Probentypen. ...	39
Abbildung 22:	PCB-Gehalte in Proben aus dem Ostfeld Ibbenbüren.....	40
Abbildung 23:	Hjulstrøm-Diagramm mit Ergänzungen zu den bergbauspezifischen Rahmenbedingungen.	45
Abbildung 24:	Ableitung von Ratenkonstanten für die Sinkgeschwindigkeit.	49
Abbildung 25:	Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	55
Abbildung 26:	Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	56
Abbildung 27:	Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	56
Abbildung 28:	PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen) sowie in Untertageproben.....	59
Abbildung 29:	PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes mit Wirkungszusammenhängen.	59
Abbildung 30:	PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	62
Abbildung 31:	PCB in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	63
Abbildung 32:	PCDM in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	67
Abbildung 33:	Modellprognose für PCB-28 in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	70
Abbildung 34:	PCB in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Vergleich der Wasseranstiegsvarianten +63 mNN – 0 mNN).	71

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1:	Extrapolation untertägig eingesetzter PCB/PCDM-haltiger Betriebsstoffe für das Ostfeld Ibbenbüren über Anteile an der Kohlenförderung.	17
Tabelle 2:	Beschreibung der untertage im Ostfeld genommenen Feststoffproben. Proben 4 und 5 in Abbildung 17 ohne PCB/TCBT-Nachweis.	35

1 Einleitung

Das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH hat Ende 2018 die Gewinnung von Steinkohle im Ostfeld eingestellt. Es ist geplant, die Wasserhaltung einzustellen und das Wasser bis das oberflächennahe Niveau von +63 mNN ansteigen zu lassen. Die Ostfeldwässer sollen vom Schacht Oeynhausen 1 über einen noch zu errichtenden Grubenwasserkanal drucklos abgeleitet werden. Vorbild für dieses Konzept ist die Verwahrung des Westfeldes der Ibbenbürener Karbonscholle, in dem der Abbau bereits Mitte 1979 eingestellt und der Wasseranstieg Anfang 1980 eingeleitet wurde. Die Planungen sehen einen Rückzug aus dem Grubengebäude mit der abschließenden Verfüllung der Schächte bis Ende des Jahres 2019 vor.

Für diesen Grubenwasseranstieg, dessen hydraulische Rahmenbedingungen und die zu erwartende Grubenwasserzusammensetzung wurden Untersuchungen und Modellberechnungen durchgeführt (Prognose zur optimierten Wasserannahme nach Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld), EG-HW-2012-056 vom 19.02.2019). Da wie in den Bergwerken an Ruhr und Saar auch in Ibbenbüren PCB/PCDM-haltige Betriebsmittel eingesetzt wurden und die Auswirkungen des geplanten Wasseranstiegs auf deren Freisetzung eine Rolle bezüglich der Umweltverträglichkeit von Rückzug und Wasseranstieg spielen, ist diese Thematik zu untersuchen und zu bewerten.

Unabhängig von dem Ausmaß des Wasseranstiegs sind für die Bergwerke des deutschen Steinkohlenbergbaus in den verschiedenen Revieren (Ruhr, Saar, Ibbenbüren) bezüglich PCB-Mobilisation und -Transport grundsätzlich die gleichen Prozesse wirksam und auch die gleichen Bewertungsmethoden anwendbar. Eine diesbezügliche Vorlage für die Bewertung des geplanten Wasseranstiegs in Ibbenbüren liefern daher die 2017 vorgelegten Untersuchungen für die Wasserprovinz Ost mit der Schachtanlage Haus Aden (Teil 1 des "Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen" - Endbericht, Abgabe April 2017). Hierin wurden von der ahu AG Wasser Boden Geomatik, Aachen (im Folgenden kurz ahu) grundsätzliche Zusammenhänge und Prozesse entwickelt und bewertet und in einer Gefährdungsanalyse der Wasseranstieg in der Wasserprovinz Haus Aden beurteilt (hier vor allem Detailbericht 6: Risikoanalyse PCB und weitere organische Stoffe).

Dieses Verfahren wurde in der Folge, erweitert um eine Modelluntersuchung zum besseren Verständnis der aktuellen Situation und zur Prognose

der Parameter-Entwicklungen bezüglich partikulär gebundener PCB, von DMT auch für die Wasserprovinz AV-Lippe und den Wasserhebungsstandort Auguste Victoria angewendet (Einfluss eines Wasseranstiegs in der Wasserprovinz AV-Lippe auf die PCB-Gehalte im Grubenwasser, DMT GEE5-2016-01200-d vom 14.09.2017). Diese Übertragung wurde vom Gutachter ahu bezüglich Vergleichbarkeit geprüft und bestätigt (Stellungnahme zum Gutachten der DMT (s.o.), ahu AG UTVDMT/17297 vom 25.01.2018).

Die ahu-Untersuchungen hatten sich auf PCB beschränkt, weil hierzu für den Standort Haus Aden umfangreichere Datengrundlagen für eine Prozessstudie vorlagen. Im Ibbenbürener Ostfeld ist der gesamte Abbauzeitraum sehr gut dokumentiert und PCDM wurden auch in untertägigen Proben analysiert. Die historische Entwicklung des Bergbaus im Ibbenbürener Ostfeld bedingt zudem, dass dort Bereiche existieren, in denen Abbau im PCDM-Einsatzzeitraum in beträchtlichen Umfang erfolgte, so dass sich entsprechende Belastungen auch heute noch in den Strecken und Grubenwässern dort nachweisen lassen. Für diese Umsetzung der Ergebnisse der ahu-Prozessstudie auf den Standort Ibbenbüren, wurden daher die Betrachtungen auch auf die PCB-Ersatzstoffe (PCDM) bzw. die in diesem Einsatzzeitraum gebauten Flächen ausgedehnt.

Die Untersuchung für den geplanten Wasseranstieg im Ostfeld Ibbenbüren wird analog mit denselben Kriterien wie in den vorgenannten Untersuchungen durchgeführt. Die Doppelbenennung PCB/PCDM wird im Kontext allgemeiner Zusammenhänge nicht immer verwendet und stattdessen auf den eingängigeren PCB-Terminus reduziert.

2 Bearbeitungsgegenstand

Im o.g. ahu-Gutachten werden die Eigenschaften von PCB sowie Einsatz und Umgang mit den PCB-haltigen Betriebsmitteln dargestellt. Darüber hinaus werden grundsätzliche Wirkzusammenhänge vor, während und nach dem Wasseranstieg beschrieben. Diese allgemeinen Ergebnisse sollen hier nicht nochmals dargestellt werden und es sei auf dieses Gutachten sowie weitere Literatur zu diesem Thema verwiesen.

Standortspezifisch und abhängig vom geplanten Wasseranstiegsniveau unterschiedlich sind jedoch die untertägige Verteilung von PCB/PCDM in den jeweiligen Bergwerken sowie die potenziell unter Tage verbliebenen Stoffmengen. Diese Verhältnisse sowie die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen für Wasseranstieg und Wasserableitung aus dem Ostfeld sind Schwerpunkt dieser Untersuchungen.

Es ist dabei zu prüfen, wie sich die Auswirkungen des Wasseranstiegs auf die Mobilisation von PCB an diesem Standort darstellen und ob auch hier „ein höherer Grubenwasserstand grundsätzlich geeignet ist, den partikelgebundenen und auch den gelösten PCB-Austrag zu reduzieren“. Hierzu werden im ahu-Gutachten die folgenden Kriterien betrachtet:

1. Verminderung des Mobilisationspotenzials
2. Verminderung der gehobenen Wassermengen
3. Verhältnis von Abbaubereichen aus der PCB-Einsatzzeit / außerhalb der PCB-Einsatzzeit

Darüber hinaus werden im ahu-Gutachten allgemeine Empfehlungen zu den im untertägigen Rückzug durchzuführende Maßnahmen gegeben. Hierzu wurden für die Abdämmung der zuletzt betriebenen Baufelder sowie wesentlicher Streckenabschnitte des Ostfeldes bereits separate Gutachten erstellt, wie sie auch mit analogem Untersuchungs-, Bewertungs- und Bearbeitungskonzept von DMT für andere Standorte vorgelegt wurden:

- Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs im Bergwerk Ibbenbüren-Ost - Abdämmen Südöstliches Mittelfeld, GEE5-2016-00951-04, 19.10.2017
- Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs im Bergwerk Ibbenbüren-Ost - Abdämmen Beustfeld, GEE5-2016-00951-06, 21.03.2018
- Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs im Bergwerk Ibbenbüren-Ost - Abdämmen Wetterberg 45 und Querschlag 2 zum Theodorschacht, GEE5-2016-00951-07, 23.07.2018

Hierin werden die lokalen Verhältnisse in den Strecken beschrieben und die hydraulischen Rahmenbedingungen von Bauhöhen diskutiert, soweit sie von einem Wasseranstieg durch die jeweiligen Abdämmungen betroffen sind. Eine Untersuchung der Strecken im Restgrubengebäude ist derzeit in entsprechender Form in Bearbeitung. Das hier vorgelegte Gutachten nutzt die aus den Befunden in den Strecken gewonnenen Erkenntnisse. Bewertet wird aber der gesamte abgedämmte Abbau und Resthohlraum bezüglich des Wasseranstiegs im Bergwerk.

Über das ahu-Konzept hinaus werden Berechnungen mit dem DMT-Boxmodel genutzt, um die aus den Einzelprozessen resultierenden Auswirkungen auf den Stoffaustrag quantifizieren zu können. Dieses um Partikeltransport und die daran gebundenen PCB erweiterte Modell wurde bereits im Gutachten der DMT "Stoffprognose für das Ansteigenlassen des

Grubenwasserspiegels in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel auf -320 mNN unter besonderer Beachtung der Komponenten der WRRL und von PCB“ angewendet und beschrieben. Unabhängig und vor Veröffentlichung des ahu-Gutachtens wurde hier der Darstellung des Verhaltens von PCB unter den speziellen Bedingungen des Wasseranstiegs im Steinkohlenbergbau breiter Raum gewidmet. Es ist zu konstatieren, dass die wesentlichen Zusammenhänge und Prozesse von beiden Gutachten ähnlich verstanden und interpretiert werden. Das Modell verarbeitet daher auch die ahu-Kriterien adäquat und wurde inzwischen auch für die Wasserprovinzen Ost, AV-Lippe und Prosper-Haniel/Lohberg angewendet.

Die geologischen, bergbaulichen und hydraulischen Verhältnisse der Ibbenbürener Karbonscholle wurden ausführlich in dem schon einleitend benannten Gutachten zum Wasseranstieg (Prognose zur optimierten Wasserannahme nach Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld), EG-HW-2012-056 vom 01.01.2019) beschrieben. Diese Rahmenbedingungen bilden auch die Grundlage für die Mobilisation von Betriebsstoffen wie PCB/PCDM. Die allgemeinen Modelleingangsdaten und Modellfunktionalitäten sind dort ausführlich beschrieben, weshalb diesbezüglich darauf verwiesen sei.

3 Standortbedingungen

Durch die Einstellung der tiefen Wasserhaltung am Nordschacht, in dem sich der größte Teil der Wasserzuflüsse in das Ostfeld sammelt, wird der Grubenwasseranstieg eingeleitet werden. Noch in 2019 sollen die verbleibenden Schächte verfüllt werden, womit der endgültige Rückzug aus dem Bergwerk vollzogen ist. Die Planungen sehen vor, den Wasserstand bis +63 mNN ansteigen zu lassen und das Wasser über einen noch zu erstellenden Stollen zum Standort der Kläranlage Gravenhorst zu leiten.

Nur Teile des Flottwell-Flözes und die nur mit sehr kleinen Flächen gebauten Flöze Franz und Alexander im Übergangsbereich Beustfeld/Bockrader Graben sind dann nicht überstaut (Abbildung 1). Die Flözniveaus in denen Abbau in dem PCB/PCDM-Einsatzzeitraum betrieben wurde, sind farblich hervorgehoben. Alle innerhalb des PCB/PCDM-Einsatzzeitraumes abgebauten Bauhöhen werden bei einem Grubenwasserniveau von +63 mNN unterhalb des Wasserspiegels zu liegen kommen. Gekennzeichnet ist auch der sog. Flözsprung unterhalb von Flöz 2, eine bis über 400 m mächtige Schichtenfolge ohne bauwürdiges Flöz.

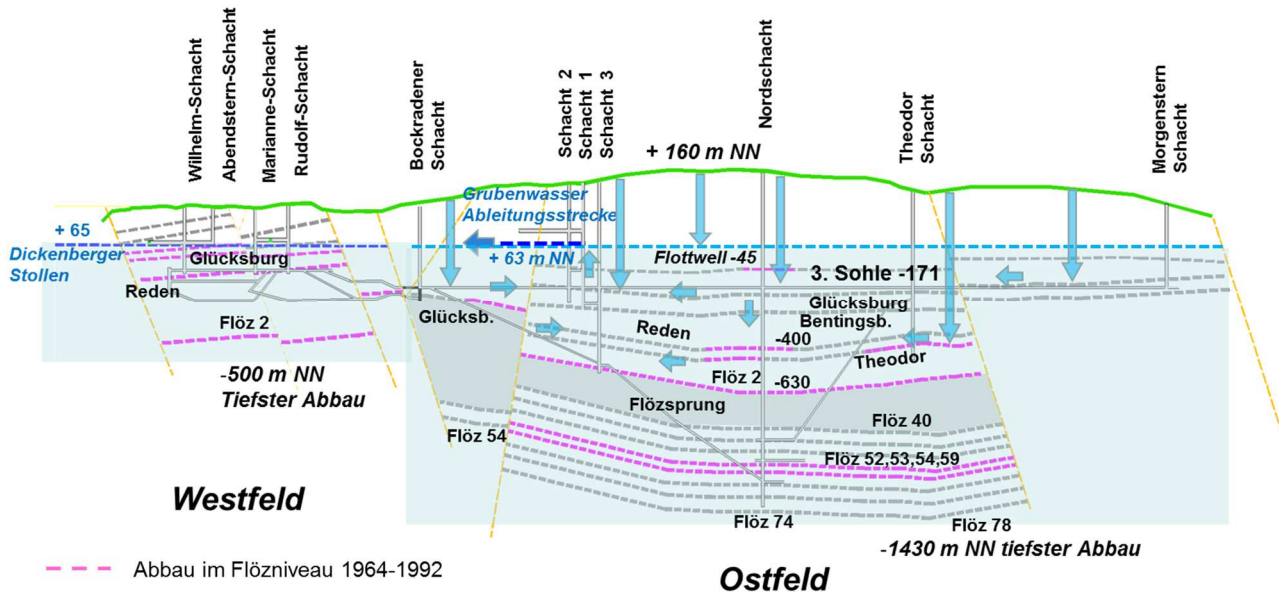


Abbildung 1: Schematischer West-Ost-Schnitt durch das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren mit wesentlichen Elementen zum Zeitpunkt nach erfolgtem Wasseranstieg.

Im Folgenden soll eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse des o.g. DMT-Gutachtens (EG-HW-2012-056) zu den hydraulischen Verhältnissen gegeben werden.

3.1 Wassermengen

Die aktuell dem Ostfeld noch zufließenden Wassermengen sind mit $22,8 \text{ m}^3/\text{min}$ vergleichsweise hoch und nur mit wenigen Bergwerken im südlichen Ruhrgebiet ohne Überdeckung der Karbonoberfläche vergleichbar. Durch den geplanten Wasseranstieg stellt sich ein hydraulischer Gegen- druck insbesondere zu den tiefen Wasserzutritten ein. Diese Minderung des hydraulischen Gradienten führt in Abhängigkeit von der Herkunft der Wasserzuflüsse zu geringeren Zuflussmengen in die Bergwerke und damit auch zu geringeren langfristig anzunehmenden Wassermengen bzw. zu geringeren Strömungsgeschwindigkeiten in den eingestauten Hohlräumen/Strecken. Das beeinflusst wiederum auch die PCB-Mobilisation und die ausge- tragenen Stoffmengen und wird dementsprechend im Boxmodell berück- sichtigt.

Nach Analyse der Standortbedingungen im Ostfeld ist davon auszugehen, dass nach Wasseranstieg auf $+63 \text{ mNN}$ nur noch Sickerwasser von der Oberfläche des Karbonhorstes in das ehemalige Bergwerk fließt. Der mittlere Abfluss bei $+63 \text{ mNN}$ wurde mit $4,46 \text{ m}^3/\text{min}$ bestimmt (Abbildung 2).

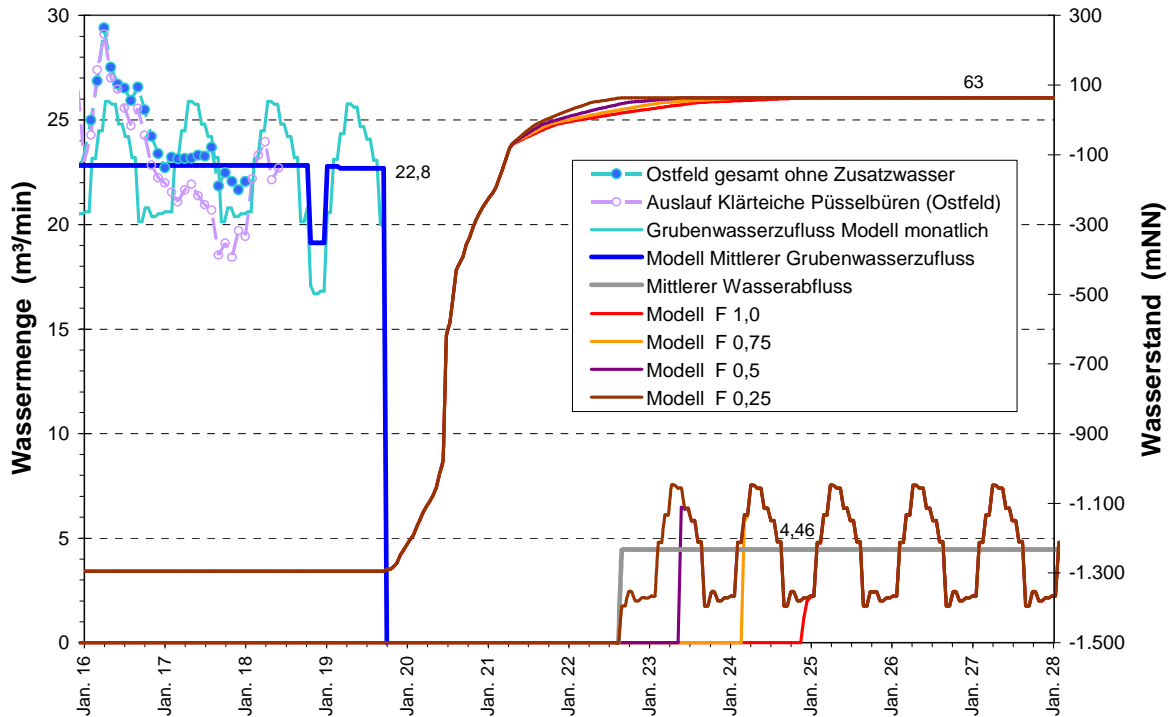


Abbildung 2: Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel +63 mNN.

Dieser Prozess wird auch grundsätzlich im ahu-Gutachten in der Betrachtung für den Standort Haus Aden berücksichtigt (vgl. Kriterium 2. in der Aufstellung Kapitel 2) ohne jedoch quantitative Prognosen hierzu vorzunehmen. Die mit dem Boxmodell bei einem Wasserstand von +63 mNN ermittelten 4,46 m³/min bedeuten gegenüber zuvor 22,8 m³/min eine Verringerung um 80 %. Diese Minderung der Abflussmengen hat einen beträchtlichen Einfluss auf die aus dem Bergwerk künftig austragbaren Stoffmengen und führt somit insgesamt zu den PCB-Austrag reduzierenden Rahmenbedingungen.

3.2 Wasseranstieg

Der Wasseranstieg im Ostfeld erfolgt aufgrund der großen Wassermengen relativ schnell (Abbildung 2). Im hohlraumarmen Teufenbereich des Flözsprunges (kaum Abbau zwischen -700 und -900 mNN, s. Abbildung 9; S. 23) beschleunigt sich der Wasseranstieg nochmals. Für den oberflächennahen Bereich ist aufgrund der Beobachtungen während des Wasseranstiegs im Westfeld grundsätzlich anzunehmen, dass hier ein mit Wasser auffüllbares Volumen existiert, das über den direkt bergbaulich geschaffene-

nen Hohlraum hinausgeht. Um die mögliche Spannbreite in der Übertragung dieser Verhältnisse auf das Ostfeld abzudecken, wurden 4 Varianten für den Wasseranstieg berechnet. Die Variante F 1,0 (Faktor 1,0) entspricht den am Westfeld kalibrierten Hohlraumverhältnissen. Infolgedessen liegt die Modellerwartung für das Erreichen des Annahmeniveaus zwischen Mitte 2022 und Ende 2024.

Die mit demselben Modell für einen tieferen Wasserstand von 0 mNN durchgeführten Simulationen (vgl. Bericht DMT EG-HW-2012-056) ermöglichen einen Ergebnisvergleich sowohl für die hydraulischen Parameter als auch für den Stoffaustrag von PCB (vgl. Kap. 7.4). Im Gegensatz zum Wasseranstieg bis +63 mNN müsste das Wasser dann mittels Pumpe in den o.g. Stollen gehoben werden. Für diesen Fall vermindern sich die Zuflussmengen nur auf 6,5 m³/min und somit um 70 % (Abbildung 3). Gemäß dem o.g. Kriterium der Abflussminimierung (s. Kap. 3.1) würde dies ungünstigere Rahmenbedingungen auch für den Stoffaustrag von PCB bedeuten.

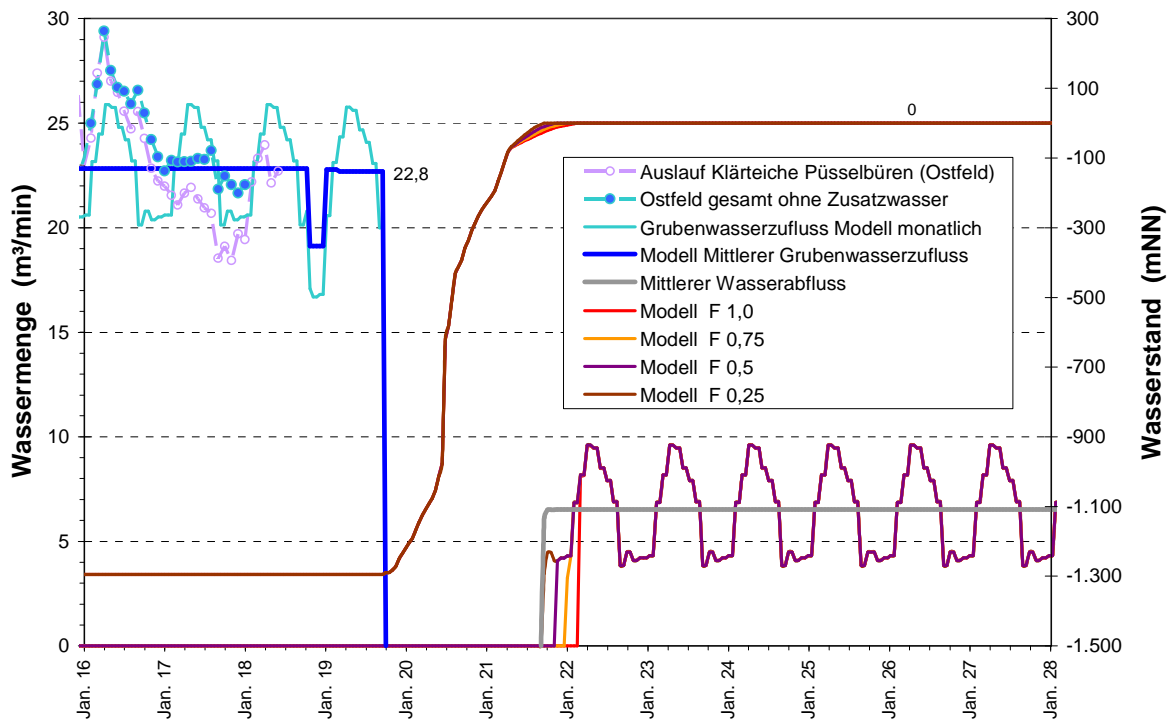


Abbildung 3: Wasseransteigs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel 0 mNN.

3.3 Abflussverhältnisse

Der Wasseranstieg, die Zuflussverteilung und die limitierten Verbindungen durch den Flözsprung führen dazu, dass das verbleibende Sickerwasser von der Oberfläche des Karbonhorstes fast ausschließlich durch die Abbauflächen und Strecken oberhalb des Flözsprunges zum Entlastungspunkt an den Oeynhausener-Schächten strömen wird (Abbildung 4, vgl. auch Abbildung 1). Aufgrund der Verteilung dieser Zuflusspunkte ist allerdings davon auszugehen, dass durch die Wasserbewegungen der größte Teil der dort vorhandenen Hohlräume erfasst werden wird. Dabei kommt dem Nordschacht aufgrund seiner intensiven Anbindung an die diversen Sohlen und Flöze eine Knoten- und Sammelfunktion zu.

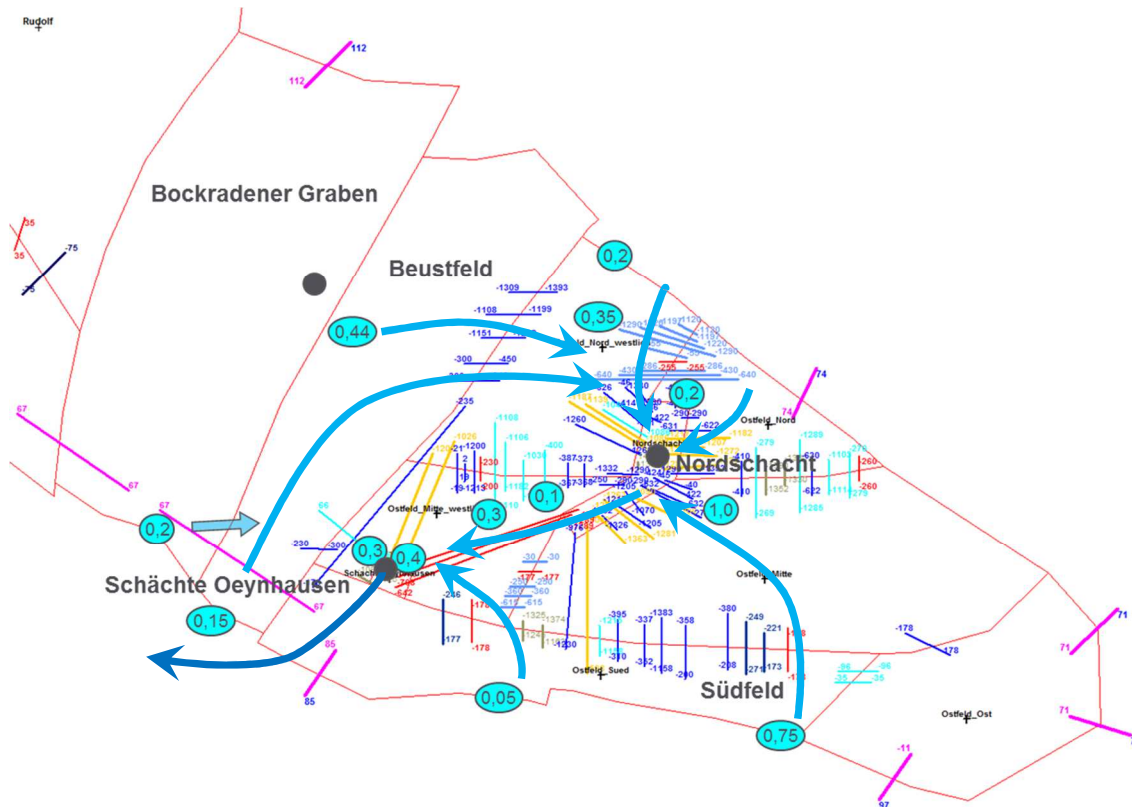


Abbildung 4: Nach Wasseranstieg +63 mNN verbleibende Zuflüsse (m³/min) entsprechend Standortanalyse und Modellrechnungen mit hydraulisch wirksamen Verbindungen und erwarteten Hauptwasserbewegungen.

Diese Strömungsverhältnisse führen dazu, dass im wassererfüllten Hohlraum zwischen +63 und -700 mNN befindliche Stoffe mit diesem Wasser sukzessive ausgespült werden. Dies konnte für das im Wasser gelöste Chlorid nachvollzogen werden (vgl. EG-HW-2012-056) und trifft in ähnlicher Weise auch für PCB zu, die als Feinfraktion dauerhaft mobil im Grubenwasser vorliegen.

4 Einsatz von PCB/PCDM-haltigen Betriebsmitteln

Im gesamten Deutschen Steinkohlenbergbau und so auch in Ibbenbüren mussten zwischen 1964 und 1984 schwerentflammbare PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt werden. Aufgrund des Gefährdungspotenzials wurden sie ab 1984 durch PCB-freie Betriebsstoffe (PCDM) ersetzt, die sich jedoch rasch als ebenso gesundheitsgefährdend erwiesen. 1989 trat schließlich die PCB-Verbotsverordnung in Kraft. Die Ersatzstoffe wurden seit 1990 ebenfalls nicht mehr eingesetzt. Für die in den Maschinen befindlichen PCB wie auch für die PCDM ist allerdings von mehrjährigen Übergangsphasen auszugehen, in denen die Betriebsmittel sukzessive ersetzt wurden (s. Kap. 4.1, Abbildung 5).

Die Eigenschaften dieser Stoffgruppe sollen hier nicht beschrieben werden. Hierzu gibt es umfangreiche Literatur, die im ahu-Gutachten zusammengefasst und ausgewertet wurde. Auch im Gutachten der DMT „Stoffprognose für das Ansteigenlassen des Grubenwasserspiegels in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel auf -320 mNN unter besonderer Beachtung der Komponenten der WRRL und von PCB“ (15.04.2016) wird der Frage des Verhaltens von PCB unter den speziellen Bedingungen des Wasseranstiegs im Steinkohlenbergbau breiter Raum gewidmet.

Durch Leckagen, Defekte etc. kam es in verschiedenen Einsatzbereichen zu Flüssigkeitsverlusten, so dass davon auszugehen ist, dass ein Teil der PCB- bzw. PCDM-haltigen Hydraulikflüssigkeiten damals untertage verblieben ist. Das ahu-Gutachten widmet sich ausführlich der Datenlage, den eingesetzten Mengen sowie den bevorzugten Orten des untertägigen Verbleibs. Diese Ergebnisse sind standortübergreifend übertragbar. Genaue standortgebundene Mengenangaben sind retrospektiv jedoch nicht möglich.

4.1 Einsatz und untertägiger Verbleib von PCB/PCDM im Ostfeld

Die o.g. grundsätzliche Annahme des untertägigen Verbleibs von PCB/PCDM-haltigen Hydraulikölen trifft – wie untertägig genommene Proben belegen (vgl. Kap. 5) - auch für den Bergbau in Ibbenbüren zu. Genaue (bzw. lokale) Mengen-Eruierungen zum untertägigen Verbleib von PCB/PCDM sind nachträglich nicht möglich, da Zahlen nur bundes- bzw. teilweise landesweit vorliegen. Es kann aus Analogieschlüssen aber die Größenordnung für kleinere Einheiten (z.B. Wasserprovinzen, Bergwerke)

abgeschätzt werden. Grundlage hierfür sind die im ahu-Gutachten erhobenen Daten zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau sowie die postulierte Korrelation zwischen PCB-Einsatz und Steinkohlenförderraten.

Das Verhältnis Steinkohlenförderrate BRD bzw. NRW zu Ibbenbüren wird daher auf die untertägig eingesetzte PCB-Menge BRD bzw. NRW übertragen. Diese so für Ibbenbüren abgeschätzte Einsatz-Menge (Beschaffungsmenge) wird um einen Anteil (geregelter Entsorgung, Abförderung der Ölverluste über das Fördergut) auf die dann untertägig theoretisch verbliebene PCB-Menge reduziert. Dargestellt ist diese Vorgehensweise v.a. in den Kapiteln 7.5 und 8.3 des Detailberichts 6 ahu. PCDM werden analog zur PCB-orientierten Vorgehensweise des ahu-Gutachtens betrachtet, da sich das Stoffverhalten und untertägige Handling von PCB und PCDM nicht unterscheiden. Die ahu-Untersuchungen hatten sich auf PCB beschränkt weil hierzu umfangreichere Datengrundlagen für eine Prozessstudie vorliegen.

Das ahu-Gutachten betrachtet den Einsatz von PCB zwischen 1964 und 1984. Für diesen Zeitabschnitt wurden die jährlichen Mengen zum PCB-Einsatz eruiert (für einzelne Jahre mussten teilweise Extrapolationen oder Schätzungen vorgenommen werden). Der Zeitraum danach, d.h. die Umstellung auf PCB-Ersatzstoffe wird nicht detailliert betrachtet (vgl. Kap. 1). Hier findet sich die Aussage „Von der RAG wurden zwischen 1984 und 1991 insgesamt 3.173 t TCBT¹-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.“ Diese Angaben sind wohl „bundesweit“ zu verstehen, da Steinkohle zu dieser Zeit nicht nur in NRW (Aachen, Ibbenbüren, Ruhr) sondern auch im Saarland abgebaut wurde. Die Einsatzmenge für die Jahre 1984 und 1986-1992 musste daher auf Basis der o.g. Gesamtmenge geschätzt werden, wobei zu beachten ist, dass sich Materialbeschaffung (endet für PCDM 1990) und Einsatz untertage unterscheiden dürften.

Da diese Verhältnisse auch als Eingangsdaten für die Betrachtung untertägiger Einsatzbereiche (Bauhöhen vgl. Kap. 4.2 und 4.3) und die Modellberechnungen (vgl. Kap. 6.1) von Bedeutung sind, wurden die verfügbaren

¹ Die Gruppe der Hydraulikflüssigkeiten auf Basis von Tetrachlorbenzyltoluolen (TCBT) - Handelsname Ugilec 141 - gehört zu den Hydraulikflüssigkeiten auf Basis polychlorierter Diphenylmethanderivate (PCDM). [Quelle: ahu-Bericht]

Beschaffungsdaten (vorhanden bzw. ergänzt) in einer Grafik zusammengefasst (Abbildung 5). Demnach lag das Verbrauchsmaximum für PCB Ende der 70er – Anfang der 80er Jahre und der Verbrauch von PCDM hat bereits kurz nach deren Einführung abgenommen. Das Jahr 1984 stellt ein Übergangsjahr dar, in dem die Einführung der PCDM erfolgte. Für die Folgejahre waren PCB zunächst noch zugelassen und anschließend dürften durch sukzessiven Austausch ebenfalls noch PCB in Anlagen untertage im Einsatz gewesen sein. Die veranschlagten Verwendungszeiträume sind in Abbildung 5 in der Balkengrafik oben dargestellt. Ein entsprechend verlängertes Vorhandensein untertage ist somit auch für PCDM anzunehmen, nachdem deren Beschaffung wohl 1990 eingestellt wurde. Hierfür wurden jeweils drei Jahre angenommen.

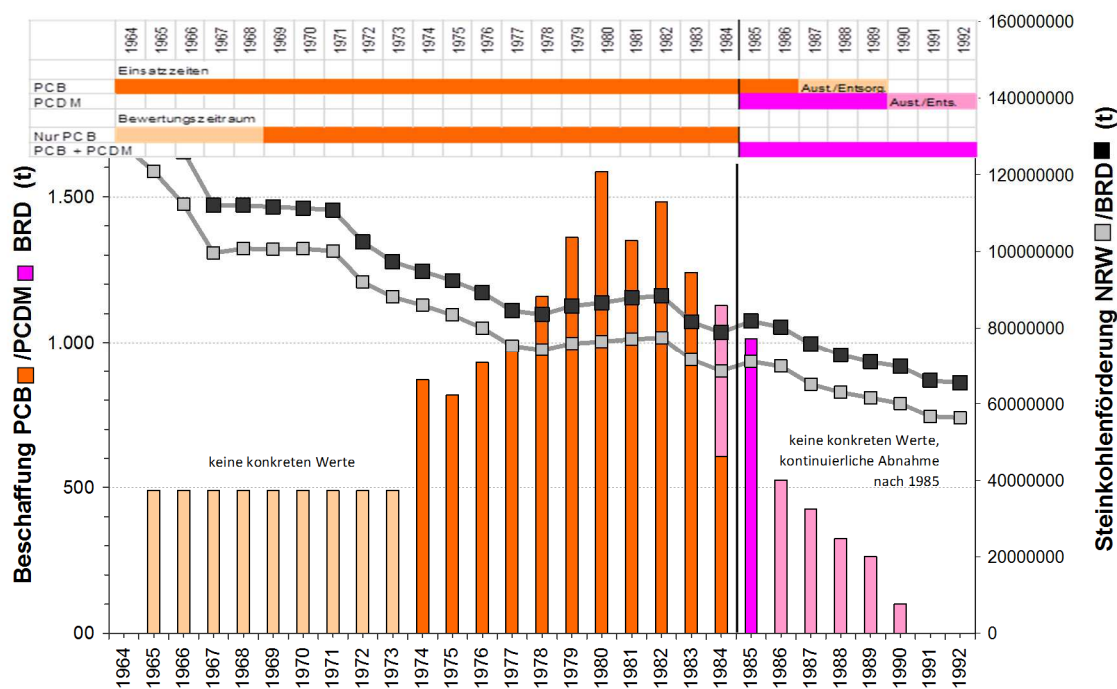


Abbildung 5: Beschaffungsmengen von PCB/PCDM und Steinkohlenförderung zwischen 1964 und 1992 als Basisdaten für den Stoffeinsatz untertage.

Gemäß den in Abbildung 5 dargestellten Beschaffungsmengen PCB/PCDM BRD und dem Analogieschluss über die Steinkohlenförderanteile ergeben sich für den Abbau im Ostfeld Ibbenbüren abgeschätzte PCB/PCDM-Mengen von 392 t (298 t PCB und 94 t PCDM, Tabelle 1). Es wird nur der Bezug zur Förderrate BRD benutzt, da die von RAG angegebenen PCDM-Mengen (s.o.) höchstwahrscheinlich für Deutschland (inkl. Saarland) und nicht nur für NRW gelten).

Dieses von ahu verwendete Mengengerüst geht davon aus, dass u.a. auch Walzenschrämlader (WSL) als Verbraucher zum Einsatz kamen, was auf Ibbenbüren nicht der Fall war. Demzufolge müsste die abgeschätzte Einsatzmenge dort reduziert werden. Wird analog zum ahu-Gutachten die Anzahl der WSL über den durchschnittlichen Anteil der Steinkohlenförderung Ibbenbüren Ostfeld abgeschätzt, wäre fiktiv 1 WSL auf Ibbenbüren eingesetzt worden. Bei einem jährlichen Bedarf dieser Maschinen untertage von 6-9 t (7,5 t im Mittel) und einem Einsatz ab 1970 (s. ahu) ergäbe sich für die Jahre 1970-1990 ein fiktiver PCB/PCDM-Minderverbrauch von etwa 150 t. Demzufolge wäre von einem Verbrauch von 189 t PCB und 53 t PCDM für das Ostfeld auszugehen.

Tabelle 1: Extrapolation untertägig eingesetzter PCB/PCDM-haltiger Betriebsstoffe für das Ostfeld Ibbenbüren über Anteile an der Kohlenförderung.

Jahr	Steinkohlenförderung (t v.F.)		Förderanteil Ibb. Ostfeld	PCB/PCDM-haltige Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau BRD (t)		PCB-Bezug (t)	PCDM-Bezug (t)
	BRD	Ibbenbüren Ostfeld		PCB	PCDM	Ibb. Ostf.	Ibb. Ostf.
1964	142.201.228	1.473.060	1,0%				
1965	135.076.840	1.417.648	1,0%	490		5,1	
1966	125.970.136	1.203.152	1,0%	490		4,7	
1967	112.042.977	1.382.816	1,2%	490		6,1	
1968	112.011.582	1.510.732	1,3%	490		6,6	
1969	111.629.837	1.643.030	1,5%	490		7,2	
1970	111.270.760	1.701.164	1,5%	490		7,5	
1971	110.794.993	1.622.069	1,5%	490		7,2	
1972	102.470.103	1.291.105	1,3%	490		6,2	
1973	97.338.787	1.144.594	1,2%	490		5,8	
1974	94.876.248	820.914	0,9%	871		7,5	
1975	92.393.273	758.548	0,8%	818		6,7	
1976	89.269.370	728.594	0,8%	930		7,6	
1977	84.512.956	884.877	1,0%	967		10,1	
1978	83.541.020	1.232.667	1,5%	1.158		17,1	
1979	85.798.747	1.874.728	2,2%	1.361		29,7	
1980	86.574.260	2.190.591	2,5%	1.587		40,2	
1981	87.864.100	2.174.300	2,5%	1.350		33,4	
1982	88.442.399	2.206.529	2,5%	1.482		37,0	
1983	81.653.080	2.275.360	2,8%	1.241		34,6	
1984	78.857.587	2.301.860	2,9%	607		17,7	15,2
1985	81.843.147	2.375.867	2,9%		1.014		29,4
1986	80.261.926	2.334.737	2,9%		525		15,3
1987	75.817.928	2.326.745	3,1%		425		13,0
1988	72.872.487	2.321.646	3,2%		325		10,4
1989	70.999.008	2.100.067	3,0%		264		7,8
1990	69.762.299	2.044.367	2,9%		100		2,9
1991	66.072.548	2.000.618	3,0%				
1992	65.502.844	1.983.571	3,0%				
Summe						298	94

Folgt man dem weiteren Verfahrensweg von ahu, ergibt sich bei einem PCB/PCDM-Eintrag von 242 t ein Austrag über die geregelte Entsorgung (Annahme 5 %) von 12 t, d.h. es verbleiben rd. 230 t (180 t PCB und 50 t

PCDM). Es sei noch mal betont, dass es sich bei diesen Angaben nur um eine Abschätzung der Größenordnung handelt, eine Quantifizierung und Angabe exakter Mengen ist nicht möglich.

Diese geschätzten Mengenangaben gehen nur indirekt in die quantitativen Modellberechnungen ein, als damit deutlich wird, dass in Bezug zu den geringen Stoffausträgen (wenige g/Jahr) eine unendliche PCB- bzw. PCDM-Verfügbarkeit vorliegt. Daher wurde keine Begrenzung des Stoffpools im Modell vorgenommen.

4.2 Potenzielle PCB/PCDM Verteilung im Ostfeld

Die primären Verdachtsbereiche für den untertägigen Verbleib von schwerentflammenden Hydraulikflüssigkeiten stellen die in deren Einsatzzeitraum aufgefahrenen Strecken und Abbaue dar. Zwar muss davon ausgegangen werden, dass durch aktive (Bandtransport, Umlagerungen) und passive (mit Sohlwasser, Anhaftungen, Abwetter) Materialverfrachtungen PCB/PCDM-haltige Berge in der Grube verteilt worden sind, jedoch werden solche Umlagerungen nicht die Belastungsschwerpunkte für die Gesamtgrube darstellen. Diese Einschätzung hat sich in den zwischenzeitlich durchgeführten Untersuchungen von Sohlmaterial (LANUV, ahu, RAG) grundsätzlich bestätigt. PCB wurden oftmals unabhängig von der vorherigen Zuordnung des Streckenstatus gefunden, jedoch sind im Mittel die PCB-Gehalte in primären Verdachtsbereichen höher als in Strecken, die als Verschleppungsbereiche oder als frei von Verschleppungseinfluss eingeordnet wurden.

Es erscheint daher zulässig, die Abbauflächen bzw. deren räumliche Verteilung als Indikator für den vorzugsweise in Betracht kommenden untertägigen Stoffverbleib und dann auch für die Herkunftsbereiche zur Mobilisation zu verwenden, um unabhängig von Analysen eine allgemeine und flächendeckende Einstufung und Differenzierung innerhalb der Bergwerke vornehmen zu können. Eine solche Herangehensweise wird auch im ahu-Gutachten favorisiert. Es wird angenommen, „dass sich die mittlere PCB-Belastung im partikulären Material wie das Verhältnis belasteter zu unbelasteter Abbauflächen verhält bzw. verändern wird“ (Detailbericht 6, S. 88). Dieses Konzept wurde auch dem Quellterm für die Modellrechnungen zugrunde gelegt. Diese großräumige Betrachtungsweise schließt auch spezifische Hot-Spot-Bereiche wie Anlagenstandorte oder mit Vollschnittmaschinen in diesem Zeitraum aufgefahrene Strecken ein.

Aufgrund des Einsatzes von PCB/PCDM in hydraulischen Maschinen werden diese Stoffe bevorzugt im Schotterbett der Streckensohlen bzw. in den

Abbauen selbst (nach ahu-Abschätzung bis zu 99 % der untertage verbliebenen Mengen) zu suchen sein. Grundsätzlich kann angenommen werden, dass der Eintrag in Streckensohlen und damit für Fließprozesse zugänglich, die ungünstigsten Rahmenbedingungen für eine Mobilisation darstellt. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Intensität der Abbautätigkeit in einem Grubenbereich in dem entsprechenden Zeitraum mit der Intensität der PCB/PCDM-Belastung und damit der Wahrscheinlichkeit einer PCB/PCDM-Mobilisation korreliert ist.

Zur Quantifizierung der Abbautätigkeit wiederum können der in einem Grubenfeld bzw. einem Grubenniveau abgebaute Gesamthohlraum, das Resthohlraumvolumen bzw. die gebauten Flächen verwendet werden. Abbildung 6 zeigt die digital als Abbaufelder von der RAG ausgewiesenen Flächen in ihrer Verteilung über das Ostfeld Ibbenbüren. Dabei unterscheidet sich die Farbgebung für die einzelnen Boxen. Die Abbaupolygone werden entsprechend ihrer Erschließung (und demzufolge des hydraulischen Anschlusses) den jeweiligen die Hauptbaufelder repräsentierenden Boxen zugeordnet und können daher auch außerhalb der zugehörigen Boxkontur liegen. Besonders auffällig ist dies für einige Bauhöhen des westlichen Nord- und Mittelfeldes, die aufgrund der Neigung des Fahlbach-Sprunges innerhalb der Boxkontur des Beustfeldes liegen.



Abbildung 6: Verteilung von Abbaufeldern (digitalisiert vorliegende Flächen) im Ostfeld Ibbenbüren.

Die potenziellen PCB/PCDM-Herkunftsschwerpunkte sind somit eine Teilmenge der dargestellten Gesamtabbauflächen. Zur Differenzierung potenzieller PCB-Quellen kann das Alter der jeweiligen Auffahrungen und Abbaue herangezogen werden. Die in die Zeitscheibe 1964 bis 1984 fallenden Bauhöhen sind in Abbildung 7 dargestellt. Aufgrund für Ibbenbüren vorliegender digitaler Datensätze für den gesamten Abbauezeitraum ist diese Datengrundlage vollständiger als für das ahu-Gutachten Haus Aden, wo nur Bauhöhen seit 1969 berücksichtigt wurden.

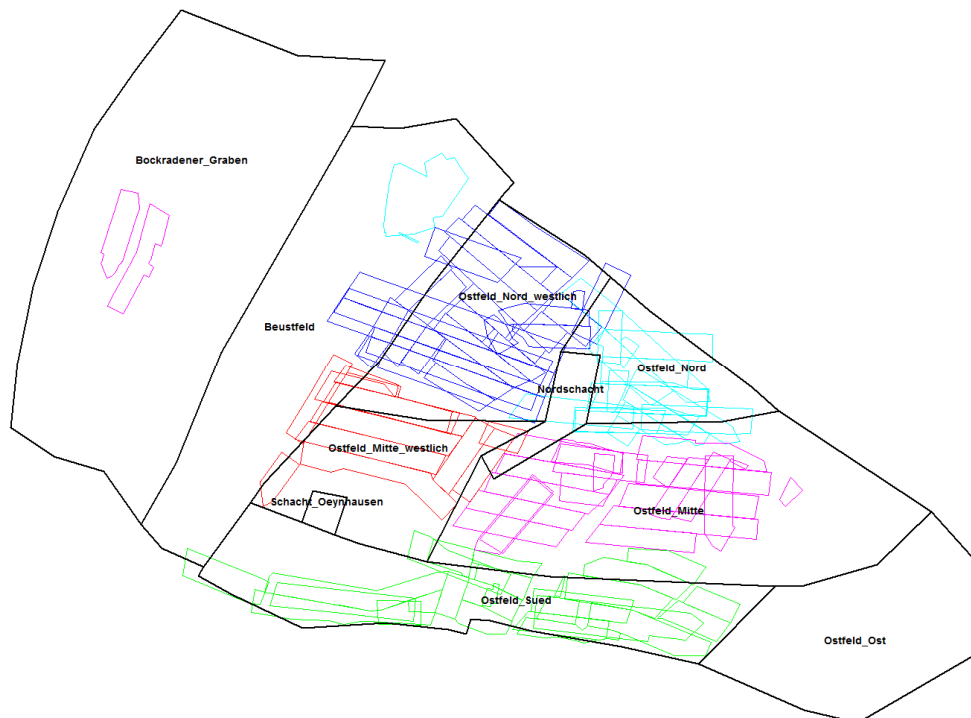


Abbildung 7: Verteilung der in den Jahren 1969–1984 (PCB) betriebenen Abbaue als Polygone in den Teilbereichen des Boxmodells Ostfeld Ibbenbüren.

Bei diesen Zuordnungen ist zu berücksichtigen, dass Bauhöhen eine gewisse Laufzeit aufweisen, was zwangsläufig Unschärfen für solche Differenzierungen mit sich bringt. In Analogie zu den im ahu-Gutachten verwendeten Datensätzen wurde eine Bauhöhe, die über einen Jahreswechsel gelaufen ist, immer dem späteren Jahr zugeordnet. Somit gehören Abbaue, die zwar im Jahr 1984 begonnen wurden aber auch noch 1985 aktiv waren, gesamt in den Zeitraum nach 1985. Sie wurden dementsprechend nicht als Flächen für die PCB-Berechnung berücksichtigt sondern fallen in den anschließenden PCDM-Einsatzzeitraum. Dies entspricht dem Charakter des Betriebsmittelübergangs im Jahr 1984 (s. Abbildung 5; S. 16). Dieser

PCDM-Einsatzzeitraum wird im Modell als Quelle für PCB+PCDM berücksichtigt (vgl. Kap. 6), da hier eine weitere Differenzierung aufgrund der sich überschneidenden Verwendungszeiträume der beiden Stofftypen kaum möglich ist.

Entsprechend des kürzeren Einsatzzeitraumes (1985 bis 1992) werden auch weniger Bauhöhen der PCDM-Verwendung zugeordnet (Abbildung 8). Schwerpunkte liegen hier im nördlichen Teil des Bergwerkes im Umfeld des Nordschachtes.

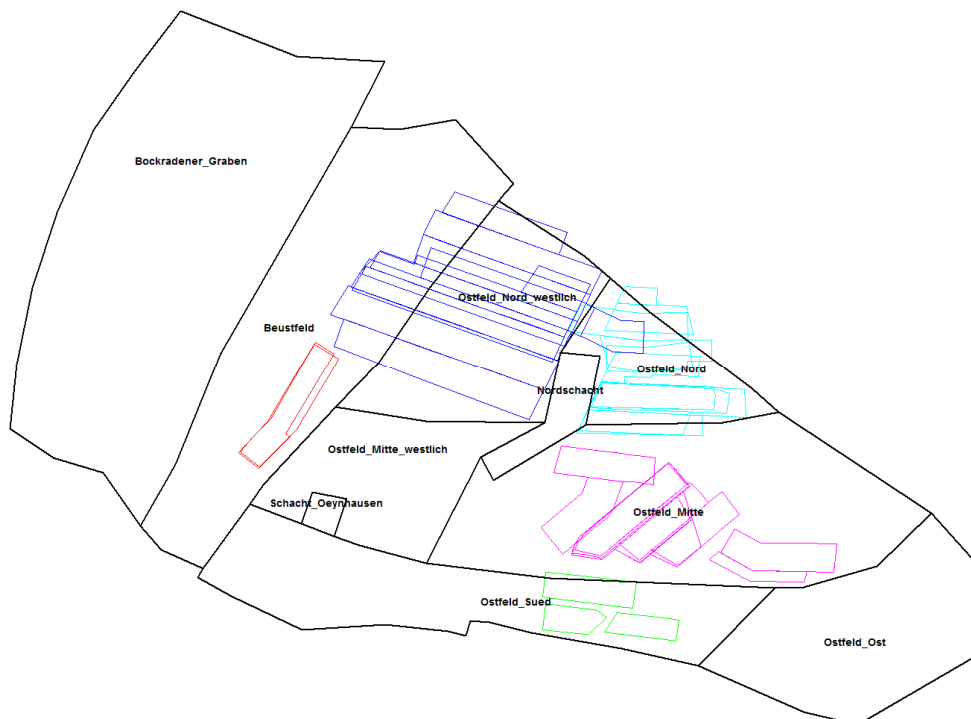


Abbildung 8: Verteilung der in den Jahren 1985–1992 (PCDM) betriebenen Abbaue als Polygone in den Teilbereichen des Boxmodells Ostfeld Ibbenbüren.

Insgesamt ist erkennbar, dass PCB/PCDM-Einsatz in den meisten Untereinheiten des Ostfeldes erfolgt ist. Völlig unbelastet ist das Morgensternfeld im Osten in dem der Abbau im Niveau von Flöz Reden vor 1964 endete. Im Beustfeld wurde nur noch ein Restbereich des Flözes Glücksburg zwischen 1964-1967 abgebaut (Abbildung 7 hellblau). Die beiden Bauhöhen im Bockradener Graben sind hydraulisch vom Ostfeld isoliert und so für den Stoffaustrag ohne Bedeutung.

4.3 Vertikale Verteilung der Abbauaktivitäten

Für den Einfluss, den ein Wasseranstieg auf Mobilisation und Austrag von PCB/PCDM hat (s. auch Kap. 6), ist die vertikale Verteilung der Abbauflächen von entscheidender Bedeutung. Die Gutachter stimmen darin überein,

1. dass partikuläre PCB-Mobilisation durch ständige Zuflüsse in den noch nicht eingestauten Grubenniveaus (hier die PCB-Potenzialbereiche) erfolgt. Eine Wasseranstieg unterbindet demzufolge dauerhaft diese durch schnell fließendes Grubenwasser verursachte Erosion;
2. dass im Wasseranstieg in solchen PCB-Potenzialbereichen verstärkt PCB-haltige Partikel durch Erosion im turbulenten Wasserfließen mobilisiert werden. Ein Wasseranstieg führt somit zu einer einmalig erhöhten PCB-Mobilisation;
3. dass die PCB-Gehalte im Partikelstrom aus der Summe der Partikel aus PCB-freien und PCB-belasteten Abbaubereichen resultieren bzw. aus dem jeweiligen Verhältnis der Abbauflächen zueinander. Das Flächenverhältnis (bzw. der Anteil an PCB-Flächen) bestimmt somit Mobilisationseffekte aber auch Fixierungseffekte (Flächenfilter s. ahu Detailbericht 6, Kap. 12).

Im ahu-Bericht erfolgen die Zuordnungen über die jeweiligen Flächen und die Flächenverhältnisse von Abbauen aus dem PCB-Einsatzzeitraum zu Abbauflächen außerhalb des PCB-Einsatzzeitraums. Im vorliegenden Gutachten werden neben diesen Flächen auch Resthohlräume ausgewertet, da diese für das Boxmodell generiert wurden und somit komplexe niveaudifferenzierte Daten vorliegen.

Abbildung 9 vergleicht in einer Gesamtdarstellung aller Hohlräume des Ostfeldes (Diskretisierung in 20 m-Scheiben) das Resthohlraumvolumen (RHV) im PCB- bzw. PCDM-Zeitraum mit dem Gesamt-RHV. Abbildung 10 zeigt als Bezugsgröße das aus dem Abbau in der Zeit davor bzw. danach resultierende RHV, das demnach als frei von diesen Hydraulikölen einzuordnen ist. Gleichzeitig wurden den deutlich hervortretenden Abbaumaxima in den verschiedenen Tiefen die jeweiligen dort dominierenden Flöze zugeordnet. Das Volumen der Standwasserbereiche wurde in dieser Resthohlraumvolumenberechnung bereits berücksichtigt (vom Gesamt-RHV abgezogen).

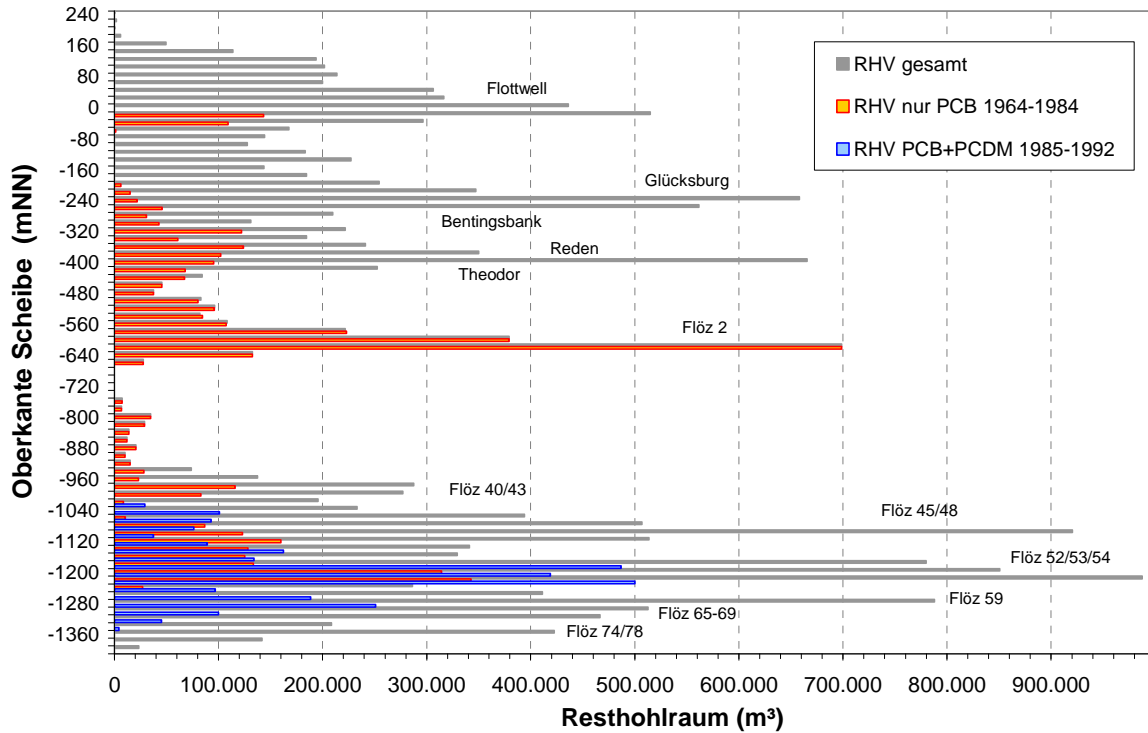


Abbildung 9: Vertikale Verteilung von Gesamt RHV und PCB- bzw. PCDM-Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina.

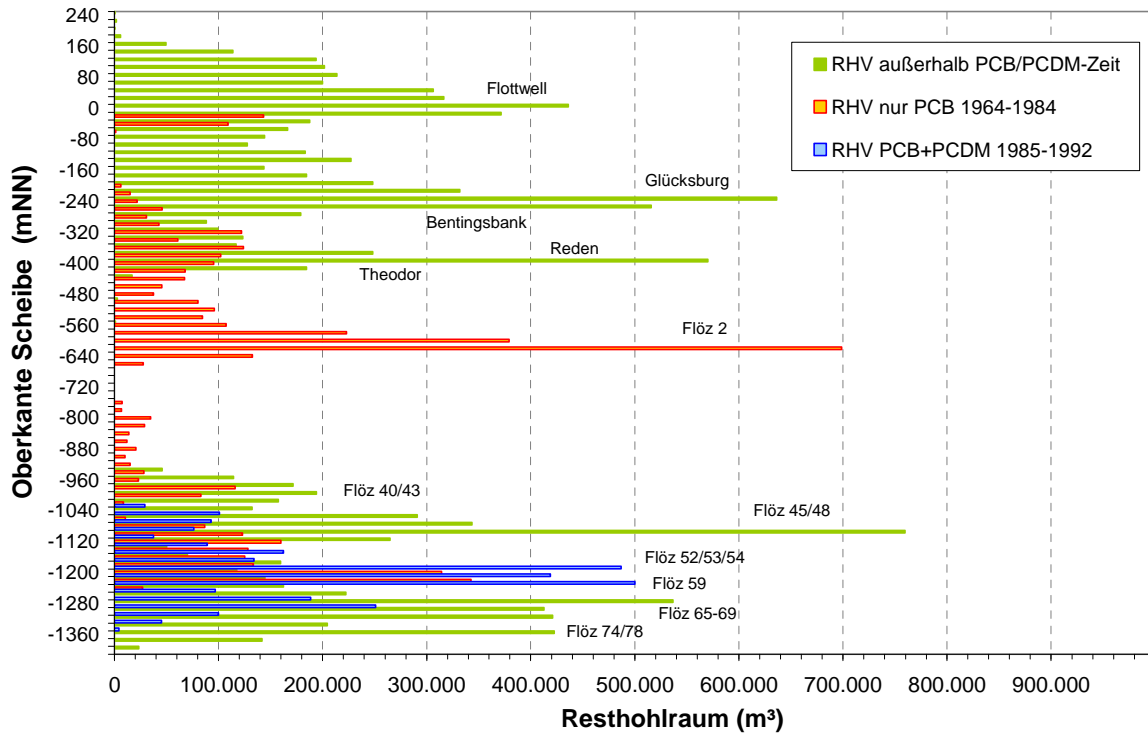


Abbildung 10: Vertikale Verteilung der den Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina.

Erkennbar ist, dass die Verteilung der zeitlichen Abbau-Schwerpunkte über die Teufe im Ostfeld sehr unterschiedlich ist. Abbau mit PCB begann noch in den Flözen Flottwell und Glücksburg. Hier stehen sehr großen gebauten Flächen nur sehr geringer Anteile aus dem PCB-Einsatzzeitraum gegenüber (oberhalb -300 mNN). Flöz 2 in Tiefen zwischen -500 mNN und -650 mNN wurde hingegen vollständig in diesem Zeitraum gebaut (1964-1977). Die anschließenden Abbauaktivitäten mit PCB-Einsatz unterhalb des Flözsprunges, die 1974 begannen, reichen noch bis in das Flöz 59. Gut erkennbar ist, dass der Abbau nach 1984, also auch mit Einsatz PCDM-haltiger Betriebsstoffe, ausschließlich unterhalb des Flözsprunges stattfand.

Die unterschiedlichen Höhenverteilungen sind somit auf die zeitliche Einordnung des PCB-Zeitraumes im fortschreitenden Abbau in die Tiefe zurückzuführen. PCB-freier Abbau oberhalb des Flözsprunges erfolgte vor 1964. Der PCB-freie Abbau unterhalb des Flözsprunges ist jung und repräsentiert die in den letzten Jahrzehnten betriebenen Bauhöhen.

Diese Vertikalverteilung der Abbaueiträume und damit auch der potenziellen Schadstoffpools ist in Anbetracht des für +63 mNN angestrebten Wasserstands einerseits von untergeordneter Bedeutung, da sämtliche betroffenen Bauhöhen und Strecken und Wasser geraten werden und sich so die o.g. Mobilisationsvoraussetzungen verändern (reduzieren) werden. Da im Ostfeld ein nahezu einheitlicher Wasserspiegel erwartet wird, sind so auch einheitliche Rahmenbedingungen im Betrachtungsraum vorhanden. Andererseits ist insbesondere die Lage zum Flözsprung und die Tiefe an sich relevant, da die hydraulischen Verhältnisse künftig nur sehr geringe Wasserbewegungen unterhalb des Flözsprunges erwarten lassen und dies auch den Stoffaustrag bestimmt.

Nach dem zuvor erläuterten Prozessverständnis bedeutet das, dass nicht wassererfüllter Abbau, in dem über die Sohle fließendes Wasser dauerhaft zur Erosion PCB-haltiger Partikel und zu deren Verlagerung führen kann, bei einem Wasserstand von +63 mNN nicht mehr vorhanden sein wird. In dem dann wassererfüllten Bereich kommt die PCB-Mobilisation zum Stillstand - im Gegenteil können sich aufgrund langsamer Strömungsgeschwindigkeiten PCB-haltige Partikel hier ablageren (sedimentieren). Damit wird die gesamte potenzielle PCB-Freisetzung durch diesen Wasseranstieg langfristig unterbunden.

4.4 Flächenverhältnisse

Darüber hinaus besitzen die Abbauverteilungen auch einen Einfluss auf die PCB-Mobilisation im Wasseranstieg sowie die spätere Option einer Fixierung von gelösten PCB in PCB-unbelasteten Bereichen, was im ahu-Gutachten als Flächenfilter bezeichnet wird (s. ahu Detailbericht 6, Kap. 12). Daher wurden analog zum ahu-Gutachten die Abbauflächen in den einzelnen Bereichen und Niveaus berechnet, um einen Vergleich mit den Rahmenbedingungen der Wasserprovinz Ost / Wasserhebung Haus Aden vornehmen zu können.

Diese Flächenbetrachtung basiert auf einem Zustand vor Abdämmen der tiefen Baufelder, die sich heute bereits mit Wasser füllen. Diese Zuordnung trocken/überstaut gemäß Boxmodellwasserständen erfasst die vorhandenen Standwasserbereiche nicht, die auch nicht mehr Bestandteil des noch auffüllbaren Hohlraumvolumens sind.

Aufgrund des nahezu das gesamte Grubengebäude erfassenden Wasseranstiegs werden nur die beiden Zustände entwässerter Ist-Zustand und Wasseranstiegsniveau +63 mNN betrachtet. Zwischen Baufeldern bzw. Boxen muss so nicht differenziert werden. Da die hydraulischen Verhältnisse (Wasserströmung und Wasseraustausch findet fast ausschließlich nur noch oberhalb des Flözsprunges statt) eine vertikale Differenzierung der Stoffausträge erwarten lassen, werden zusätzlich die Flächenverhältnisse oberhalb des Flözsprunges bestimmt.

Darüber hinaus sind die Unterschiede zur Vorgehensweise im ahu-Gutachten zu beachten, das ausschließlich den Abbau aus dem PCB-Zeitraum mit dem Abbau außerhalb dieses Zeitraumes betrachtet. Die Bauhöhen, die mit Einsatz PCDM-haltiger Betriebsmittel erstellt wurden, werden so als PCB-frei bewertet. Um einen Vergleich mit den Flächenverhältnissen der vorliegenden Gutachten vornehmen zu können, wurden daher zunächst Flächen analog zu diesem Konzept ermittelt (Abbildung 11).

Auch in dieser Darstellung wird der nahezu vollständig entwässerte Ausgangszustand des Bergwerkes erkennbar. Ein Flächenverhältnis überstauter Abbaue zum Vergleich mit einem künftigen Zustand lässt sich von daher nicht berechnen. Insgesamt und auch für die bis +63 mNN wassererfüllten Bauhöhen machen die PCB-Flächen etwa 20 % der Gesamtabbauflächen im Bergwerk aus; das Flächenverhältnis **PCB-Flächen/Nicht-PCB-Flächen** bestimmt sich so auf **1 : 4,0**. Eine geringe PCB-freie Restfläche von 3,5 km² verbleibt bei diesem Wasserstand nicht überstaut.

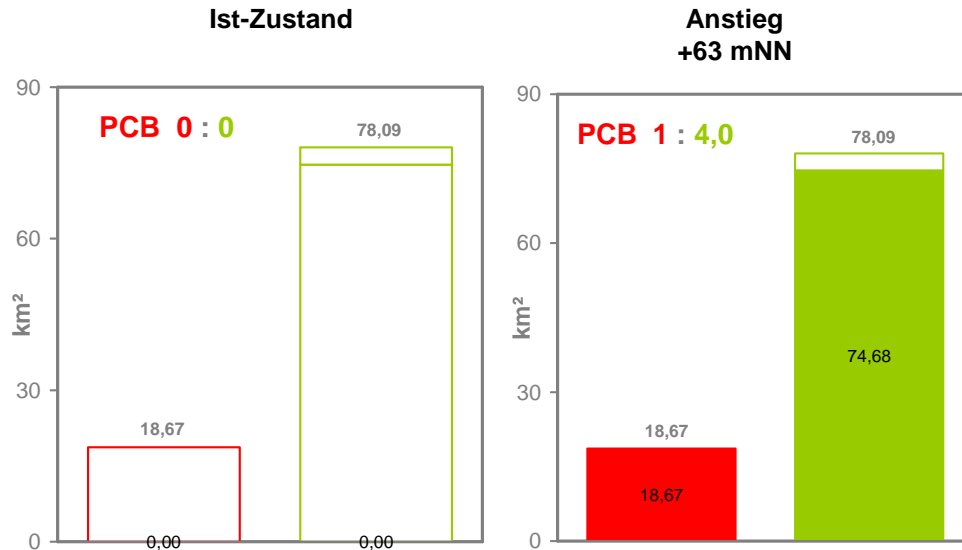


Abbildung 11: Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot) und außerhalb der PCB-Zeit (grün) bei unterschiedlichen Grubenwasserständen (eingestaute Abbaufächen ausgefüllt).

Vergleicht man diesen Wert zum Ende des geplanten Wasseranstiegs mit den Standortbedingungen in der Wasserprovinz Haus Aden (EZG Victoriadam und Ost, s. ahu Zusammenfassung, Abb. 6, S. 19) und der gleichfalls in dieser Form untersuchten Wasserprovinz AV-Lippe (DMT GEE5-2016-01200-d) so sind die Bedingungen mit denen von AV-Lippe vergleichbar:

	Aktueller Zustand	Zielwasserstand
Ostfeld Ibbenbüren	0 : 0,0	1 : 4,0
AV-Lippe	1 : 4,8	1 : 3,8
Haus Aden	1 : 1,5	1 : 2,0

Vorgabe oder Zielvorstellung für die geplanten Wasseranstiege ist, dass im eingestauten Bereich ein Überschuss an Flächen außerhalb des PCB-Einsatzzeitraumes existiert. Dies ist im Ibbenbürener Ostfeld ebenso der Fall wie an den Vergleichsstandorten. Der Überschuss von Nicht-PCB-Flächen im Ibbenbürener Ostfeld ist ebenso wie in der AV-Lippe-Provinz deutlich höher als in der Wasserprovinz Haus Aden. Die Wahrscheinlichkeit einer Bindung gelöster PCB an unbelastetes Bergematerial ist so nochmal besser und die Situation insgesamt somit als günstig für die Sorption und verminderten Austrag zu bewerten.

Diese Einschätzungen gelten auch, wenn zusätzlich die im PCDM-Einsatzzeitraum abgebauten Flächen betrachtet werden (Abbildung 12). Entsprechend vermindern sich die unbelasteten Flächen. Die Flächenverhältnisse sind in der Summe wie für die Einzelkomponenten nach wie vor in der Größenordnung oder deutlich besser als für den Referenzstandort Haus Aden.

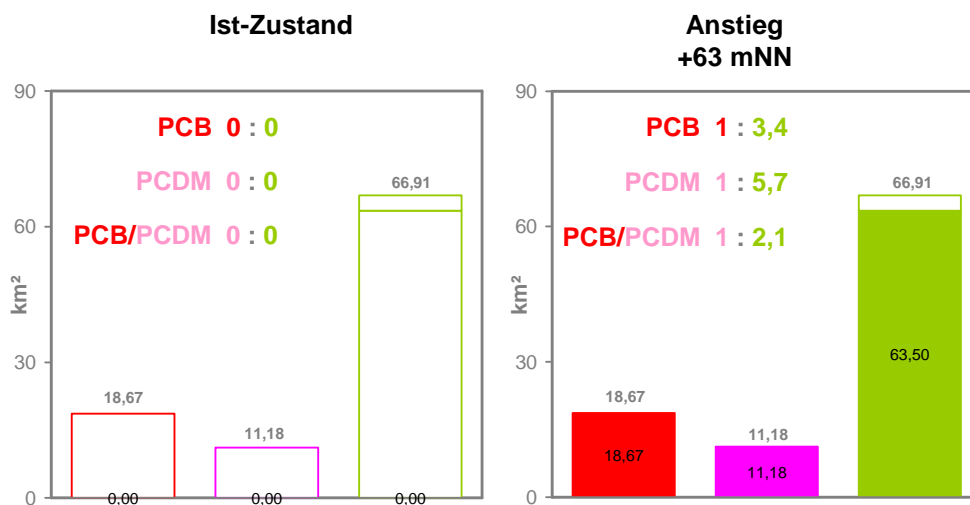


Abbildung 12: Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot), PCDM-Zeit (magenta) und außerhalb der PCB/PCDM-Zeit (grün).

Die hydraulischen Untersuchungen zum Wasseranstieg und den Strömungsbedingungen bei +63 mNN haben ergeben, dass sich unterhalb des Flözsprunges ein Standwasserbereich ausbilden wird, der nur sehr geringen Kontakt und Austausch mit dem darüber stehenden Wasserkörper haben wird. Die Grenze kann, da sich in dieser Tiefe keine Bauhöhen befinden, bei -700 mNN festgelegt werden. Für den Aufrag gelöster PCB ist von daher der Flächenfilter vor allem in dem oberen Grubenstockwerk von Bedeutung, weshalb Abbildung 13 diesen Teufenbereich nochmal differenziert darstellt.

Abbau aus dem PCDM-Einsatzzeitraum ist in diesem oberen Stockwerk nicht vorhanden, weswegen auf deren Darstellung hierfür verzichtet werden kann. PCB-Abbauflächen und unbelastete Flächen sind in den beiden Stockwerken annähernd ähnlich verteilt, so dass sich für die höhere Grube ein Flächenverhältnis **PCB-Flächen/Nicht-PCB-Flächen** von **1 : 3,4** errechnet. Dies entspricht auch im Vergleich zu den anderen Standorten günstigen Bedingungen, um eine Sorption von PCB in diesen nach dem Wasseranstieg durchströmten Hohlräumen zu bewirken.

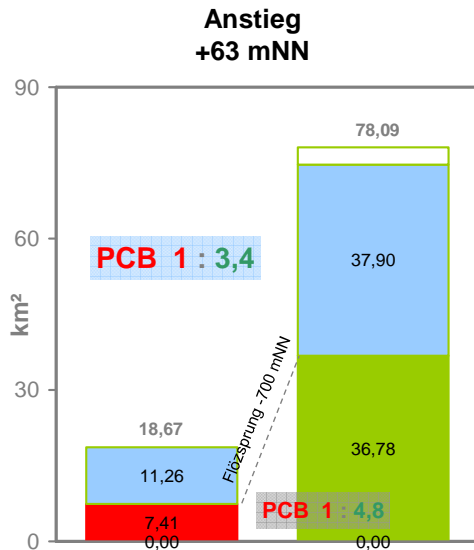


Abbildung 13: Flächen von Abbaubereichen im Ostfeld Ibbenbüren aus der PCB-Zeit (rot) und außerhalb der PCB-Zeit (grün) nochmals differenziert in zwei Stockwerke im Ostfeld.

Da das Flächenverhältnis auch den resultierenden PCB-Gehalt an den Partikeln (Mischung PCB-haltiger und PCB-freier Partikel) bestimmt, lässt sich qualitativ abschätzen, dass die durch den Wasseranstieg voraussichtlich verstärkt mobilisierten Partikel (vergleiche 2. in der Aufzählung Kap. 4.3) ähnliche gemischte PCB-Gehalte, also deutlich mehr unbelastete als belastete Partikel, aufweisen werden.

Oberhalb des Wasserspiegels verbleiben nach dem Wasseranstieg keine Flächen zur PCB-Mobilisation mehr. Das bedeutet, dass die Mobilisation von PCB nach erfolgtem Anstieg beendet sein wird (vgl. Kap. 6). Stoffausträge können nur noch aus der Ausspülung von im Einstaubereich mobil in der Wasserphase vorhandenen PCB und PCDM resultieren.

5 Untertägige Beprobung und PCB/PCDM-Verteilung

2016 wurden intensive Untersuchungsprogramme zur untertägigen PCB-Verteilung gestartet. Das Bergwerk befand sich während dieser Untersuchungen noch in Betrieb. Das gehobene Grubenwasser weist daher noch deutliche Abbaubeeinflussung auf (vgl. Kap. 7) und heute bereits abgedämmte Strecken waren noch zugänglich. Seitdem wurden zahlreiche Informationen zusammengetragen, so dass sich heute ein schlüssiges Bild

zur PCB/PCDM-Belastung des Ostfeldes auf Basis des Zeitpunktes der Abbautätigkeiten bzw. der Streckenauffahrungen, der späteren Nutzung und der Belastungssituation ergibt.

Die dabei im Grubengebäude ermittelten Stoffgehalte liefern im Rahmen dieses Gutachtens Anhaltspunkte für die Zusammensetzung der verwendeten Stoffe und ermöglichen einen Abgleich mit der in Kapitel 4 beschriebenen Abbauverteilung und dem daraus gefolgerten Stoffeinsatz. Wichtige Grundlage sind solche Daten vor allem für die Umsetzung von Maßnahmen zur Vermeidung von PCB-Mobilisation im Zuge des Wasseranstiegs, weshalb sie schwerpunktmäßig in den dafür erstellten Gutachten dokumentiert und beschrieben werden. An dieser Stelle soll eine Zusammenfassung dieser Befunde für das Gesamtgrubengebäude gegeben werden.

Bei der Bewertung der in einem aktiven Bergwerk erfassten Messdaten sind Prozesse des laufenden Betriebs zu berücksichtigen. Es werden Trübstoffe (PCB-haltig und PCB-frei) durch die laufenden Aktivitäten in den Strecken des Bergwerkes mobilisiert und Feinberge (PCB-frei) aus den laufenden Abbaubetrieben in die Wasserhaltungen eingetragen. Mit der Abdämmung entfallen diese Mechanismen und werden durch natürliche Fließprozesse ersetzt. Dies ist bei der Bewertung von Analysedaten aus den Zwischen- und Hauptwasserhaltungen zu berücksichtigen.

Größere Wasseranstiege mit Monitoring nach der Wasserannahme, anhand derer Effekte des Wasseranstiegs nachzuvollziehen wären, liegen im Ostfeld Ibbenbüren nicht vor. Die Wasserannahme aus dem Südfeld repräsentiert zwar diesen Abfluss aus einem Altbergbaubereich, ein Wasseranstieg hat hier jedoch nicht stattgefunden und die Proben können sekundär durch die in anderen Grubenbereichen befindlichen Verbindungsstrecken beeinflusst sein. Hinter den in Kap. 5.1 beschriebenen Wasserannahmen am Nordschacht stehen zwar Standwasserbereiche, jedoch dürften die Zuflüsse ebenfalls von Wasserabfluss auf Streckensohlen geprägt sein. Zudem liegen Abdämmung und Einstau hier schon lange zurück. Im Südöstlichen Mittelfeld, in dem das Wasser derzeit ansteigt, werden durch die bisherige Abdämmung keine PCB-Bauhöhen überstaut, weshalb auch hier demnächst keine diesbezüglichen Informationen zu erwarten sind. Die im gehobenen Grubenwasser des Ostfeldes ermittelten Daten (Schwebstoffgehalte, PCB/PCDM) werden aufgrund des direkten Bezuges zur Modellkalibrierung in Kap. 7 dargestellt und diskutiert.

Bei den untertäglich genommenen Proben ist zu beachten, inwieweit sie als repräsentativ für den zu betrachtenden Streckenabschnitt oder gar das Grubengebäude insgesamt gelten können (vgl. ahu-Gutachten, Detailbericht

S. 59). Dies gilt sowohl, wenn die Analysen keine PCB-Belastung ausweisen, als auch bei deutlich positiven Befunden. Bei der Bewertung der Analysen ist zudem zu prüfen, mit welcher Methode die jeweiligen Proben genommen worden sind. Neben Feststoffproben des Sohlmaterials, die mehr als Punktanalyse zu betrachten sind, existieren Proben aus Wasserhaltungen, Pumplöchern und Standwasser (immer Feststoff im Wasser), die eine über den Einzugsbereich integrierende Bewertung ermöglichen. Hier ist auch zu berücksichtigen, dass bei solchen Proben für repräsentative Proben überwiegend bewusst Feststoffmaterial aufgewirbelt wurde.

5.1 Untersuchungen in Wasserproben

Da sich PCB überwiegend an Feststoffpartikeln anlagern und akkumulieren, wird, um die derzeit nur noch sehr geringen PCB-Gehalte erfassen zu können, für die PCB-Analyse von Wasserproben üblicherweise die Feststofffraktion abgetrennt und analysiert (vgl. Kap. 6). Zur Gewinnung solcher Schwebstofffraktionen stehen grundsätzlich die drei Verfahren Filtration, Zentrifugation und der Einsatz von entsprechenden Absetz- bzw. Sedimentationssystemen zur Verfügung.

Für die untertägige Beprobung hat sich die Entnahme von 10-Liter-Proben etabliert, aus denen dann die Schwebstoffe abfiltriert und einer Feststoffuntersuchung zugeführt werden. Dieses feststoffbasierte Analyseverfahren wird seit ca. dem Jahr 2002 angewendet. Aus dem Gehalt an Abfiltrierbaren Stoffen (in mg/L) und deren PCB-Gehalt (in µg/kg) lassen sich Konzentrationen im Wasser berechnen. So entspricht ein PCB-Feststoffgehalt von 20 µg/kg bei einer Partikelmenge von 50 mg/L einer Wasserkonzentration von 0,001 µg/L. Die Bestimmungsgrenze kann mit 5 µg/kg PCB-Kongener in 2 mg/L Abfiltrierbaren Stoffen angesetzt werden, womit sich eine Konzentration von 0,00001 µg/L bzw. 0,01 ng/L ergibt.

Zuvor erfolgte die PCB-Analytik in der Wasserphase selbst. Hiermit können allerdings mit der üblichen Methodik nur 0,01 µg/L und damit die Nachweisgenauigkeiten der feststoffbasierten Analyse bei weitem nicht erreicht werden (Faktor 1.000). Wie Wasseranalysen aus den 80er und 90er Jahren jedoch zeigen, waren die PCB/PCDM-Gehalte im Grubenwasser hoch genug, um die entsprechende Stoff-Verwendung bzw. -Belastung zu belegen (Abbildung 14). Die vorliegende Analytik 1988-1991 fällt in die Phase nach dem Einsatz bzw. sogar Austausch PCB-haltiger Betriebsmittel (vgl. Abbildung 5; S. 16). PCB sind auch dann noch erhöht vorhanden, allerdings sind PCDM, die sich in diesem analytisch belegten Zeitraum noch im untertägigen Einsatz befanden, in deutlich höheren Konzentrationen nachgewiesen

(Faktor 10). Diese Daten sollen die Größenordnungen anzeigen, in denen sich die Stoffgehalte früher bewegt haben und zudem die Relevanz der PCDM für die Standortbetrachtung aufzeigen. Diese im damals aktiven Grubenengebäude durch Leckagen, Havarien und Überdruckentlastungen ausgetretenen Stoffe sind auch heute noch als Residualpool in den Bergwerken anzusetzen, wobei sich deren Mobilisationspotenzial durch fehlende bergmännische Aktivität im Umfeld dieser Abbaubetriebe bedingt durch Abdämmmaßnahmen deutlich vermindert hat.

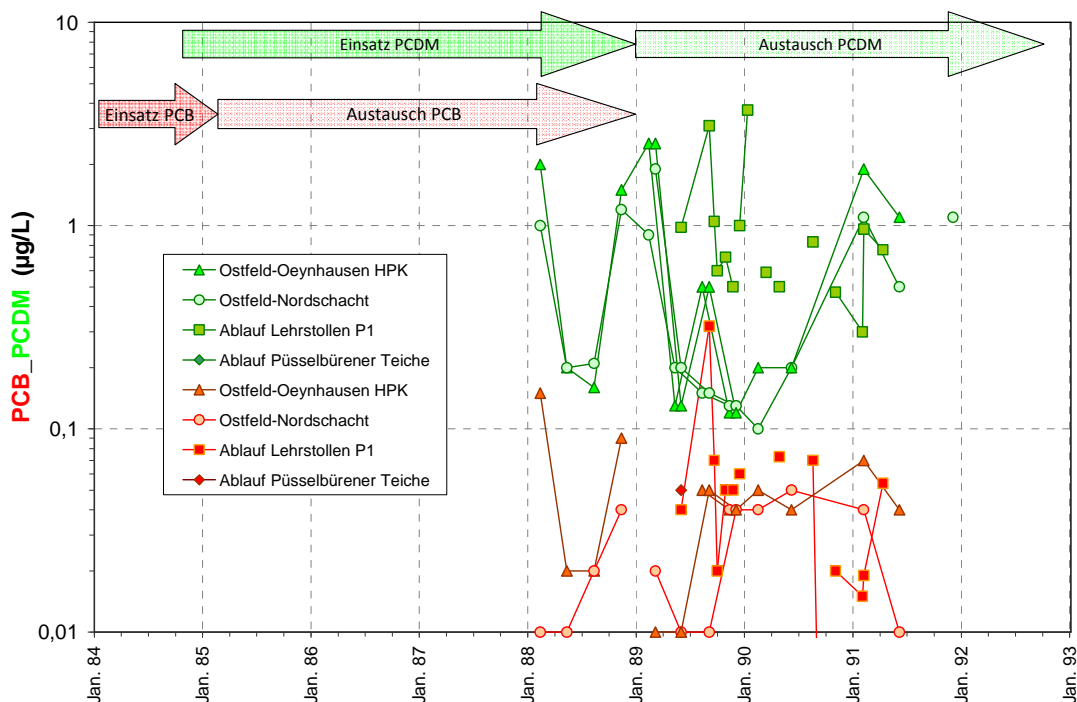


Abbildung 14: Gehalte an PCB und PCDM in Proben der Grubenwasserableitung aus dem Ostfeld.

Im Laufe des Jahres 2016 wurden alle wesentlichen Zuflüsse in das Ostfeld in jeweils fünf Kampagnen mit der oben beschriebenen 10 L-Methode beprobt und auf PCB und PCDM analysiert. Untersucht wurden hier Feststoffpartikel, die zum Teil an den Probenahmestellen (Pumpenbecken etc.) gezielt abgelöst wurden, um durch diese Anreicherung eine verbesserte Analytik mit geringeren Nachweisgrenzen zu ermöglichen. Diese Werte sind somit geeignet eine Belastungsverteilung zu ermitteln, aber nicht um eine quantitative Stoffbilanzierung durchzuführen. Daher werden in Abbildung 15 die Ergebnisse aus den fünf Kampagnen qualitativ zusammenfasst.

Darüber hinaus besitzen diese Proben aufgrund der Vorgehensweise nicht unbedingt eine Aussage bezüglich des Ortes ihrer Entnahme. Bei vielen der gezeigten Proben handelt es sich um Zuflüsse aus Dämmen oder aus höheren Flözniveaus, die das jeweilige Einzugsgebiet des Wassers charakterisieren aber nicht den in der Darstellung gezeigten Entnahmeort. Dieser Zuflusscharakter wurde durch blaue Pfeile markiert.

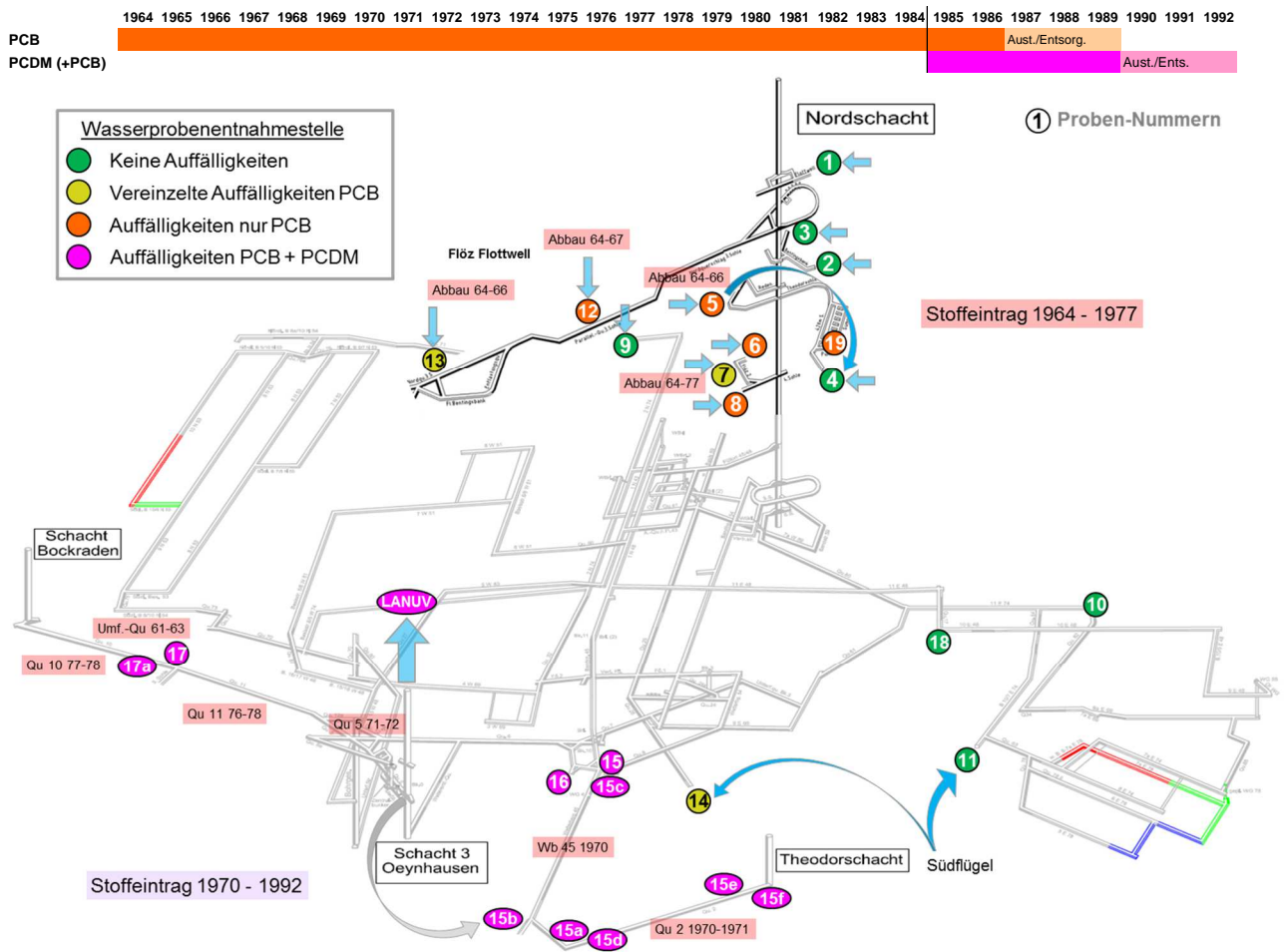


Abbildung 15: Probenahmestellen im Ostfeld Ibbenbüren bezüglich PCB/PCDM mit farblicher Charakterisierung der Befundsituation.

Gleichwohl lässt sich feststellen, dass sich die anhand der Verteilung der Abbaueisenscheiben im Ostfeld vorgezeichnete Verteilung von PCB/PCDM (vgl. Kap. 4.3) im derzeitigen Streckensystem im Wesentlichen wiederfindet. Die an den Nordschacht angeschlossenen Sohlen oberhalb des Flözsprunges, in denen der Abbau vor Einführung von PCDM abgeschlossen wurde, zeigen entweder keine Spuren dieser Hydrauliköle oder nur von PCB.

Die PCB-Belastungen in den dortigen Dammszuflüssen entsprechen zudem der Abbauverteilung. Die Flöze Flottwell, Glücksburg und Bentingsbank sind sehr gering von PCB-Abbau betroffen und die Wasser dementsprechend nicht nachweisbar belastet (Abbildung 16). Interessant ist auch die Feststellung, dass umgekehrt aber aus Bereichen, in denen PCB eingesetzt wurden, somit im heutigen noch nicht vollständig überstauten Zustand tatsächlich auch PCB-haltige Partikel mobilisiert und ausgeschwemmt werden, was den Modellvorstellungen zum Verhalten dieser Stoffe entspricht (vgl. Kap. 2 und 6). Besonders eindrücklich zeigt sich dies für die Zuflüsse aus Flöz 2 auf der 4. Sohle. Die im Südflügelwasser teilweise gefundenen PCB-Gehalte sind gleichfalls aufgrund Herkunft und Streckenanbindungen zu erwarten. Die Proben aus Beustfeld und Südöstlichem Mittelfeld repräsentieren den dortigen jungen PCB-freien Abbau.

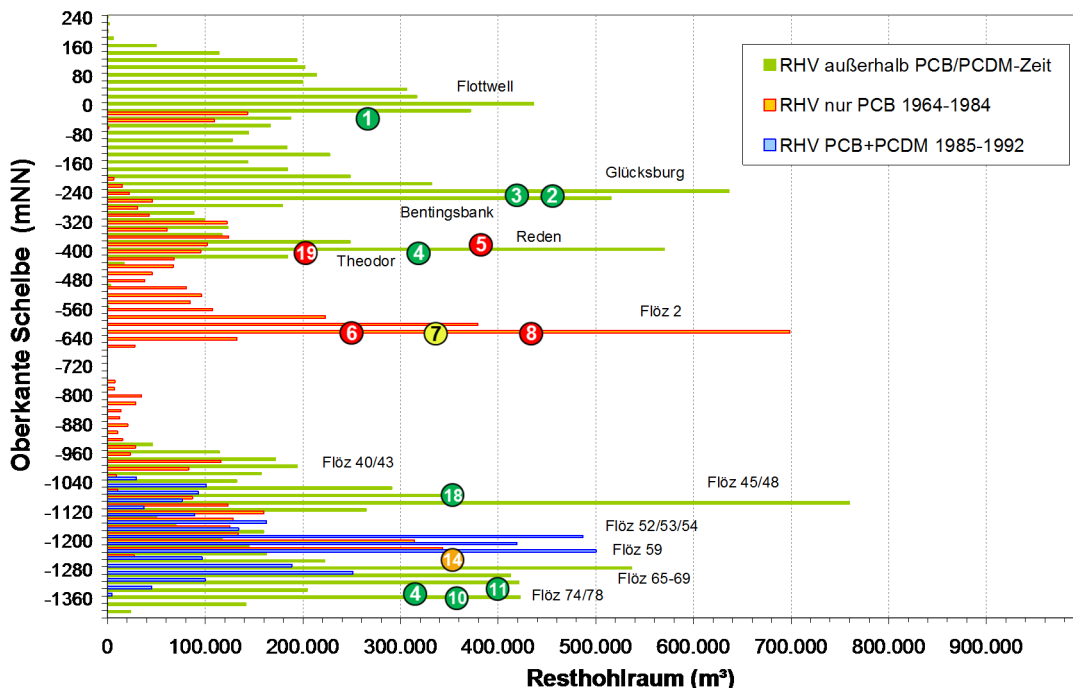


Abbildung 16: Vertikale Verteilung der den Zeitscheiben zugeordneten Resthohlraumvolumina mit Zuordnung der als Wasserzuflüsse charakterisierten Proben aus Abbildung 15 (nur PCB-Belastungen).

Eine Sonderrolle nehmen die PCDM-Befunde auf der 3. Sohle unterhalb Schacht Bockraden und im Anschluss an den Theodorschacht (Querschlag 2, Wetterberg 45) ein, die deshalb in Abbildung 16 nicht dargestellt sind. Beide Strecken und die Belastungen dort reichen bis in Teufen oberhalb des Flözsprunges, wo im PCDM-Einsatzzeitraum kein Abbau mehr betrieben wurde. Gleichwohl sind diese (älteren) Strecken auch im PCDM-Zeitraum betrieben worden. Beide Strecken sind Abwetterstrecken, was

eine damalige Verschleppung belasteter Stäube dorthin wahrscheinlich macht. Zudem wurden in Querschlag 2 und Wetterberg 45 mehrere Häspel in diesem Zeitraum betrieben (die Situation dort ist ausführlich im DMT-Gutachten GEE5-2016-00951-07 beschrieben, vgl. Kap. 2).

Mit dem Alter der Streckenauffahrungen dort und dem Beginn des tiefen Abbaus in den 70er Jahren korreliert auch, dass in diesen Proben neben PCDM immer auch PCB gefunden wurden. Abgesehen von mindestens 10 Jahren Exposition durch ausschließlichen PCB-Einsatz und ca. 7 Jahren PCDM-Einsatz ist auch immer zu berücksichtigen, dass eine Zeitlang PCB und PCDM nebeneinander verwendet wurden. Festzuhalten wäre noch, dass in den untertägigen Proben, in denen PCDM und dann auch fast immer PCB gefunden wurden, die PCDM-Gehalte deutlich über denen der PCB liegen (s. Kap. 5.3). Im gehobenen Grubenwasser sind hingegen die PCB-Gehalte größer als die PCDM-Gehalte, was eine Folge der Wassermengen und Partikelfrachten der Wasserabflüsse in den jeweiligen Belastungsbereichen ist.

Wasserzuflüsse aus Baufeldern mit PCDM-Einsatz liegen kaum vor, was in den insgesamt wasserarmen Verhältnissen unterhalb des Flözsprunges begründet ist. Im Zufluss aus dem Südflügel, in dem PCDM-Abbau betrieben wurde, wurden diese Stoffe allerdings ebenfalls nicht nachgewiesen.

5.2 Feststoffe / Sohlmaterial

Im März 2017 wurden im Rahmen der Erstellung des ahu-Gutachtens im Ostfeld 7 Feststoffproben aus den Sohlen entnommen (ahu/LANUV). Von den ursprünglich 9 in Abbildung 17 dargestellten Probenahmestellen konnten 2 nicht realisiert werden. Bei den Proben 4 und 5 handelt es sich um Schlämme aus Pumpenbecken (beide ohne nachweisbare PCB-Belastung) und somit Proben mit anderen Einzugsbereichen, die Kap. 5.1 zuzuordnen sind.

Analog zu Untersuchungen an anderen Standorten folgte die Standortauswahl den Kriterien der potenziellen PCB-Exposition:

- I. Betrieb/Auffahrung im PCB-Einsatzzeitraum (vor 1986)
- II. Verschleppungsbereich (Auffahrung vor oder nach PCB-Zeit 1986)
- III. Sonderbereiche (Werkstätten, Wartungsräume)

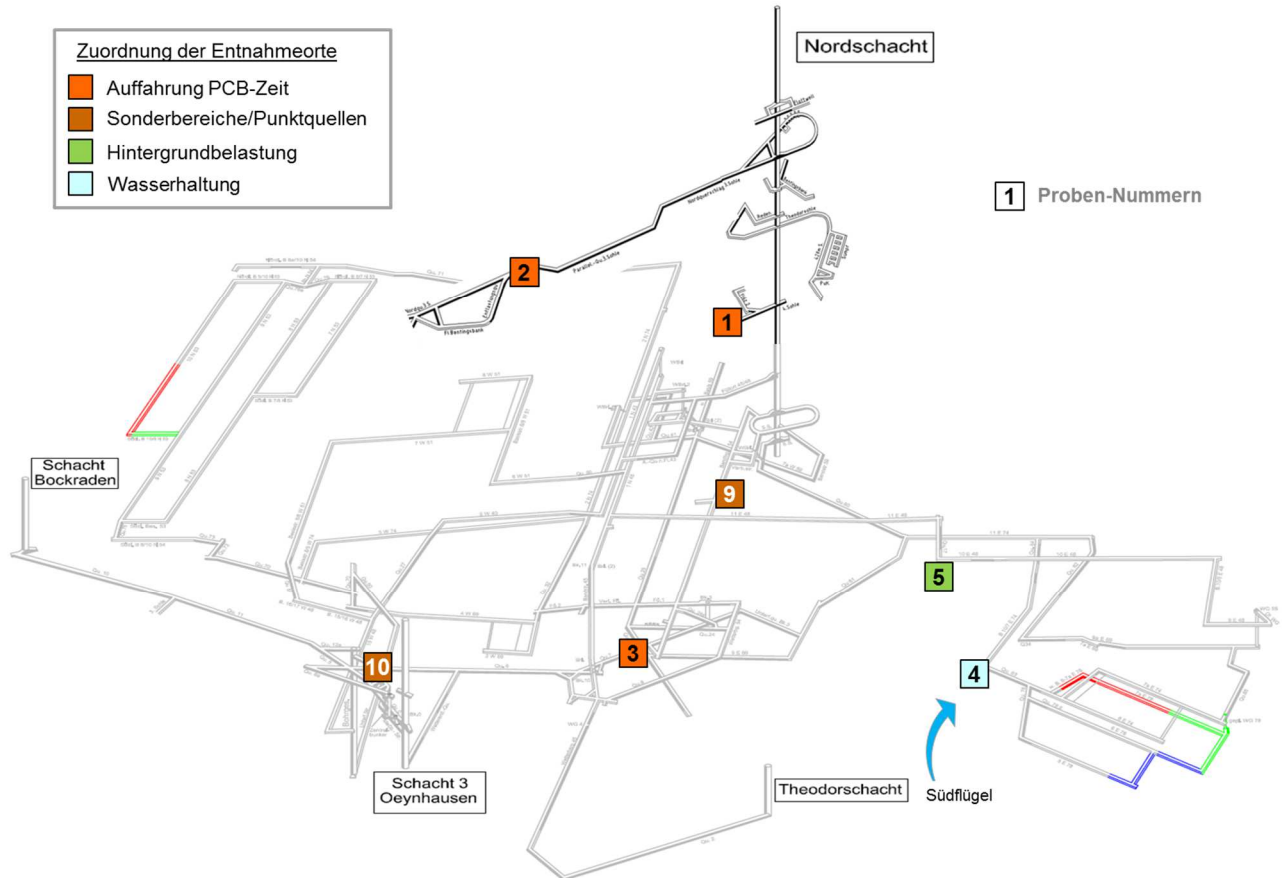


Abbildung 17: Lage der Probenahmestellen ahu/LANUV zur Feststoffuntersuchung.

 Tabelle 2: Beschreibung der untertage im Ostfeld genommenen Feststoffproben.
 Proben 4 und 5 in Abbildung 17 ohne PCB/TCBT-Nachweis.

Nr.	Ort	Kat.	Beschreibung	PCB µg/kg	TCBT µg/kg
Nordschacht					
1	4. Sohle, Waldenbahnhof	III	Probenahme im Bereich Pumpensumpf (Umbau 2016)	690	55
3. Sohle und Förderquerschlag					
2	Nordquerschlag/Parallelquerschlag	I	Hinter Leitung am Stoß, nahe Wasserzufluss, Sediment stark von Eisenocker verfärbt	1.286	202
3	Querschlag 7, 50 m oberhalb Blockabstieg	I	Am Stoß unter der Bandanlage, Bandanlage wird regelmäßig gereinigt, Säuberungsarbeiten (Senkarbeiten) ca. 2000er Jahre	193	131
10	Querschlag 6, Maschinenkammer Band 2	III	Sediment aus südwestlichem Stoß, Bereich wird wöchentlich gereinigt	464	419
Unterhalb Flözsprung					
9	Bandberg 54 an Str. 6 W 54	III	Wenig Sediment vorhanden, meist „Staub“, Bandberg wurde mehrfach gesenkt und nachgebaut	1.811	1.420

Der aus den Sohlen entnommene Feststoff (Sediment, Staub) spiegelt überwiegend langjährige Betriebsbedingungen wieder, wobei in den Strecken immer in unterschiedlichem Maße von Materialentfernungen und Materialaustausch ausgegangen werden muss. Eine diesbezügliche Einschätzung befindet sich zusammen mit den analytischen Befunden (Summe 7 PCB-Kongenere und Summe 6 TCBT-Kongenere) in Tabelle 2.

Die Befunde bestätigen im Wesentlichen die Befundsituation und auch die Größenordnung der Feststoffbelastungen aus den 10 L-Proben (vgl. Kap. 5.1). Hohe TCBT-Gehalte (entspricht PCDM) wurden nur in der tiefen Strecke (Flöz 54) gefunden. Auch die 4. Sohle und die 3. Sohle weisen wieder Belastungen mit den PCB-Ersatzstoffen auf. Für solche Strecken muss davon ausgegangen werden, dass Verschleppungen eine Primärsituation überprägt haben. Nordquerschlag/Parallelquerschlag wurden in den 30er Jahren bzw. 50er Jahren aufgefahren, also ohne PCB-Einsatz. Es handelt sich hier aber um Strecken (auch Querschlag 6/7), die über Jahrzehnte für Transporte, Abwetter vom Nordschacht und als Anlagenstandorte auch in den 80er Jahren gedient haben. In solchen Strecken sind derartige Befunde somit auch plausibel.

Die Einschätzung zur Stoffverteilung auf Basis der Abbauverteilungen lässt sich durch diese Proben somit noch insofern verfeinern, als TCBT offensichtlich auch verbreitet in den höheren Strecken verteilt wurden. Auch auf der 4. Sohle Nordschacht (Anschluss Flöz 2), obgleich vergleichsweise isoliert, finden sich so diese Stoffe, eingeschleppt über Staub, Stiefel oder Anlagenbetrieb. Die Gehalte sind gleichwohl eine Größenordnung geringer als in den Teufen, in denen Abbau mit PCDM-Einsatz betrieben wurde.

5.3 Charakterisierung der PCB / PCDM-Gehalte im Ostfeld

Aus der Gesamtheit aller vorhandenen Proben lässt sich ein recht schlüssiges Bild zur Belastungssituation ableiten:

- Demnach wird die anhand der Abbauverteilung charakterisierte Belastungssituation durch die Wasserzuflüsse bestätigt.
- Oberhalb des Flözsprunges ist die Belastung in den Baufeldern auf PCB beschränkt. Unterhalb des Flözsprunges treten PCB und PCDM nebeneinander auf.
- Die PCDM Belastung ist hier höher einzuschätzen als die durch PCB.

- In den Strecken liegen Verschleppungen sowohl von PCB als auch PCDM vor. Diese sind jedoch im Vergleich zu dem Stoffpool in den Abbaubereichen als gering einzustufen. Zudem wird der Wasseranstieg in diesem Streckennetz durch Maßnahmen begleitet, die die Mobilisation belasteter Partikel verhindern bzw. vermindern. Die heute durch den untertägigen Betrieb vorhandenen Einträge in den Wasserabfluss entfallen mit dem Rückzug.

Für eine Kalibrierung der heutigen Mobilisationssituation untertage stellen die gehobenen Grubenwässer eine geeignete Datengrundlage dar. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Stoffeintrag aus den nicht eingestauten Baufeldern noch durch zusätzlichen Eintrag durch bergmännische Aktivität in den belasteten Strecken verstärkt wird. Aufgrund der ermittelten Übereinstimmungen in diesen sohlengebundenen Wässern ohne bergmännischen Einfluss erlaubt die Verteilung der Bauhöhen aus den PCB/PCDM-Einsatzzeiträumen auf Baufelder bzw. Boxen und deren vertikale Verteilung eine modellgestützte Beschreibung der Effekte des Wasseranstiegs auf die PCB/PCDM-Gehalte.

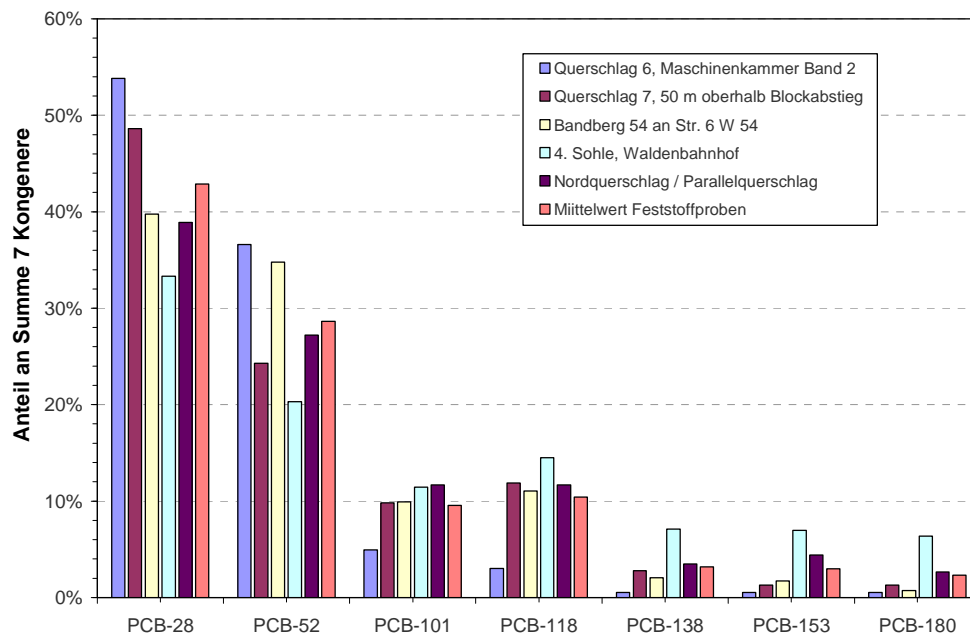


Abbildung 18: Anteile der PCB-Kongenerere an der analytisch bestimmten PCB-Summe in Feststoffproben.

Aus den Standortuntersuchungen können die Kongenerverteilungen der eingesetzten PCB abgeleitet werden. Diese Proben liefern weiterhin Informationen zu der Belastungsintensität, die dann als Modelleingangsdaten im Zuge der Kalibrierung überprüft und angepasst werden (s. Kapitel 7.3). Betrachtet wird in den Auswertungen in diesem Bericht meistens die Summe aus den 7 analysierten PCB-Standardkongeneren. Dies ist insbesondere

für grafische Darstellungen von Vorteil, da ansonsten jeweils 7 Teilmengen zu betrachten wären. Diese Kongenerverteilung lässt sich anhand von PCB-Analysen von Proben, in denen vergleichsweise hohe Belastungen vorhanden sind und dementsprechend auch die geringer konzentrierten Kongenere bestimmt wurden, ermitteln. Ausgewertet wurden diesbezüglich die fünf Feststoffproben (Abbildung 18, vgl. Kap. 5.2) und die 10 L-Proben (Abbildung 19, vgl. Kap. 5.1), die aussagefähige Gehalte an PCB enthielten.

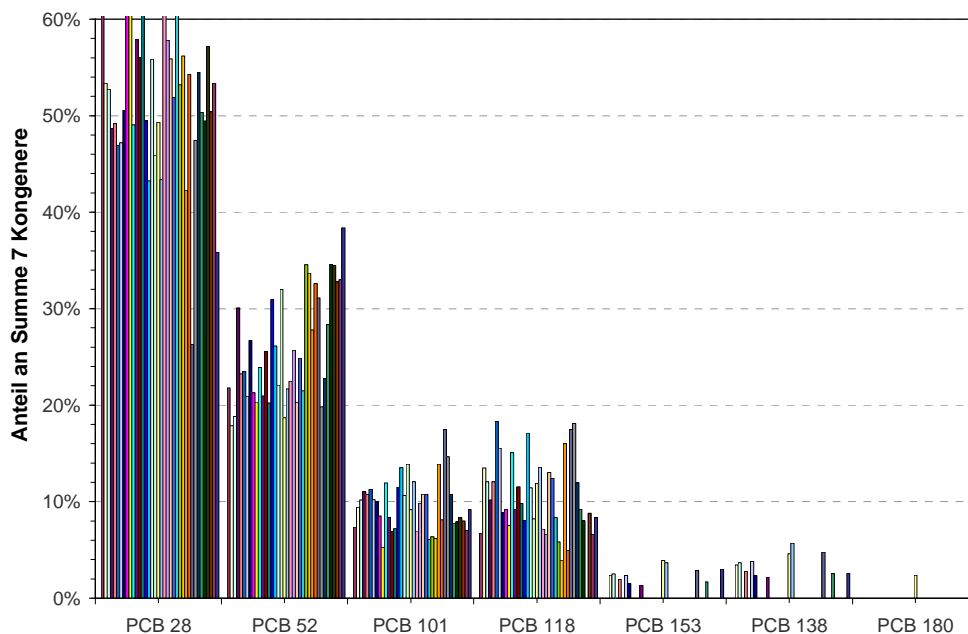


Abbildung 19: Anteile der PCB-Kongenere an der analytisch bestimmten PCB-Summe in 10 L-Proben mit PCB-Belastung.

Sowohl in den Feststoffen als auch im Wasser dominiert PCB-28 gefolgt von PCB-52. PCB-101 und PCB-118 weisen ähnliche Anteile auf (ca. 10 %) ebenso wie PCB-138 bis PCB-180 (ca. 3 %). Die homogene Kongenerverteilung auch in den aus verschiedenen Teufen und Zeitscheiben stammenden Proben spricht dafür, dass über die Einsatzdauer dieser Stoffe ein einheitliches Produkt verwendet wurde. Es ist daher korrekt, wenn auch im Modell eine einheitliche Grundbelegung für den PCB-Stoffpool erfolgt.

Die Ableitung der PCB-Anteile wurde im Abgleich der aus Feststoffproben, untertägigen Wasserproben und Gehalten im abgeleiteten Grubenwasser (LANUV Zentrifuge und Sedimentationskasten vgl. Kap. 7.3) vorgenommen (Abbildung 20). Auch hier ist erkennbar, dass die im gehobenen Grubenwasser ermittelten Verhältnisse sehr gut dem untertägigem Material entsprechen. Die Messungen sind insgesamt plausibel und zeichnen den Stofftransfer durch das Bergwerk nach über Tage nachvollziehbar nach. Aufgrund der guten Rahmenbedingungen zur Analyse der in größeren Mengen

vorhandenen Feststoffproben wurden letztlich diese Stoffverteilungen zugrunde gelegt und in das Modell übernommen. Auch der Vergleich mit den in anderen Wasserprovinzen ermittelten Verhältnissen zeigt für den überwiegenden Teil der Untersuchungsgebiete eine gute Übereinstimmung der PCB-Zusammensetzungen (Abbildung 21).

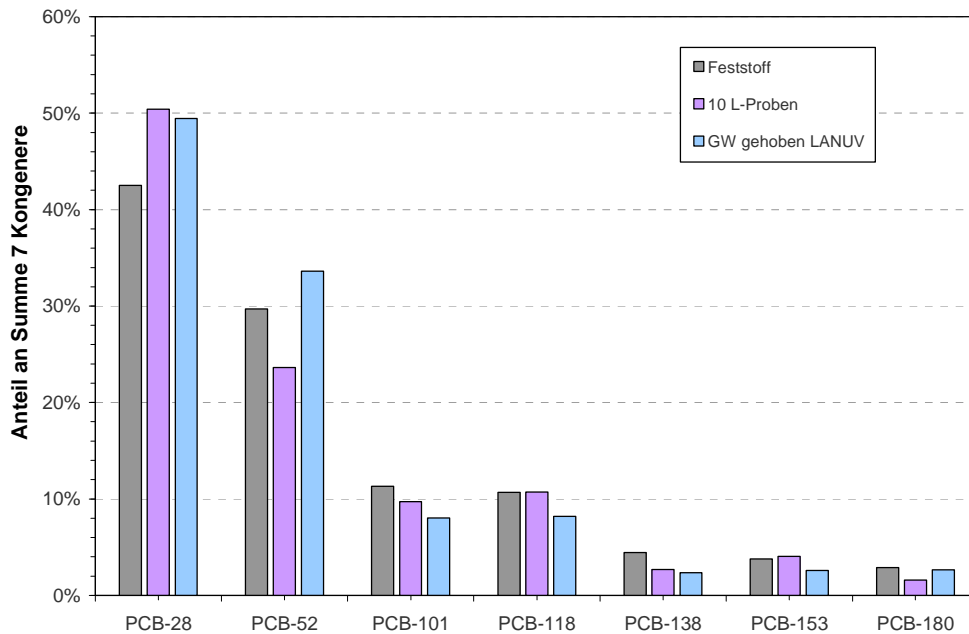


Abbildung 20: Mittelwerte zu Anteilen der PCB-Kongener an der analytisch bestimmten PCB-Summe in verschiedenen Probengruppen.

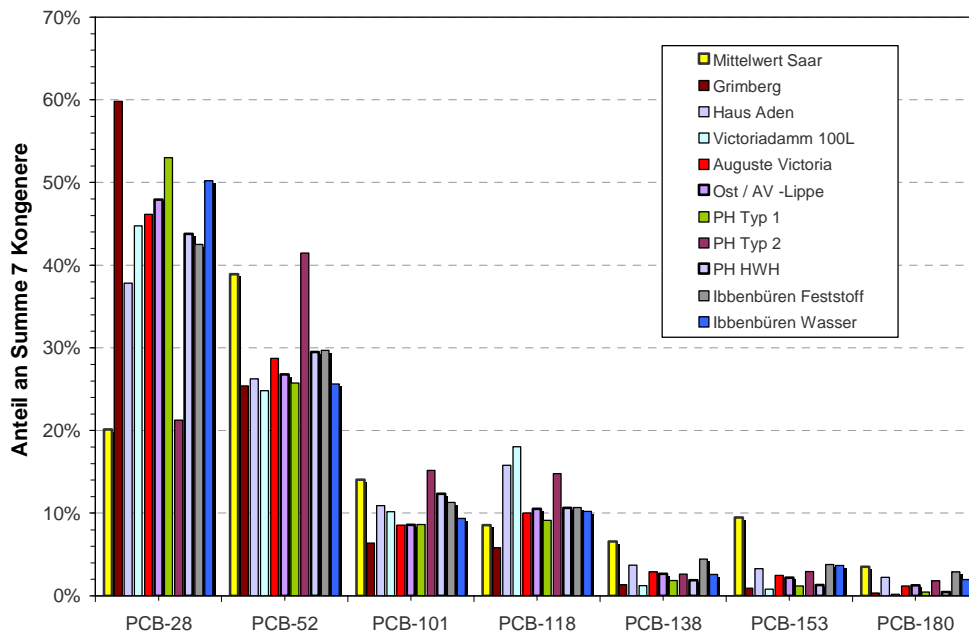


Abbildung 21: Vergleich der Kongener-Anteile an der analytisch bestimmten PCB-Summe an verschiedenen Standorten und Probentypen.

Obleich der absolute den Feststoffen im Modell zugeordnete PCB-Gehalt Gegenstand der weiteren Kalibrierung ist, ist es dennoch erforderlich, einen Startwert zu ermitteln und den im Bergwerk auftretenden Konzentrationsbereich und damit den Plausibilitätsbereich zu kennen. Die erkennbar PCB-belasteten Probenahmestellen (Summe 7 Kongenere > 200 µg/kg, 10 L-Proben Mittelwert der Mehrfachbeprobungen und Feststoffproben) weisen gemäß ihrer z.T. ausgeprägten Ortsgebundenheit sowie ihrer Gewinnung eine sehr hohe Streuung in den absoluten PCB-Gehalten auf (Abbildung 22). Grundsätzliche Unterschiede zwischen den 10 L-Proben und den Feststoffproben existieren jedoch kaum.

Wie auch an den anderen untersuchten Modell-Standorten wurde der PCB-Gehalt für die belasteten Grubenbereiche an der oberen Belastung der untersuchten Proben ausgerichtet, da davon ausgegangen wird, dass diese meist eine Vermischung mit unbelasteten Material erfahren haben. Dies wäre in jedem Fall in den 10 L-Wasserproben und in Sohlproben aus Verschleppungsbereichen zu erwarten und zeigt sich verstärkt (Mischwasser aus der gesamten Grube) im gehobenen Grubenwasser. Der PCB-Gehalt in den Belastungszonen wurde daher zunächst mit 2.000 µg/kg angesetzt. Dieser Wert entspricht auch dem Modellwert für die Wasserprovinzen Ost und AV-Lippe und liegt ebenfalls auf dem Niveau der Werte für Lohberg-Prosper-Haniel (1.500 µg/kg).

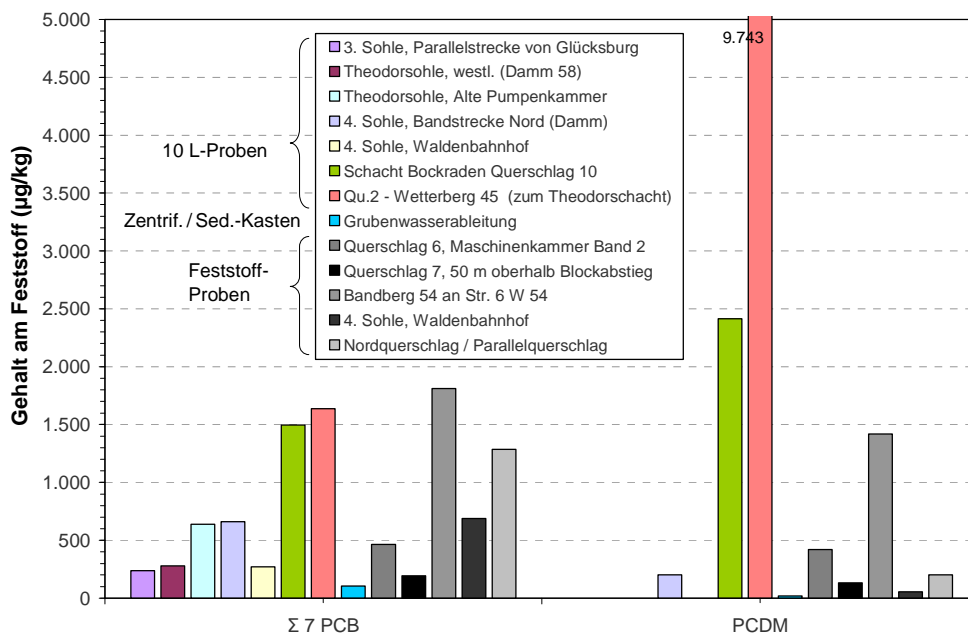


Abbildung 22: PCB-Gehalte in Proben aus dem Ostfeld Ibbenbüren.

Während die Saar-Parameter nur auf Basis der Rückrechnung aus Wass-erhebungsdaten abgeleitet wurden, standen für Auguste Victoria, Haus A-den und Prosper-Haniel gleichfalls auch Proben aus den Sohlen zu Verfü-gung. Es ist natürlich zu beachten, dass es immer schwierig ist, aus weni-gen Proben von den heutigen zugänglichen Strecken auf die Verhältnisse in den früheren Abbaurevieren rückzuschließen. Dennoch erscheinen die Größenordnungen plausibel und nachvollziehbar.

Für die Gehalte zu den nur über ca. 7 Jahre (nach 20 Jahren PCB-Einsatz) verwendeten PCB-Ersatzstoffen liegen in vielen 10 L-Proben keine Werte vor, da die als Summe-PCDM analysierten Proben meist hohe Bestim-mungsgrenzen aufweisen. PCDM-Werte liegen so nur in auffällig belasteten Proben vor. Das LANUV analysiert die PCB-Ersatzstoffe nach einem ande-ren Verfahren als TCBT-Einzelverbindungen und erreicht so ein deutlich niedrigeres Bestimmungsniveau. In Abbildung 22 sind die als PCDM be-stimmten Gehalte der 10 L-Proben mit den Summenwerten von 6 TCBT-Kongeneren in den Feststoffproben gleichgesetzt. Obgleich für den einzel-nen Abbau prinzipiell ein ähnliches Expositionspotenzial unabhängig von dem verwendeten Betriebsmittel existiert, wurden aufgrund der bei PCDM-Verwendung im Ostfeld z.T. offenbar sehr hohen Gehalte auf den Sohlen ein PCDM-Gehalt in den Belastungszonen von 5.000 µg/kg vorgegeben. Dies stellt auch im Vergleich mit sonstigen Standorten eine ungünstige Vor-gabe dar.

In den meisten Proben von den Sohlen treten PCB-Ersatzstoffe zusammen mit PCB auf, was sich hier auch aus der Verwendung der Stoffe nacheinan-der am selben Ort erklärt. In den Abbaubereichen ist die Differenzierung wahrscheinlich schärfer, aber auch hier ist von einem Nebeneinander der beiden Stoffgruppen über den größten Teil der PCDM-Einsatzzeit auszuge-hen (Übergangsphase, sukzessiver Wechsel der Betriebsmittel vgl. Kap. 4.1).

6 Freisetzung und Transport von PCB

In der zuvor beschriebenen Bestandsaufnahme wurde schon mehrfach darauf Bezug genommen, dass die Eigenschaften von PCB und PCDM die Bewertung der Standortbedingungen spezifisch beeinflussen. Im Folgenden sollen die zugrundeliegenden Prozesse erläutert sowie die beeinflussenden Faktoren identifiziert und hinsichtlich ihrer Umsetzung in eine Modellbetrachtung quantifiziert werden.

Aufgrund der starken Neigung von PCB/PCDM zur Bindung an Partikeloberflächen unterliegen Mobilisation und Transport grundsätzlich anderen Rahmenbedingungen als gelöste Stoffe. Der Lage der potenziellen PCB-Herkunftsbereiche zur Grubenwasseroberfläche kommt eine besondere Bedeutung zu, da offensichtlich PCB gerade dann mobilisiert werden, solange die betreffenden Grubenhohlräume noch nicht vollständig überstaut sind.

6.1 PCB-Verhalten

Die chemischen Eigenschaften der unterschiedlichen PCB-Kongenere sind vom Chlorgehalt abhängig. Die Wasserlöslichkeit nimmt generell mit steigendem Chlorgehalt ab. PCB weisen allerdings eine hohe Adsorptionsneigung an Feststoffe (insbesondere an organogenreichem Feststoff) auf, so dass im Normalfall (niedrige Konzentrationen, keine Lösungsvermittler) die PCB zum beträchtlichen Teil an die Schwebstoffe gebunden vorliegen.

Das zusätzliche Vorhandensein von im Wasser gelöst vorliegenden PCB-Gehalten ist jedoch grundsätzlich zu erwarten. Dies bedingt schon die Berücksichtigung von sorptiver Bindung von PCB an Partikel, da in einem solchen Fall auch von Sorptions-Desorptionsgleichgewichten zwischen Festphase und Wasser auszugehen ist. Allerdings ist die Bestimmung von PCB in Wasser in solchen Konzentrationsbereichen sehr schwierig und die Untersuchung dieser Fragestellung ist noch nicht abgeschlossen. Die untersuchten Proben bewegen sich trotz Filtration von 100 Litern Probenmenge im Bereich der analytischen Bestimmbarkeit. Die abgeleiteten Verteilungskoeffizienten zwischen Wasser- und Feststoffphase (K_D -Werte) in den verschiedenen Messungen stimmen jedoch mit Erwartungswerten überein. Demnach überwiegt der partikulär gebundene PCB-Anteil gegenüber dem gelösten (vgl. ahu-Teil 2 Detailbericht 6, Kap. 6.4.2).

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die zur Separierung der Wasserphase verwendeten Filter ($0,45 \mu\text{m}$) nachweislich im Grubenwasser vor-

handene Feinpartikel durchlassen, deren PCB-Anhaftungen dann analytisch nicht von echt gelösten Anteilen zu differenzieren sind. Sorptionsprozesse sind zudem häufig nicht vollständig reversibel, so dass eine vollständige Gleichgewichtseinstellung, wie sie in den üblichen Sorptionsversuchen im Labor ermittelt wird (vgl. ahu-Teil 1 Detailbericht 6, Kap. 10), bei Desorption unter natürlichen Bedingungen (z.B. nach Mischung von Teilströmen) nicht zwangsläufig zu erwarten ist. Hier bietet es sich eher an, von einer mobilen Fraktion zu sprechen (vgl. Kap. 6.4).

Zu sorptiver Fixierung kann nach einem Wasseranstieg auch das Vorhandensein PCB-freier Oberflächen im durchströmten Grubengebäude beitragen, was im ahu-Gutachten als Flächenfilter bezeichnet wird und durch das Verhältnis PCB-belasteter zu PCB-freien Flächen quantifiziert werden kann (vgl. Kapitel 4.4). Neben der allgegenwärtigen Kohle stehen auch die Gehalte an organischem Kohlenstoff in den sonstigen Nebengesteinen (Bergen) und vor allem im Wurzelboden als geeignete Sorbenten zur Verfügung. Dies stellt im Material der Streckensohlen und in der Flözbasis ein großes Bindungspotenzial dar.

6.2 Fließprozesse im Bergwerk

Im Fokus der Betrachtung steht die Frage, inwieweit mit PCB belastete Bestandteile der Streckensohlen so mobilisiert werden, dass sie mit dem gehobenen Grubenwasser nach Übertage und so in die Umwelt gelangen. Hierfür ist der Bezug zum strömenden Grubenwasser ein wesentliches Kriterium. ahu hebt hierbei die „strömungsbedingte Erosion in offenen Strecken“ heutiger und zukünftiger Wasserwege hervor (ahu-Gutachten, Endbericht, S. 180). Zudem haben nach ahu „kilometerweit von einer Wasserhaltung entfernt liegende Strecken [...] ein deutlich geringeres Freisetzungspotential (Endbericht, S. 183)“.

Diese Betrachtung berücksichtigt, dass in künftig abgedämmten oder peripheren Grubenbereichen zwar möglicherweise beim Wasseranstieg Partikel erodiert werden, diese aber aufgrund der geringen Strömungen bei fehlendem oder sehr geringem Wasseraustausch später nicht zur Wasserhaltung gespült werden bzw. dort optimale Sedimentationsbedingungen vorfinden. Wässer in solchen Bereichen dürften oftmals auch beim Wasseranstieg den Weg in die mit den Abbaubetrieben verbundenen Auflockerungszonen und Resthohlräume finden und dort verbleiben.

Erosionsprozesse (Aufwirbelung) sind eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit und damit der lokalen Standortbedingungen im stationären

Zustand bzw. während des Wasseranstiegs. Nach Einschätzung des ahu-Gutachtens tritt Erosion im Grubengebäude vor allem dann auf, wenn ansteigendes Wasser mit großem Gefälle und freier Oberfläche in bislang nicht geflutete Bereiche fließt. Solche Bedingungen dürften in den abgedämmten und nicht mehr zugänglichen Streckensystemen zahlreich vorhanden sein. Jedoch zeigen die zahlreichen Analysen aus bereits früher stillgelegten Bergwerken, dass auch hier die Schwebstoffgehalte gering sind. Dies belegt, dass unter den Bedingungen eines wassererfüllten Bergwerkes Sedimentationsprozesse wirksam sind, die der Mobilisation von Partikeln mindernd entgegenwirken.

Eine partikelgebundene PCB-Verlagerung impliziert, dass die höchsten PCB-Gehalte im Grubenwasser grundsätzlich vor, während und kurz nach einem Wasseranstieg zu erwarten sind:

- Im aktiven Bergwerk ermöglichen Materialumlagerungen und diverse Wasserhaltungen den Austrag von Gesteinspartikeln mit dem Grubenwasser. Solche Daten sind daher nur mit Einschränkungen für die Wasseranstiegsprognose verwertbar, da hier grundsätzlich andere Rahmenbedingungen vorherrschen. Es ist davon auszugehen, dass durch bergmännische Aktivität in den Strecken zusätzliche PCB mobilisiert werden. Andererseits gelangen mit dem aktuellen Abbau auch große Mengen PCB-freier Partikel in die Wasserhaltungen, die so in der Mischung die PCB-Gehalte an den Feststoffen vermindern.
- Auch in stillgelegten Grubenbereichen kann durch fließendes Wasser bei ausreichendem Gefälle der Strecke Sohlmaterial aus noch nicht eingestauten Niveaus erodiert werden und ein Materialaustrag erfolgen. Dieser Prozess wird durch die Wasserzuflüsse zum Nordschacht bestätigt.
- Ähnliche bzw. sogar lokal verstärkte dynamische Fließprozesse mit turbulenten Strömungen können während des Wasseranstiegs auftreten. Dies ist z.B. der Fall, wenn Schwellen existieren, die dann auf der Abflusseite starker Sohlenerosion unterworfen sein können. Entsprechend erfolgt dann erst in Senken unter Standwasserbedingungen oder geringer Strömung eine Sedimentation.
- Nach Überstauung einer Strecke und noch viel mehr nach vollständig erfolgtem Wasseranstieg mit Vergleichmäßigung der Strömungsbedingungen stellen sich Bedingungen ein, die kaum dazu beitragen können, PCB-haltige Sohlbestandteile zu erodieren sondern zu einer Sedimentation von Schwebstoffpartikeln führen.

6.3 Erosion

Auch wenn das Vorhandensein von in Wasser gelösten PCB plausibel ist, wird dem partikulären PCB-Transport nach wie vor eine vorrangige Bedeutung zugeordnet. Das Transportverhalten von Partikeln im Grubenwasser hängt von deren Größe und der Geschwindigkeit des strömenden Wassers ab. Ein Partikel bewegt sich dann im Spannungsfeld zwischen Erosion, Transport und Deposition (Sedimentation). Diese Abhängigkeiten werden im Hjulstrøm-Diagramm beschrieben und quantifiziert (s.a. ahu-Teil 1, Detailbericht 6, S. 169 ff). Auch wenn dieses Diagramm für natürliche Substrate entwickelt worden ist und sich das Material von Streckensohlen aufgrund seiner Kornheterogenität insbesondere im Erosionsverhalten etwas anders verhalten dürfte, ist es bei der Einschätzung von Transport und Deposition anwendbar (modifiziert durch Salzgehalte und Dichte des Grubenwassers).

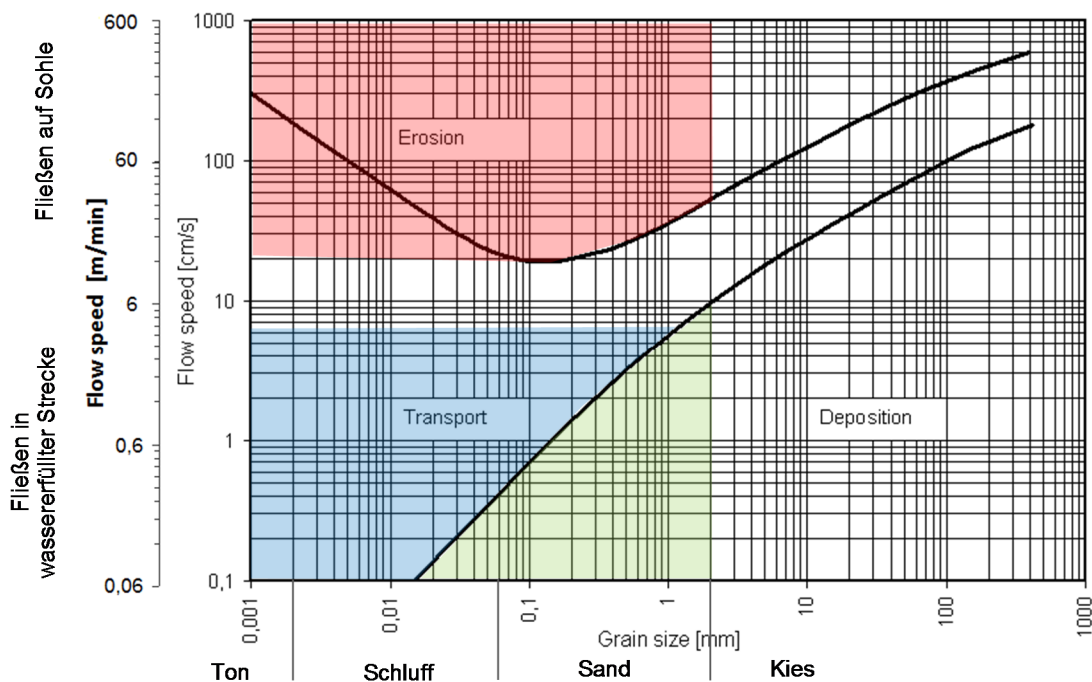


Abbildung 23: Hjulstrøm-Diagramm mit Ergänzungen zu den bergbauspezifischen Rahmenbedingungen.

Das Diagramm zeigt auf, dass Erosion und Deposition der bezüglich PCB besonders interessierenden Feinpartikel in deutlich unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen auftreten (Abbildung 23). Nimmt man mögliche Geschwindigkeiten in wassererfüllten Strecken zunächst als Ausgangspunkt, so ergibt sich bei einem (gering angesetzten) Streckenquerschnitt von 10 m² und maximalen Wasserfließraten von 40 m³/min (Gesamtabfluss

Lohberg) eine Geschwindigkeit von 4 m/min (6,7 cm/s). In einem überwiegenden Anteil der Strecken dürften die Fließgeschwindigkeiten eher zwischen $<0,1$ und 1 m/min liegen. Dies gilt auch für den Standort Ibbenbüren, für den der Gesamtabfluss lediglich ca. 5 m³/min beträgt.

Zudem ist, wie auch ahu im Detailbericht 6, S. 75 beschreibt, noch zu berücksichtigen, dass in einem derartigen Röhrensystem an den Randbereichen (somit auch der Sohle) immer deutlich geringere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten als in der Röhrenmitte. Dies bedeutet, dass unter diesen Bedingungen (blaues Feld in Abbildung 23) in diesem Geschwindigkeitsfenster keine Partikel (auch keine Feinpartikel) erodiert werden. Im ahu-Gutachten (Endbericht, S. 171) wird dies so beschrieben: „Die angenommenen Strömungsgeschwindigkeiten in wassergefüllten Röhren reichen in der Regel nicht aus, um neue Partikel zu erodieren und diese in einen Schwebезustand zu transportieren“. Es ist ein Milieu von Transport der Feinpartikel (Ton und Schluff) und Deposition der Grobschluff- und Sandfraktion (grünes Feld in Abbildung 23) vorherrschend.

Diese theoretisch abgeleitete Einschätzung stimmt sehr gut mit den tatsächlichen Ergebnissen bei fraktionierter Filtration von verschiedenen Grubenwässern überein. Partikel wurden in einem Bereich $>12 \mu\text{m}$ (= 0,01 mm im Diagramm) bis $0,1 \mu\text{m}$ gefunden. Diese Partikelgrößen liegen somit ebenso wie die häufig angewendete Filtergröße $0,45 \mu\text{m}$ (0,00045 mm) links außerhalb des Diagrammbereiches. Daraus lässt sich auch ableiten, dass einmal aufgewirbelte Feinpartikel der Tonfraktion unter den Strömungsbedingungen in am Fließgeschehen teilnehmenden Strecken kaum mehr sedimentiert werden können. Dies ist nur in Standwasserbereichen möglich.

Ergänzend ist aber ein Phänomen beim Wasseranstieg zu berücksichtigen, das in einem solchen Diagramm nicht dargestellt werden kann. Wie Modell-Untersuchungen der DMT und auch des ahu-Gutachtens zeigen, strömt das die Streckensysteme füllende Wasser beim Anstieg von diesen Strecken in die Hohlräume der Abbaubetriebe und der darüber liegenden Auflockungszonen. Naturgemäß nimmt es dabei neben gelösten Inhaltsstoffen auch in Schwebе befindliche Feinpartikel mit. Also werden insbesondere im Wasseranstieg mobilisierte Feinpartikel so aus dem Streckensystem entfernt. Da diese Gradienten über längere Zeiträume erhalten bleiben und dieses Wasser in solchen Bereichen später auch nicht mehr ausgetauscht wird, darf davon ausgegangen werden, dass diese Anteile dauerhaft dort fixiert bleiben.

Zurück zum Erosionsverhalten, das für die initiale Mobilisation von Partikeln von vorrangiger Bedeutung ist. Im Hjulstrøm-Diagramm ist ersichtlich, dass

Erosion erst ab Strömungsgeschwindigkeiten >20 cm/s (dies entspricht in Analogie zu den zuvor verwendeten Einheiten 12 m/min) zu erwarten ist (rotes Feld in Abbildung 23). Dass die Erosion von Feinpartikeln noch höhere Geschwindigkeiten erfordert, ist auf das Haftverhalten solcher Ablagerungen zurückzuführen. Demnach findet Erosion nur in einem Geschwindigkeitsbereich statt, wie er in wassererfüllten Strecken nicht realisiert ist. Im Umkehrschluss ist Erosion somit ein Phänomen des Wasserfließens vor und während des Wasseranstiegs. Das ahu-Gutachten beschreibt hier: „Vor allem durch das schnelle Fließen des Grubenwassers in nicht eingestauten Grubenbereichen werden PCB-belastete Partikel erodiert.“ (ahu-Gutachten, Zusammenfassung, S. 16).

Beim Wasseranstieg kann es, in Abhängigkeit von der Neigung der Strecken und der Dynamik der Wasseranstiegsbereiche gegenüber den gleichbleibenden Bedingungen zuvor, zu verstärkter Erosion kommen. Dies ist der Fall, „wenn im Grubengebäude ansteigendes Wasser mit großem Gefälle und freier Oberfläche in bislang nicht geflutete Bereiche fließt (ahu-Gutachten, Endbericht, S. 183)“. Die Wassermengen sind zum Beispiel bei Überstauung einer Schwelle größer und zudem fließt Wasser durch Bereiche, die zuvor trocken oder nur gering von Wasserzutritten betroffen waren.

6.4 Sedimentation

Nach dem Wasseranstieg in einer Strecke verändern sich die Rahmenbedingungen derart, dass dieser Bereich als potenzielle Sedimentationszone wirkt. Wie in Kapitel 6.3 beschrieben, werden die Fließgeschwindigkeiten im überwiegenden Teil der wassererfüllten Strecken als Funktion von Streckenquerschnitt und strömenden Wassermengen zwischen $<0,1$ und 1 m/min liegen. Für das Ostfeld Ibbenbüren mit einer Wasserannahme von ca. $4,5$ m³/min und der Infrastruktur an Hauptwasserwegen erscheinen bis zu maximal $0,3$ m³/min als realistisch. In den meisten Strecken sind eher Fließgeschwindigkeiten um $0,05$ m³/min anzusetzen. Der damit unter Berücksichtigung des relevanten Korngrößenspektrums (Ton – Schluff – Feinsand, vgl. Abbildung 23) zu betrachtende Bereich im Hjulstrøm-Diagramm ist in Abbildung 24 grau hinterlegt.

Aus dieser grafischen Darstellung ist ersichtlich, dass unter solchen Strömungsbedingungen und Zugrundelegung dieses theoretischen Ansatzes Sedimentation nur für einen Teil dieser Kornfraktionen zum Tragen kommen kann. Die Auswirkungen dieses Funktionalitätsprinzips lassen sich so zwar qualitativ berücksichtigen, die quantitativen Auswirkungen auf den PCB-

Transport unter den untertägigen Verhältnissen lassen sich jedoch nicht direkt beschreiben.

Um diese Prozesse dennoch zu quantifizieren und für eine Modellbetrachtung zugänglich zu machen, wurden drei, dieses Kornspektrum repräsentierende, Korngrößen im Ton-, Schluff- und Feinsandbereich definiert:

Modellfraktion	Korngrößenbereich	Anteil	Farbe in Abbildung 24
fein: 0,45 µm	< 0,63 µm	4,6 %	gelb
mittel: 10 µm	≥ 0,63 µm bis < 20 µm	32,7 %	grün
grob: 100 µm	≥ 20 µm bis < 630 µm.	62,7 %	blau

Quantitative Anteile für diese drei Fraktionen wurden den Korngrößenanalysen von 4 Proben vom Standort Haus Aden/Grimberg aus den ahu-Untersuchungen entnommen (ahu Detailbericht 6, Kap. 9.2.6 Korngrößenanalyse, S. 66). Die anhand dieser Daten ermittelten Mittelwerte für den Korngrößenbereich bis 630 µm ergeben die in der obigen Auflistung aufgeführten Anteile in einer repräsentativen Gesamtprobe.

Es wird somit angenommen, dass bei Erosion ein Korngemisch entsprechend der oben aufgeführten Zusammensetzung mobilisiert wird. Die einzelnen Fraktionen sind in unterschiedlichem Maße in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Sedimentation unterworfen, wodurch sich die Korngrößenanteile der Feststofffraktion im Wasser im Laufe der Zeit ändern.

Diese Sedimentation wird im Boxmodell mittels einer Sedimentationskinetik modelliert, die für verschiedene Partikelklassen in Anlehnung an das Hjulstrøm-Diagramm und auch praktischen Sedimentationsbeobachtungen abgeleitet wurde. Grafisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 24 dargestellt. Wie auch im Hjulstrøm-Diagramm dargestellt, beginnt die Sedimentation grober Partikel bereits bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten, während die Feinpartikel im Wesentlichen im Transportfeld des Diagramms verharren. Die im Grubenwasser in Schwebelage nachgewiesenen Partikel zwischen > 12 µm und unterhalb von 0,2 µm Durchmesser (vgl. Kap. 6.3) passen sehr gut zu dieser theoretischen Ableitung der möglichen Partikelverteilung.

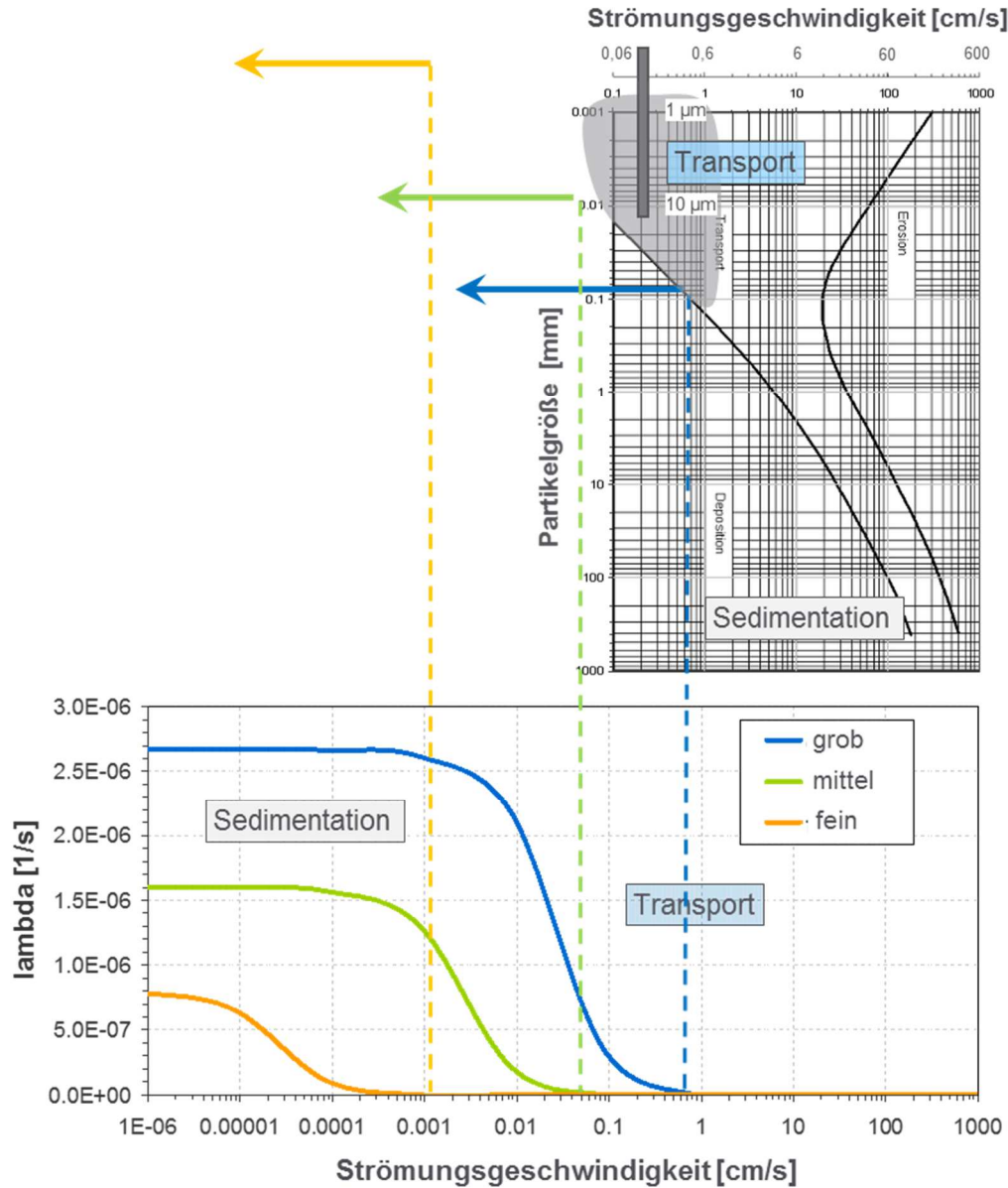


Abbildung 24: Ableitung von Ratenkonstanten für die Sinkgeschwindigkeit.

Die für die Berechnungen erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten werden aus den in den einzelnen Boxscheiben strömenden Wassermengen mittels eines RHV-bezogenen Kennwertes ermittelt. Dafür werden die Anteile an Strecken am gesamten Resthohlraumvolumen (10 %) zugrunde gelegt.

7 Quantitative Modellprognose zur Entwicklung des PCB/PCDM-Austrags nach der Grubenwasseranhebung

Ziel der hier durchgeführten Modellrechnungen ist es – neben quantitativen Aussagen zum künftigen Stoffverhalten – auch ein verbessertes Verständnis zu Zusammenhängen und Abläufen der durch Abdämmung und Wasseranstieg in Gang gesetzten Veränderungen zu erhalten. Insbesondere für die auf Wechselwirkungen zwischen PCB-Gehalt an den Schwebstoffen und dem Gehalt an Schwebstoffen im Wasser, Wassermengen und -Mischungen basierenden heutigen und künftigen Messwerten, ermöglicht ein Modell eine Erkennung von Zusammenhängen und Einflussfaktoren. Zudem zwingt ein Modell durch die erforderlichen Terme und Eingangsdaten den Nutzer zur strukturierten und quantitativen Prozessbeschreibung. Im Folgenden werden die wesentlichen Modelleigenschaften und die Herangehensweise beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung des Modells findet sich im Anhang zum in Kapitel 1 benannten Bericht für die Wasserprovinz AV-Lippe.

Für ein Verständnis der Transportprozesse von festen Partikeln mit an ihnen fixierten organischen Substanzen und deren Darstellung in einem Modell sind gegenüber den für die übliche Grubenwasserqualitätsprognose zahlreiche zusätzliche Parameter zu berücksichtigen. Der aktuelle Grundansatz des Modells betrachtet vereinfacht eine nicht reversible Bindung an die Feststoffpartikel. Dadurch genügt es, den Transport dieser Feststoffpartikel zu beschreiben.

Das Modellkonzept berücksichtigt die in Kapitel 6.4 beschriebenen drei Partikelfractionen. Diese repräsentieren Partikel unterschiedlicher Eigenschaften ohne konkrete Zuweisung von Partikelgrößen und können mit einem differenzierten PCB-Spektrum belegt werden. Einer mobilen Fraktion ist nahezu keine Sedimentation zugeordnet und sie bildet daher Feinstpartikel ab.

Der Modelansatz berücksichtigt keine konkreten Standorte für die räumliche Zuordnung und Verteilung der PCB-Quellen, zumal hierzu auch keine Informationen vorliegen. Es wird ein allgemeiner Ansatz verwendet, der dem Prinzip der Proportionalität folgt: wo mehr mit solchen Betriebsflüssigkeiten abgebaut wurde, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass PCBs ausgetreten sind und als Quelle zur Verfügung stehen (s. Kap. 4). Dieser Wert stellt dann naturgemäß einen Mittelwert der in der Realität sehr heterogenen Stoffverteilung und Freisetzung dar.

Darüber hinaus müssen die Prozesse der Partikelmobilisierung und die räumlichen Bedingungen eines Kohlebergwerks als Funktion der Wasserstandsentwicklung betrachtet werden. Die korrekte Modellimplementierung muss die Beziehung zwischen "PCB - Feststoffgehalt - geochemischer Niederschlag - Sedimentation" im Rahmen eines Multimigrantensystems berücksichtigen. Grundsätzlich werden zwei Mechanismen zur PCB-Mobilisation berücksichtigt:

- Im ungesättigten Gebirge mobilisieren dort zusitzende Wasserzuflüsse durch ihr Fließen über die Sohle Partikel.
- Beim Wasseranstieg werden durch neue Fließwege über bislang trockene Sohlen verstärkt Partikel ausgewaschen.

Art und Menge der dadurch in die Wasserphase überführten Schwebstoffe können frei definiert werden.

Die Sedimentation von Partikeln vermindert dabei nicht die eigenen Gehalte an PCB, sehr wohl aber die zu berechnende PCB-Konzentration im Wasser und die zur Bewertung des Stoffaustrags vor allem relevante Fracht. Aus dem PCB-Gehalt an den Partikeln und der Partikelmenge im Wasser lassen sich dann PCB-Gehalte bezogen auf die Wasserphase berechnen.

7.1 Grundlagen der PCB-Quantifizierung

PCB/PCDM sind komplexen chemisch/analytischen Einflüssen unterworfen, meist in geringen Konzentrationen in den Grubenwassern enthalten und daher im Vergleich zu anderen Wasserinhaltsstoffen nicht immer einfach zu quantifizieren. Zeitreihen von Messwerten liegen für das Ostfeld für das gehobene Grubenwasser vor, auf die sich die Modellkalibrierung – unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren dort – stützt. Die Einschätzung der Messergebnisse dort muss immer im Kontext der Analysenbefunde sowie der Kenntnisse aus der Untertagesituation erfolgen. Zudem existieren auch Daten von anderen Standorten, die als Vergleichsbasis herangezogen werden können.

Aufgrund der insgesamt geringen PCB-Gehalte in den Wässern, werden Werte zum PCB-Gehalt überwiegend an den Feststoffpartikeln (Einzelkongenere) und dem Gehalt an Feststoffpartikeln (Abfiltrierbare Stoffe in mg/L) analytisch erfasst (vgl. Kap. 5.1). Entsprechend stützt sich auch die Modellkalibrierung auf diese Datenbasis. Dies impliziert, dass den Gehalten an Partikeln (analysiert als Abfiltrierbare Stoffe) eine besondere Bedeutung für Transportbetrachtungen von PCB- zukommt, die daher in Kapitel 7.2 gesondert betrachtet werden.

Bei der Interpretation von partikelgebunden Stoffgehalten wie PCB/PCDM ist zu berücksichtigen, dass sich der Zustand der analysierten Proben häufig von dem noch am Standort entnommenen Grubenwasser unterscheidet. Dies hängt mit den fast immer reduzierenden Bedingungen in den Wässern (sauerstofffrei) zusammen. Dadurch existiert bei Kontakt mit Sauerstoff (Probenahme, Transport ins Labor, Lagerung) ein Reaktionspotenzial, das zur Oxidation und meist der Ausfällung von zuvor gelösten Grubenwasserinhaltsstoffen (meist Eisen als Eisenhydroxid) führt. Die gemessenen Schwebstoffgehalte in den Proben entsprechen dadurch in den seltensten Fällen dem Originalzustand. Dies hat mehrere Auswirkungen auf die Analyseergebnisse:

- Der Schwebstoffgehalt (Abfiltrierbare Stoffe) wird erhöht,
- Der PCB-Gehalt am Schwebstoff wird durch die zusätzlichen Feststoffmengen verdünnt.

Im Modell als PCB-Träger betrachtet wird jedoch – und das entspricht auch den tatsächlichen Verhältnissen – nur Material aus den Streckensohlen, das dann im Grubenwasser verlagert wird. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Kohle, Tonminerale etc., die im Folgenden als Primärpartikel bezeichnet werden. Es ist daher immer zu prüfen, wie die Proben genommen und analysiert worden sind. Enthält das Grubenwasser z.B. Eisen, sind ggf. Korrekturen zu berücksichtigen, will man auf den "richtigen" Wert rückschließen und für die Kalibrierung verwenden:

- Der Gehalt an Primärpartikeln ist fast immer geringer als der Messwert für Abfiltrierbare Stoffe,
- Der PCB-Gehalt am Schwebstoff (Primärpartikel) ist dann höher als die Analysen ausweisen.

Die durchaus umfangreichen Monitoringdaten von den Wasserhebungen an der Saar, in denen Wasseranstiege oftmals lange zurückliegen, die daher geringe Eisengehalte aufweisen und deren Zustand als teilgeflutet/stationär anzusetzen ist, enthalten Schwebstoffgehalte häufig unter 1 mg/L, die z.T. auch die sekundär ausgefallenen Eisengehalte enthalten. Filtrationen größerer Wasservolumina direkt am Standort haben auch nach Teilflutungen Partikelgehalte von 1,2 mg/L (Zollverein Süd), 1,5 mg/L (Zollverein Stinnesdamm ohne sekundäres BaSO₄) und 2,1 mg/L (Haus Aden incl. sekundärem FeS) ergeben. Primärpartikel-Konzentrationen < 1 mg/L erscheinen demnach unter den Bedingungen eines weitgehenden Wasseranstiegs als realistisch.

Auf Basis dieser Kenntnisse ist trotz der im aktiven Bergwerk sehr viel höheren Partikelgehalte im Grubenwasser eine Dateninterpretation und Modellkalibrierung möglich. Vereinfachend wirkt der Umstand, dass sich durch die beschriebenen Prozesse zwar die beiden Bestimmungsgrößen (PCB-Gehalt am Feststoff, Menge der Feststoffe) verändern, nicht aber die resultierenden und zu berechnenden PCB-Konzentration in der Wasserphase (in ng/L). Den Gehalten von PCB am Feststoff sollte daher gegenüber den Konzentrationen nur eine untergeordnete Bedeutung bei der Bewertung der Emission aus einem Bergwerk beigemessen werden. Die berechneten Konzentrationen sind die wichtigste Grundlage für die Bewertung der Grubenwassereigenschaften als auch für die Modellergebnisse und Kalibrierung. Die aus den Konzentrationen und den Grubenwasserabflussmengen direkt ableitbare Masse/Fracht bildet wiederum den wichtigsten Parameter zur Einschätzung der zeitlichen Veränderungen im Stilllegungsprozess.

7.2 Schwebstoffgehalte

Die Schwebstoffgehalte in Wasserströmen sind somit von hoher Bedeutung für die Berechnung von PCB-Konzentrationen/Frachten aber auch für die Kalibrierung des Feststoff-gekoppelten PCB-Modells. Da die Bedingungen des aktiven Bergwerkes im Ostfeld eine direkte Bestimmung von Partikelgehalten, wie sie künftig auftreten werden, nicht ermöglicht (vgl. Kap. 5), wird auf Vergleichsdaten von anderen Standorten zurückgegriffen. Der Grubenwasserablauf im Westfeld, der im Prinzip diese Wasseranstiegssituation zur Verfügung stellt, ist als Kalibriergrundlage im Gegensatz zu den gelösten Wasserinhaltsstoffen (vgl. DMT EG-HW-2012-056) nicht geeignet, weil das Grubenwasser bereits am Austritt aus dem Dickenberger Stollen eine deutliche Überprägung durch ausgefälltes Eisen (vgl. Kap. 7.1) aufweist.

Für die Monitoringdaten von Abfiltrierbaren Stoffen und PCB/PCDM im Grubenwasser des Ostfeldes ist folgendes zu beachten:

- Der bergbauliche Eintrag von Feststoffen aus den aktuell betriebenen PCB-unbelasteten Abbaubetrieben verursacht eine signifikante Verdünnung der von anderen Stellen dem Wasserstrom zugeführten PCB-haltigen Schwebstoffe.
- Nach Feststoffabtrennung in den Nebenwasserhaltungen und der Hauptwasserhaltung auf der 3. Sohle sind dem ersten Monitoringmesspunkt für PCB/PCDM im Ibbenbürener Förderstollen (unvermisches Grubenwasser) noch die sog. Püßelbürener Teiche nachgeschaltet.

Erst im Ablauf dieser Teiche, die eine Minderung der Eisen- und Feststoffgehalte im Grubenwasser bewirken sollen, befindet sich der offizielle Messpunkt zur Grubenwassereinleitung in die Ibbenbürener Aa, an dem der umfangreichste Datensatz für PCB/PCDM vorliegt.

Die Farbgebung zur Darstellung der Monitoringdaten (Magenta: Originalgrubenwasser, Grün: Ablauf Klärteiche = Einleitung in die Ibbenbürener Aa) wurde in den folgenden Abbildungen analog der Darstellungen im Gutachten zum Grubenwasseranstieg gewählt (DMT EG-HW-2012-056). Dort sind auch die vier Varianten (Modell F 0,25 bis Modell F 1,0) erläutert, die aufgrund von Unsicherheiten bezüglich des auffüllbaren Hohlraumvolumens in der direkten Übertragbarkeit der Verhältnisse im Westfeld auf das Ostfeld vorliegen und so diese Hohlraumerweiterung oberhalb -74 mNN abgestuft übernehmen.

Die im gehobenen Grubenwasser überwiegend gemessenen Trübstoffgehalte zwischen 50 und 100 mg/L sind für betriebene Bergwerke typisch (Abbildung 25). Dieser Feststoffeintrag stammt überwiegend aus den Abbaubetrieben und schwankt zudem, was eine Verwendung der Daten zur Bewertung von PCB-Gehalten wie zuvor beschrieben erschwert. Grundsätzlich liegen jedoch für eine Auswertung ausreichend stabile Rahmenbedingungen vor.

Aufgrund der zur Bewertung des PCB/PCDM-Austrags wichtigen Messwerte im Ablauf der Püßelbürener Teiche sind auch die Veränderungen des Grubenwassers dort zu betrachten. Die Daten belegen, dass die Absetzteiche ihrer angedachten Funktion gerecht werden – die Feststoffgehalte vermindern sich auf 20 bis 50 mg/L also etwa die Hälfte der Ausgangswerte. Dabei darf in Analogie zu den für das Grubenwasser in Kapitel 6.4 beschriebenen Prozessen davon ausgegangen werden, dass sich vor allem gröbere Feststoffe bevorzugt absetzen und feinere Feststoffe als Resttrübe zur Ableitung verbleiben, was für die Interpretation der PCB-Messungen von Bedeutung ist (vgl. Kap. 7.3).

Das Modell kennt solche Betriebseinflüsse nicht, da es für die Prognose des künftigen/natürlichen Stoffaustrages konfiguriert ist. Dementsprechend werden für den aktuellen Zufluss nur die Feststoffgehalte berücksichtigt, die als Primärpartikel mit den stationären Zuflüssen (der Zufluss selbst ist Schwebstofffrei und erhält seinen Partikelgehalt erst bei Abfließen im wasserungesättigten Bergwerk) zu den Annahmestellen transportiert werden. Dies summiert sich auf nur 0,6 mg/L (Abbildung 25) im Gesamtgrubenwasser bei einer Vorgabe von 0,75 mg/L für die einzelnen Zuläufe in eine wasserungesättigte Strecke. Dieser Wert erscheint vergleichsweise niedrig, orientiert

sich aber an Messungen mit entsprechenden Verfahren an anderen Standorten und berücksichtigt den Zustand, in dem ein Wasser den Grubengebäude zutritt. Aufgrund der beschriebenen Beeinflussungen handelt es sich um einen theoretischen Wert der zwischen 0,5 und 1,5 mg/L schwanken kann.

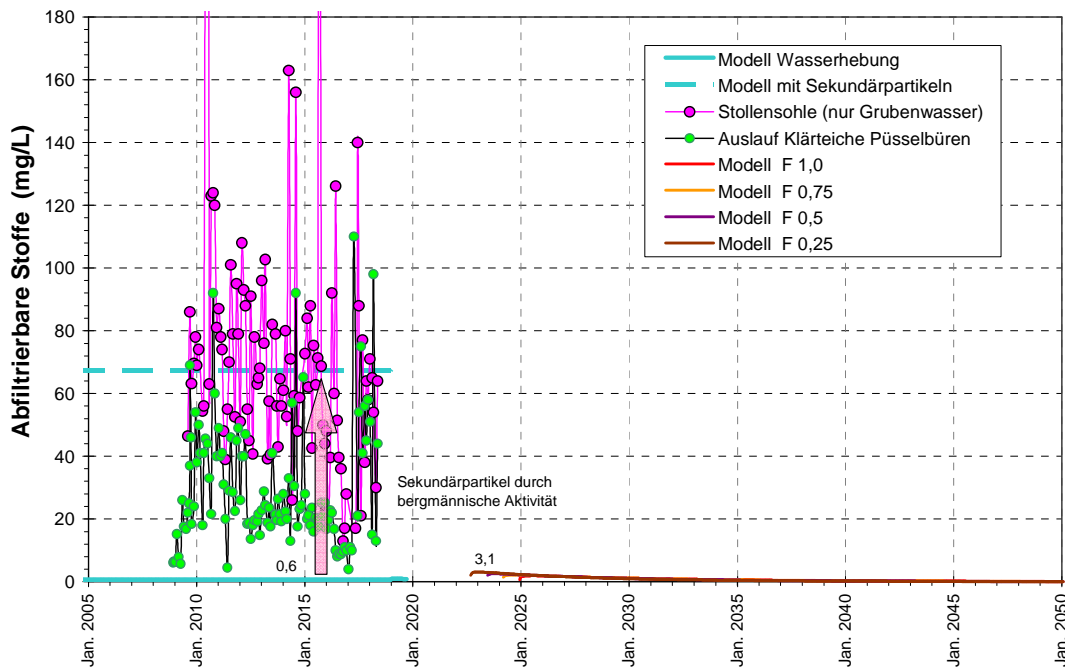


Abbildung 25: Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Wichtig sind für die Prognose vor allem die gegenüber diesem Startwert erwarteten relativen Veränderungen, die erst in der logarithmischen Skalierung im Vergleich zu den heutigen Messwerten erkennbar werden (Abbildung 26). Zur besseren Erkennbarkeit der relativen Veränderungen wird dieser Darstellung noch eine lineare Darstellung im niedrigen Konzentrationsbereich zur Seite gestellt (Abbildung 27).

Deutlich werden so zum einen die für die vier Berechnungsvarianten erwarteten Unterschiede und die immer auftretende Erhöhung der Gehalte mit Beginn der Wasserannahme, deren Begründung und Mechanismen bei verstärkten Abflusseffekten auf den Sohlen während des Wasseranstiegs bereits zuvor erläutert wurden (Kap. 6) und im Modell vorgegeben ist, wobei das Ausmaß dieses Prozesses sich aufgrund fehlender Messwerte aus dem Referenzstandort Westfeld an Daten von anderen Standorten orientiert.

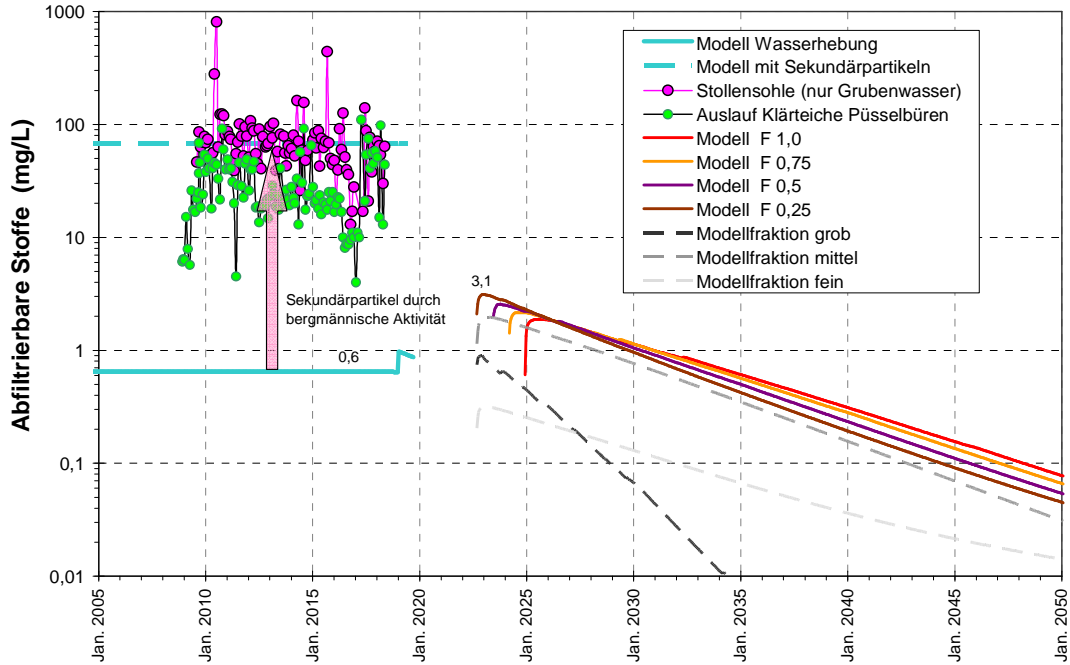


Abbildung 26: Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

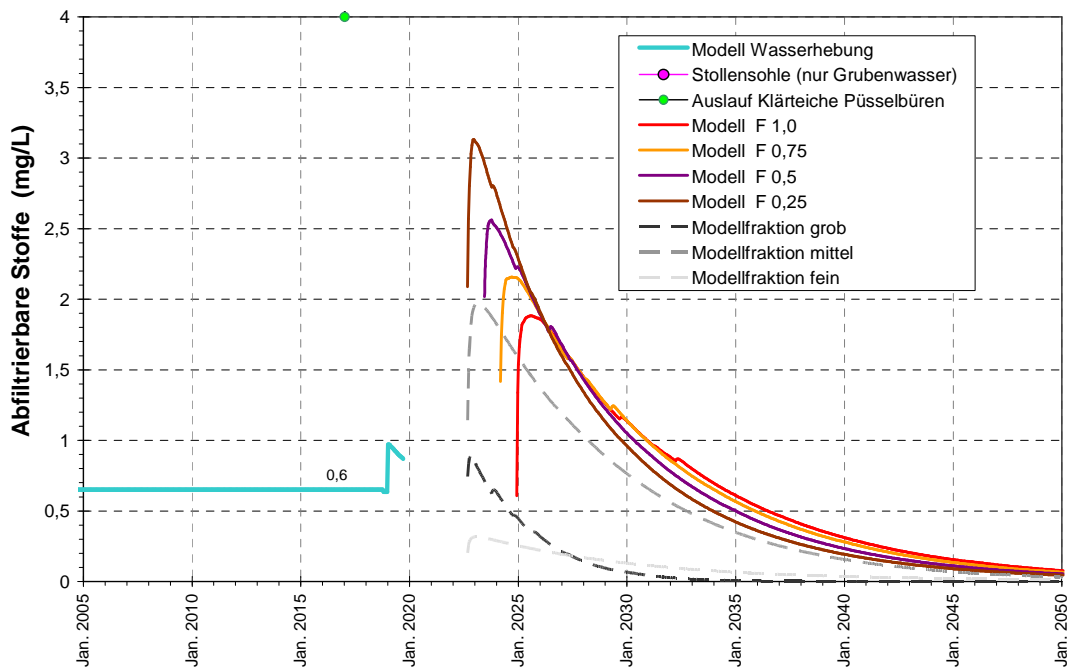


Abbildung 27: Schwebstoffgehalte in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Demnach sammeln sich diese Partikel beim Wasseranstieg in den eingestauten Hohlräumen und werden dann (abgesehen von Sedimentationsprozessen) ebenso wie andere gelöst vorliegende Wasserinhaltsstoffe nach

Erreichen des Überlaufniveaus im Zuge der weiteren Wasserentnahme ausgewaschen, wodurch die Partikelgehalte dann abnehmen. Im kleineren Volumen (Modell F 0,25) sind die Ausgangskonzentrationen im Allgemeinen höher (gleiche Stofffreisetzung in geringerem Volumen, daher auch frühere Wasserannahme), aber die Ausspülung ist bei den gleichbleibenden Zulaufmengen auch intensiver und die Konzentrationen nehmen schneller ab.

Die Modellkurven zeigen die Summe der Partikel in dem Wasser, die sich aus drei Fraktionen unterschiedlicher Größe und damit unterschiedlichem Transportverhalten (Sedimentation) zusammensetzen (vgl. Kap. 6.4). Auch die absoluten Gehalte sind anfangs unterschiedlich. Es dominiert zunächst die mittlere Fraktion und die Feinfraktion weist die geringsten Gehalte auf. Diese Verhältnisse verschieben sich im Laufe der Zeit, da Sedimentationsprozesse vor allem für die Grobfraktion wirken können, während die Feinfraktion lediglich durch Wasseraustausch/Ausspülung abnimmt. Die die höchsten Anteile aufweisende mittlere Fraktion ist dadurch die Hauptkomponente während der Grubenwasserableitung. Hier dürften sich Auswaschung und Sedimentation überlagern. Der Verlauf der Konzentrationsabnahme ähnelt den üblichen Auswaschkurven.

Letztlich hat dies zur Folge, dass die Gehalte an Partikeln im Wasser unter den anfänglichen Gehalt in den Streckenabflüssen abnehmen werden. Diese Erwartung generiert sich aus dem Umstand, dass das Grubengebäude bei +63 mNN nahezu vollständig überstaut ist und so fast keine Feststoffmobilisation mehr erfolgt. In den wassererfüllten Strecken kann aufgrund der Strömungsverhältnisse nur noch Sedimentation erfolgen. Letztlich verbleiben sehr geringe Mengen an feinen Feststoffen. Wie eingangs beschrieben werden im Modell nur primäre Feststoffe berücksichtigt. Durch sekundäre Ausfällungen können bzw. werden sich in den realen Proben die Messwerte für Abfiltrierbare Stoffe erhöhen (vgl. Kap. 7.1).

7.3 PCB / PCDM

Entsprechend den im Vorfeld beschriebenen Zusammenhängen sind PCB/PCDM-Gehalte im Grubenwasser im Wesentlichen ein Resultat aus der Konzentration von Schwebstoffen im Wasser (s. Kap. 7.2) und dem PCB/PCDM-Gehalt dieser Schwebstoffe. Die sich daraus berechnenden Konzentrationen in Zuflüssen, Teilströmen und schließlich dem gehobenen

Grubenwasser sind beeinflusst durch die bergbaulichen Rahmenbedingungen und der dementsprechenden Einträge der verschiedenen Partikeltypen:

- PCB-haltige Partikel, die in ihrem Mobilisations- und Transportverhalten im Modell in drei Kornfraktionen betrachtet werden. Der PCB-Gehalt beträgt in allen drei Kornfraktionen in Summe der 7 Kongenere 2.000 µg/kg (vgl. Kap. 5.3).
- PCB-freie Partikel, die ebenfalls mit drei Kornfraktionen im Modell berücksichtigt werden.
- Das Verhältnis zwischen den beiden Partikeltypen resultiert aus dem Flächenverhältnis der jeweiligen Bauhöhen in den verschiedenen hydraulisch angeschlossenen Niveaus.
- PCB-freie Partikel gelangen darüber hinaus während des aktiven Bergbaus in die Wasserhaltung (nicht im Modell berücksichtigt).

Herkunftsbereiche und somit zufluss- und strömungsbedingte Mobilisation und Transport für PCB und PCDM sind unterschiedlich, weshalb sie auch in ihren künftigen Entwicklungen getrennt zu betrachten sind. Das Modell beschreibt so die Sedimentationsprozesse der drei Teilfraktionen (grob, mittel, fein) bezüglich ihrer PCB- und PCDM-Gehalte räumlich-zeitlich differenziert. Die Beladungen der Partikel werden im Modell als gleich groß angesetzt. Für die grafischen Auswertungen von PCB wird die Summe der 7 PCB-Kongenere für die Summe der 3 Kornfraktionen dargestellt, um die Ergebnisse übersichtlich zu gestalten. Da die Modell-PCB-Verteilung an den Feststoffen jedoch nicht variabel ist, lassen sich die Anteile der Einzel-PCB anhand der vorgegebenen Kongenerverteilung ableiten.

Die zur Beschreibung der Ausgangssituation (Modellkalibrierung) verfügbaren Datensätze wurden im Zusammenhang mit den Schwebstoffgehalten in Kapitel 7.2 bzw. Kapitel 5 diskutiert. Die untertägig an Teilströmen bzw. Sammelzuflüssen gewonnenen Erkenntnisse sind für die Modelleingangsdaten berücksichtigt worden, erlauben aber keine Modellkontrolle. Die zukünftigen Entwicklungen im Grubenwasserabfluss werden daher in den Zusammenhang mit den heutigen Verhältnissen im gehobenen Grubenwasser gestellt, um so die aktuelle Situation nachvollziehen zu können und die erwarteten Veränderungen direkt aufzeigen zu können.

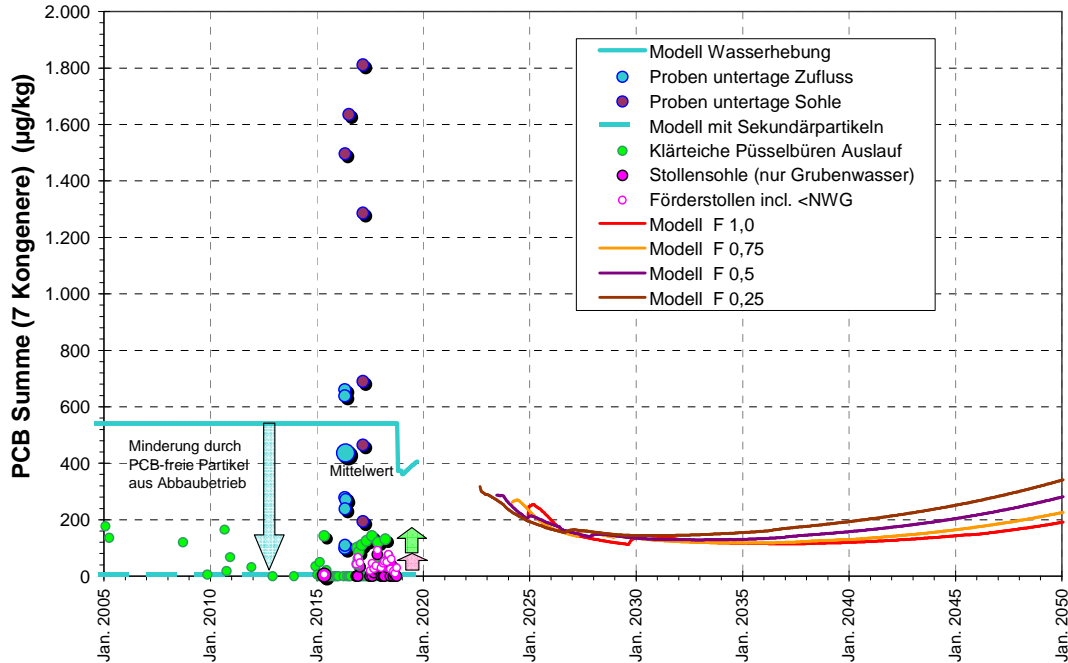


Abbildung 28: PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen) sowie in Untertageproben.

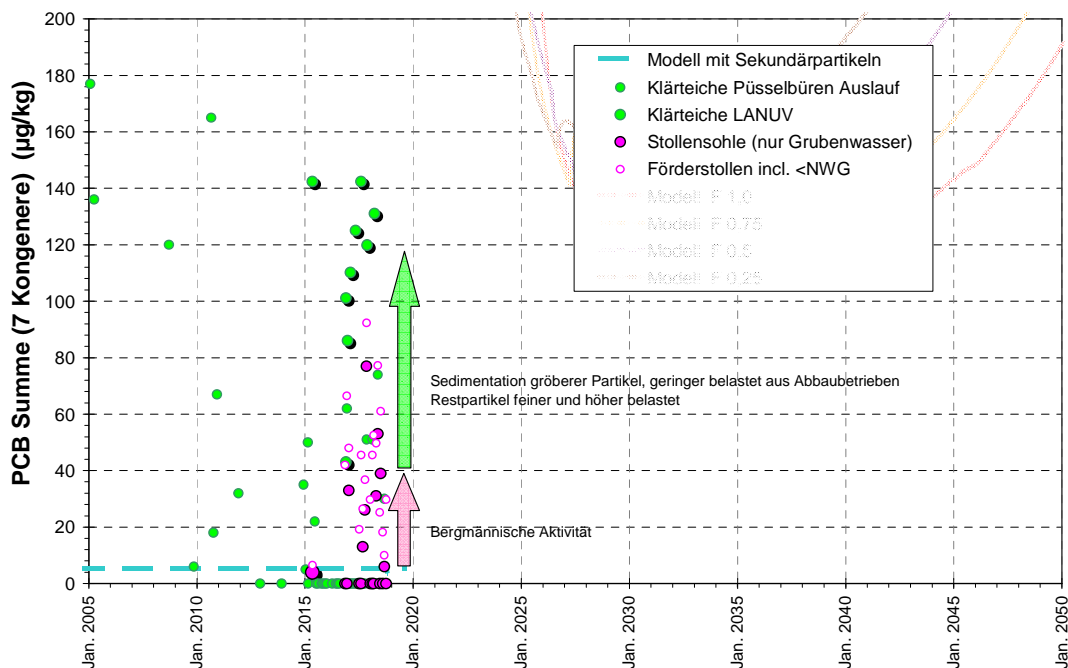


Abbildung 29: PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes mit Wirkungszusammenhängen.

Die Auswirkungen der zugrunde gelegten Modellbedingungen im Ostfeld lassen sich zunächst am ehesten über die PCB-Feststoffgehalte diskutieren (Abbildung 28). Anhand der vorgegebenen 2.000 µg/kg an den Partikeln

aus den PCB-belasteten Bereichen errechnet sich in der Mischung im gehobenen Grubenwasser (nur für diese Primärpartikel) ein PCB-Gehalt von 540 µg/kg. Diese Größenordnung scheint anhand der untertage ermittelten PCB-Gehalte, die eine Streuung zwischen 100 und 2.000 µg/kg aufweisen (vgl. auch Kap. 5.1), als durchaus plausibel. Insgesamt werden jedoch in den 10 L-Wasserproben geringere Gehalte als auf den Sohlen ermittelt und der in allen Zuflüssen bestimmte Mittelwert liegt mit 440 µg/kg in der Größenordnung der Modellberechnung.

Zu berücksichtigen ist, dass diese Primärpartikel nur 0,6 mg/L von den im Zeitraum der Beprobungen im gehobenen Grubenwasser enthaltenen Abfiltrierbaren Stoffen (Mittelwert 67 mg/L) ausmachen (vgl. Abbildung 26). Berechnet man eine Verdünnung dieser Primärpartikel mit den sonstigen vor allem abbaubedingt anfallenden also PCB-freien Feststoffen, die in die Wasserhaltung gelangen, so ergibt sich ein Wert von nur 5,3 µg PCB/kg.

Dieser Wert ist wiederum geringer als in den meisten Proben im Förderstollen gemessen wurde (Abbildung 29). Berücksichtigt man für die grafische Darstellung der Probenbefunde im Förderstollen auch die unterhalb der Bestimmungsgrenze ermittelten PCB mit ihrer halben Bestimmungsgrenze, so ergeben sich mittlere PCB-Gehalte von 40 µg/kg am Feststoff. Dieser Wert liegt deutlich oberhalb der o.g. Abschätzung auf Basis der Primärpartikel. Dennoch wurden die Basiswerte für das Modell nicht angehoben, da davon ausgegangen muss, dass im aktiven Bergwerk relevante Stoffmobilisationen von belastetem Sohlmaterial herrühren. Solche Effekte wurden in dieser Form auch an anderen Standorten festgestellt (z.B. Prosper-Haniel) und die für eine Zusatzmobilisation erforderlichen Belastungen auf den Sohlen wurden im Ostfeld in relevanter Verteilung festgestellt. Zudem befindet sich der für die Berechnungen angesetzte Gehalt an PCB in den Herkunftsbereichen mit 2.000 µg/kg in der Größenordnung anderer Standorte und ein höherer Wert wäre zudem im Ostfeld nicht durch Messungen belegt (s. Abbildung 28). Nach diesem Prozessverständnis würde der Großteil der PCB-Gehalte im heutigen Grubenwasser von den Sohlen und nicht aus den Zuflüssen stammen.

Im Ablauf der Klärteiche sind die an den Feststoffen gebundenen PCB-Gehalte nochmals höher als im zunächst abgeleiteten Grubenwasser, obgleich noch Brauchwasser aus anderen als PCB-frei anzusetzenden Quellen (Kraftwerk) zugeleitet wird. Diese überwiegend auf Basis von 10 L-Proben ermittelten Werte werden durch anhand größerer Probenmengen aus Zentrifugen- und Sedimentationskasten-Beprobungen als sehr belastbar

einzuordnende Analysen bestätigt. Aufgrund der in Kapitel 7.2 beschriebenen Sedimentationsprozesse ließe sich der Effekt durch selektive Abscheidung größerer Partikel mit geringeren PCB-Gehalten erklären, die zum Beispiel aus dem aktuellen Abbau stammen. Die verbleibenden ausgetragenen Feinpartikel würden dann die gemessenen höheren PCB-Gehalte aufweisen. In jedem Fall sind diese Werte aus dem Ablauf der Püßelbürener Teiche für die Modellkalibrierung der Feststoffgehalte aufgrund nachgeschalteter Prozesse nicht zugrunde zu legen.

Diese Vorgaben führen für die Prognose der nach Wasseranstieg ausgetragenen Stoffgehalte zu anfänglich etwa 300 µg/kg, wobei nur geringe Differenzen zwischen den vier betrachteten Varianten bestehen (Abbildung 30). Das Modell berechnet diese Werte als Mischung der während des Wasseranstiegs mit den Zuflüssen eingetragenen und durch zusätzliche Erosion mobilisierten Partikelgehalte. Solche Gehalte sind im Vergleich mit anderen Standorten relativ gering und dürften ihre Ursache in dem Verhältnis zwischen Abbau innerhalb und außerhalb des PCB-Einsatzzeitraumes haben (vgl. Kap. 4.4). Diese Verhältnis beträgt oberhalb des Flözprunges (**PCB-Flächen/Nicht-PCB-Flächen**) **1 : 3,4** und nur dieses Bergwerksstockwerk wird relevant ausgewaschen. Die Partikel in das Hohlraumssystem einspeisenden Zuflüsse stammen jedoch innerhalb dieses Grubenteils überwiegend aus den höheren Teufenbereichen mit noch weniger PCB-Abbau (vgl. Abbildung 10; S. 23), was dann die gegenüber dem für PCB-Abbaubereiche definierten von 2.000 µg/kg verminderten Werte plausibel erklärt.

Anschließend vermindern sich diese Stoffgehalte um dann wieder anzusteigen. Zur Prüfung auch dieses Modellergebnisses sind daher in Abbildung 30 außer den PCB-Gehalten der Gesamtpartikel die Gehalte der drei Partikelfractionen für die Variante F 0,25 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass dieser Effekt aus der in den Modellhohlräumen gespeicherten Feststoffzusammensetzung insbesondere der Feinfraktion resultiert, die bedingt durch die sedimentationsbedingte Verschiebung der Partikelfractionen im Grubenwasser (vgl. Abbildung 27) die Gesamtverhältnisse zunehmend dominiert. Die unterschiedlichen PCB-Gehalte der einzelnen Kornfraktionen resultieren aus unterschiedlichen Mischungen der jeweiligen enthaltenen Partikel aus Bereichen unterschiedlicher Flächenverhältnisse und Sedimentationsraten. Sie sind keine Folge unterschiedlicher primärer PCB-Beladung. Im Zusammenspiel von Sedimentation und Auswaschung der verschiedenen Hohlraumsegmente in Abhängigkeit von der Verteilung der Zuflüsse werden dann verstärkt Partikel, die aus Zonen höherer PCB-Belastung stammen, dem abströmenden Grubenwasser zugeführt.

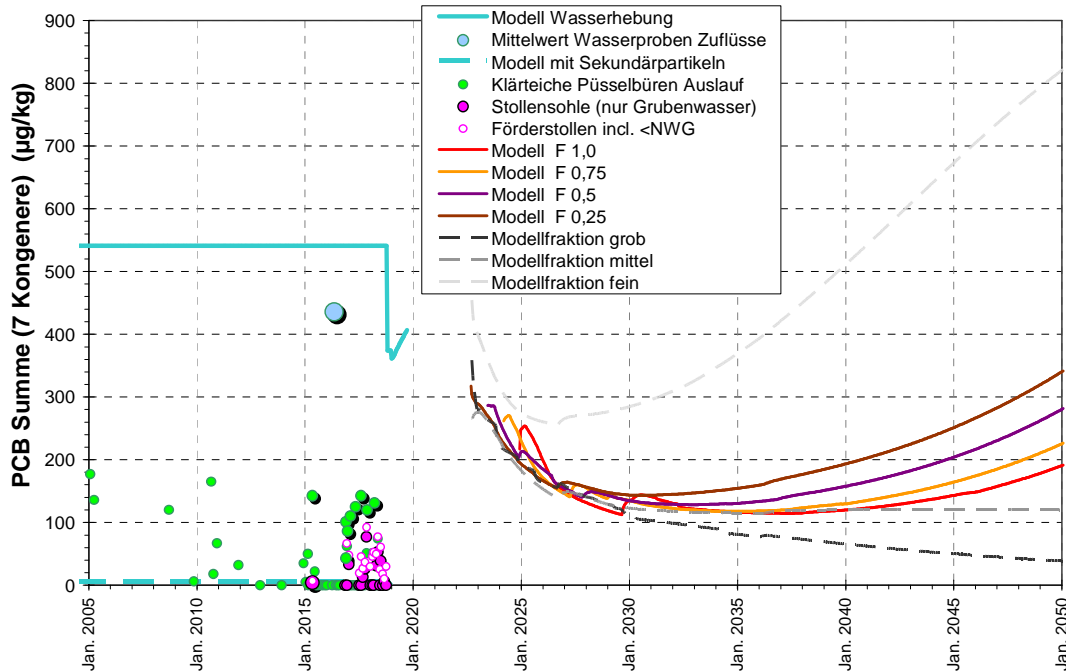


Abbildung 30: PCB-Gehalte an den Feststoffen der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die absoluten Gehalte an Partikeln zu diesem Zeitpunkt schon sehr stark abgenommen haben, da, wie in Kapitel 7.2 beschrieben, bei +63 mNN nur noch eine sehr geringe Neumobilisation von Feststoffpartikeln aus den wenigen noch oberhalb des Wasserspiegels gelegenen (PCB-freien) Bauhöhen erfolgt. Der Abstrom aus der Grube zehrt somit von dem gespeicherten Reservoir. Wenn in den Modellkurven der Anstieg der PCB-Gehalte am Feststoff einsetzt, haben die Feststoffgehalte schon 1 mg/L unterschritten und die Feinfraktion-Konzentration wird mit 0,2 mg/L berechnet (Abbildung 26; S. 56). Solche Feststoffkonzentrationen bewegen sich im Bereich der Bestimmungsgrenze.

Diese Darstellung unterstreicht das Zusammenspiel der verschiedenen Parameter für das Verständnis des partikulären PCB-Transportes. Aus Schwebstoffkonzentrationen im Wasser, PCB-Gehalt dieser Schwebstoffe sowie die daraus resultierenden PCB-Konzentrationen im Wasser lassen sich dann unter Berücksichtigung der Abflussmengen wiederum die PCB-Frachten ableiten. Aufgrund der Wechselwirkungen für Interpretation und Verständnis der Modellberechnungen werden alle vier Parameter in Abbildung 31 im Zusammenhang grafisch dargestellt.

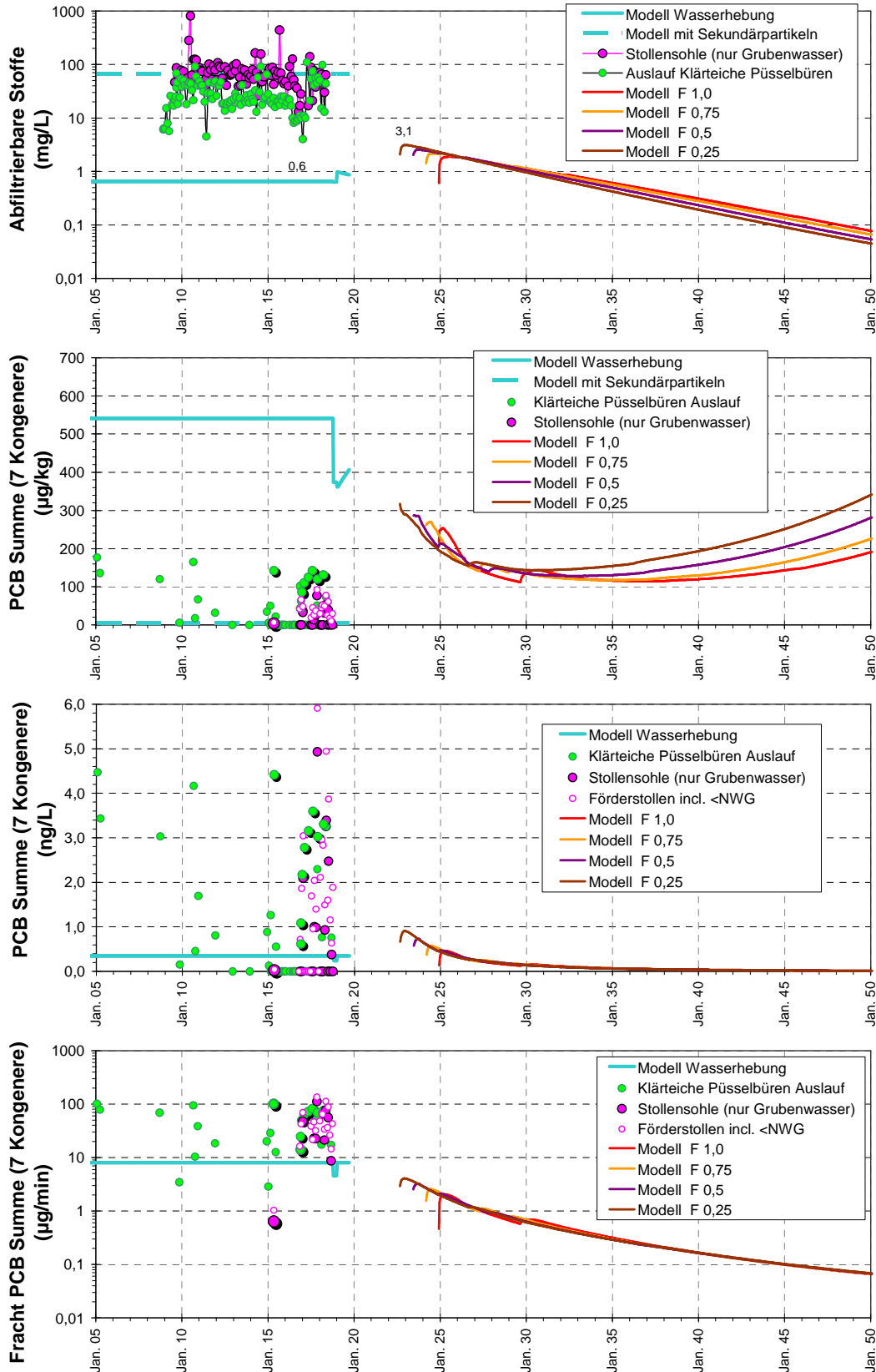


Abbildung 31: PCB in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Anhand dieser Darstellung lassen sich die wesentlichen Zusammenhänge zusammenfassen:

- Die Gehalte an Abfiltrierbaren Stoffen werden zunächst ein Maximum erreichen und dann durch Auswaschung sukzessive abnehmen. Eine Neumobilisation von Feststoffen findet nach erfolgtem Wasseranstieg fast nicht mehr statt (nur noch oberhalb des ehemaligen PCB-Abbaus). Es ist zu beachten, dass der Modellwert von ca. 3 mg/L nur die Primärpartikel berücksichtigt. Ein Messwert wird meistens durch sekundäre Fällungen höher ausfallen. Dies beeinflusst den Messwert für den PCB-Gehalt am Feststoff, der sich dadurch vermindert.
- Durch den Wegfall PCB-freier Partikel aus dem zuletzt aktiven Abbau-betrieb werden nach dem Wasseranstieg höhere PCB-Gehalte am Feststoff erwartet, als sie heute gemessen werden. Bezogen auf die Zuflusssituation ohne bergbaubedingten Eintrag großer Mengen PCB-freier Partikel, wie sie durch die Modellkurve beschrieben wird, werden sich die PCB-Gehalte an den Feststoffen jedoch vermindern. Dies ist auf den sukzessiven und schließlich vollständigen Einstau von Bauhöhen aus der PCB-Einsatzzeit zurückzuführen. Durch heterogene Verteilung der in den Grubenhohlräumen gespeicherten PCB-haltigen Partikel werden Veränderungen dieses Parameters im Zuge der Auswaschung erwartet.
- Im Zusammenwirken von Feststoffmengen im Grubenwasser und PCB-Gehalten an diesen Feststoffen ergeben sich PCB-Konzentrationen, die auch im unteren Bereich der Monitoringwerte der letzten Jahre liegen. Das Modell berücksichtigt nur die Zuflusssituation, nicht die Freisetzungen von Stoffen im heutigen Streckenverbund. Die Konzentrationen ermöglichen eine Bewertung des Stoffaustrags unabhängig von den genannten Sekundäreffekten. Auch die Verdünnung der Gehalte am Feststoff durch zusätzliche PCB-freie Partikel schlägt sich in diesem Parameter nicht als Unterschied zu den Modellerwartungen nieder.

Den Umrechnungen der LANUV-Messungen in den Sedimentationskästen im Ablauf der Püßelbürener Teiche wurden mittlere Werte an Feststoffgehalten aus dem regulären Monitoring zugrunde gelegt, da die Kästen immer nur eine Teilmenge der Feststoffe abscheiden und die dort ermittelten Massen daher hierzu nicht verwendbar sind. Die so berechneten Konzentrationen an den beiden Messpunkten (Förderstollen, Teichablauf) befinden sich in einem ähnlichen Niveau. Dies bestätigt die vorgenannte These, dass in den Absetzteichen vor allem eine Sedimentation PCB-freier bzw. -armer Partikel erfolgt.

Mit Beginn der Grubenwasserannahme werden PCB-haltige Partikel, die in die Hohlräume eingetragen wurden oder beim Wasseranstieg mobilisiert wurden, ausgewaschen. Vor allem durch erhöhte Mengen dieser Partikel sind auch die PCB-Konzentrationen zunächst höher, sinken dann aber rasch unter die heutigen Modellwerte ab. Da die Zusatzmobilisationen des Bergwerksbetriebs entfallen, werden für die Startwerte aber geringere Konzentrationen erwartet, als sie heute z.T. gemessen werden.

Die Konzentrationen nehmen dann sukzessive ab und folgen im Prinzip der Dynamik, wie sie für andere gelöste Wasserinhaltsstoffe wie beispielsweise Chlorid erwartet wird. Dabei ist die Entwicklung der Konzentrationen an Abfiltrierbaren Stoffen ausschlaggebend und die Veränderungen der PCB-Gehalte an diesen Feststoffen spielen eine untergeordnete Rolle.

- Die nach Wasseranstieg deutlich verminderten Wassermengen (vgl. Abbildung 2) sorgen dafür, dass trotz der zunächst höheren Konzentrationen nach Wasseranstieg sich die ausgetragenen Frachten gegenüber dem heutigen Zustand vermindern werden. Dies gilt im Vergleich der Modellkurven und noch verstärkt in Bezug zu den sekundär durch den Bergwerksbetrieb angereicherten Realwässern (der sehr niedrige Messwert aus der Stollensohle von Beginn 2015 errechnet sich auf Basis eines sehr geringen Feststoffgehaltes bei einer Zentrifugen-Beprobung des LANUV und erscheint trotz seiner Sonderstellung nicht repräsentativ).

Insgesamt ist davon auszugehen, dass sich nach dem Wasseranstieg die Frachten auf ein Zehntel der heutigen PCB-Mengen vermindern und dann weiter sukzessive absinken. Da davon ausgegangen werden muss, dass eine Neumobilisation von PCB nach vollständigem Einstau des betroffenen Grubengebäudes nicht mehr erfolgt, streben die Frachten prinzipiell gegen 0.

Ganz ähnlich stellen sich die Verhältnisse für PCDM dar, die sich analog zu PCB verhalten und im Modell daher auch so, abgesehen von den jeweiligen Startkonzentrationen, behandelt werden. Auch die Rahmenbedingungen für Monitoring, Strömungsbedingungen und die Abfiltrierbaren Stoffe als Trägermaterial sind identisch, weshalb die für PCB beschriebenen Abhängigkeiten hier nicht nochmals beschrieben werden sollen. Die PCDM-Grafiken in Abbildung 32 sind identisch zu Abbildung 31 für PCB skaliert, so dass ein direkter Vergleich zwischen diesen Stoffgruppen möglich ist.

Hier wie bei den Untersuchungen zu untertägigen Proben wurden die als PCDM bestimmten Gehalte der 10 L-Proben mit den in den LANUV-Proben ermittelten Summenwerten von 6 TCBT-Kongeneren als gleichwertig betrachtet. Die Bestimmungsgrenzen für PCDM in den 10 L-Proben liegen allerdings so hoch, dass in keiner der übertägigen Proben, weder im Förderstollen noch im Ablauf der Püßelbürener Teiche, diese Stoffe nachgewiesen werden konnten. Auch eine Zentrifugenbeprobung des gehobenen Grubenwassers im Förderstollen durch das LANUV ergab PCDM-Feststoffgehalte unter der, hier allerdings sehr niedrigen, Bestimmungsgrenze. Für diese Probe wurden daher Gehalte auf Basis der halben Bestimmungsgrenze abgeschätzt (3 µg/kg) und in die weiteren Berechnungen einbezogen.

Die Proben im Ablauf der Püßelbürener Teiche haben hingegen mehrfach TCBT-Befunde in mit Zentrifuge- und Sedimentationskasten gewonnenen Feststoffen erbracht. Dies mag wieder die vermuteten Anreicherungseffekte belasteter Feinpartikel widerspiegeln, bestätigt aber in jedem Fall den Eintrag dieser Stoffe untertage und deren Verteilung mit dem Grubenwasser. PCDM wurden aber in den Grubenwasserzuflüssen (an Dämmen etc.) untertage nicht gefunden sondern sind auf Sohlwasserproben, für die die Mobilisation von dort eindeutig ist, und Feststoffproben beschränkt. Die Zuflüsse im Abbaubereich unterhalb des Flözsprunges, in dem der Abbau im PCDM-Einsatzzeitraum stattgefunden hat, sind zudem sehr gering und könnten so auch nur einen geringen Stoffeintrag von PCDM generieren. Das gefundene TCBT im Grubenwasser kann somit nur auf eine Freisetzung innerhalb der noch offenen Strecken (z.B. Pumpenkammer Bahnhof 45) zurückzuführen sein. Dies bestätigt die für die PCB-Gehalte abgeleitete Hypothese der Verstärkung der heute beobachteten PCB-Gehalte im Grubenwasser durch bergbauliche Aktivitäten auf den Sohlen.

Die im Feststoff des Grubenwasserabstroms gemessenen PCDM/TCBT-Gehalte liegen mit etwa 20 µg/kg deutlich unter den Werten für PCB (ca. 100 µg/kg, vgl. Abbildung 29). Dies steht zwar im Gegensatz zu den Befunden der untertägigen Beprobungen mit höheren PCDM- als PCB-Feststoffgehalten auf den Sohlen, ist aber mit einer geringeren sekundären Mobilisation dieser PCDM-Belastungen untertage zu erklären. Dazu trägt neben der Beschränkung auf einzelne Lokalitäten auch ein geringerer Wasserabfluss in diesen Belastungszonen bei. Grundsätzlich entspricht dies dem Einsatzbereich nur in den tiefen Flözen und dem kürzeren Einsatzzeitraum.

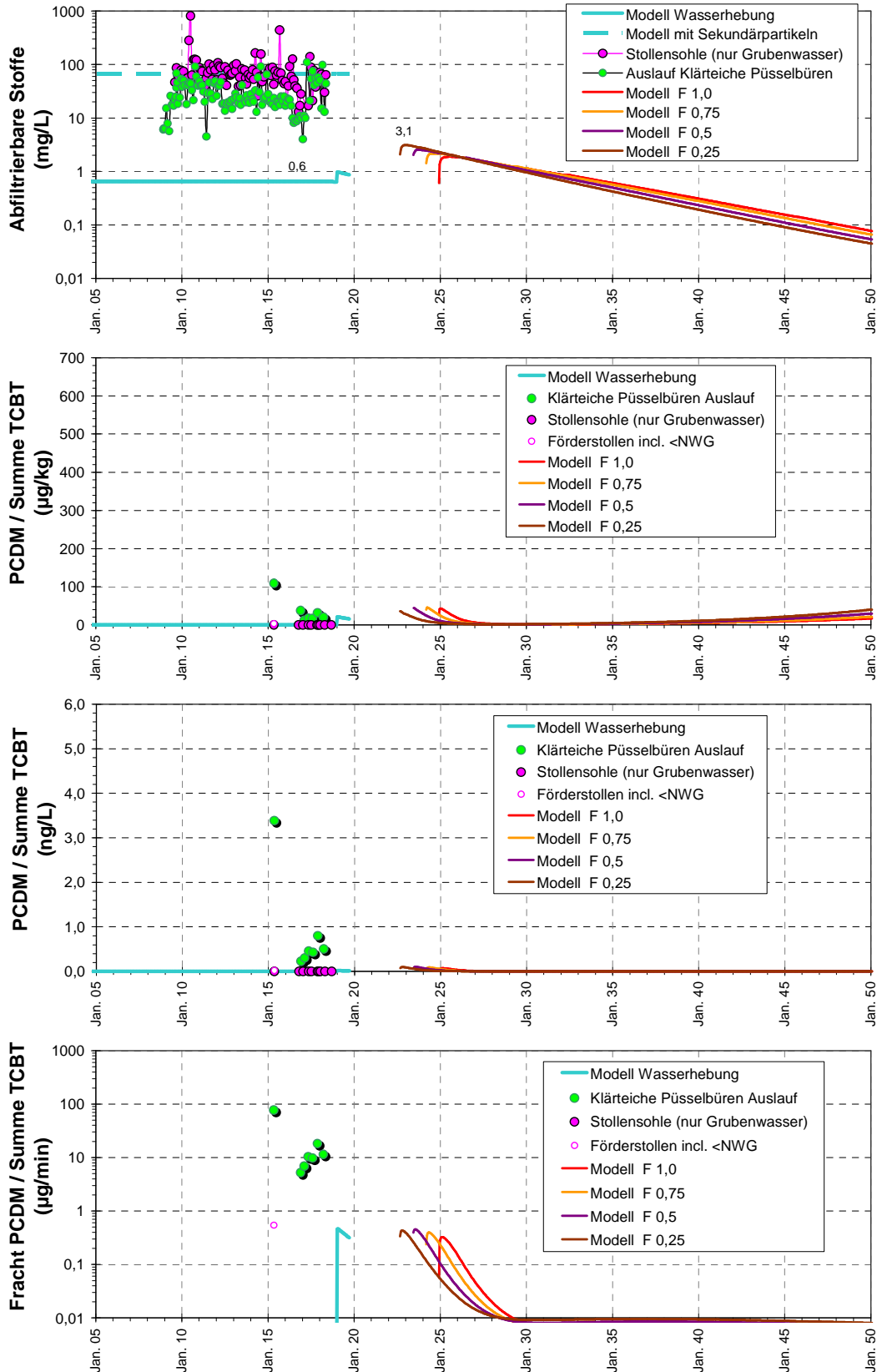


Abbildung 32: PCDM in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Im Gegensatz zu PCB errechnet das Modell (für die Mischung der Zuflüsse in die Grube) trotz der Belastung der Modellfeststoffe aus PCDM-Abbau von 5.000 µg/kg und damit deutlich höher als der entsprechende Wert für PCB, eine heutige 0-Emission. Dies entspricht der o.g. Einschätzung, dass es im Ostfeld keine Zuflüsse gibt, die einen Abbaubereich mit PCDM-Einsatz durchfließen. Nach Wasseranstieg werden PCDM-Gehalte in den ausgespülten Feststoffen erwartet und deren Gehalte mit 50 µg/kg eingeschätzt. Dies ist zwar weniger als für die PCB, da das Modell aber PCDM-Reservoirs ausschließlich unterhalb des Flözsprunges kennt, sind diese Stoffgehalte ein Indiz dafür, dass geringe Austräge aus den tieferen Grubenhohlräumen in das dann von Ausspülung erfasste höhere Grubengebäude berechnet wurden. Diese sind vor allem während des Grubenwasseranstiegs möglich, wo in Abhängigkeit von Zufluss- und Hohlraumverteilung Strömungen zwischen Baufeldern/Boxen möglich sind.

Die resultierenden PCDM-Konzentrationen sind mit zunächst 0,1 ng/L sehr gering und nehmen zudem dann sehr schnell ab. Erkennbar wird diese Dynamik über die logarithmisch dargestellten Frachten, deren Veränderung bei konstanten mittleren Abflussmengen nur durch eine Minderung der Konzentrationen verursacht sein kann. Gegenüber PCB, die im höheren Grubengebäude überall verteilt vorliegen müssen, scheinen PCDM auf schnell ausgetauschtes Grubenwasser beschränkt zu sein. Nach nur wenigen Jahren sind die PCDM-haltigen Partikel fast vollständig im Grubenwasserabstrom verschwunden. Dementsprechend muss davon ausgegangen werden, dass unterhalb des Flözsprunges nach erfolgtem Wasseranstieg nahezu stationäre Verhältnisse vorliegen, in denen Sedimentationsprozesse zu einer Rückführung der zuvor mobilisierten Partikel auf die Sohlen führen können.

Diese Modellergebnisse entsprechen der Beschränkung des PCDM-Abbaus auf die tiefen Flöze und der so zu erwartenden geringen Bedeutung dieser Belastungen auf das künftige Grubenwasser. Auch für PCDM ist somit zu erwarten, dass sich die ausgetragenen Stoffmengen, obgleich auch heute kaum nachweisbar, nochmal vermindern werden. PCDM-Frachten sind daher gegenüber PCB als nicht relevant zu bewerten. Alle Maßnahmen, die eventuell zur Minderung der PCB-Konzentrationen getroffen werden, kommen auch dem PCDM-Austrag zu Gute, ohne dass dies messtechnisch nachweisbar sein dürfte.

7.4 Vergleichende Bewertung

Das Modell ist wie gezeigt in der Lage, PCB/PCDM-Gehalte plausibel zu erklären und abzubilden und so auch Voraussagen für die künftigen Entwicklungen zu treffen. Verwendet wurden ähnliche Eingangsdaten und Berechnungskonzepte wie für andere Standorte – offensichtlich sind die Bedingungen in den deutschen Steinkohlenbergbaugebieten vergleichbar und übertragbar. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Modell Primärpartikel und die daran gebundenen PCB/PCDM berücksichtigt. Diese Werte für Abfiltrierbare Stoffe sind geringer und die PCB/PCDM-Gehalte daran höher als später voraussichtlich gemessen wird, da sie fast immer durch Gehalte an Eisenhydroxiden beeinflusst sind, die aus einem solchen Flutungswasser aufgrund der darin enthaltenen Eisenkonzentrationen bis zur analytischen Bestimmung im Labor ausfallen. Die berechneten Konzentrationswerte stellen somit eine neutrale Bezugsgröße unabhängig von solchen Effekten dar.

Die für das Ostfeld Ibbenbüren während und nach Wasseranstieg bis +63 mNN erwarteten Veränderungen befinden sich in Übereinstimmung mit den im ahu-Gutachten allgemein beschriebenen und im Model umgesetzten Prozessen. Wesentlich für die Gesamtaussage sind nicht die absoluten Konzentrationsniveaus, die, wie für die Kalibrierung beschrieben, verschiedentlich Variationsoptionen aufweisen. Auch die PCB-Gehalte am Feststoff sind zwar Berechnungsgrundlage aber ansonsten von untergeordneter Bedeutung. Wichtig ist die Aussage, dass durch den Wasseranstieg nach anfänglichen Maximalwerten die PCB-Austräge mittel und langfristig abnehmen werden. Unter den besonderen Bedingungen des Ostfeldes mit seiner vertikalen Teilung in zwei Stockwerke und dem erwarteten signifikanten Rückgang der Wasserabflüsse werden auch bereits für die Maximalwerte zu Beginn der Wasserannahme geringere Stoffausträge als heute überwiegend gemessen prognostiziert.

Um diese Prognose auch in ihren Auswirkungen auf die Vorflutqualität einordnen zu können, sind die entsprechenden Entwicklungen in Abbildung 33 für PCB-28 als dem in den höchsten Anteilen in den Proben enthaltenen Kongener (42,5 %, vgl. Kap. 5.3) dargestellt. Das Modell weist die maximale Konzentration eines Einzelkongeners im abgeleiteten Grubenwasser mit 0,37 ng/L aus. Unter Berücksichtigung der allgemeinen Schwankungen und Unsicherheiten der Modellprognose ist so davon auszugehen, dass Kongenerkonzentrationen im Bereich von 0,5 ng/L auftreten können und diese dann im Zuge der Auswaschung weiter abnehmen. Die genannte Anfangs-

konzentration liegt im Niveau des Gewässerzielwertes für Oberflächengewässer (0,5 ng/L) womit dieser in der Ibbenbürener Aa durch die Grubenwassereinleitung nicht überschritten werden kann.

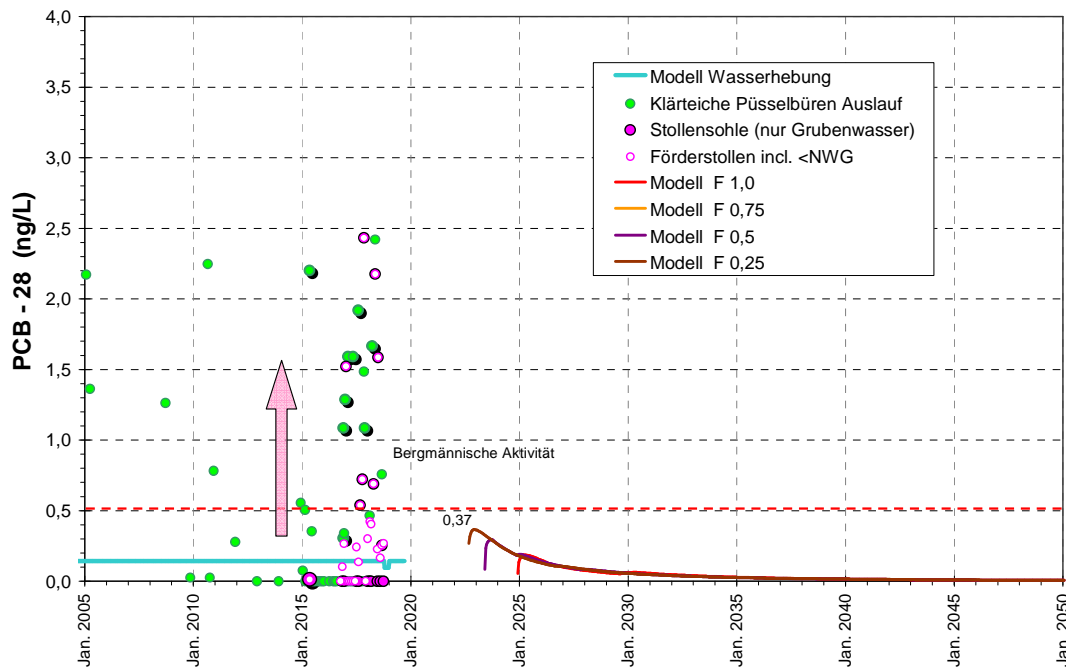


Abbildung 33: Modellprognose für PCB-28 in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Im Sinne der bisherigen Vorgehensweise wurde mit demselben Modell auch ein Wasseranstieg bis 0 mNN simuliert und ein Ergebnisvergleich für PCB durchgeführt, wie er entsprechend auch für die gelösten Grubenwasserinhaltsstoffe durchgeführt wurde (DMT EG-HW-2012-056). Wasserwege stellen sich in einem solchen Wasserhaltungsniveau anders dar, Erosion kann in dem nicht eingestauten Bereich weiter wirken und die Zuflüsse können aufgrund des in die Grube gerichteten hydraulischen Gradienten größer ausfallen. Bei 0 mNN würden sich die Zuflussmengen nur auf 6,5 m³/min vermindern. Auch in diesem Niveau wären allerdings die Bauhöhen aus dem PCB-Einsatzzeitraum (bis maximal -20 mNN) vollständig überstaut.

Dargestellt sind die Ergebnisse dieses Vergleiches in Abbildung 34 in derselben Form wie zuvor für PCB und PCDM im Vergleich der als PCB-Träger fungierenden Abfiltrierbaren Feststoffe, der PCB-Gehalte an diesen Feststoffen sowie der daraus zu berechnenden Konzentrationen und der sich dann zusammen mit den Abflussmengen ergebenden Frachten. Dargestellt ist wieder die Wasseranstiegs-Variante F 0,25 mit dem geringsten einstaubaren Volumen und den im Allgemeinen höchsten resultierenden Konzentrationen.

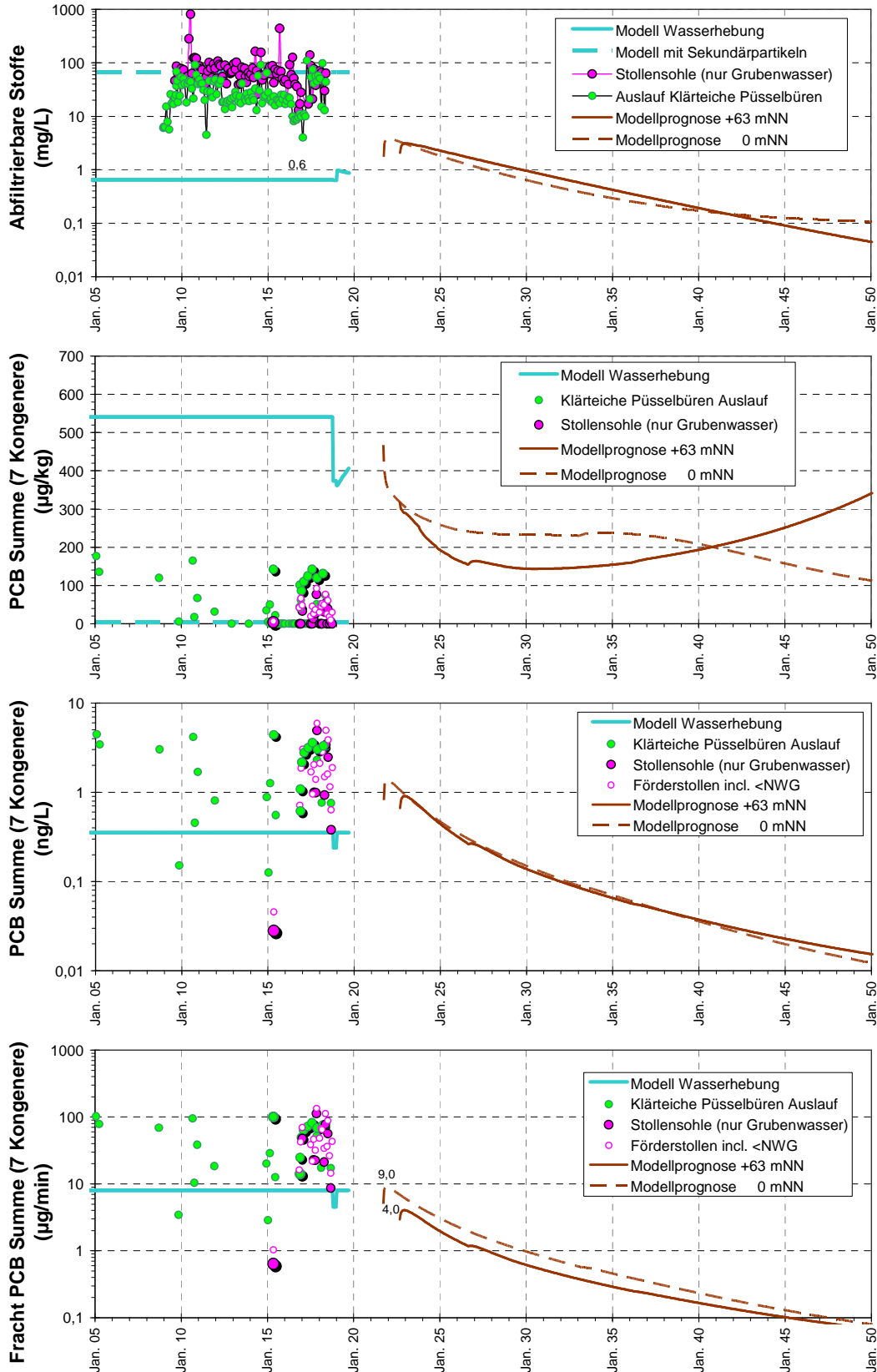


Abbildung 34: PCB in der Grubenwasserableitung des Ostfeldes (Vergleich der Wasseranstiegsvarianten +63 mNN – 0 mNN).

Zunächst ist festzustellen, dass die grundsätzlichen Trends und Wertebereiche ähnlich sind. Der Unterschied im Einstau ist nicht allzu hoch und der PCB-Abbau wird in beiden Varianten vollständig überstaut. Es gibt jedoch einige Unterschiede, die sich aus den nicht überstauten Hohlräumen und den größeren Abflussraten und damit auch Zuflussmengen erklären lassen:

- Die Anfangswerte sind bei 0 mNN für alle Parameter höher. Die Mobilisation aus dem Wasseranstieg verteilt sich auf ein geringeres wassererfülltes Volumen.
- Die Abfiltrierbaren Stoffe nehmen bei 0 mNN zum Ende hin nicht mehr ab. Diese Stoffe stammen aus dem Mehr an nicht überstauten Bauhöhen, aus denen nach wie vor Feststoffe ausgespült werden.
- Die PCB-Gehalte am Feststoff zeigen bei 0 mNN eine ganz andere Dynamik mit nach 2035 abnehmenden PCB-Gehalten am Feststoff. Die bei +63 mNN berechnete Zunahme der PCB-Gehalte an dem zunehmend größere Anteile im Kornspektrum einnehmende Feinkorn entfällt hier. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass aus den höher liegenden nicht eingestauten Bauhöhen, die sämtlich nicht aus der PCB-Zeit stammen, kontinuierlich PCB-freie Partikel ausgespült werden, die dann den PCB-Effekt der Ausspülung bei +63 mNN überlagern.
- Die Konzentrationsentwicklungen sind sehr ähnlich und nach 2040 sind die Konzentrationen bei 0 mNN sogar geringer als bei +63 mNN. Dies resultiert aus der schnelleren Ausspülung/Austauschrates des kleineren wassererfüllten Hohlraums bei einem Wasserdurchsatz von 6,5 m³/min gegenüber 4,5 m³/min.
- Diese größeren Wassermengen sind jedoch auch für über den gesamten Berechnungszeitraum höheren Stoffaustrag verantwortlich, wenn der Wasseranstieg früher angehalten wird.

Auch diese Unterschiede lassen sich somit aus den funktionalen Abhängigkeiten des Bergwerkes und des Modells gleichermaßen plausibel ableiten. Über den Vergleich der Wasseranstiegsniveaus ist daher allgemein abzuleiten, dass ein tieferer Wasserstand zu höheren Stoffausträgen in den nächsten Jahrzehnten führen wird. 0 mNN ist dabei das tiefste Niveau, im dem noch der gesamte Abbau aus dem PCB-Einsatzzeitraum überstaut wird und so die Mobilisation durch Überstauung beendet wird.

Aufgrund der bei +63 mNN wie auch bei 0 mNN gleichbleibenden PCB-Freisetzung im Wasseranstieg muss davon ausgegangen werden, dass durch größere Wassermengen im Niveau 0 mNN ein konstantes mobiles

PCB-Reservoir im Grubenwasser mit höheren Frachtraten rascher ausgewaschen wird. Bei +63 mNN erfolgt die Auswaschung mit geringeren Raten hält aber länger an bzw. nimmt langsamer ab. Wird der Wasserstand unterhalb -20 mNN gehalten, dann bleiben PCB-belastete Sohlen der Erosion durch fließendes Wasser dauerhaft ausgesetzt, was zu einer dauerhaften Freisetzung von PCB führt.

8 Zusammenfassung und Fazit

Das ahu-Gutachten (hier vor allem Teil 1 Detailbericht 6: Risikoanalyse PCB und weitere organische Stoffe) liefert allgemeine Aussagen zu den Auswirkungen des Wasseranstiegs auf die Mobilisation von PCB sowie eine entsprechende Bewertung für den Standort Haus Aden. Demnach ist „ein höherer Grubenwasserstand grundsätzlich geeignet, den partikelgebundenen und auch den gelösten PCB-Austrag zu reduzieren“.

Im Ostfeld des Bergwerks Ibbenbüren ist im Gegensatz zu dem o.g. Fallbeispiel, wo der Wasserstand bei -600 mNN angehalten werden soll, ein Wasseranstieg bis in ein oberflächennahes Niveau bei +63 mNN geplant. Auch in Ibbenbüren hat Abbau über das ganze 19. Jahrhundert bis 2018 stattgefunden und dementsprechend wurden auch dort schwer entflammbare Hydrauliköle mit PCB und PCB-Ersatzstoffen (PCDM) eingesetzt. Auf der Grundlage der von ahu vorgeschlagenen Methodik wird daher die Gültigkeit der o.g. Einschätzung für die Stilllegung des Ostfeldes und den Anstieg des Grubenwassers auf das Niveau von +63 mNN überprüft. Da im Ibbenbürener Ostfeld gut abgrenzbare Bereiche existieren, in denen Abbau im PCDM-Einsatzzeitraum erfolgte und diese Stoffe sich auch heute noch im Grubengebäude finden, wurden diese über ca. 7 Jahre verwendeten PCB-Ersatzstoffe in die Untersuchungen mit einbezogen.

Dem Bewertungskonzept liegt zugrunde, dass die im PCB/PCDM-Einsatzzeitraum betriebenen Bauhöhen und deren Lage in der Fläche sowie im Niveau den Indikator zur örtlichen Einordnung des Stoffeinsatzes in den Strebbetrieben sowie den angeschlossenen Strecken bilden. Die Intensität des Stoffeinsatzes bzw. proportional dazu des Stoffverlustes bemisst sich über die Abbauflächen in den jeweiligen Zeitscheiben. Das so identifizierte Stoffpotenzial kann in den aktuell noch nicht eingestauten Abbaubereichen durch dort fließendes Wasser entsprechend des Konzeptes zur partikelgebundenen PCB/PCDM-Freisetzung prinzipiell mobilisiert und verfrachtet werden. Inwiefern dies geschieht, hängt im Detail davon ab, ob in den entsprechenden Bereichen Wasserzutritte existieren und wie diese abfließen.

Die Erfahrung (Monitoring) hat jedoch gezeigt, dass, wo ein solches Potenzial existiert, auch Mobilisationen auftreten.

Werden diese Grubenbaue überstaut, endet die partikuläre PCB-Mobilisation, da turbulentes Fließen, das für die Loslösung von Feststoffpartikeln von PCB/PCDM-belasteten Sohlbereichen erforderlich ist, nicht mehr stattfindet. Im Gegenteil werden in den nun wassererfüllten Grubenbauen bei laminar langsamer Strömung die Möglichkeiten für eine Sedimentation von Partikeln erhöht.

Bei einem Wasserstand von +63 mNN sind sämtliche Abbaue aus der PCB-Einsatzzeit überstaut. Abbau mit PCB-Ersatzstoffen (PCDM) hat zwischen 1985 und 1992 nur unterhalb des Flözsprunges stattgefunden und ist somit bereits bei einem Wasserstand von -1.000 mNN vollständig wassererfüllt. Mit dem geplanten Wasseranstieg wird somit die gesamte potenzielle PCB/PCDM-Freisetzung langfristig unterbunden.

Neben den bislang beschriebenen partikulär gebundenen PCB sind auch im Wasser gelöst vorliegende PCB-Anteile grundsätzlich zu erwarten. Ein hoher Anteil von PCB-freien Abbauflächen kann zur Fixierung von gelösten PCB-Anteilen beim Wasserabfluss durch die eingestauten Baufelder beitragen. Eine Veränderung des Flächenverhältnisses im Wasseranstieg lässt sich für das Ostfeld nicht berechnen, da es durch die tiefe Wasserhaltung vollständig trocken gehalten wird. Dieses Verhältnis **PCB-Flächen/Nicht-PCB-Flächen** fällt nach Wasseranstieg auf +63 mNN mit **1 : 4,0** für den Betrachtungsraum jedoch deutlich besser aus als in der zuvor diesbezüglich von ahu bewerteten Wasserprovinz Ost (**1 : 2,0**). Bereits ein solcher Überschuss PCB-freier Abbauflächen wurde von ahu bereits als günstig bewertet.

Auch für die mit PCDM-Einsatz gebauten Flächen sowie für die hinsichtlich Wasseraustausch besonders relevanten Bauflächen/Hohlräume oberhalb des Flözsprunges ergeben sich Standortbedingungen mit einer Dominanz PCB-freier Flächen in der genannten Größenordnung. Da das Flächenverhältnis auch die resultierenden PCB/PCDM-Gehalte an den beim Wasseranstieg losgelösten Partikeln (Mischung PCB-haltiger und PCB-freier Partikel) bestimmt, lässt sich bereits ohne Modell qualitativ abschätzen, dass die durch den Wasseranstieg mobilisierten Partikel deutlich geringere PCB-Gehalte als in den eigentlichen Belastungszonen aufweisen werden.

Abgesehen von diesen Bedingungen im bereits abgedämmten Grubengebäude verursachen vor allem PCB/PCDM-Anhaftungen auf Streckensohlen, die auch heute noch betrieblichen Einflüssen ausgesetzt sind, einen

Eintrag dieser Stoffe in den Wasserabfluss aus dem Bergwerk. Der bergbauliche Betrieb erhöht somit den Austrag von PCB/PCDM. Solche PCB- wie auch PCDM-Belastungen wurden auf den heute genutzten Sohlen im Ostfeld festgestellt, wobei sowohl Stoffeinsatz vor Ort wie auch Verschleppungen anzunehmen sind. Der Transfer von Material aus diesen Strecken ist für das Ostfeld durch erhöhte Gehalte im gehobenen Grubenwasser belegt. Diese Situation wird allein durch Abdämmung und Rückzug im Rahmen der Stilllegung eines Bergwerkes bereits verbessert.

Als weitere Quelle für den PCB-Austrag kommen nicht oder nur teilweise eingestaute abgedämmte alte Baufelder in Frage. Auch dieser Austrag konnte in mehreren Zuflüssen zum Nordschacht über PCB-Gehalte bestätigt werden. Höhere Wasserstände bewirken durch Veränderung der Strömungsverhältnisse in den Strecken eine Minderung des PCB/PCDM-Mobilisationspotenzials. Im Falle des vollständigen Überstaus dieser PCB/PCDM-Potenzialbereiche, wie bei +63 mNN im Ostfeld vorgesehen, kommt die partikuläre Mobilisation dieser Stoffe vollständig zum Erliegen.

Diese im ahu-Gutachten qualitativ beschriebenen und auch für das Ostfeld belegten Prozesse und Wirkzusammenhänge sind im Boxmodell parametrisiert und somit in ihren Auswirkungen auch auf PCB/PCDM-Gehalte, zeitliche Entwicklungen und bezüglich der Umweltauswirkungen relevante Frachten quantifizierbar. Das von DMT entwickelte Boxmodell, das zur Prognose von Wasseranstieg und Grubenwasserqualität dient und dessen Funktionalitäten und Aussagen gutachterlich überprüft und bestätigt sind, wurde daher auf Basis der vorhandenen Monitoringdaten für PCB/PCDM kalibriert. Dabei wurden die Analysenwerte sorgfältig überprüft und gewichtet und die besonderen bergbaulichen Bedingungen des Ostfeldes berücksichtigt. Standortbedingungen und Modellaufbau werden ausführlich im Gutachten zur Wasseranstiegsprognose (DMT EG-HW-2012-056) beschrieben.

Fließendes Wasser mobilisiert und transportiert Schwebstoffe und damit auch partikulär gebundene PCB/PCDM. Die im Boxmodell berücksichtigte Verminderung der Zuflussmengen durch höhere Wasserstände wird auch von ahu sowie im Abschlussbericht der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH "Überprüfung der Aussagen zur Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge des Grubenwasseranstieges im nordrheinwestfälischen Steinkohlerevier im Bereich des ehemaligen Bergwerks Ost" bestätigt. Eine Verringerung der Wassermengen vermindert über verschiedene Wirkmechanismen das Mobilisations-, Transport- und Austragspotenzial des zu hebenden Grubenwassers.

Standortanalyse und Modellrechnungen im Kontext mit aktuellen Untersuchungen des Grundwassers im Umfeld des Bergwerkes sowie des umgebenden Altbergbaus führen zu der Prognose, dass bei einem Wasserstand von +63 mNN noch ca. 4,5 m³/min durch das Ostfeld fließen werden. Dies bedeutet gegenüber zuvor 22,8 m³/min eine Minderung um 80 %. Für ein ebenfalls betrachtetes Anhalten des Wasseranstiegs auf 0 mNN wird eine Minderung um 70 % auf 6,5 m³/min und somit ein vermehrter Abfluss von 2 m³/min erwartet. Ein möglichst hoher Wasseranstieg im Ostfeld hat daher einen beträchtlichen positiven Einfluss auf die anzunehmenden Wassermengen und führt insgesamt zu den PCB-Austrag reduzierenden Rahmenbedingungen.

Das Boxmodell beschreibt in Ergänzung zu der qualitativen Methodik des ahu-Gutachtens die beobachteten und erwarteten Wechselwirkungen von Wasser, Feststoff und PCB/PCDM quantitativ. Die Modellkalibrierung erfolgte auf Basis der Stoffausträge im gehobenen Grubenwasser unter Berücksichtigung der untertägigen Standortbedingungen im laufenden Bergwerksbetrieb.

Der geplante Grubenwasserspiegel auf dem Niveau von +63 mNN in Verbindung mit der Verteilung der Abbauflächen, den Zuflüssen und den hydraulisch wirksamen Verbindungen führt zu einer Begrenzung von Wasserströmungen und Wasseraustausch auf den höheren Bereich des Ostfeldes. Im Zusammenwirken dieser Faktoren werden PCB-Gehalte an den im Grubenwasser mitgeführten Feststoffen erwartet, die im Vergleich zu anderen Standorten geringer sind. Die Beschränkung des PCDM-Abbaus auf die tiefen Flöze wird Gehalte deutlich unterhalb von PCB bewirken.

Wesentlich für die Höhe und die Veränderung von PCB/PCDM-Austrägen sind weniger deren Gehalte an den Schwebstoffen als die Verminderung der Schwebstoffgehalte selbst durch Sedimentation und Auswaschung. Insgesamt ist es von Bedeutung, dass durch den Wasseranstieg auch die für die Umweltauswirkung relevanten Frachten vermindert werden. Das Modell prognostiziert auf Basis der im ahu-Gutachten allgemein beschriebenen und im Modell umgesetzten Prozesse, dass durch den Wasseranstieg die PCB/PCDM-Austräge deutlich unterhalb der in der Betriebsphase festgestellten Größenordnung liegen werden. Die höchsten prognostizierten Werte sind zu Beginn der Wasserannahme zu erwarten. Die Stoffausträge werden auf der Zeitachse mittel- und langfristig noch weiter abnehmen. Voraussichtlich werden die Konzentrationen von PCB-Einzelkongeneren auch während der initialen Phase schon im Grubenwasser im Niveau der für Oberflächengewässer angesetzten Zielwerte bleiben.

Insgesamt ist festzustellen, dass sich die verschiedenen Bewertungsansätze zur Beschreibung der potenziellen Veränderungen im Grubenwasserhaushalt vor, während und nach einem Wasseranstieg bestätigen. Ein Wasseranstieg im Ostfeld wird die Situation bezüglich des PCB/PCDM-Austrags verbessern. Bezüglich der im ahu-Gutachten genannten Kriterien für den partikelgebundenen und auch den gelösten PCB/PCDM-Austrag ist das Ergebnis eines Wasseranstiegs bis +63 mNN wie folgt zusammenzufassen:

1. Verminderung des Mobilisationspotenzials

Alle Bauhöhen aus dem PCB- und PCDM-Einsatzzeitraum werden überstaut. Ein Mobilisationspotenzial für partikulär gebundene PCB/PCDM existiert nicht mehr und der weitere Stoffaustrag resultiert aus der Ausspülung des im Grubenwasser akkumulierten Stoffvorrates.

2. Verminderung der gehobenen Wassermengen

Die Grubenwassermenge verringert sich von mehr als 22 m³/min auf 4,5 m³/min. Dies entspricht einer Minderung um 80 % was eine deutliche Einschränkung des potenziellen Stoffaustrages bedeutet.

3. Verhältnis von Abbaubereichen aus der PCB-Einsatzzeit / außerhalb der PCB-Einsatzzeit

Sowohl im gesamten Einstaubereich wie auch vor allem im für den Stoffaustrag relevanten höheren Teil des Bergwerkes existiert eine Dominanz der Abbaufächen, die außerhalb des PCB/PCDM-Einsatzzeitraumes aufgefahren wurden. Diese Verhältnisse haben positive Auswirkungen auf den Austrag gelöster PCB. Die im Ostfeld vorliegenden Verhältnisse sind auch im Vergleich zu anderen untersuchten Standorten als günstig einzuordnen.

