

G.E.O.S.

Ingenieurgesellschaft mbH

09633 Halsbrücke
Schwarze Kiefern 2

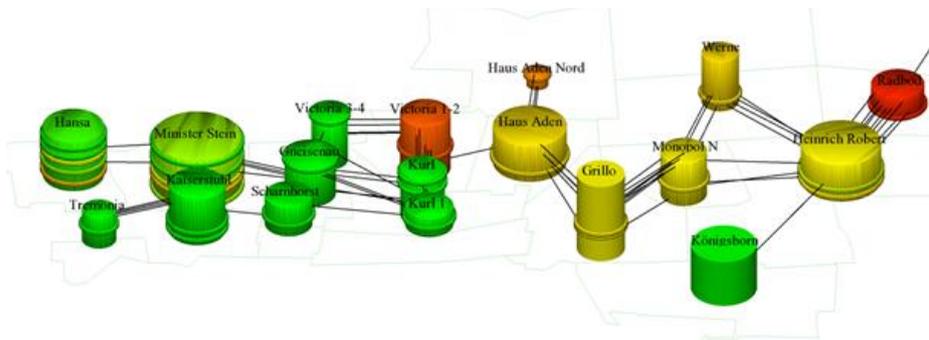
09581 Freiberg, Postfach 1162
Telefon: +49(0)3731 369-0
Telefax: +49(0)3731 369-200
E-Mail: info@geosfreiberg.de
www.geosfreiberg.de

Abschlussbericht

Überprüfung der Aussagen zur Entwick- lung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge des Grubenwasseranstieges im nordrheinwestfälischen Steinkohlerevier im Bereich des ehemaligen Bergwerks Ost

Projekt-Nr. 30160162

Vergabenummer des AG: 16/075



Auftraggeber: Land Nordrhein-Westfalen vertreten durch das
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
Schwannstr. 3
40476 Düsseldorf

Halsbrücke, den 28.04.2017

Geschäftsführer:
Jan Richter

Beiratsvorsitzender:
Dr. h. c. Lothar de Maizière

HRB 1035 Amtsgericht
Registergericht Chemnitz

Sparkasse Mittelsachsen
IBAN:
DE30 8705 2000 3115 0191 48
SWIFT (BIC): WELADED1FGX

Deutsche Bank AG
IBAN:
DE59 8707 0000 0220 1069 00
SWIFT (BIC): DEUTDE8CXXX

USt.-IdNr. DE811132746

Auftraggeber:	Land Nordrhein-Westfalen vertreten durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Schwannstr. 3 40476 Düsseldorf
Projekt-Nr. G.E.O.S.:	30160162
Bearbeitungszeitraum:	01.09.2016 – 31.01.2017
Bearbeiter:	Dr. R. Kahnt, M. Schlegel, M. Helbig (G.E.O.S.) Dr. W. Unland (Sachverständiger für Grubenwasser und Bergbaueinwirkungen auf Gewässer, Firma HydroGeo- Consulting)
Land/Landkreis/Kommune:	
Messtischblatt:	
Seitenanzahl Text:	91
Anzahl der Anlagen:	3

Halsbrücke, den 28.04.2017



Projektleiter

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Veranlassung und Ergebnisse.....	8
1.1 <i>Veranlassung.....</i>	<i>8</i>
1.2 <i>Ergebnisse.....</i>	<i>9</i>
2 Recherche	17
2.1 <i>Motivation und Vorgehensweise</i>	<i>17</i>
2.2 <i>Ergebnisse der Recherche.....</i>	<i>17</i>
2.3 <i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	<i>17</i>
3 Daten-Erfassung, -Zusammenführung und -Dokumentation.....	18
3.1 <i>Motivation und Vorgehensweise</i>	<i>18</i>
3.2 <i>Zusammenstellung der für die Prognose relevanten Daten.....</i>	<i>18</i>
3.3 <i>Erstellung einer Datenbank mit den für eine Flutungsprognose notwendigen Primärdaten.....</i>	<i>20</i>
3.4 <i>Illustration und Visualisierung ausgewählter Daten sowie Schlussfolgerungen zu möglichen mineralisationsbedingten Schichtungen.....</i>	<i>20</i>
3.5 <i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	<i>25</i>
4 Datenauswertung auf der Basis eines numerischen Modells als Grundlage für die Prüfung des Gutachtens.....	27
4.1 <i>Motivation und Vorgehensweise</i>	<i>27</i>
4.2 <i>Konzeptioneller Ansatz.....</i>	<i>27</i>
4.3 <i>Datengrundlage.....</i>	<i>32</i>
4.4 <i>Nachrechnung der Historie und Modellkalibrierung.....</i>	<i>32</i>
4.4.1 <i>Hydraulische Nachrechnung und Modellkalibrierung.....</i>	<i>33</i>
4.4.2 <i>Chemische Nachrechnung</i>	<i>34</i>

4.5	<i>Prognose der Flutung</i>	45
4.5.1	<i>Prognose der Flutungshydraulik</i>	45
4.5.2	<i>Prognose der Flutungswasserqualität</i>	46
4.6	<i>Auswertung ausgewählter Massenbilanzen</i>	50
4.7	<i>Vergleich der Prognosen G.E.O.S. – DMT</i>	53
4.7.1	<i>Entwicklung des Flutungsniveaus sowie der Fördermengen</i>	53
4.7.2	<i>Entwicklung der Wasserqualität</i>	55
4.8	<i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	56
5	Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten - Unsicherheitsanalyse	58
5.1	<i>Motivation und Vorgehensweise</i>	58
5.2	<i>Abschätzung von Parameterunsicherheiten</i>	58
5.3	<i>Prognose der Flutung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten</i>	60
5.4	<i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	63
6	Prüfung der Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen	64
6.1	<i>Motivation und Vorgehensweise</i>	64
6.2	<i>Brunnenwasserhaltung</i>	64
6.3	<i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	67
7	Vergleichende Betrachtung der Grubenwasserverhältnisse anderer Steinkohlenreviere mit dem ehemaligen Bergwerk Ost	68
7.1	<i>Motivation und Vorgehensweise</i>	68
7.2	<i>Vergleichende Betrachtungen zum Aachener Revier</i>	68
7.3	<i>Vergleichende Betrachtungen zum Ibbenbürener Revier</i>	73

7.4	<i>Fachliche Einschätzung zur Entwicklung der Mineralisation im Ruhr Revier</i>	
	76	
7.5	<i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	77
8	Weitergehende Betrachtungen - Szenarienanalyse	79
8.1	<i>Motivation und Vorgehensweise</i>	79
8.2	<i>Weiterflutung bis zu einem Flutungsstand von -300 m NN</i>	79
8.3	<i>Sensitivität von ausgewählten hydraulischen Verbindungen</i>	84
8.4	<i>Zusammenfassende Einschätzung</i>	86
9	Fortführende Bearbeitung	87
9.1	<i>Motivation</i>	87
9.2	<i>Weiterentwicklung des Modells und Untersuchung von Detailaspekten</i>	87
9.3	<i>Aufbau und Übergabe eines GoldSim Player Files</i>	87
9.4	<i>Erweiterung und Pflege einer zentralen Datenbank mit sämtlichen relevanten Daten zur Flutung des BW Ost</i>	88
10	Literaturverzeichnis	89

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1: Gegenüberstellung der prognostischen maximalen Konzentrationen der Simulationen von G.E.O.S. und DMT nach Beginn der Flutung auf das -600 mNN Niveau bei der Förderung im Haus Aden (Werte auf zwei Stellen gerundet)	56
Tabelle 2: Auflistung der variablen Parameter	59
Tabelle 3: Zusammenfassung der Minimalen und Maximalen Konzentrationen, die zum Ende der Simulationszeit zu erwarten sind	62
Tabelle 4: Wesentliche Unterschiede betreffend die Bedingungen im Aachener Revier und im BW Ost	70
Tabelle 5: Wesentliche Unterschiede betreffend die räumlichen Bedingungen im BW Ibbenbüren, Westfeld und im BW Ost	74
Tabelle 6: Gegenüberstellung von prognostischen minimalen und maximalen Konzentrationen für die Flutungsniveaus – 600 mNN und -300 mNN.....	83

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abbildung 1: Übersicht (Draufsicht) auf die schematisierten Gruben zusammen mit wichtigen Verbindungsstrecken sowie den Umrissen der realen Gruben.	21
Abbildung 2: Farbskalen für die Charakterisierung der Dichte des Flutungswassers und der Zuströme in die einzelnen Gruben sowie der Zuflussmengen des Flutungswassers in die einzelnen Gruben für Abbildung 3 bis Abbildung 5	21
Abbildung 3: Darstellung der Dichte des Grubenwassers und der Zuflüsse im initialen Zustand	22
Abbildung 4: Darstellung der Dichte des Grubenwassers sowie der Höhe des Zustroms im initialen Zustand	23
Abbildung 5: Darstellung der Dichte des Grubenwassers und der Dichte der Zuflüsse im finalen Zustand	24
Abbildung 6: Darstellung der Flutungsstände (dunkelblau = initialer Zustand, hellblau = finaler Zustand, semitransparent = Grubenhohlraum oberhalb des finalen Flutungswasserspiegels)....	25
Abbildung 7: Übersichtsplan der Provinzen sowie aller Verbindungsstrecken	29
Abbildung 8: Schematische Darstellung des konzeptionellen Modells für eine Wasserprovinz...	30
Abbildung 9: Nachrechnung der Wasserspiegelhöhen für verschiedene Bergwerksprovinzen ...	34
Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung der SO ₄ – Konzentration für die Provinz Hansa.....	36
Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Hansa	37
Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Hansa.....	37
Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Hansa	38
Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der SO ₄ – Konzentration für die Provinz Haus Aden	40
Abbildung 15: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Haus Aden	40
Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Haus Aden	41
Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Haus Aden	41
Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der SO ₄ – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert ...	43
Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert	43
Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert	44
Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert	44
Abbildung 22: Prognose zur Entwicklung des potentiellen Wasserstandes ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)	45
Abbildung 23: Prognose zur Entwicklung der Förderrate für die Wasserhaltung Haus Aden	46
Abbildung 24: Prognose zur Entwicklung der SO ₄ – Konzentration für die Provinz Haus Aden..	47
Abbildung 25: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Haus Aden	48
Abbildung 26: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Haus Aden.....	48
Abbildung 27: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Haus Aden ...	49
Abbildung 28: Darstellung der Massenbilanzen für die Spezies SO ₄ , Cl, Fe und Ba (normiert auf die initiale Masse der jeweiligen Spezies im Speicherterm Grube)	52
Abbildung 29: Nachrechnung der Wasserstände aller Bergwerksprovinzen durch G.E.O.S. ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)	54
Abbildung 30: Nachrechnung der Wasserstände von Bergwerksprovinzen durch DMT.....	54
Abbildung 31: Prognose zur Entwicklung der SO ₄ – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	60
Abbildung 32: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	61
Abbildung 33: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	61
Abbildung 34: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	62

Abbildung 35: Exemplarische Darstellung der Förderung von Grubenwasser durch eine Brunnenwasserhaltung (Quelle: RAG Präsentation Grubenwasser 01.07.2016)	65
Abbildung 36: Chlorid-Gehalte der betriebszeitlichen Wasserzuläufe zu den Gruben des Aachener und Südlimburger Reviers in der Endphase der jeweiligen Wasserhaltungen (Quelle: Diss. Rosner 2011, Abb. 5.2)	69
Abbildung 37: Schnitt durch das Ibbenbürener Steinkohlerevier (Quelle: RAG Anthrazit Ibbenbüren, Präsentation 21.11.2016)	74
Abbildung 38: Prognose der Flutung bei Anhebung des Flutungsniveaus auf -300 mNN ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)	80
Abbildung 39: Prognose zur Entwicklung der SO ₄ – Konzentration in Haus Aden für das Flutungsniveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	81
Abbildung 40: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration in Haus Aden für das Flutungsniveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	82
Abbildung 41: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration in Haus Aden für das Flutungsniveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	82
Abbildung 42: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration in Haus Aden für das Flutungsniveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	83
Abbildung 43: Entwicklung des Wasserspiegels bei Verschließen der Tiefenverbindung Victoria 1-2 – Haus Aden ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)	85
Abbildung 44: Entwicklung des Wasserspiegels bei Verschließen der Tiefenverbindung Hansa – Minister Stein ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)	85

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Ergebnisse der Recherchen
Anlage 2	Eingangsdaten für die Flutungsprognose
Anlage 3	Dokumentation des Datenbanksystems AL.VIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

NWH	Notwasserhaltung
TMP	Tauchmotorpumpe
Q _{i,j}	Volumenstrom von Kompartiment i in Kompartiment j [m ³ /s]
LW	Leitwert [m ² /s]
h _i	hydraulisches Potential des Kompartiments i bzw. j [m]
m _i ^x	diffusiver Massenstrom des Stoffes x aus dem anstehenden Gebirge in das Kompartiment i [kg/s]
D	effektive Diffusionskonstante [m ² /s]
A _i	effektive Oberfläche des anstehenden Gesteins, proportional zum Volumen [m ²]
Grad(c _i ^x)	Konzentrationsgradient zwischen Flutungswasser und Porenraum des anstehenden Gesteins, zur Vereinfachung wird die Diffusionsstrecke jeweils auf eine Einheitslänge bezogen

1 **Veranlassung und Ergebnisse**

1.1 **Veranlassung**

Von der Ruhrkohle AG (RAG) wurde 2014 der Entwurf des Grubenwasserhaltungskonzeptes zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung für Nordrhein-Westfalen vorgelegt. Danach würde das Wasser aus dem Bereich des Bergwerkes Ost (Wasserhaltung Haus Aden / Monopol) weiterhin in die Lippe eingeleitet. In diesem Zusammenhang ist eine Bewertung der mit dem Grubenwasser ausgetragenen Stoffe bezogen auf die Lippe notwendig. Insbesondere ist einzuschätzen, ob im Rahmen des Grubenwasseranstieges eine deutliche Reduktion der stofflichen Belastung der Grubenwässer erwartet werden kann, wie sie aus dem Aachener Steinkohlerevier dokumentiert sind. Im Auftrag der RAG wurde von der DMT im Juni 2015 eine entsprechende Prognose für den Flutungsverlauf und die Wasserqualität erstellt („Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“). Die Belastbarkeit der in diesem Gutachten getroffenen Aussagen wird hinterfragt und ist deshalb einer gutachterlichen Prüfung zu unterziehen.

Die Firma G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH mit dem Nachunternehmer Dr. Unland (Sachverständiger für Grubenwasser und Bergbaueinwirkungen auf Gewässer, Firma HydroGeo-Consulting) wurde im Ergebnis eines öffentlichen Vergabeverfahrens mit dieser gutachterlichen Prüfung beauftragt. Insbesondere sollten Aussagen zur Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge des Grubenwasseranstieges im nordrhein-westfälischen Steinkohlerevier im Bereich des ehemaligen Bergwerks Ost getroffen werden. Dabei waren insbesondere folgende Fragen und Aspekte zu berücksichtigen:

- Generelle These, dass die nach einem Anstieg des Grubenwasserspiegels aus geringeren Teufen zu hebenden Grubenwässer eine geringere Mineralisation aufweisen, als Grubenwässer, die derzeit noch aus größeren Teufen gehoben werden
- Fachliche Einschätzung, inwieweit die im Aachener Revier oder in Ibbenbüren dokumentierte Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge eines Anstiegs auch im Ruhrrevier für den Standort Haus Aden/ Monopol erwartet werden kann und wenn ja, bis zu welchem Zeitpunkt. Dabei wäre auch zu prüfen, und gegebenenfalls zu dokumentieren, ob diese Entwicklung an einzelnen Standorten im Stilllegungsbereich des Ruhrbergbaus bereits beobachtet werden konnte (wenn ja, an welchen?).

Dabei bildet das von der DMT erstellte Gutachten „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden/ Monopol bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ (DMT 2015) den zentralen Prüfgegenstand.

Im Einzelnen waren entsprechend der Leistungsbeschreibung insbesondere folgende Leistungen zu erbringen:

- a) Recherche vorliegender im Auftrag der RAG erstellten Gutachten sowie weiterer Informationsquellen (Literatur, Dissertationen, Grundwassermodelle) unter Berücksichtigung des Entwurfes des Grubenwasserhaltungskonzeptes der RAG – insbesondere unter Beachtung des Parameters Chlorid.
- b) Daten-Erfassung, -Zusammenführung und -Dokumentation (u.a. teufendifferenzierte Angaben zur Grubenwasserqualität, Zeitreihen der Grubenwasserbeschaffenheit, Menge und Qualität der lateral zufließenden Wassermengen, Strömungsgeschwindigkeiten etc.).
- c) Auswertung der Daten inkl. Aussagen zu resultierenden Prozessen und sich einstellenden Konzentrationen in dem zu hebenden Grubenwasser für die o.g. Parameter am Standort Haus Aden/ Monopol inkl. Aussagen zu sich einstellenden Dichteschichtungen.
- d) Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten zur Beschaffenheit der Grubenwasserqualität während des Grubenwasseranstieges sowie nach Abschluss des Grubenwasseranstieges.
- e) Prüfung der Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen, beispielsweise der Umstellung auf Brunnenwasserhaltungen.
- f) Vergleichende Betrachtung der Grubenwasserverhältnisse im Aachener Revier und im ehemaligen Bergwerk Ost.

Die Gliederung des vorliegenden Gutachtens orientiert sich im Wesentlichen an den Leistungen a bis f, die den Kapiteln 2 bis 7 entsprechen. Am Schluss des Gutachtens wurden zusätzliche weiterführende Betrachtungen bzw. Szenarienanalysen durchgeführt (Kapitel 8) und Anregungen für eine Fortsetzung der Arbeiten gegeben (Kapitel 9).

1.2 Ergebnisse

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens war die zu erwartende Grubenwasserqualität im Zusammenhang mit der weiteren Flutung der einzelnen Provinzen des Bergwerkes Ost gutachterlich zu bewerten. Dabei war einzuschätzen, ob Verhältnisse aus Grubenflutungen aus anderen Revieren (Ibbenbüren, Aachen) übertragen werden können. Insbesondere waren die von der

Firma DMT erstellten Prognosen zum Flutungsverlauf und zur Grubenwasserqualität kritisch zu überprüfen.

Nachfolgend werden zunächst die Schwerpunkte und Ergebnisse der einzelnen Leistungsschwerpunkte laut Leistungsbeschreibung zusammengefasst. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse zusätzlicher Szenarienbetrachtungen erläutert und Anregungen für eine Weiterarbeit gegeben.

Recherche

Als erster Leistungsschwerpunkt war laut Leistungsbeschreibung eine Recherche vorliegender im Auftrag der RAG erstellten Gutachten sowie weiterer Informationsquellen (Literatur, Dissertationen, Grundwassermodelle) unter Berücksichtigung des Entwurfes des Grubenwasserhaltungskonzeptes der RAG – insbesondere unter Beachtung des Parameters Chlorid durchzuführen.

Insgesamt kann im Ergebnis festgestellt werden, dass im Rahmen der Recherche keine relevanten zusätzlichen Daten oder Informationen für die Flutungsprognose für das Bergwerk Ost (BW Ost) gewonnen werden konnten. Die Ergebnisse der Recherche stellen jedoch die wesentliche Grundlage für die vergleichende Betrachtung mit den Revieren Aachen und Ibbenbüren (Kapitel 7) dar.

Die für die Prognose der Flutung maßgeblichen Daten liegen hps. bei der RAG und wurden von dieser bereitgestellt (Kapitel 3).

Daten-Erfassung, Zusammenführung und Dokumentation

In diesem Leistungsschwerpunkt erfolgte die Daten-Erfassung, d.h. die Zusammenführung und Dokumentation (u.a. teufendifferenzierte Angaben zur Grubenwasserqualität, Zeitreihen der Grubenwasserbeschaffenheit, Menge und Qualität der lateral zufließenden Wassermengen, Strömungsgeschwindigkeiten, etc.) der für die Flutung zugrundeliegenden Datenbasis. Die für die Flutung relevanten Daten werden in Abschnitt 3.2 dargestellt. Im anschließenden Abschnitt 3.4 erfolgt eine schematische Visualisierung einzelner, für das Gesamtsystem besonders relevanter Daten.

Dabei musste festgestellt werden, dass der DMT Bericht „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ keine detaillierten Angaben bzw. vollständig dokumentierte Primärdaten enthält. Unter diesem Blickwinkel erfüllt der o.g. DMT Bericht nicht die Anforderungen einer sachgerechten Modelldokumentation.

Die fehlenden Daten wurden jedoch nach einer Anfrage von der RAG zur Verfügung gestellt. Sie stellen eine ausreichende Datenbasis für die Erstellung einer Prognose dar. Dabei ist zu beachten, dass es sich fast ausschließlich um Daten handelt, die in den einzelnen Gruben erhoben werden, weshalb diese Daten zwangsläufig von der RAG erhoben werden müssen.

Sämtliche von der RAG übergebenen Primärdaten wurden auf Plausibilität geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die übergebenen Daten mit wenigen Ausnahmen in sich plausibel sind (siehe Abschnitt 4.4.2) und auch unseren Erfahrungen bei vergleichbaren Grubenflutungen entsprechen. Die für eine Flutungsprognose notwendigen Daten sind als Anlage 2 beigefügt und werden dem Auftraggeber zudem in einer AL.VIS-Datenbank zur Verfügung gestellt.

Einzelne für das Verständnis der Grubenflutung besonders relevante Daten (Mineralisation des Grubenwassers, Mineralisation von Zuflüssen und Zuflussmengen sowie Hohlraumvolumina, Verbindungsstrecken und Flutungsstände) wurden in schematischen 3D-Darstellungen der Gruben des BW Ost anschaulich visualisiert.

Anhand dieser Darstellungen konnten Schlussfolgerungen zu möglichen Schichtungen des Grubenwassers gezogen werden. Aufgrund der Zuflussverhältnisse sowie der Verbindungen wird deutlich, dass sich insbesondere im Bereich der stark mineralisierten Zuflüsse in der Grube Victoria 1-2 sowie auch in Haus Aden keine Schichtungen einstellen können.

Datenauswertung auf der Grundlage eines Flutungsmodells der Grube

In der Leistungsbeschreibung wurde die Auswertung der Daten inkl. Aussagen zu resultierenden Prozessen und sich einstellenden Konzentrationen in dem zu hebenden Grubenwasser insbesondere für den Parameter Chlorid am Standort Haus Aden/ Monopol inkl. Aussagen zu sich einstellenden Dichteschichtungen gefordert. Dazu wurde entsprechend der Erfahrungen der Autoren mit Grubenflutungen an anderen Standorten, insbesondere im Zusammenhang mit der Uranerzbergbausanierung auf der Grundlage der Software GoldSim™ ein Grubenflutungsmodell implementiert. Um das numerische Modell im vorgegebenen sehr engen Zeitrahmen entwickeln und kalibrieren zu können, mussten dabei konzeptionelle Vereinfachungen in Kauf genommen werden.

Nachdem in Abschnitt 4.2 der von den Autoren verwendete konzeptionelle Ansatz erläutert wird, erfolgt in Abschnitt 4.3 die Darstellung der Datenlage und darauf basierend eine Nachrechnung der Historie und Modellkalibrierung (Abschnitt 4.4). In den nachfolgenden Abschnitten 4.5 und

4.6 wird schließlich die Flutungsprognose dargestellt und ein Vergleich mit der DMT Prognose durchgeführt.

Zur Verifizierung der von DMT prognostizierten Flutungsdynamik sowie der Flutungswasserqualität wurde ein vereinfachtes Kompartimentsmodell entwickelt, welches die wesentlichen hydraulischen und stofflichen Randbedingungen auf der Grundlage der von der RAG übergebenen Primärdaten abbilden kann. Eine Prüfung der von DMT verwendeten konzeptionellen und numerischen Ansätze war leider nicht möglich, da das Boxmodell nicht dokumentiert wurde. Dokumentationen von anderen Standorten erlauben jedoch einen Einblick in das grundsätzliche Modellkonzept. Ob es für die Prognose für das BW Ost von Seiten DMT grundsätzliche konzeptionelle Anpassungen gab, muss deshalb offenbleiben.

Dennoch können mit dem entwickelten Modell die Wasserspiegel in den einzelnen Provinzen / Gruben für die Messwerte vorliegen, sehr gut abgebildet werden. Auch ist dieses Modell in der Lage, die historisch beobachteten Konzentrationen der gefördertem Wässer in den Gruben Heinrich-Robert, Hansa und Haus Aden mit Ausnahme zwischenzeitlicher Abweichungen sehr gut abzubilden.

Auf der Grundlage der Nachrechnung der Historie wurde schließlich eine Prognose für die weitere Flutung bis zum Niveau von -600 m NN analog zur Simulation des DMT Berichtes erstellt. Dabei wurden im Gegensatz zu DMT aktualisierte hydraulische Randbedingungen (Zeitpunkt Einstellung Wasserhaltungen) verwendet, weshalb sich der Flutungsverlauf zwar zeitlich verschiebt, jedoch grundsätzlich vergleichbar ist. **Im Ergebnis wird der von DMT prognostizierte Flutungsverlauf quantitativ bestätigt.**

Die Prognose der Flutungswasserqualität zeigt qualitativ einen vergleichbaren Verlauf zur DMT - Prognose, jedoch prognostiziert DMT höhere Konzentrationen im gefördertem Flutungswasser für nahezu alle Stoffe. Insgesamt gehen wir davon aus, dass die DMT-Prognose konservativer angelegt ist als die von uns erstellte Prognose. Mit unserer Annahme einer vertikalen Durchmischung in den einzelnen Kompartimenten stellt unsere Prognose bereits einen relativ konservativen Ansatz hinsichtlich der möglichen Konsequenzen von Dichteschichtungen dar.

Die Autoren stellten fest, dass ein späterer Flutungsbeginn in Haus Aden zu Konzentrationsspitzen im Förderwasser führen wird, sobald die Verbindung zwischen Haus Aden und Grillo aktiviert wird und hoch mineralisiertes Wasser aus dem Bereich Grillo zuströmt. Dies ist bisher offensichtlich noch nicht der Fall, wird jedoch erwartet. Da der Wasserstand im Bereich Grillo messtechnisch nicht erfasst wird, konnte das Modell diesbzgl. nicht kalibriert werden. Es wird dennoch empfohlen, das Förderwasser zu beobachten.

Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten - Unsi- cherheitsanalyse

Die Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten zur Beschaffenheit der Grubenwasserqualität während des Grubenwasseranstieges sowie nach Abschluss des Grubenwasseranstieges stellte einen weiteren Schwerpunkt der Prüfung dar.

Hier wurde insbesondere der Frage nachgegangen, wie sich Unsicherheiten in den Ausgangsparametern auf die Prognoseergebnisse auswirken. Dazu wurden in einem ersten Schritt unterschiedliche Schlüsselparameter hinsichtlich ihrer Unsicherheit diskutiert und plausible Bandbreiten festgelegt (Abschnitt 5.2). In einem zweiten Schritt erfolgte eine probabilistische Flutungsprognose unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten mittels eines Monte-Carlo-Verfahrens (Abschnitt 5.3). Dies stellte sich als sehr zeitaufwändig heraus, da für jedes Kompartiment, jeden Zeitschritt in jeder Realisierung die Geochemie durch Integration von PHREEQC konsistent berücksichtigt wurde.

Im Rahmen der Unsicherheitsanalyse wurden vier für die Entwicklung des Flutungsstandes und der Flutungswasserqualität als besonders relevant eingeschätzte Parameter mit plausiblen Bandbreiten versehen und Prognosen im Rahmen von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Im Ergebnis sind die berechneten Zielgrößen (Flutungswasserkonzentrationen) in ihrer zeitlichen Abhängigkeit mit Bandbreiten versehen. Dabei sind diese durchgeführten Simulationen lediglich exemplarisch zu betrachten. Einerseits sind eine Vielzahl weiterer Parameter ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet, andererseits zeigen die Erfahrungen mit Grubenflutungen, dass eine sehr belastbare Prognose nur möglich ist, wenn schon langjährige Erfahrungen bei der Flutung der entsprechenden Grube vorliegen. **Auf dieser Grundlage gehen wir davon aus, dass die Unschärfe der Prognosen für einzelne Konzentrationen durchaus im Bereich eines Faktors 2 - 3 liegen kann. Dagegen sind die Fördermengen bzw. Flutungsverläufe in der Regel mit deutlich höherer Sicherheit vorhersagbar. In diesem Sinne können auch die von DMT vorgelegten Prognoseergebnisse bzgl. der Konzentrationen als vergleichbar mit den hier dargestellten Ergebnissen angesehen werden.** Es wird empfohlen, die Flutungsmodelle bei fortgeschrittener Flutung in regelmäßigen Abständen weiter zu kalibrieren, um belastbarere Langzeitprognosen zu erhalten.

Prüfung der Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen

In diesem Arbeitsschwerpunkt wurden die Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen, beispielsweise die Umstellung auf Brunnenwasserhaltungen hinsichtlich der Aus-

wirkungen auf die Flutung geprüft. Hierzu wurden qualitative Betrachtungen angestellt und einfache Abschätzungen durchgeführt.

Insgesamt wurde eingeschätzt, dass die Umstellung auf Brunnenwasserhaltung mittels Tauchmotorpumpen keine negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität haben wird.

Insbesondere gehen wir nicht davon aus, dass die Umstellung auf Wasserhaltung mittels Tauchmotorpumpe (TMP) Auswirkungen auf ggf. stattfindende Schichtungserscheinungen haben wird. Mit dem vorgesehenen System aus insgesamt drei TMP ist ausreichend Redundanz vorhanden, um Ausfälle zu kompensieren. Zudem bietet das System Reaktionsmöglichkeiten, um im Falle von Niedrigwasser in der Lippe die Einleitung von hochkonzentrierten Wässern aus der Wasserhaltung temporär zu reduzieren.

Vergleichende Betrachtung der Grubenwasserverhältnisse anderer Steinkohlenreviere mit dem ehemaligen Bergwerk Ost

Diese vergleichende Betrachtung stellte den letzten Schwerpunkt laut Leistungsbeschreibung dar. Dort wird (an unterschiedlichen Stellen) sowohl der Vergleich der Grubenwasserverhältnisse mit dem Aachener als auch mit dem Ibbenbürener Revier gefordert. Dies erfolgt vor allem vor dem Hintergrund der Fragestellung, ob die in den genannten Revieren bei der Flutung beobachteten Entwicklungen auf das Bergwerk Ost übertragen werden können. In diesem Kapitel wurde deshalb der Vergleich mit beiden Revieren durchgeführt. In Abschnitt 7.2 erfolgte eine vergleichende Betrachtung zum Aachener Revier und in Abschnitt 7.3 zum Ibbenbürener Revier.

Im Ergebnis des Vergleichs mit dem Aachener und dem Ibbenbürener Revier wurde von den Autoren eingeschätzt, dass eine Übertragbarkeit der beobachteten Flutungsverläufe bzw. insbesondere der Entwicklung der Mineralisation nicht gegeben ist. Die Ursachen dafür wurden im Detail für beide Reviere analysiert. Sie sind vor allem in den unterschiedlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und damit im Zusammenhang mit der abweichenden Mineralisation der Zuflüsse zu sehen. Bei derartigen Vergleichen wird immer wieder deutlich, dass zwar einige generelle Trends bei Grubenflutungen übertragbar sind (einheitlicher Grubenwasserspiegel innerhalb des Grubengebäudes, Ausspülen von Oxidationsprodukten sulfidischer Gemengeteile, geringer werdender Einfluss von Tiefenwasserzuflüssen durch den sich erhöhenden hydrostatischen Druck und sukzessive „Aussüßung“ bei steigendem Zuflussanteil aus gering mineralisierten Deckgebirgsgrundwasserleitern), jedes Revier jedoch seine spezifischen Besonderheiten aufweist und damit im Detail betrachtet werden muss.

Weitergehende Betrachtungen - Szenarienanalyse

In diesem Abschnitt wurden - zusätzlich zu den Anforderungen der Leistungsbeschreibung - Szenarien untersucht, die aus der Sicht der Bearbeiter besonders relevant im Zusammenhang mit der Grubenflutung zu sehen sind.

Zunächst wurde in Abschnitt 8.2 angenommen, dass die Flutung bis zu dem Niveau von -300 m NN fortgesetzt wird. Dabei steht vor allem die Frage im Vordergrund, welche Auswirkungen dies auf die Entwicklung der Wasserqualität hat. Eine stoffliche Beeinflussung von genutzten Trinkwasserressourcen wird aufgrund der hydraulischen Verhältnisse auch bei diesem Flutungsstand nicht erwartet.

Außerdem erfolgt in Abschnitt 8.3 eine Untersuchung dahingehend, welche Auswirkungen die Unwirksamkeit ausgewählter hydraulischer Verbindungen auf den Flutungsstand hat. Dies ist vor allem dadurch motiviert, dass es zwischen einigen Grubenfeldern nur eine einzige hydraulische Verbindung gibt. Daraus können bei der zentralen Wasserhaltung unerwünschte Konsequenzen entstehen.

Als erstes Szenario wurde die Weiterflutung bis zu einem Niveau von -300 m NN untersucht. Dieses Niveau wurde frei gewählt, um auftretende Effekte der Anhebung deutlich wiedergeben zu können. Dabei wurde deutlich, dass die Pumprate maximal um bis zu ca. 4 m³/min, ggf. weniger zurückgeht. Auch wird erwartet, dass die Konzentrationen an Cl und Barium gegenüber dem Flutungsniveau von -600 m NN zurückgehen. Dies steht im Zusammenhang mit der Reduzierung salinärer Zuflüsse durch den erhöhten Wasserspiegel. Demgegenüber wird ein Anstieg der Konzentrationen von Sulfat und Eisen zum Ende der Simulation erwartet. Dies resultiert aus der Mobilisierung weiterer Stoffpotenziale und wird im weiteren Verlauf wieder abklingen.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass eine Flutung auf ein höheres Niveau als -600 m NN deutliche Vorteile bieten könnte, insbesondere die Reduzierung der sich einstellenden Chloridkonzentration sowie die signifikant reduzierten Energiekosten (Pumpkosten). Deshalb wird empfohlen diese Variante einer Detailprüfung unter Einbeziehung des hydrogeologischen Umfeldes (insbesondere Ausschluss der Beeinflussung der TW-Gewinnung in den Halterner Sanden) sowie technischer Randbedingungen (Verbindungen zu weiteren Grubenfeldern, Rückzugsstrategie etc.) durchzuführen.

In einem weiteren Szenario wurde angenommen, dass einzelne, für das hydraulische System wesentliche Verbindungen ihre hydraulische Funktion verlieren (deutliche Reduzierung des Leitwertes – Strecken verschließen sich). Von besonderer Bedeutung ist hierbei einerseits die Stre-

cke zwischen den Provinzen Victoria 1-2 (10) und Haus Aden (9) sowie andererseits die zwei Strecken zwischen der Provinz Hansa (17) und Minister Stein (16). Es wird deutlich, dass die hydraulischen Verbindungen essentiell für das Funktionieren des Gesamtsystems sind, wobei der Strecke zwischen den Provinzen Victoria 1-2 (10) und Haus Aden (9) die entscheidende Bedeutung zukommt, da ein Versagen zu einem vollständigen Volllaufen des westlichen Grubensystems führen würde. Für diesen Fall sind im Grubenwasserkonzept der RAG für die Provinz Hansa „Reservebrunnen“ ausgewiesen. Im Detail sollen die Schächte 2 und 3 der Grube Hansa bei Bedarf zu Wasserhaltungen ausgebaut werden. Dieses Konzept wird als adäquat und zielführend eingeschätzt.

Weitere Bearbeitungsfelder

Im Zusammenhang mit der Erstellung des Gutachtens wurde eine Vielzahl von Sachverhalten analysiert und Betrachtungen angestellt sowie ein tiefgreifendes Verständnis für einzelne Prozesse entwickelt. Insbesondere auch mit dem im Zusammenhang der Begutachtung entwickelten Modell bieten sich Möglichkeiten der weiteren Nutzung an.

Dies wird in den Abschnitten 9.2 und 9.3 erläutert. Hierzu wurde vorgeschlagen, das Modell einerseits weiter zu nutzen, um weitere Aspekte detailliert zu untersuchen bzw. das Modell auf weitere Wasserprovinzen zu erweitern. Zudem könnte es mit einer grafischen Benutzeroberfläche versehen und dem Auftraggeber übergeben werden, damit dieser eigenständige Flutungsprognosen mit geänderten Parametern und Randbedingungen erstellen kann.

Weiterhin wird die Erweiterung und Pflege der im Rahmen des Projektes entwickelten AL.VIS Datenbank empfohlen, in der sämtliche relevanten Informationen zur Grubenflutung konsistent enthalten und jederzeit abrufbar sind. Diese Daten stellen eine belastbare Grundlage für zukünftige Fragestellungen dar und sollten auch für weitere Bergwerke und Wasserprovinzen in gleicher Art und Weise erfasst werden. Dies wurde in Abschnitt 9.4 erläutert.

2 Recherche

2.1 Motivation und Vorgehensweise

Als erster Arbeitsschritt war laut Leistungsbeschreibung eine Recherche vorliegender im Auftrag der RAG erstellten Gutachten sowie weiterer Informationsquellen (Literatur, Dissertationen, Grundwassermodelle) unter Berücksichtigung des Entwurfes des Grubenwasserhaltungskonzeptes der RAG – insbesondere unter Beachtung des Parameters Chlorid durchzuführen.

2.2 Ergebnisse der Recherche

Die recherchierten Unterlagen sind im Literaturverzeichnis (Anlage 1) aufgelistet. Jede dieser Unterlagen wurde mit einer Nummer versehen, die bei Bedarf im Text als Referenz angeführt ist.

Die Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 6 Bergbau und Energie in NRW, stellte u.a. Analysendaten von Grubenwässern zur Verfügung, die im Rahmen der Behördenüberwachung in den letzten Jahren erhoben worden waren. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, wurden von der RAG wesentliche Modelleingangsdaten verfügbar gemacht. Beim Vergleich der Wasserqualitätsdaten aus der Eigen- und der Behördenüberwachung zeigten sich keine Auffälligkeiten. Die von RAG verfügbar gemachten Daten sind in den Anlagen 2.1 bis 2.7 dokumentiert.

Die Ergebnisse der Recherche besitzen im Zusammenhang mit dem vorliegenden Gutachten eine Bedeutung im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Beobachtungen bei Grubenflutung anderer Reviere, insbesondere der Aachener und Ibbenbürener Reviere. Deshalb stellen die Ergebnisse dieser Recherchen auch die zentrale Grundlage für das Kapitel 7 dar, in dem die Vergleichbarkeit analysiert wird.

2.3 Zusammenfassende Einschätzung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Recherche keine relevanten zusätzlichen Daten oder Informationen für die Flutungsprognose für das Bergwerk Ost gewonnen werden konnten. Die umfangreichen Betrachtungen des Abschlussberichts Teil I (2017) [66] zu den Reststoffeinlagerungen im Zusammenhang mit der Bruchhohlraumverfüllung zeigen, dass im Betrachtungszeitraum bis 2027 keine, insbesondere auch keine stofflichen Auswirkungen auf die Flutungswasserqualität von diesen Einlagerungen zu erwarten sind. Die für die Prognose der Flutung maßgeblichen Daten liegen hps. bei der RAG und wurden von dieser bereitgestellt (Kapitel 3). Die Ergebnisse der Recherche stellen jedoch die Grundlage für die vergleichende Betrachtung mit den Revieren Aachen und Ibbenbüren (Kapitel 7) dar.

3 Daten-Erfassung, -Zusammenführung und -Dokumentation

3.1 Motivation und Vorgehensweise

In diesem Arbeitsschritt erfolgt die Daten-Erfassung -Zusammenführung und -Dokumentation (u.a. teufendifferenzierte Angaben zur Grubenwasserqualität, Zeitreihen der Grubenwasserbeschaffenheit, Menge und Qualität der lateral zufließenden Wassermengen, Strömungsgeschwindigkeiten, etc.) der für die Flutung zugrundeliegenden Datenbasis. Die für die Flutung relevanten Daten werden in Abschnitt 3.2 dargestellt. Im Abschnitt 3.4 erfolgt eine schematische Visualisierung einzelner, für das Gesamtsystem besonders relevanter Daten.

3.2 Zusammenstellung der für die Prognose relevanten Daten

Für eine aussagekräftige Prognosesimulation der Grubenflutung sind geometrische, hydraulische und chemische Daten im Vorfeld zu ermitteln. Da die Flutungsprognose maßgeblich auf derartigen Daten beruht, sind diese essentieller Bestandteil einer Modelldokumentation. Leider mussten die Autoren feststellen, dass im DMT Bericht „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ keine detaillierten Angaben bzw. vollständig dokumentierte Primärdaten enthalten sind. Nur auf dieser Grundlage besteht die Möglichkeit Modellprognosen nachzuvollziehen. Unter diesem Blickwinkel erfüllt der o.g. DMT Bericht nicht die Anforderungen an einer Modelldokumentation.

Diesem offensichtlichen Mangel konnte dadurch abgeholfen werden, dass auf unsere Anfrage hin die wesentlichen der benötigten Daten von der RAG bereitgestellt wurden. Ergänzende Informationen zu Messwerten der Landesämter waren darin bereits enthalten. Die für die Prognose einer Grubenflutung wesentlichen Daten können in die folgenden Kategorien gegliedert werden, die im Detail in Anlage 2 dokumentiert wurden:

1. Zeitverlauf der Fördermengen und Förderstandorte (Anlage 2.1)
2. Grubenhohlraumvolumen als Funktion des Flutungsstandes für jede Grube (Anlage 2.2)
3. Ansatzhöhen der Verbindungen zwischen den Gruben (Anlage 2.3)
4. Zuflussmengen und Zuflussorte der einzelnen natürlichen Zuflüsse sowie der technologisch bedingten Einleitungen in jede Grube (Anlage 2.4)
5. Hydrochemische Zusammensetzung (Wasserqualität) der in Anlage 2.4 dargestellten Zuflüsse (Anlage 2.5)

6. Hydrochemische Zusammensetzung der Flutungswässer der einzelnen Gruben als Funktion der Zeit inklusive dem Beginn der Betrachtung (Anlage 2.6)
7. Entwicklung der Wasserstände in den einzelnen Gruben als Funktion der Zeit (Anlage 2.7)

Neben diesen zur Verfügung gestellten Daten wurden die folgenden weiteren Daten angefragt, die jedoch nicht vorhanden sind:

- Geothermische Daten
 - Temperaturen für alle Zuflüsse entsprechend des Wasserstammbaumes
 - Geothermische Tiefenstufe
- Daten zum Stoffpotenzial und zu den Eigenschaften des anstehenden Gesteins
 - Wassersättigungen in den unterschiedlichen anstehenden Gesteinsformationen
 - Porenwasserkonzentrationen für das relevante Stoffspektrum für die einzelnen Kompartimente
 - Mineralphasenbelegung an leicht löslichen Mineralen im Poren- und Streckenraum für jedes Kompartiment
 - Porosität und Permeabilität des anstehenden Gesteins

Die geothermischen Daten wären notwendig, um Schichtungseffekte sachgerecht im Detail zu analysieren, da die Dichte sowohl von der Mineralisation, der Temperatur und dem Druck abhängig ist. Da die notwendigen quantitativen Betrachtungen jedoch äußerst komplex sind, hätten sie im Rahmen der Studie ohnehin nur beispielhaft erfolgen können. Da es jedoch bereits anhand qualitativer Einschätzungen (siehe Abschnitt 3.4) möglich ist, Schlussfolgerungen hinsichtlich von Schichtungen zu ziehen, konnte auf diese Daten verzichtet werden.

Die Daten zum Stoffpotenzial und zu den Eigenschaften des anstehenden Gesteins sind für eine detaillierte Betrachtung des flutbaren Porenraumvolumens des anstehenden Gesteins sowie der Freisetzung des Stoffpotenzials aus selbigen notwendig. Da derartige Daten im Detail bei der RAG nicht vorliegen, musste ein vereinfachter Ansatz gewählt werden. Dieser ist in Abschnitt 4.2 erläutert.

Insgesamt stellen damit die von der RAG zur Verfügung gestellten Daten eine ausreichende Datenbasis für die Durchführung einer Prognose dar. Dabei ist zu beachten, dass es sich fast aus-

schließlich um Daten handelt, die in den einzelnen Gruben erhoben werden; somit stellt die RAG die einzig verfügbare maßgebliche Datenquelle dar.

Sämtliche oben genannten Daten wurden auf Plausibilität geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die übergebenen Daten mit wenigen Ausnahmen in sich plausibel sind und auch unseren Erfahrungen bei vergleichbaren Grubenflutungen entsprechen. Ganz besonders konnte die gegenseitige Plausibilität der Daten bei der numerischen Modellierung (siehe Kapitel 4) nachgewiesen werden. Da hierbei Bilanzbetrachtungen eine zentrale Rolle spielen, können nicht plausible Daten schnell identifiziert werden. Auf die Ausnahmen wird in Abschnitt 4.4 gesondert eingegangen.

3.3 Erstellung einer Datenbank mit den für eine Flutungsprognose notwendigen Primärdaten

Obwohl die von der RAG zur Verfügung gestellten und oben (siehe 1 bis 7) aufgeführten Daten dem vorliegenden Bericht auch als Anlage beigefügt sind, wurden sie zudem in einer Datenbank abgelegt, um auch zukünftig einen Zugriff zu gewährleisten. Diese Datenbank wurde in einer Demoversion des Datenbanksystems AL.VIS implementiert. AL.VIS wurde im Rahmen der Wismut-Sanierung entwickelt und ist in der Lage, sämtliche im Zusammenhang mit einer Bergbau-sanierung anfallenden Daten (GIS-Daten, Markscheiderdaten, umfangreichste Monitoringdaten, Berichte, Genehmigungsanträge, Genehmigungen, Fotos, Bohrungsdaten, usw.) konsistent verknüpft und Objekt orientiert zu speichern. Der Zugriff auf diese Daten erfolgt mit einem Web-Browser. Details zu dieser Datenbankanwendung sind in Anlage 3 dokumentiert.

3.4 Illustration und Visualisierung ausgewählter Daten sowie Schlussfolgerungen zu möglichen mineralisationsbedingten Schichtungen

Zur Verdeutlichung von für die Flutung besonders relevanten Parametern wurde eine schematisierte 3D-Darstellung entwickelt. Jede Grube wird darin durch einen Zylinder im 3D-Raum dargestellt. U.a. werden damit die Zustromverhältnisse und sowie die Grubenwasserbeschaffenheit für das Bergwerk Ost visualisiert.

Die Grubenhohlraumvolumina werden dabei als Zylinder im relativen Größenverhältnis zueinander dargestellt. Ihre Unter- und Oberkanten werden durch das höchste und niedrigste aufgeschlossene Teufenniveau des Grubenhohlraumes definiert. Der Zylinderradius resultiert mit der vorgegebenen Unter- und Oberkante aus dem Gesamtvolumen der Grube. Somit ist das Volumen jedes Zylinders dem Gesamthohlraumvolumen der jeweiligen Grube proportional, womit die Verhältnisse der Hohlräume der einzelnen Gruben sehr anschaulich verdeutlicht werden können.

Die Verbindungsstrecken wurden zur Wahrung der Übersichtlichkeit schematisiert und sind demzufolge hier nicht lagegenau abgebildet. Gleichwohl wurden die Teufenniveaus des Anfangs- und Endpunktes der Verbindungsstrecken beibehalten. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt zunächst die Draufsicht auf die Zylinder zusammen mit den Umrissen des jeweiligen Grubenfeldes.

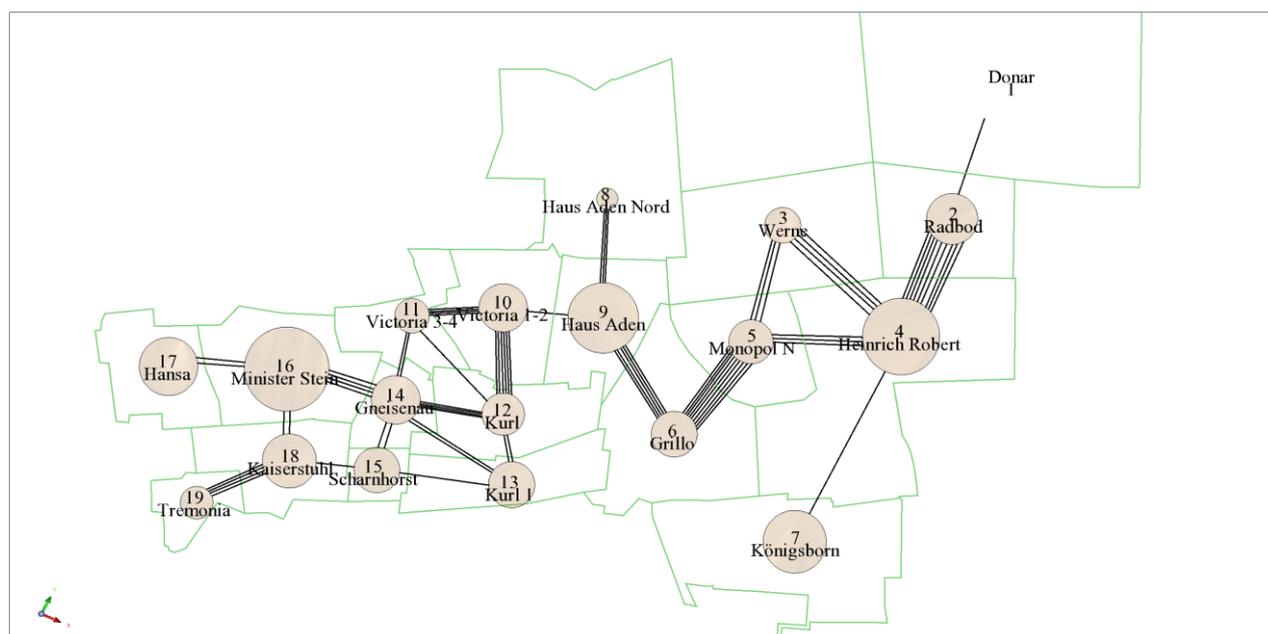


Abbildung 1: Übersicht (Draufsicht) auf die schematisierten Gruben zusammen mit wichtigen Verbindungsstrecken sowie den Umrissen der realen Gruben.

Für die nachfolgenden Darstellungen der Dichte sowie der Zuflüsse wird die Farbskala entsprechend Abbildung 2 verwendet.

Legende	
Dichte	Zufluss
 1.000 - < 1.050 mg/l	 0 - < 1 m³/min
 1.050 - < 1.100 mg/l	 1 - < 2 m³/min
 1.100 - < 1.150 mg/l	 2 - < 3 m³/min
 >= 1.150 mg/l	 > 3 m³/min

Abbildung 2: Farbskalen für die Charakterisierung der Dichte des Flutungswassers und der Zuflüsse in die einzelnen Gruben sowie der Zuflussmengen des Flutungswassers in die einzelnen Gruben für Abbildung 3 bis Abbildung 5

Für einige Darstellungen werden die Schemata der Grubenraumvolumen von Ringen auf unterschiedlichen Teufenniveaus umschlossen. Sie stellen zusammengefasste Zuflüsse auf den entsprechenden Teufenintervallen dar. Die Zuflüsse werden durch ihre Schüttung und die Dichte charakterisiert.

Abbildung 3 stellt die Dichten des Grubenwassers und der Zuflüsse im initialen Zustand dar, d.h. die Wasserqualitäten einer Grube sind nur durch die Zuflüsse des Gesteins charakterisiert. Eine Mischung des Wassers mit benachbarten Gruben hat zu diesem Zeitpunkt nicht stattgefunden.

Die Y-Richtung entspricht Norden, die X-Richtung Osten. Die Teufenrichtung wird durch die Z-Achse bestimmt.

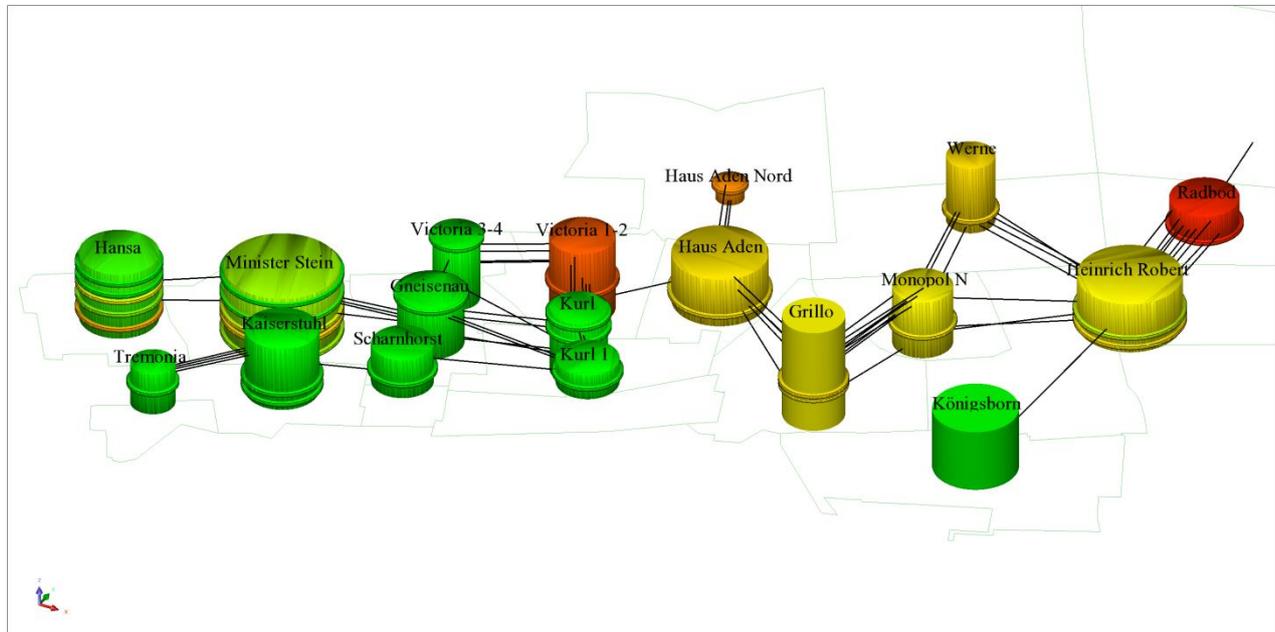


Abbildung 3: Darstellung der Dichte des Grubenwassers und der Zuflüsse im initialen Zustand

Die Abbildung 4 stellt die Dichten des Grubenwassers im initialen Zustand der Höhe des Zuflusses gegenüber. Es wird deutlich, dass die Flutungswässer der Gruben Victoria 1-2 sowie Radbod zu Beginn der Flutung die höchsten Mineralisationen aufweisen. Demgegenüber sind die Zuflussmengen von Gneisenau und Kurl und mit Abstrichen Scharnhorst am höchsten.

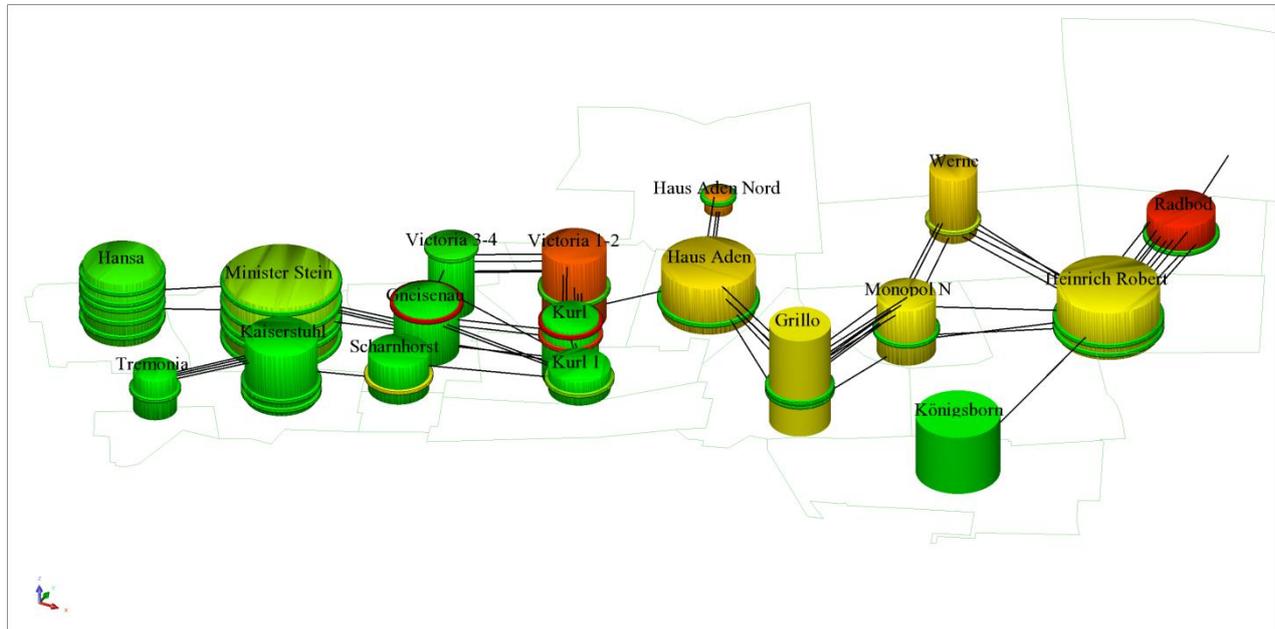


Abbildung 4: Darstellung der Dichte des Grubenwassers sowie der Höhe des Zustroms im initialen Zustand

In Abbildung 5 werden vorab bereits einzelne Simulationsergebnisse für die Dichten des Grubenwassers im finalen Zustand mit den Dichten der Zuflüsse verglichen. Hier wird deutlich, dass die Felder Victoria 1-2 und Radbod zwar die höchste Mineralisation der Zuflüsse aufweisen. Dennoch ist die Mineralisation der unterschiedlichen Grubenfelder auf vergleichbarem Niveau. Einerseits erfolgt eine Durchmischung der einzelnen Wässer. Andererseits führt die im Zusammenhang mit dem Flutungswasseranstieg erfolgende Freisetzung von Folgeprodukten der Sulfidoxidation und der karbonatischen Säurepufferung ebenfalls zu einer Erhöhung der Mineralisation, die in einer ähnlichen Größenordnung wie die Mineralisation der stärker mineralisierten Zuflüsse liegt. Insgesamt kommt es dann zum Ende der Simulationszeit zur Auswaschung der erhöhten Mineralisation.

Im Vorgriff der Detailbetrachtungen und der Einzelergebnisse der numerischen Simulation soll anhand von Abbildung 6 bereits eine qualitative Einschätzung zu möglichen Dichteschichtungen gegeben werden. Dies ist aus der Sicht der Autoren essentiell für das Verständnis der Prognose der Grubenflutung. Bereits anhand dieser Abbildung wird sehr deutlich, dass sich im Bereich der hoch mineralisierten Grube Victoria 1-2 keine Schichtung einstellen kann. Dies ist dadurch bedingt, dass diese Grube einerseits von hohen Wassermengen insbesondere aus dem Bereich der Grube Gneisenau durchströmt wird und andererseits die einzige Verbindungsstrecke zur Wasserhaltung in Haus Aden sehr tief an die Grube Victoria 1-2 angebunden ist. Dies führt sehr schnell zum Übertritt der hoch mineralisierten Wässer in die Grube Haus Aden. Durch die hyd-

raulischen Verbindungen bedingt werden nach Auswaschung der hohen initialen Mineralisation die hoch mineralisierten Zuflüsse von Haus Victoria 1-2 stets mit den hohen Zuflüssen der Grube Gneisenau gemischt. Die so entstehenden Mischwässer haben eine vergleichbare Mineralisation wie die Wässer aus den nordöstlichen Gruben.

Als zusätzliches Argument muss beachtet werden, dass sich der hoch mineralisierte Zufluss im Grubenfeld Victoria 1-2 bei einem Flutungsstand von – 600 m NN nur geringfügig reduziert. Damit wird sich die Salzfracht dieses Zustroms langfristig, d.h. nach Abschluss der Auswaschung der durch die Sulfidoxidation bedingten Mineralisation in der Wasserhaltung wiederfinden. Erst ein deutliches weiteres Anheben des Flutungswasserspiegels und damit das Abdrücken dieses Zuflusses wird zu einer Reduzierung der Salzfracht in der Wasserhaltung führen.

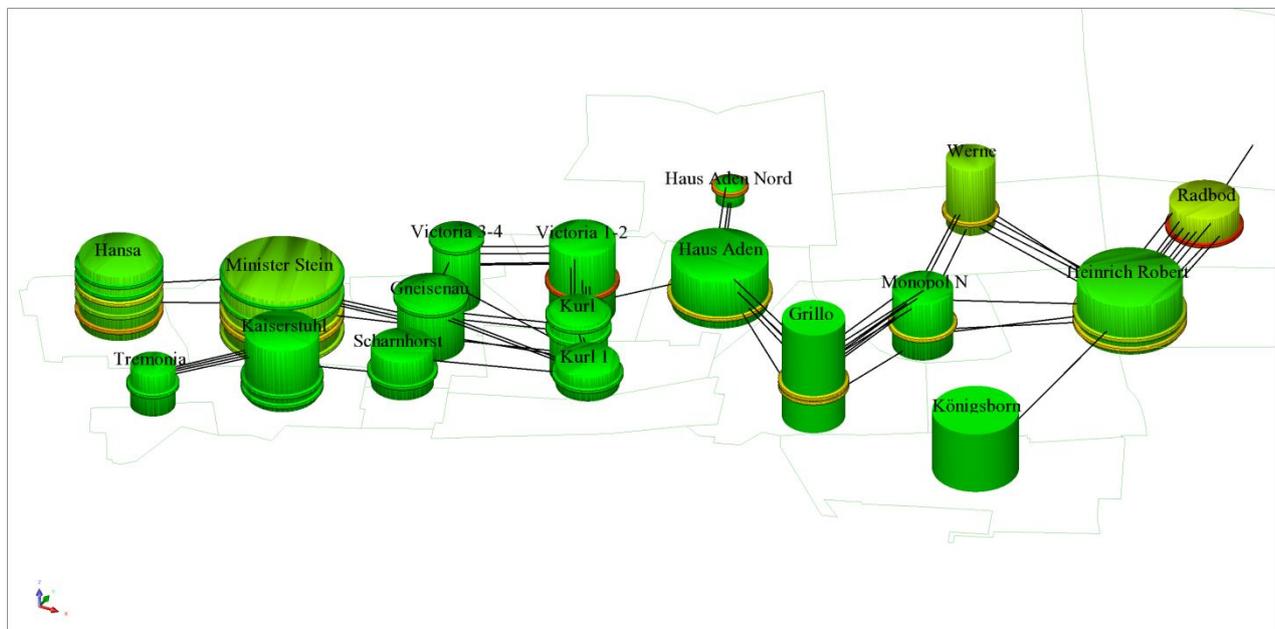


Abbildung 5: Darstellung der Dichte des Grubenwassers und der Dichte der Zuflüsse im finalen Zustand

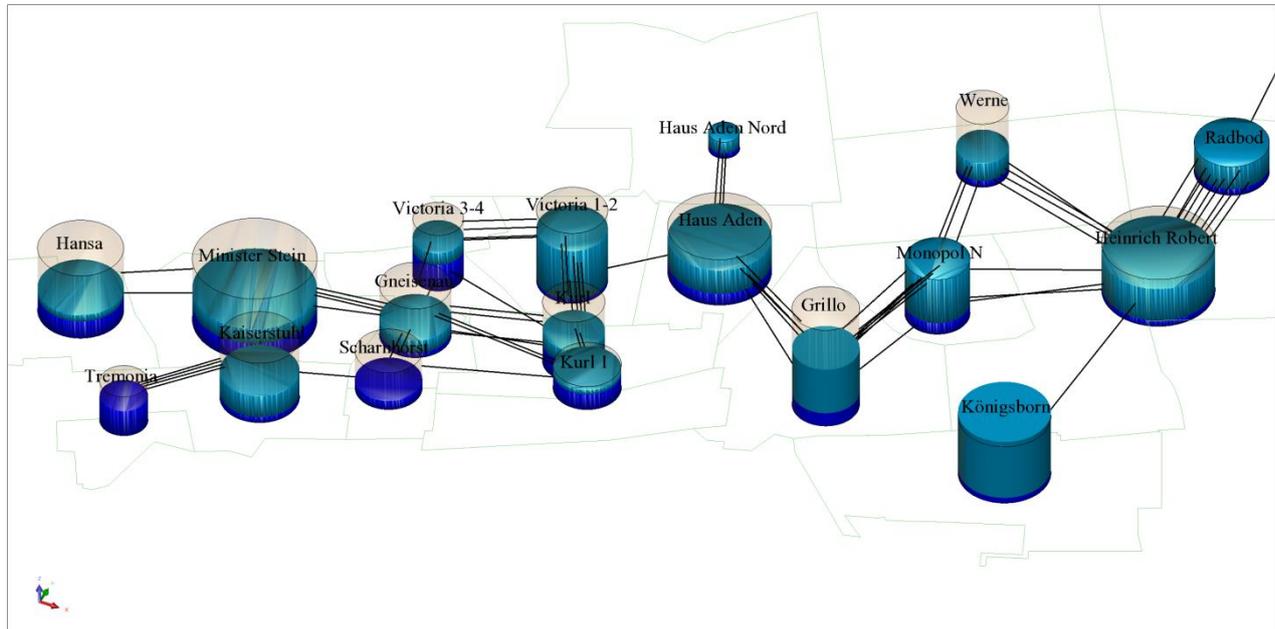


Abbildung 6: Darstellung der Flutungsstände (dunkelblau = initialer Zustand, hellblau = finaler Zustand, semitransparent = Grubenhohlraum oberhalb des finalen Flutungswasserspiegels)

Abbildung 6 illustriert schließlich die Flutungswasserstände in Bezug zu den schematisch dargestellten Grubenraumvolumen. Es werden der initiale und der finale Flutungsstand (-600 m NN) betrachtet. Ebenso ist der Grubenraum, der sich im finalen Zustand oberhalb des Flutungswasserspiegels befindet, abgebildet. Es wird deutlich, dass zumindest bei den nordöstlich gelegenen Gruben mit der geplanten Flutung der größte Teil des flutbaren Hohlraumvolumens geflutet wird. Für die eher südwestlich gelegenen Gruben trifft dies nicht zu. Sie sind auch zum Ende der Simulationszeit nur zu einem geringen Anteil geflutet.

3.5 Zusammenfassende Einschätzung

Der DMT Bericht „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ enthält keine detaillierten Angaben bzw. vollständig dokumentierte Primärdaten. Unter diesem Blickwinkel erfüllt der o.g. DMT Bericht nicht die Anforderungen einer sachgerechten Modelldokumentation.

Die fehlenden Daten wurden jedoch nach einer Anfrage von der RAG zur Verfügung gestellt. Sie stellen eine ausreichende Datenbasis für die Durchführung einer Prognose dar. Dabei ist zu beachten, dass es sich fast ausschließlich um Daten handelt, die in den einzelnen Gruben erhoben werden, weshalb diese Daten zwangsläufig von der RAG erhoben werden müssen. Sämtliche

von der RAG übergebenen Primärdaten wurden auf Plausibilität geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die übergebenen Daten mit wenigen Ausnahmen in sich plausibel sind (siehe Abschnitt 4.4.2) und auch unseren Erfahrungen bei vergleichbaren Grubenflutungen entsprechen. Die für die Modellerstellung und eine Flutungsprognose notwendigen Daten sind als Anlage 2 beigefügt und werden dem Auftraggeber zudem in einer AL.VIS-Datenbank zur Verfügung gestellt.

Einzelne für das Verständnis der Grubenflutung besonders relevante Daten (Mineralisation des Grubenwassers, Mineralisation von Zuflüssen und Zuflussmengen sowie Hohlraumvolumina, Verbindungsstrecken und Flutungsstände) wurden in schematischen 3D-Darstellungen der Gruben des BW Ost anschaulich visualisiert. Anhand dieser Darstellung können bereits Schlussfolgerungen zu möglichen Schichtungen des Grubenwassers gezogen werden. **Anhand der Zuflussverhältnisse sowie der Verbindungen wird deutlich, dass sich insbesondere im Bereich der stark mineralisierten Zuflüsse in der Grube Victoria 1-2 sowie auch in Haus Aden keine Schichtungen einstellen können.**

4 Datenauswertung auf der Basis eines numerischen Modells als Grundlage für die Prüfung des Gutachtens

4.1 Motivation und Vorgehensweise

In der Leistungsbeschreibung ist die Auswertung der Daten inkl. Aussagen zu resultierenden Prozessen und sich einstellenden Konzentrationen in dem zu hebenden Grubenwasser insbesondere für den Parameter Chlorid am Standort Haus Aden/ Monopol inkl. Aussagen zu sich einstellenden Dichteschichtungen gefordert. Dazu wurde entsprechend der Erfahrungen der Autoren mit Grubenflutungen an anderen Standorten, insbesondere im Zusammenhang mit der Uranerzbergbausanierung auf der Grundlage der Software GoldSim™ ein Grubenflutungsmodell implementiert. Um das numerische Modell im vorgegebenen sehr engen Zeitrahmen entwickeln und kalibrieren zu können, mussten dabei konzeptionelle Vereinfachungen in Kauf genommen werden.

Wie bereits erwähnt, erlaubt der DMT Bericht „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ keine Bewertung der konzeptionellen Ansätze des DMT – Boxmodells und Anfangszuständen. Allerdings gehen wir davon aus, dass die konzeptionellen Grundlagen des DMT - Boxmodells den Darstellungen in „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“ (Dok 58) entsprechen. Dort sind die konzeptionellen und numerischen Grundlagen umfassend dokumentiert.

Nachdem in Abschnitt 4.2 der von den Autoren verwendete konzeptionelle Ansatz erläutert wird, erfolgt in Abschnitt 4.3 die Darstellung der Datenlage und darauf basierend eine Nachrechnung der Historie und Modellkalibrierung (Abschnitt 4.4). In den nachfolgenden Abschnitten 4.5 und 4.6 wird schließlich die Flutungsprognose dargestellt und ein Vergleich mit der DMT Prognose durchgeführt.

4.2 Konzeptioneller Ansatz

Das Bergwerk Ost ist ein unterirdisches Grubensystem bestehend aus 18 Teilprovinzen (Gruben). Abbildung 7 bzw. auch die Abbildung 3 bis Abbildung 6 zeigen einen Überblick der räumlichen Lage der Provinzen und veranschaulicht die Konnektivität der Teilprovinzen über gut durchlässige Verbindungen. Insgesamt existieren laut den Angaben der RAG (Abschnitt 3.2) 74 derartige gut durchlässige Verbindungsstrecken.

Jede Teilprovinz wird als separates Kompartiment/Zellenelement mit einer internen Struktur betrachtet in der chemische Reaktionen stattfinden können. Zwar wird der Zusammenhang zwischen flutbaren Hohlraumvolumen und Wasserspiegel für jedes Kompartiment im Detail berücksichtigt, jedoch musste aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen auf eine vertikale Unterteilung in die verschiedenen Sohlenniveaus verzichtet werden. Daraus resultiert unmittelbar, dass Dichteschichtungen mit dem Modell nicht abgebildet werden können. Insofern kann der Modellansatz als konservativ betrachtet werden. Auf der anderen Seite wurde in Abschnitt 3.4 bereits auf der Grundlage qualitativer Überlegungen geschlussfolgert, dass mittel- und langfristig Dichteschichtungen in den besonders relevanten Teilprovinzen aufgrund der Grubengeometrie und der Zuflussverteilung nicht stattfinden können. Lediglich in den nordöstlichen Provinzen werden partiell Schichtungen erwartet. Dabei handelt es sich um lokale Schichtungen von infolge der Sulfidverwitterung mineralisierten Wässern. Mittel- und langfristig spielen diese für die Qualität der Wässer in der Wasserhebung nur eine nachgeordnete Rolle, da die Qualität der zu hebenden Wässer maßgeblich durch die Qualität der Zuflüsse bestimmt wird. Insofern stellt diese o.g. konzeptionelle Vereinfachung keine grundlegende Einschränkung für die Belastbarkeit der Modellergebnisse dar.

Der Wasseraustausch der einzelnen Kompartimente bzw. Teilprovinzen untereinander erfolgt über die gut durchlässigen Verbindungsstrecken unter Berücksichtigung der hydraulischen Potenziale in jeder Teilprovinz (Details dazu siehe unten).

Die hydraulische Modellierung umfasst die Zuflüsse Untertage (schwarz-roter Pfeil in Abbildung 8) aus dem umgebenden Gestein und Einleitungen über die Grubenprovinz Victoria 1-2 (orange-roter Pfeil in Abbildung 8). Insgesamt sind am Standort Bergwerk Ost insgesamt 62 derartige Zuflüsse aus dem Gebirge bekannt, deren Zuflussmenge zwischen 0 m³/min und 6,5 m³/min liegt. Zusätzlich haben über die Provinz Victoria 1-2 zwei zeitlich limitierte Einleitungen stattgefunden. Diese Zuflüsse werden im Modell als Randbedingungen 2. Art berücksichtigt. Dabei wird zunächst analog zum DMT Gutachten angenommen, dass der Zufluss in jedem Kompartiment / jeder Teilprovinz linear vom Flutungswasserspiegel abhängig ist („Abdrückfunktion“). Dies bedeutet, dass die Zuflussrate sinkt, sobald der Wasserspiegel höher steht als der Ansatzpunkt des Zuflusses. Im Rahmen von Unsicherheitsanalysen (Kapitel 5) werden hierzu abweichende Annahmen getroffen.

Die Modellierung berücksichtigt die Geometrie der Provinzen mit allen Verbindungen und Zuflüssen. Nur die Provinz Königsborn ging nicht in die Betrachtung ein, da die Messwerte des Wasserspiegels der Provinz deutlich höher sind als das angestrebte Niveau von -600 m NN. Dies

lässt den Rückschluss zu, dass die einzige Verbindung zwischen den Provinzen Königsborn und Heinrich Robert einen massiven Widerstand aufweist und die Provinz Königsborn maßgeblich isoliert. Aus den Unterlagen geht hervor, dass auf der 890 m Sohle Königsborn ein 100 bar Wasserdamm errichtet wurde, der offensichtlich weiterhin eine wirksame Sperre ist.

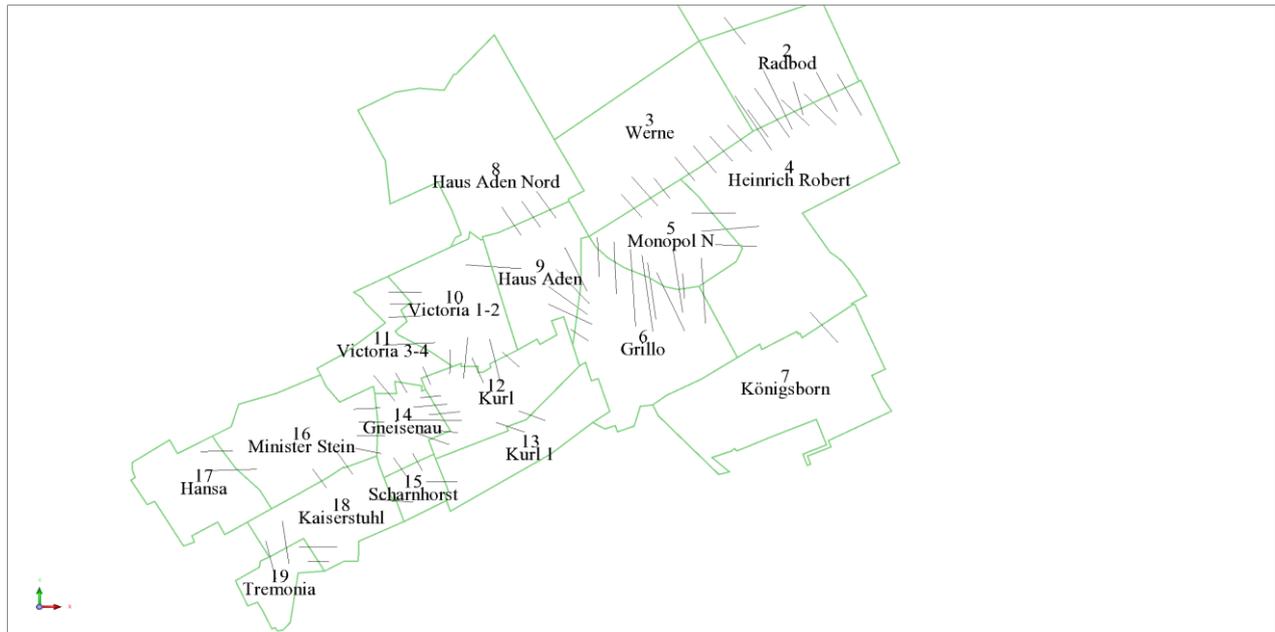


Abbildung 7: Übersichtsplan der Provinzen sowie aller Verbindungsstrecken

Der Wasseraustausch der Provinzen über Strecken (blauer Doppelpfeil in Abbildung 8) ist kaum gehemmt, sodass sich für zwei verbundene Gruben ein zügiges Potentialgleichgewicht einstellt. Hierbei wird jedoch die Höhenlage der Ansatzpunkte an beiden Endpunkten der Strecke (in den beiden Provinzen, die die Strecke verbindet) so berücksichtigt, dass ein hydraulischer Potentialausgleich und damit ein Volumenstrom in Abhängigkeit der Überflutung der Ansatzpunkte auf beiden Seiten der Strecke stattfindet. Wenn das hydraulische Potenzial beider über die Strecke verbundenen Provinzen höher ist als der höhere der beiden Ansatzpunkte der Strecke wird dieser Prozess über Leitwerte und dem Potentialgradienten zwischen den beteiligten Gruben berechnet:

Formel 1

$$Q_{i \rightarrow j} = LW \cdot (h_i - h_j)$$

mit:

$$Q_{i \rightarrow j} \quad \text{Volumenstrom von Kompartiment i in Kompartiment j [m}^3\text{/s]}$$

LW Leitwert [m^2/s]

h_i, h_j hydraulisches Potential des Kompartiments i bzw. j [m]

Ist nur eines der beiden Potentiale höher als der höhere der beiden Ansatzpunkte der Strecke, erfolgt ein einfaches Überlaufen in die andere Provinz. Ist keines der beiden Potentiale höher als der höhere der beiden Ansatzpunkte der Strecke, ist die Strecke als hydraulische Verbindung nicht aktiv. Damit werden die einzelnen Strecken mit fortlaufender Flutung sukzessive aktiviert.

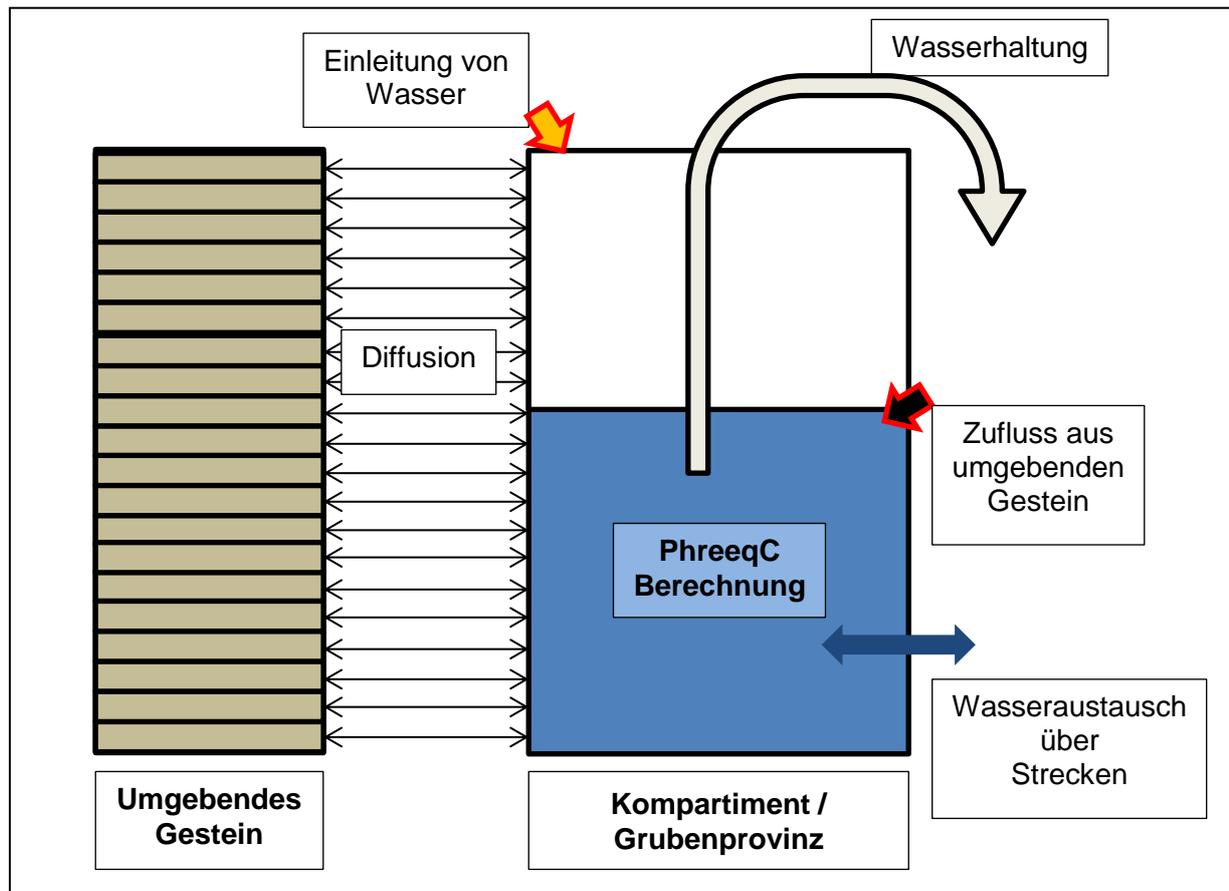


Abbildung 8: Schematische Darstellung des konzeptionellen Modells für eine Wasserprovinz

Die Wasserhaltung in den Provinzen wird als Randbedingung 1. Art implementiert, d.h. der Wasserspiegel wird auf ein definiertes Niveau eingestellt und die Pumprate ermittelt (grau-schwarzer Pfeil in Abbildung 8).

Für die Modellierung des Transportes von im Grundwasser gelösten Stoffen werden folgende Transport und Reaktionsmechanismen im Modell berücksichtigt:

- Advektiver Transport gelöster Stoffe über die Verbindungsstrecken

- Advektiver Zustrom gelöster Stoffe durch untertägige und technische Zuläufe
- Advektive Entnahme gelöster Stoffe durch Wasserhaltungen
- Diffusiver Transport gelöster Stoffe aus dem Gestein und verwahrten Grubenbauen in das Grubenwasser sowie auch umgekehrt
- Lösungs/Fällungsreaktionen der wesentlichen Mineralphasen Ferrihydrit, Siderit, Magnesit, Calcit, Dolomit, Witherit, Gips, Barit und Thenardit
- Lösung/Entgasung von CO₂ und H₂S

Die modelltechnische Umsetzung erfolgte durch Kopplung des hydraulischen Modells mit dem geochemischen Reaktionsmodell PHREEQC. Für jedes Zellenelement, d.h. für jede Grubenprovinz werden die hinzukommenden, entnommenen sowie die vorhandenen Wasservolumen bilanziert. Aus dieser Bilanz lassen sich Mischungsverhältnisse der verschiedenen Zuflusswässer mit dem vorhandenen Grubenwasser ableiten. Die Wasserqualitäten und die entsprechenden Mischungsverhältnisse werden zusammengestellt und stellen einen Input für das PHREEQC Modell dar.

Für jede Provinz wird zugleich die potentielle Fällung von wichtigen Mineralen sowie Entgasung flüchtiger Verbindungen beachtet. Die aufgeführten Minerale und Gase stehen über das Löslichkeitsprodukt, das in PHREEQC durch thermodynamische Gleichgewichte berechnet wird, im Zusammenhang. Die Minerale/Gase sind ortsfest und werden nicht über Verbindungsstrecken unter verschiedenen Provinzen ausgetauscht.

Neben den aufgezählten Mineralen sind Pyrit und Karbonat (v.a. Calcit) im Ausgangsgestein enthalten. Die in Folge der Bewetterung freigesetzten Produkte sind Fe und SO₄. Gleichzeitig befinden sich karbonatische Mineralien im anstehenden Gestein, die die entstandene Säure puffern, was zur Freisetzung von Karbonaten führt. Um das initiale Inventar der Bestandteile im Modell zu berücksichtigen, wurden die Gesamtmassen von Fe, SO₄, Ca und CO₃ stöchiometrisch exakt abgeschätzt und in einen über Diffusion an die Gruben gekoppelten Block höhendifferenziert bereitgestellt (Abbildung 8). Dieser Block ist in 20 vertikale Kompartimente unterteilt, um die zeitliche Zehrung der Bestandteile plausibel abzubilden. Das Massenpotential der Bestandteile je Provinz ist Volumenbezogen verteilt. Das bedeutet, dass für jedes Kompartiment das mobilisierbare Gesamtpotenzial von Fe, SO₄, Ca und CO₃ proportional zum Gesamtvolumen des Kompartiments ist. In Realität sind mobilisierbare Mengen dieser Stoffe sicherlich unterschiedlich in den einzelnen Kompartimenten. Leider liegen hierzu keine Detailinformationen vor, so dass die getroffene Annahme der Proportionalität die einfachste mögliche Annahme darstellt. Eine detaillier-

te „Nachkalibrierung“ dieses Inventars für jedes Kompartiment ist aus der Sicht der Autoren nicht zielführend, da damit für alle ungefluteten Bereiche keine Prognosefähigkeit gegeben ist.

Der für die Nachlieferung relevante Transportprozess ist die Diffusion aus dem anstehenden Gestein ins Grubenwasser des jeweiligen Kompartimentes. Diese wurde folgendermaßen berücksichtigt:

Formel 2

$$m_i^x = D * A_i * grad(c_i^x)$$

mit:

m_i^x	diffusiver Massenstrom des Stoffes x aus dem anstehenden Gebirge in das Kompartiment i [kg/s]
D	effektive Diffusionskonstante
A_i	effektive Oberfläche des anstehenden Gesteins, proportional zum Volumen [m ²]
$grad(c_i^x)$	Konzentrationsgradient zwischen Flutungswasser und Porenraum des anstehenden Gesteins, zur Vereinfachung wird die Diffusionsstrecke jeweils auf eine Einheitslänge bezogen

Diese Nachlieferung wird für jede vertikale Scheibe zeitabhängig berechnet. Der Proportionalitätsfaktor zwischen Hohlraumvolumen und effektiver Oberfläche, der für alle Kompartimente gleich ist, stellt den einzigen Kalibrierfaktor dar. Dieser wird so festgelegt, dass der bisher beobachtete Flutungsverlauf möglichst gut abgebildet werden kann.

4.3 Datengrundlage

Die in den Simulationen zurückgegriffenen Daten entstammen der in Abschnitt 3 beschriebenen Datenbank und waren von der RAG bereitgestellt worden. Diese Daten sind vollständig in Anlage 2 zusammengestellt.

4.4 Nachrechnung der Historie und Modellkalibrierung

Die Nachvollziehbarkeit historischer Messwerte ist essentiell, um die ablaufenden Prozesse des Grubensystems zu verstehen und plausible Prognosen abgeben zu können. In den nachfolgen-

den Kapiteln werden zunächst die hydraulischen und im Anschluss die chemischen Messwerte nachgerechnet.

4.4.1 Hydraulische Nachrechnung und Modellkalibrierung

Die hydraulische Nachrechnung und Modellkalibrierung erfolgte durch Simulation der Wasserstände auf der Grundlage der beschriebenen hydraulischen Zuflussrandbedingungen und dem Vergleich mit gemessenen Wasserständen verschiedener Bergwerksprovinzen unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Wasserhebung. In Abbildung 9 werden die gemessenen und simulierten Wasserspiegelhöhen der Provinzen Radbod, Victoria 1-2, Kurl 1, Gneisenau, Minister Stein und Hansa dargestellt. Weitere Messwerte waren leider nicht verfügbar. Es ist ersichtlich, dass die Messwerte durch die Simulation im Allgemeinen recht gut abgebildet werden können. Lediglich der Anstieg des Wasserspiegels der Provinz Minister Stein in den 90er Jahren erfolgt in der Simulation schneller. Der Grund könnte ein Freispülen der Strecke zwischen Hansa und Minister Stein (Verbindungsstrecke 8. Sohle Hansa; 6. Sohle Minister Stein) sein. Dadurch wäre anfangs ein geringerer Leitwert anzusetzen als zum jetzigen Zeitpunkt. Im Modell wurde sich dazu entschieden, den aktuellen Stand abzubilden und dementsprechend einen höheren Leitwert anzusetzen. Auch für den Wasserspiegel der Provinz Gneisenau ist der Anstieg zu steil. Als Ursache wurden zwei Strecken zwischen Kurl und Victoria 1-2 ausgemacht (Querschlag 9. östl. Abtlg; Förderberg, von -800 m Sohle bis -1060 m Sohle). Da ein Messwert im August 2014 aufgezeichnet wurde, war dieser der Anhaltspunkt für die Kalibrierung.

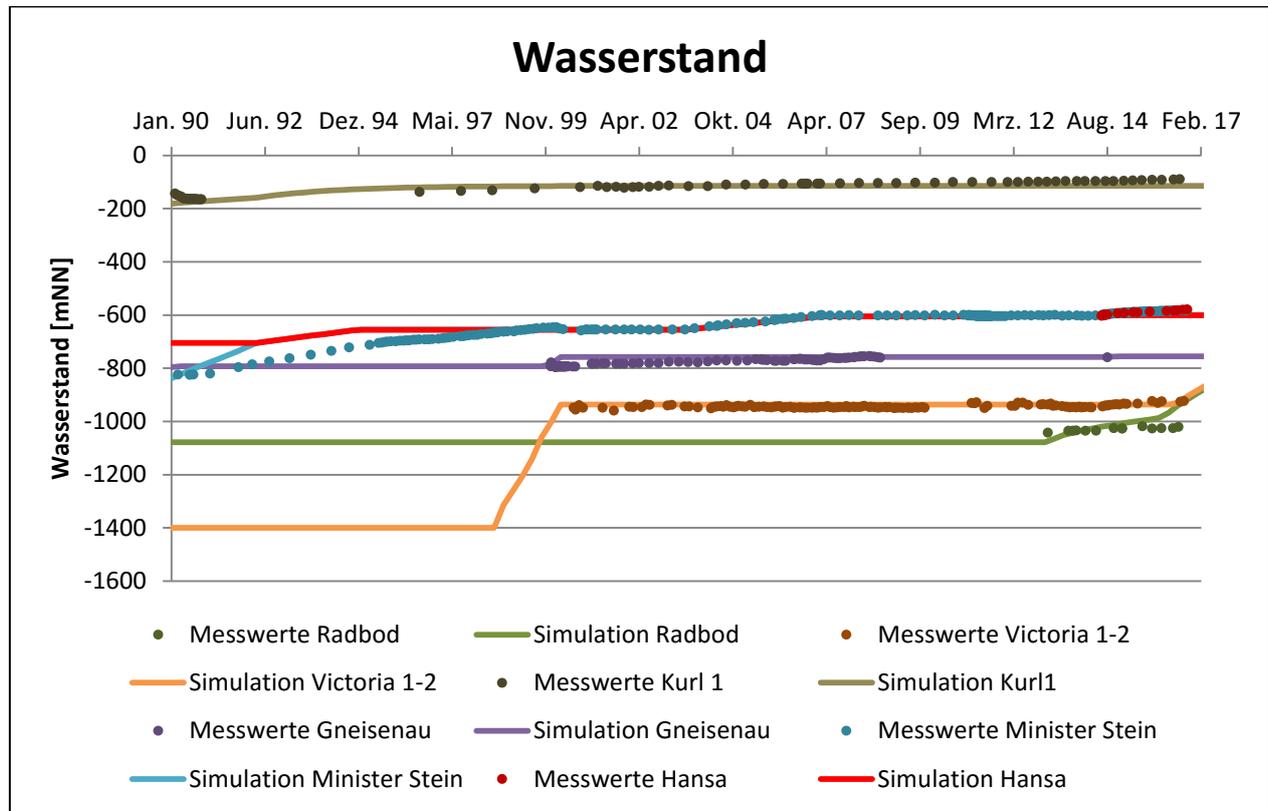


Abbildung 9: Nachrechnung der Wasserspiegelhöhen für verschiedene Bergwerksprovinzen

Wie anhand von Abbildung 9 deutlich wird, kann das hydraulische System mit der auf der Grundlage der beschriebenen konzeptionellen Ansätze implementierten Hydraulik gut abgebildet werden. Damit gehen wir davon aus, dass Konsistenz zwischen flutbaren Hohlraumvolumen und Zuflussmengengerüst besteht. Dies stellt eine entscheidende Grundlage für die Nachrechnung der Wasserqualität dar.

4.4.2 Chemische Nachrechnung

Die chemische Nachrechnung historischer Messwerte erfolgte für die Bergbauprovinzen Hansa, Haus Aden und Heinrich Robert, in denen Wasserhaltungen stattgefunden haben. Dabei wurden regelmäßig Wasserproben entnommen und auf deren chemische Zusammensetzung analysiert. Leider liegen entsprechende Messwerte nicht aus den anderen Provinzen vor. Zudem sind die Monitoringdaten in der Regel auch nur für einen begrenzten Zeitraum vorhanden.

Grundsätzlich können die Elemente aufgrund des korrelierenden Verlaufs in verschiedene Kategorien unterteilt werden. Dies sind durch Pyritoxidation mobilisierte Elemente (Eisen, Sulfat, Kar-

bonat), durch Fällung stark beeinflusste Elemente (Barium) und durch die Zuflüsse beeinflusste Elemente (Halogenide, Alkali- und Schwermetalle). Für die Auswertung/Modellkalibrierung werden SO_4 , Cl, Fe und Ba mit punktuellen Messwerten der drei Provinzen Hansa, Haus Aden und Heinrich Robert verglichen.

Mit dem Modell wurden Prognosen für eine Reihe weiterer Stoffe erstellt. Diese sind jedoch für das Prozessverständnis weniger relevant.

Bergwerksprovinz Hansa

In Abbildung 10 ist die zeitliche Entwicklung der SO_4 – Konzentration in der Bergwerksprovinz Hansa aufgetragen. Das Diagramm enthält die simulierte Konzentration (rot) und Messwerte (blaue und grüne Marker) aus verschiedenen Monitoringkampagnen. Die Entwicklung der SO_4 – Konzentration in der Bergwerksprovinz Hansa ist dahingehend interessant, dass durch die stufenweise Flutung SO_4 aus der Pyritverwitterung mobilisiert und ausgewaschen wurde (durch zwei Peaks bzw. Depressionen charakterisiert). Diese Tatsache ermöglicht es, das Inventar der Produkte der Pyrit- und Karbonatauflösung zu kalibrieren sowie die Richtigkeit des Fließbaumes zu prüfen. Es ist erkennbar, dass die Peaks und Depressionen mit dem Kompartimentsmodell dargestellt werden können, auch wenn die Amplitude nicht erreicht wird. Mögliche Ursachen liegen in der inhomogenen Verteilung der Pyritprodukte sowie der vertikalen Diskretisierung der 20 Zellen zur Beschreibung des umgebenden Gesteins. Dies spielt jedoch für die langfristige Prognose nur eine nachgeordnete Rolle.

In Abbildung 11 ist die zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration in der Bergwerksprovinz Hansa dargestellt. Die Konzentrationsabnahmen sind immer das Resultat der Diffusion in das angrenzende Gestein, wenn eine Wasserspiegelerhöhung stattfindet. Der Anstieg ist die Folge des Zuflusses aus der Provinz Minister Stein, in der die Cl - Konzentration auf ein Maximum von ca. 27000 mg/l kommt. Die Messwerte, die nach der zweiten Flutung auf dem Niveau von -605 mNN aufgenommen wurden, können mit der Simulation abgebildet werden.

Die Abbildung 12 zeigt die zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration in der Bergwerksprovinz Hansa. Die zahlreichen Peaks sind zurückzuführen auf die intervallartige Grubenflutung, wie sie bereits für das Sulfat erläutert wurde. Die Abbildung der Messwerte ist durch die Simulation etwas unterschätzt. Wie für die Entwicklung der Sulfatkonzentration ist ein abfallender Trend zu beobachten, der aus der Mobilisierung der Pyritprodukte stammt. Eine Ausfällung des Eisens wird nicht vermutet, da entsprechende Reaktionspartner fehlen.

Abbildung 13 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration in der Bergwerksprovinz Hansa. Die höchste Konzentration an Barium besteht im initialen Zustand. Die anschließende Flutung mobilisiert Sulfat, das mit Barium das Mineral Barit bildet und ausfällt. Während das Flutungsniveau konstant bleibt, gelangt Barium über die untertägigen Zuflüsse und aus anderen Gruben in die Provinz Hansa. Dieser Trend wird quantitativ vom Modell erfasst und bildet die gemessenen Konzentrationen gut ab.

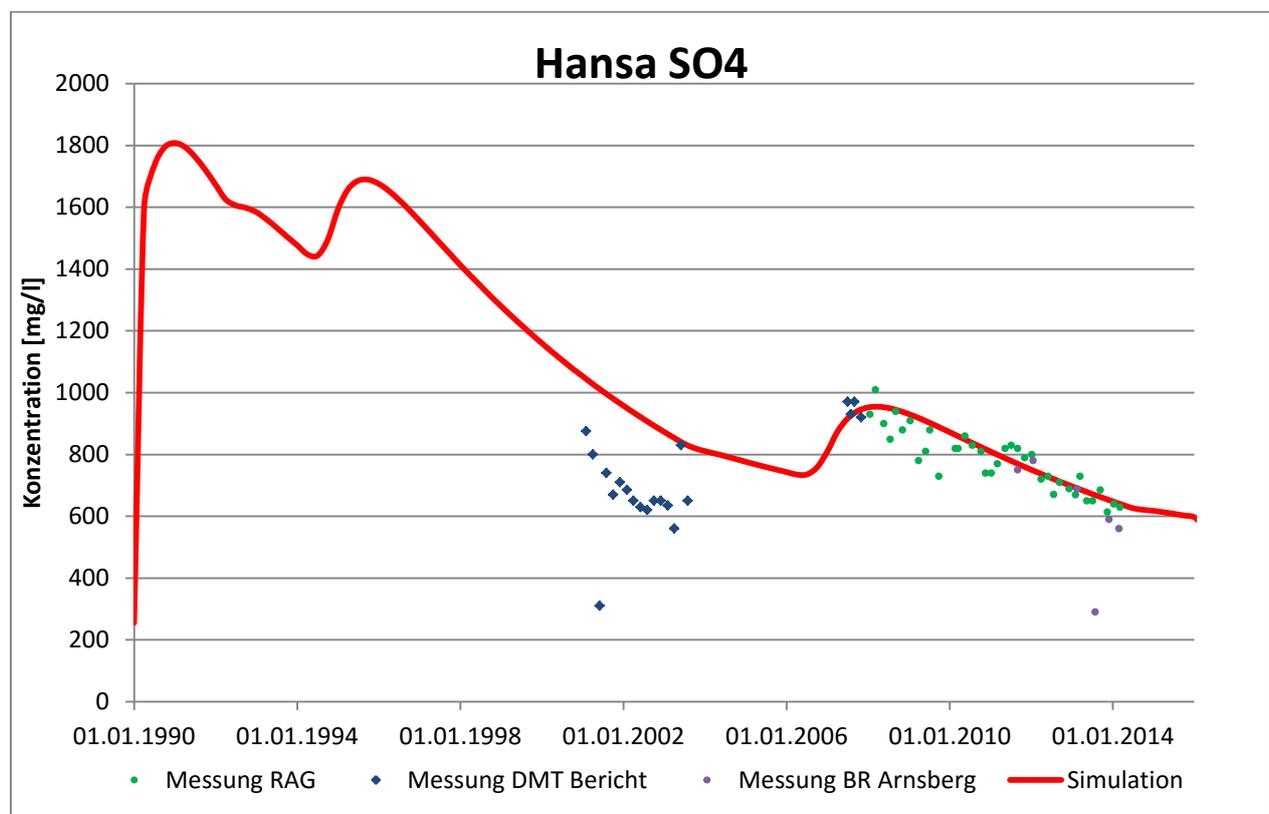


Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung der SO₄– Konzentration für die Provinz Hansa

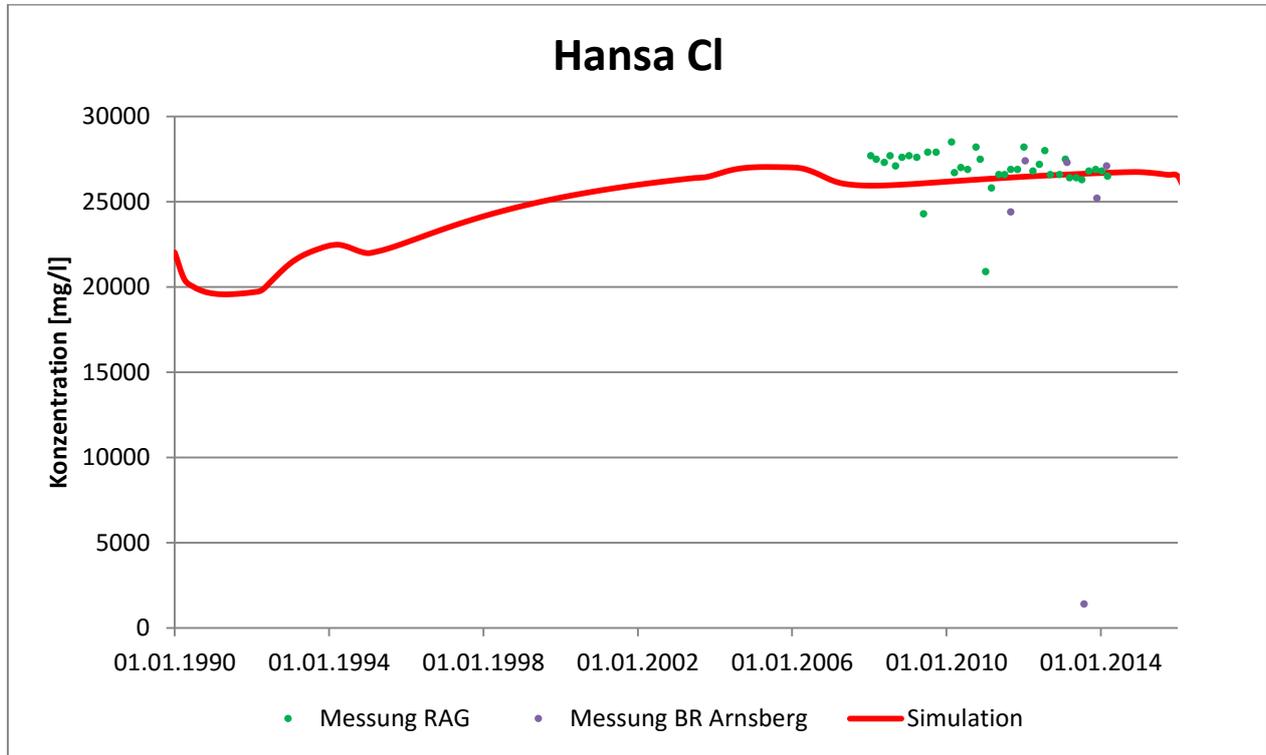


Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Hanse

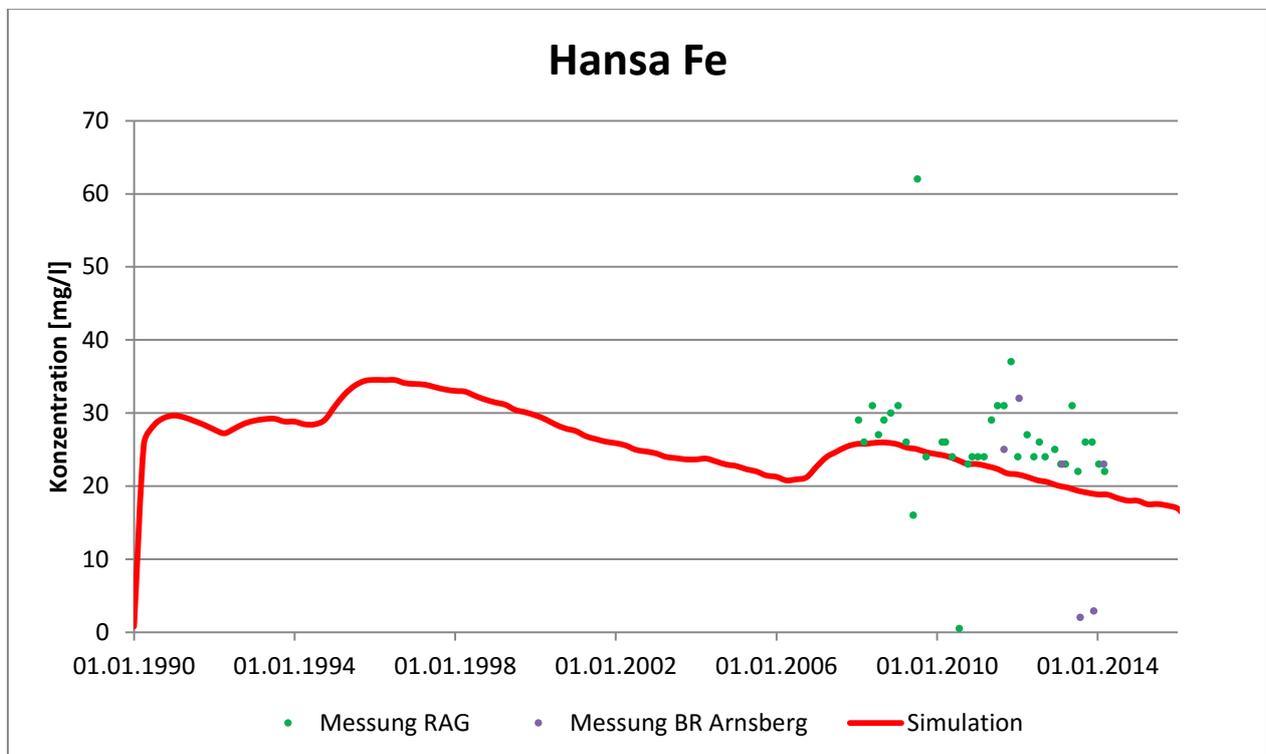


Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Hanse

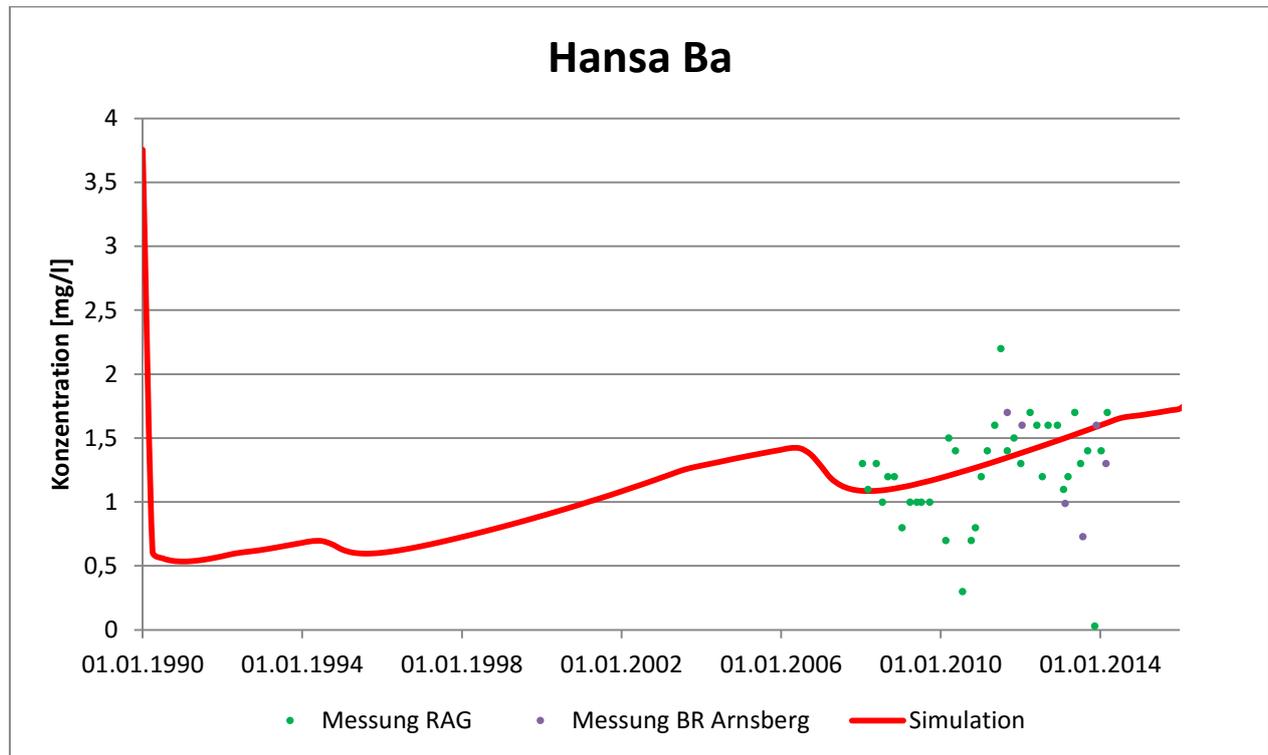


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Hansa

Bergwerksprovinz Haus Aden

Über die Provinz Haus Aden soll in Zukunft die einzige Wasserhaltung laufen, daher ist es von wichtigem Interesse, für diese Provinz ein gut kalibriertes Modell zu erzeugen. Für die Messwerte des RB Arnsberg existieren vier Analyseergebnisse, die starke Abweichungen für alle Bestandteile aufweisen. Es wird vermutet, dass die Proben nicht im Hauptstrom von Haus Aden genommen worden. Genaue Angaben zur Beprobung waren nicht bekannt.

In Abbildung 14 ist die zeitliche Entwicklung der SO_4 – Konzentration in der Provinz Haus Aden dargestellt. In den 90er Jahren war der Sulfatgehalt hoch, da Pyritprodukte aus dem umgebenden Gestein in die Grube gelangten. Nachdem die Wasserhaltung Victoria 1-2 eingestellt wurde (1998) und der darauf folgende Wasseranstieg die Freisetzung weiteren mobilisierbaren Sulfats ermöglichte, stieg die SO_4 Konzentration sehr schnell in Haus Aden an. Anschließend erfolgte durch Einstellung der Wasserhaltung Gneisenau eine Verdünnung des Wassers. Dieser Prozess ist im Modell abgebildet. Allerdings wird die maximale SO_4 – Konzentration nicht erreicht. Auch die Auswaschkurve in Folge der Verdünnung durch das Wasser aus Gneisenau verläuft in der Simulation viel steiler.

Die gleiche Auffälligkeit ist in Abbildung 15 für die Cl – Konzentration und in Abbildung 16 für die Fe – Konzentration in der Wasserprovinz Haus Aden dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass die generelle Abnahme gut widerspiegelt werden kann. Allerdings verläuft die simulierte Auswaschkurve viel steiler. Dieser steile Verlauf ist so nicht erklärbar. Es wird vermutet, dass ein weiterer Quellterm vorhanden sein muss. Dieser kann ein Resultat von Evaporiten sein. Indizien hierfür wären Stalagtiten und Stalagmiten. Es kann aber auch vermutet werden, dass in dieser Region ggf. weitere Stoffquellen (ggf. verbrachte Aschen oder ähnliche Stoffe) ausschlaggebend für das geringe Abklingverhalten sind. Detailinformationen hierzu liegen allerdings nicht vor.

Da die Fe und die SO_4 – Konzentrationen analog verlaufen, wird vermutet, dass das im Gestein vorhandene Stoffpotenzial an Verwitterungsprodukten der Sulfidoxidation in den angeschlossenen Provinzen höher war als im Durchschnitt. Wie in Abschnitt 4.2 erläutert, wurde dieses Inventar jedoch bewusst für alle Provinzen einheitlich mit dem Grubenvolumen korreliert. Das Verständnis dieser beobachteten lokalen Abweichungen setzt eine deutlich umfangreichere und detailliertere Datenlage voraus, die leider nicht verfügbar ist. Dieser Sachverhalt ist insofern hinnehmbar, da es sich nur um temporäre Auswascheffekte handelt und die Wasserzusammensetzung zum Ende der Simulation sehr gut abgebildet werden kann.

Der zeitliche Verlauf des Bariums in der Provinz Haus Aden wird in Abbildung 17 dargestellt. Barium zeigt vor Beendigung der Wasserhaltung Gneisenau (2000) eine Erhöhung der Konzentration, die auf dem Zufluss aus der Provinz Haus Aden Nord beruht. Die anschließende Konzentrationsverringerung liegt v.a. an dem Zustrom des bariumarmen Wassers aus Gneisenau und Kurl. Dass dieses Wassers die zentrale Rolle in der Wasserzusammensetzung spielt, wird durch das Modell beschrieben, indem auch die Konzentrationen des Bariums ab 2008 korrekt abgebildet werden.

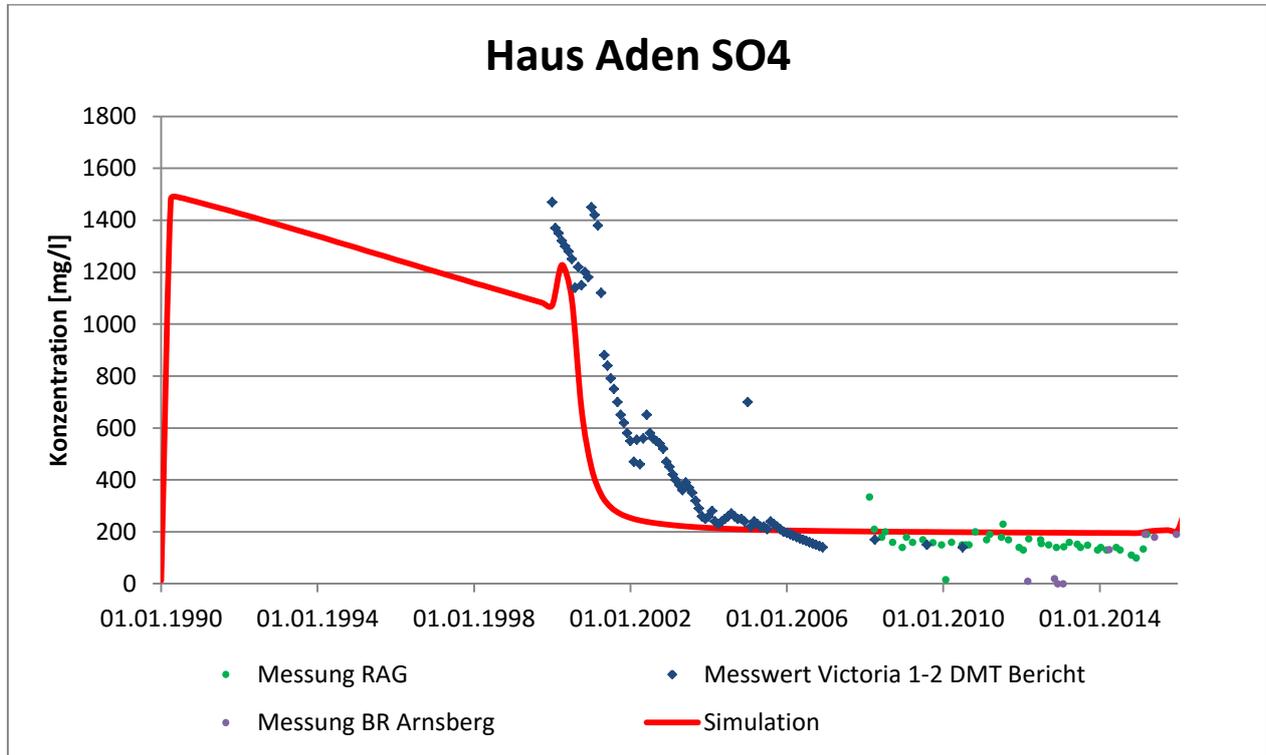


Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der SO₄ – Konzentration für die Provinz Haus Aden

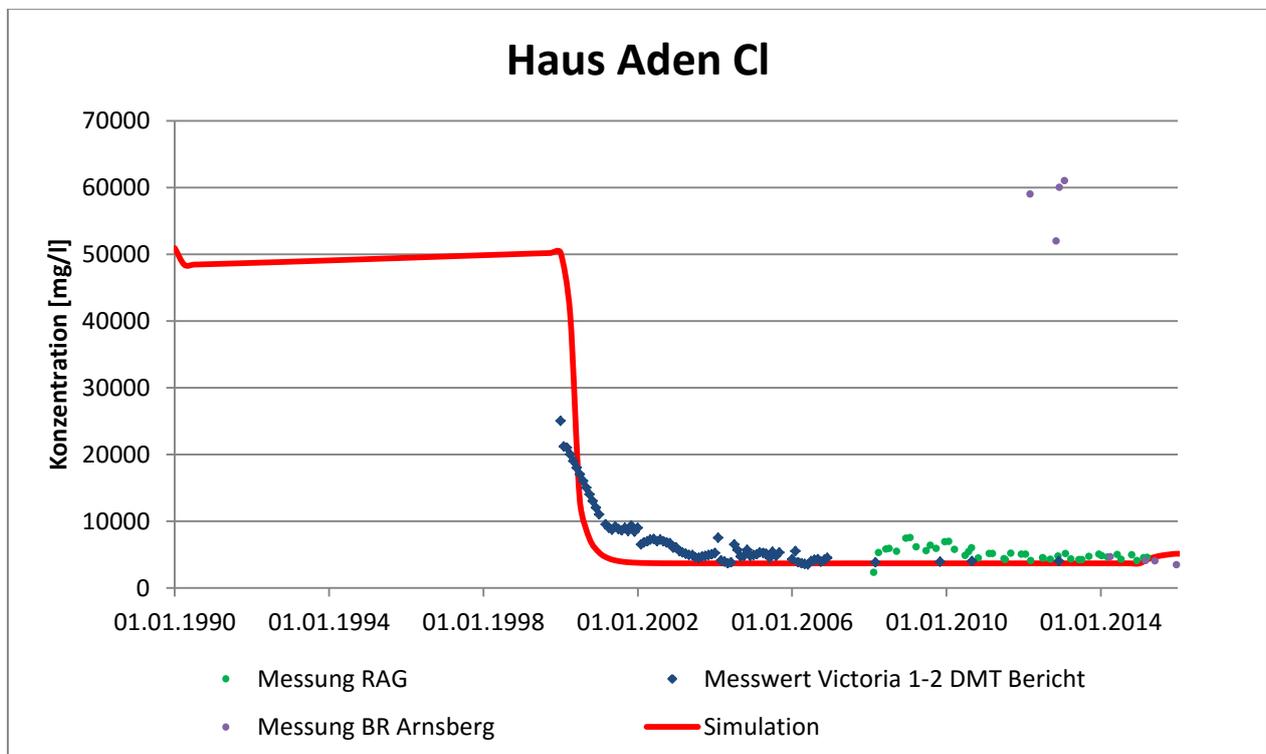


Abbildung 15: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Haus Aden

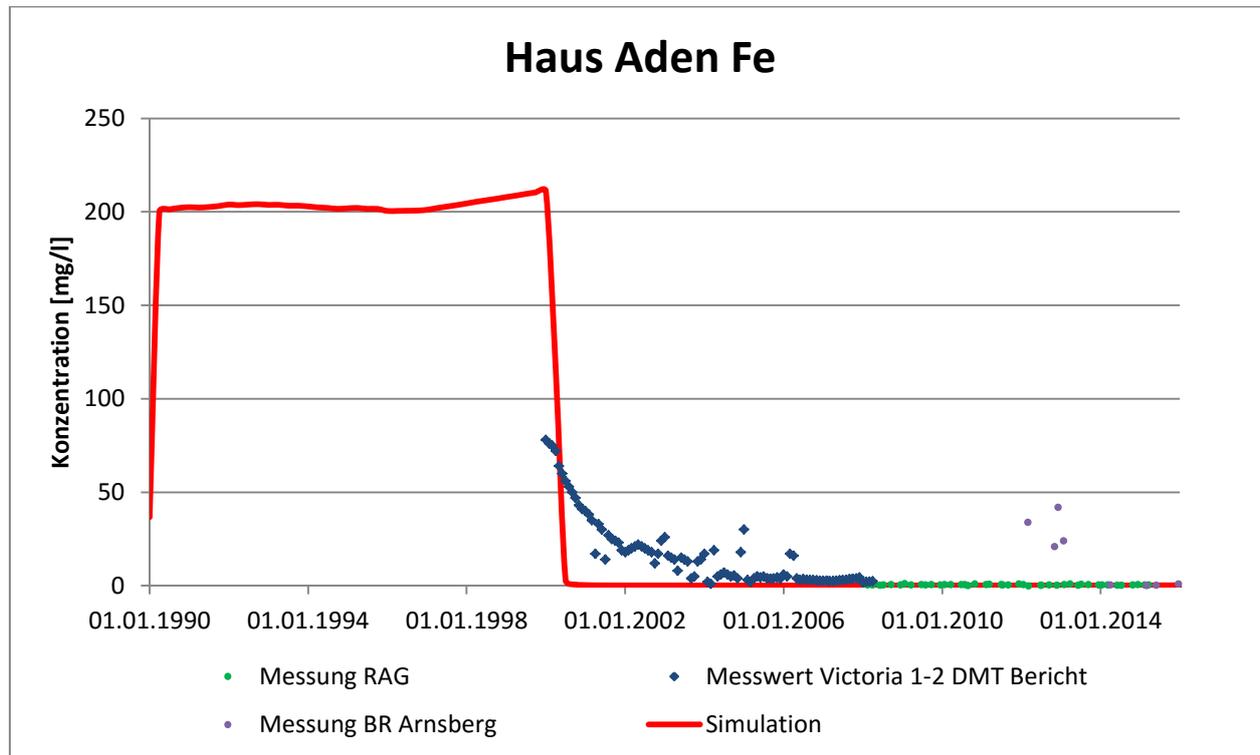


Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Haus Aden

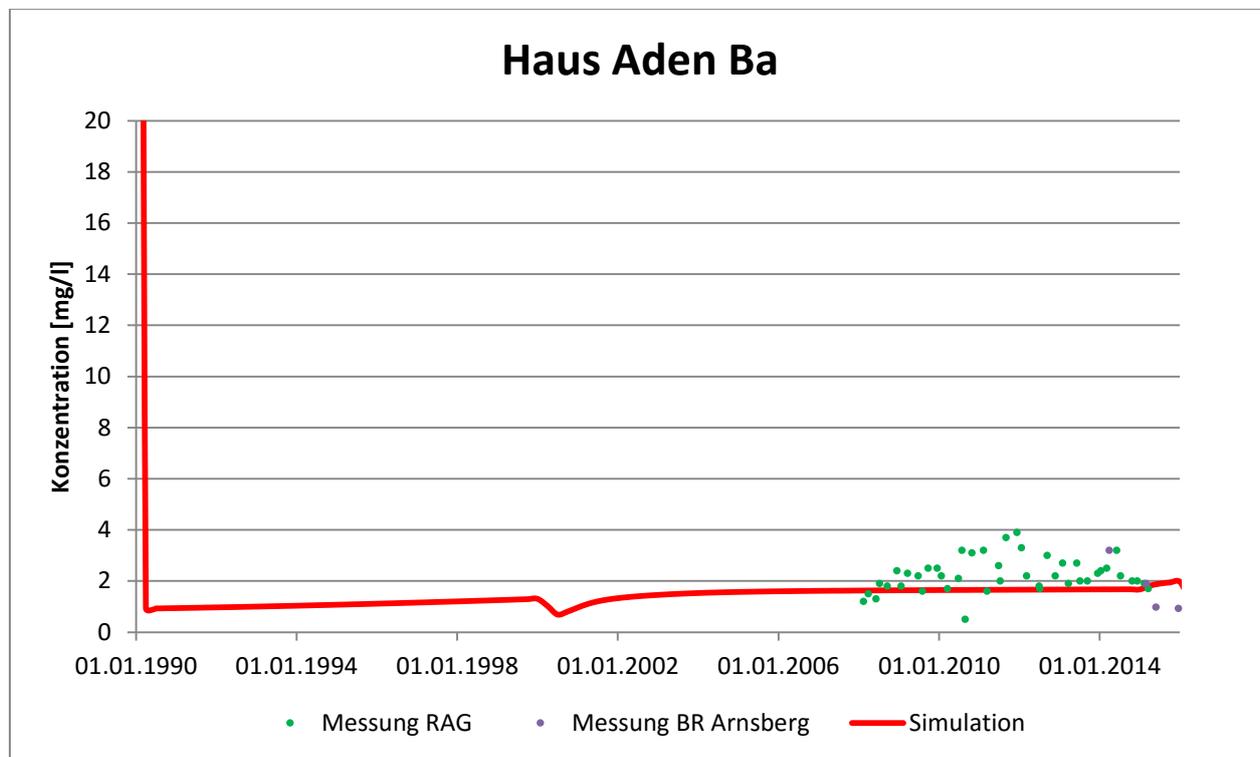


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Haus Aden

Bergwerksprovinz Heinrich Robert

Die Nachrechnung der Konzentrationsentwicklung in der Bergwerksprovinz Heinrich Robert ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die Entwicklung der SO_4 Konzentration ist in Abbildung 18 zu sehen. Nahezu identisch verhält sich die Fe – Konzentration (Abbildung 20). Es ist erkennbar, dass Sulfat und Eisen ansteigen, sobald eine Wasserspiegelerhöhung stattfindet. Der Anstieg zu Beginn der 90er Jahre hängt von den gewählten Anfangsbedingungen ab und kann falsch sein. Dies ist ohne Messwert nicht prüfbar. Allerdings hat der Peak keine Folgen auf die weitere Simulation. Anschließend bleibt das simulierte Sulfat- und Eisenniveau bis 2012 niedrig. Dies kann teilweise durch Messungen bestätigt werden. Im Sommer 2008 existiert ein gemessener Peak der Sulfatkonzentration, der nicht eindeutig erklärbar ist. Mögliche Ursachen können sein, dass einmalig Eisen- und Sulfat-haltiges Wasser in die Provinz gelangte oder es zu einem kurzen Anstieg des Wasserspiegels und der damit verbundenen Mobilisierung von Produkten der Pyritverwitterung kam, das anschließend wieder verdünnt wurde. Diese Thesen können aber nicht belegt werden, da entsprechende Detailinformationen fehlen.

Die Entwicklung der Konzentrationen des Chlorids (Abbildung 19) und Bariums (Abbildung 21) verhalten sich ähnlich. Diese bleiben simuliert bis 2012 konstant bei etwa 48 g/l (Cl) und 115 mg/l (Ba). Die anfänglich niedrige Konzentration des Bariums lag an der Ausfällung von Barit (BaSO_4), was von der Aufkonzentrierung des Sulfats angetrieben wurde. Wie diskutiert, gibt es Unsicherheiten bzgl. der Annahme des initialen Wasserstandes. Für die weitergehende Simulation hat dies keine Auswirkungen. Die Messwerte können bis zum Frühjahr/Sommer 2010 nachvollzogen werden. Es deutet sich an, dass ab dem Sommer 2010 ein anderes Wasser in die Provinz floss, das erhöhte Salinität aufweist. Entsprechend aller gemessener Zuflüsse in die Provinzen passt das Wasser der Provinz Radbod in das Profil des neuartigen Wassers. Dies würde aber der bis zum 02.03.2013 gelaufenen Wasserhaltung widersprechen. Es besteht auch die Möglichkeit, dass ab dem Sommer 2010 der Beprobungsstandort wechselte. Nähere Informationen sind dazu nicht bekannt.

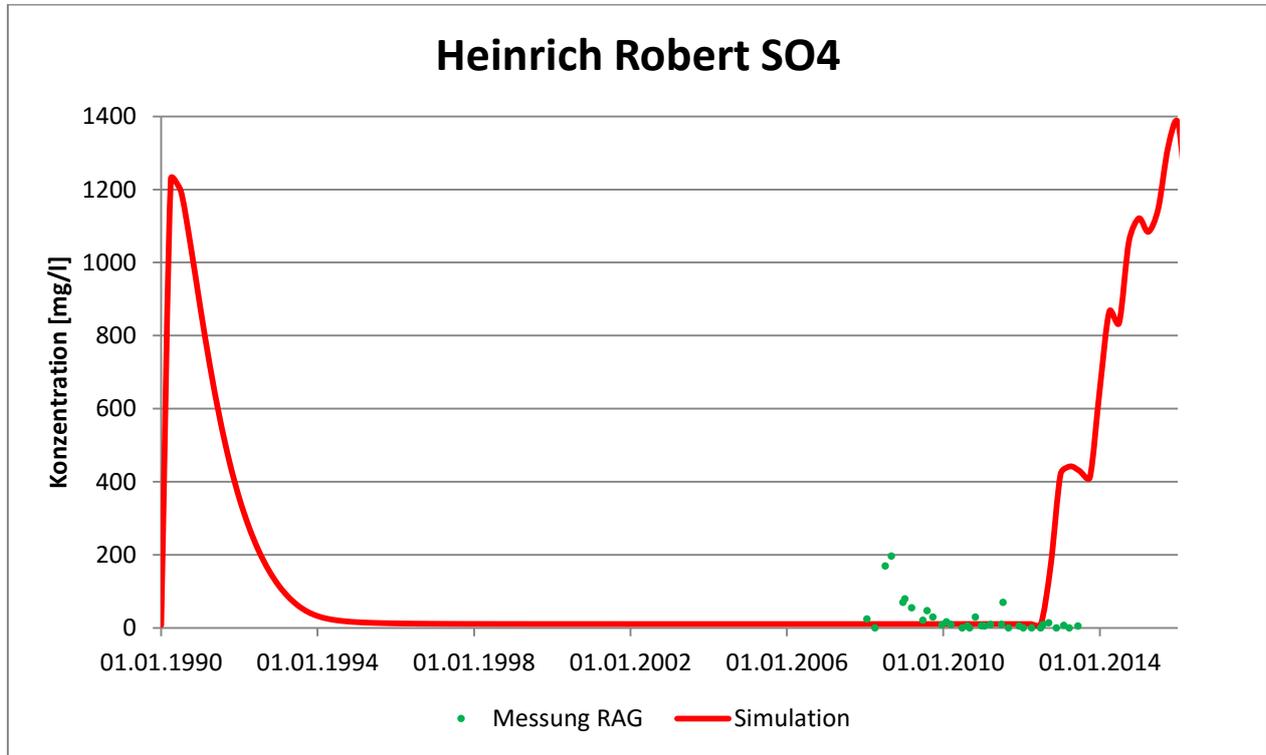


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der SO₄ – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert

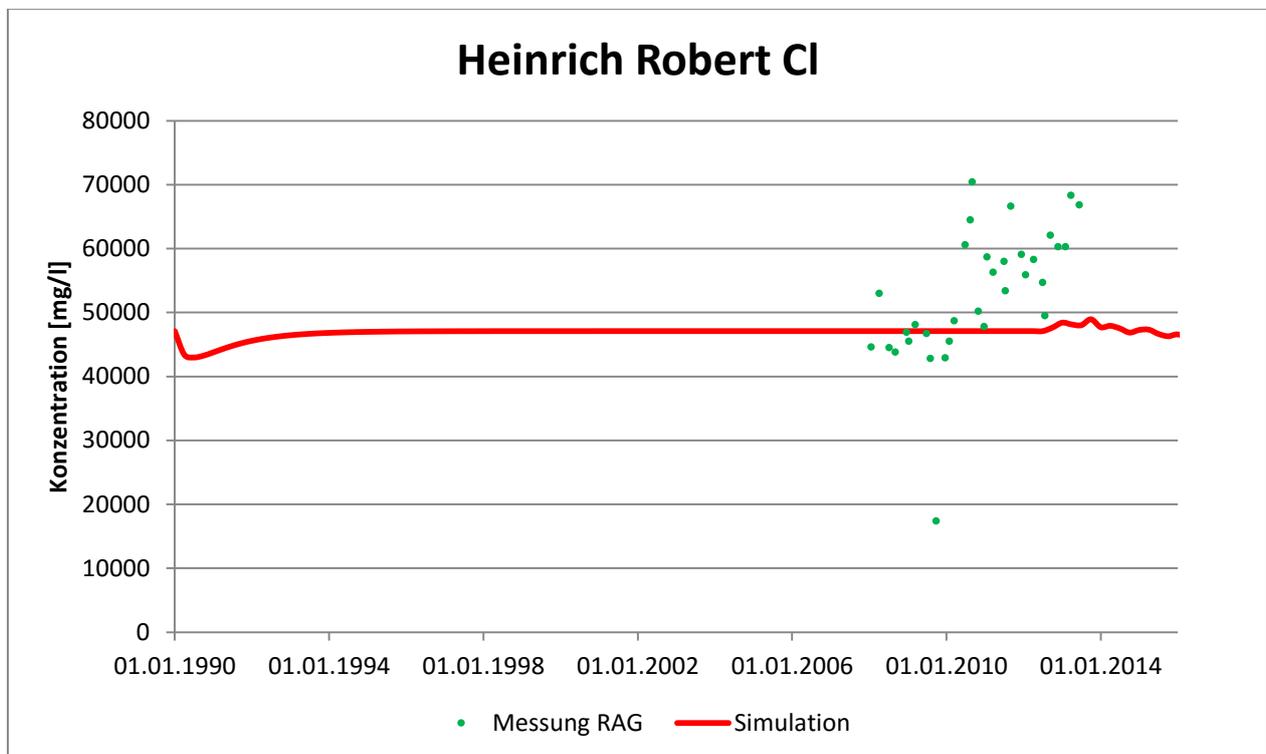


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert

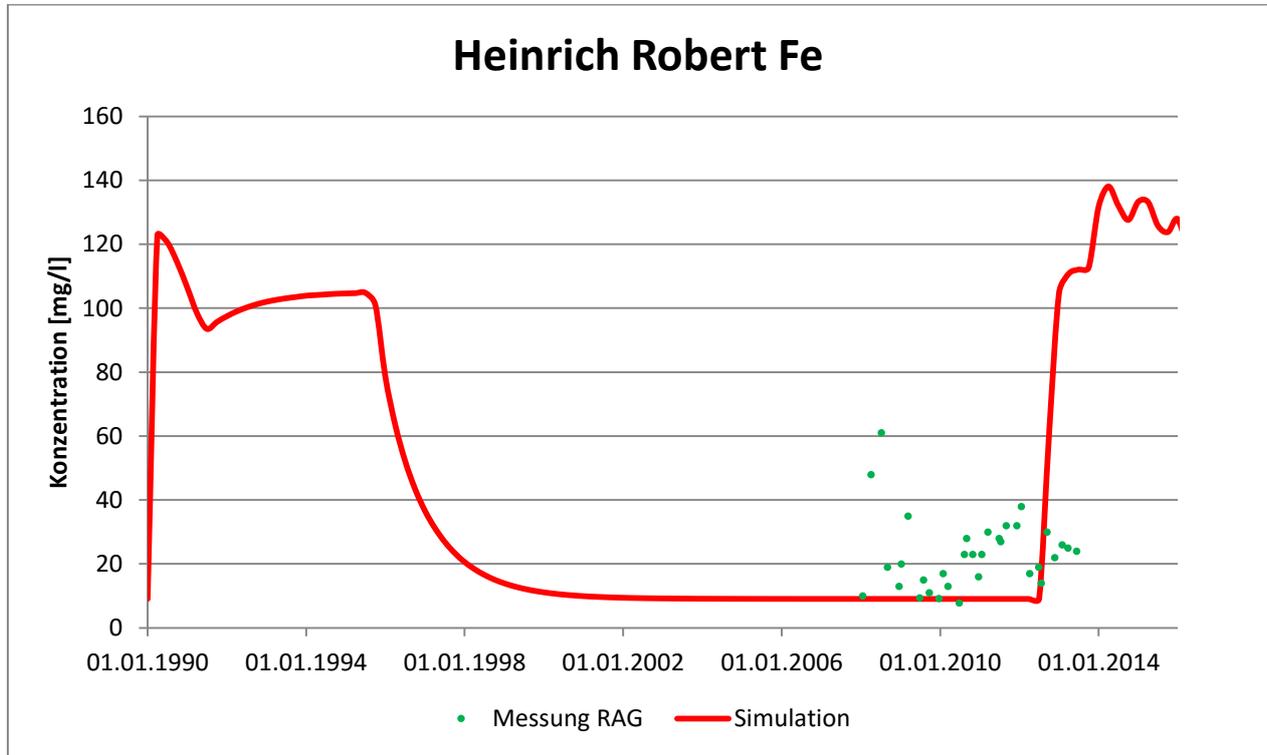


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert

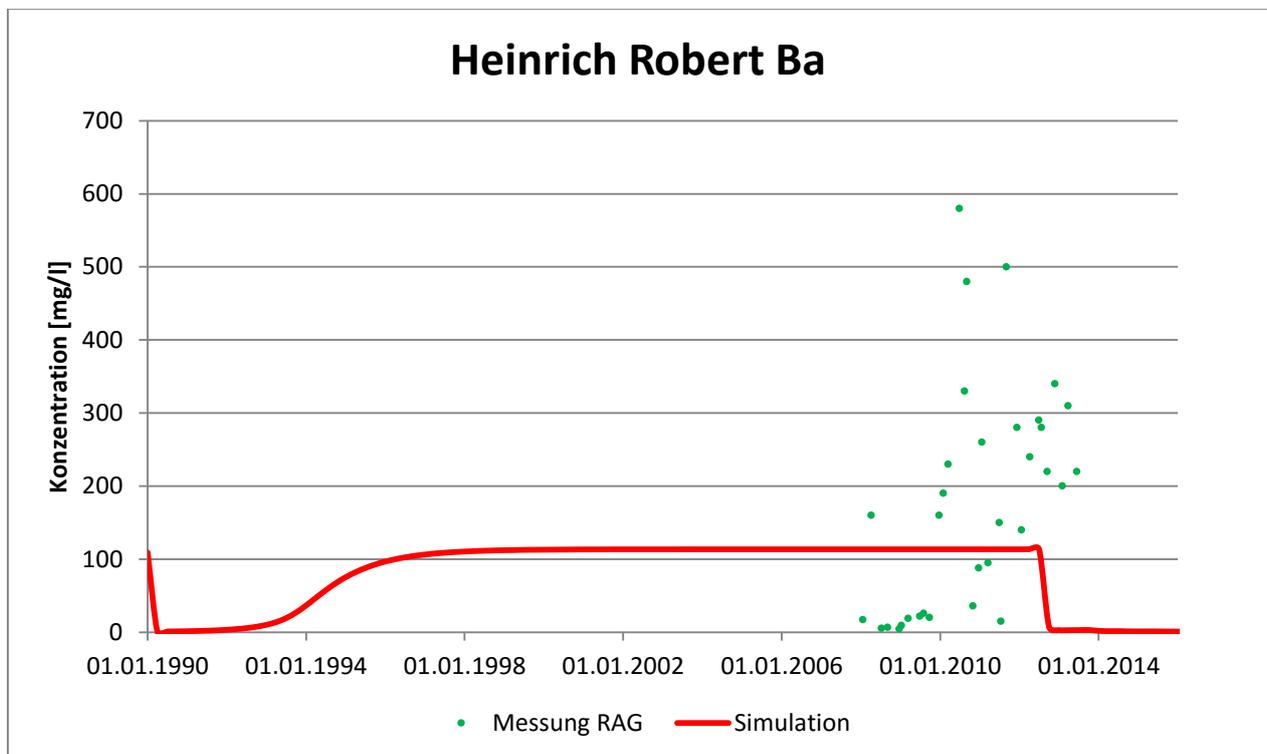


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Heinrich Robert

4.5 Prognose der Flutung

Nachdem sowohl die beobachtete Entwicklung der Wasserstände als auch der Wasserqualität mit dem entwickelten Modell nachvollzogen werden konnte, erfolgt in diesem Abschnitt eine Prognose der weiteren Flutung.

4.5.1 Prognose der Flutungshydraulik

Im Modell wurde der Flutungsbeginn des Standortes Haus Aden auf den 31.01.2016 gelegt. Der Termin ist an die im DMT Bericht veranschlagte zeitliche Verzögerung nach Abschaltung der Wasserhaltung Heinrich-Robert angelehnt. Bereits im Vorfeld wurden die Wasserhaltungen Hansa, Radbod und Monopol eingestellt. Dies resultierte bereits zum Anstieg des Wasserspiegels auf das -981 mNN Niveau (Abbildung 22). Nach Beginn der Flutung vergehen etwa 4,5 Jahre bis das -600 mNN Niveau erreicht wird. Die notwendige Förderrate der folgenden Wasserhaltung beträgt 24,2 m³/min (Abbildung 23). Das bedeutet, dass nur ein geringfügiges Abdrücken der unterirdischen Zuflüsse stattfindet (Rate aller Zuflüsse zu Beginn der Flutung: 26,9 m³/min). Rund 80% dieser Wassermenge stammt aus den Provinzen Gneisenau, Kurl und Kurl 1.

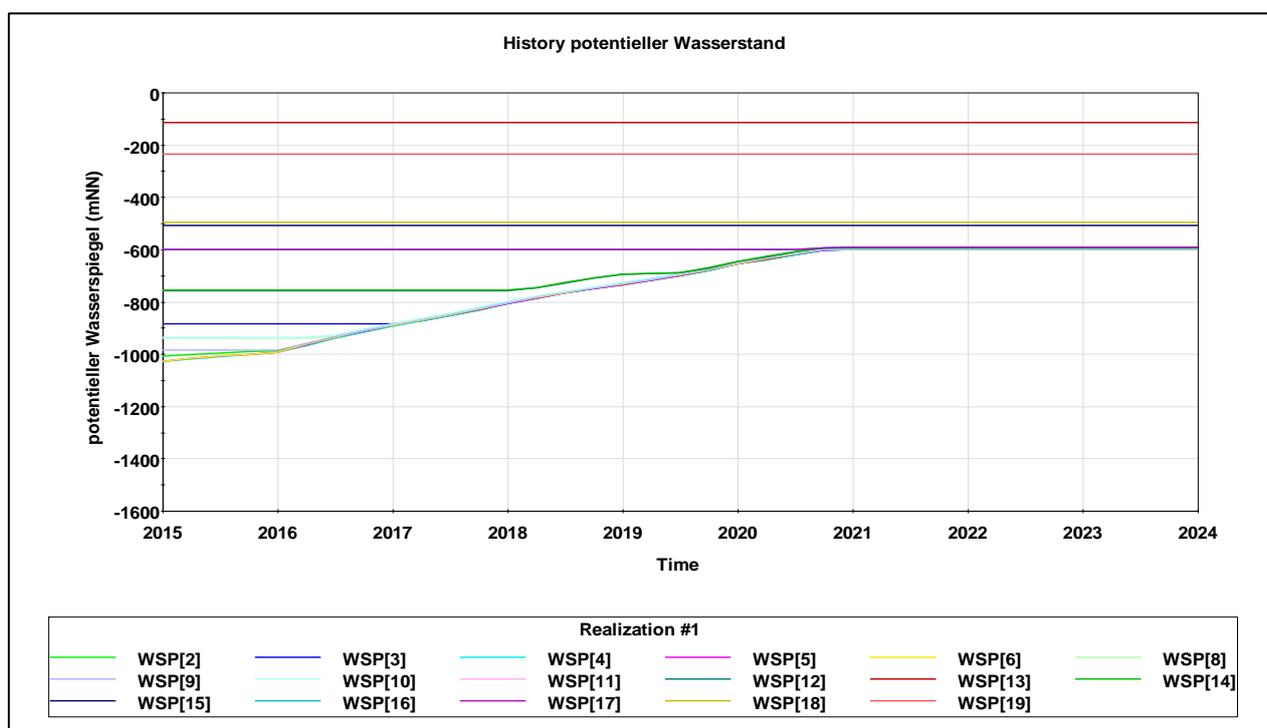


Abbildung 22: Prognose zur Entwicklung des potentiellen Wasserstandes ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)

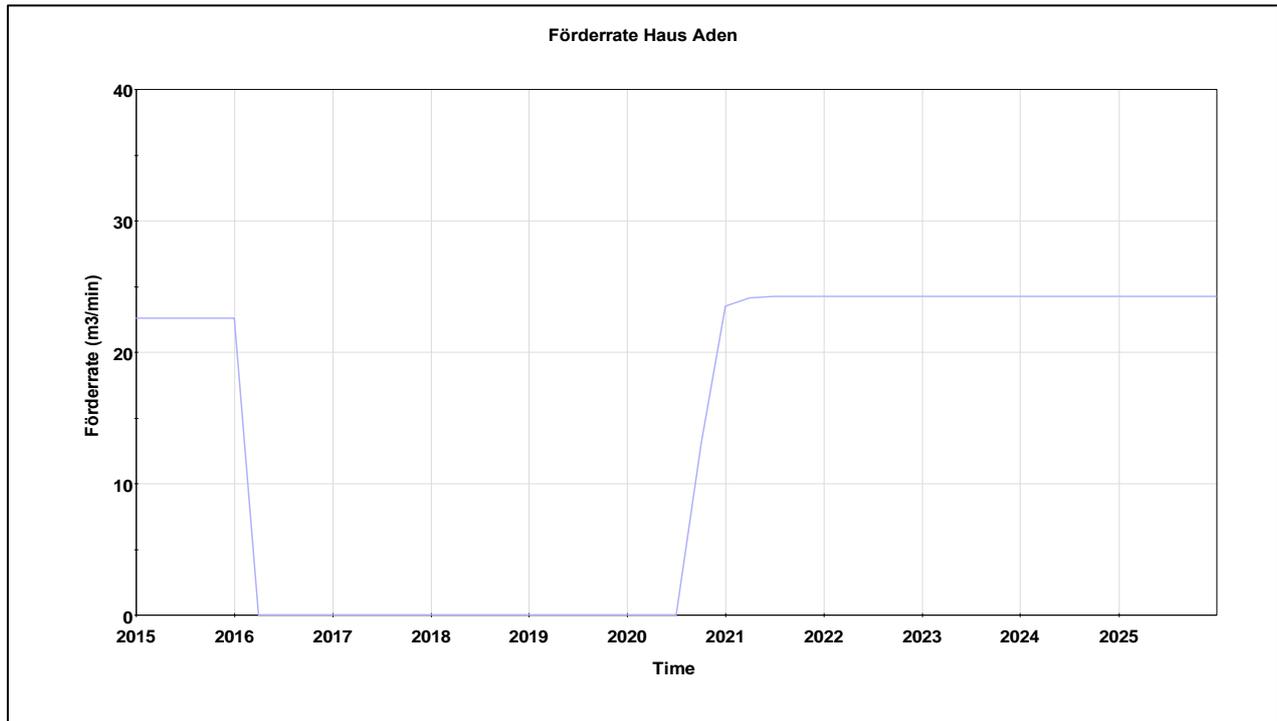


Abbildung 23: Prognose zur Entwicklung der Förderrate für die Wasserhaltung Haus Aden

4.5.2 Prognose der Flutungswasserqualität

In diesem Abschnitt wird eine Prognose zur Entwicklung der chemischen Qualität des geförderten Wassers aus der Wasserhaltung Haus Aden abgegeben. Nach der hydraulischen Prognose besteht das Wasser zu 80% aus den Zuflüssen von Gneisenau, Kurl und Kurl 1. Diese Wässer fließen seit 2000 in die Grube Haus Aden, sodass kaum Änderungen der Bestandteile (ohne mobilisierbares Reservoir) zu erwarten sind. Die Entwicklung der Cl Konzentration belegt dies (Abbildung 25). Der Anstieg der Chloridkonzentration von etwa 3700 mg/l auf etwa 5300 mg/l ab 2015 ist der Abschaltung der Wasserhaltung Hansa geschuldet. Salinares Wasser aus Minister Stein mischt sich mit dem Gneisenau Wasser und fließt über Kurl nach Haus Aden. Nach Erreichen des -600 mNN Niveaus sinkt die Cl Konzentration zunächst und steigt dann ganz langsam wieder an. Der Effekt des Absinkens tritt auf, da im Vorfeld Teilströme des westlichen Teils in die Flutung des östlichen Bergwerksteils flossen. Der leicht ansteigende Trend wird noch anhalten, bis die östlichen Zuflüsse das ursprüngliche Konzentrationsgleichgewicht einstellen. Diese Konzentration wird sich im Jahre 2027 vermutlich bei ca. 5000 mg/l befinden. Die Konzentrationen von Sulfat (Abbildung 24) und Eisen (Abbildung 26) steigen bis zum Erreichen des Flutungs-niveaus um den Faktor 3,5, wobei Teile des Sulfats in Form von Barit und Teile des Eisens in Form von Siderit ausfallen. Die Quelle beider Bestandteile ist der Anteil aus der Pyritverwitterung, der

durch den Wasseranstieg mobilisiert wird. Anschließend fallen die Konzentrationen erneut und SO_4 erreicht eine Konzentration bei etwa 280 mg/l, die sukzessive abnimmt. Das Fe fällt zunächst auf 0,27 mg/l und steigt nachfolgend auf 0,33 mg/l. Es wird erwartet, dass aufgrund der Freisetzung des Eisens durch Auflösung des Eisenkarbonats (Siderit), dieser Anstieg nicht wesentlich weiter ansteigt. Das Barium ist Teil des Barits, welches während der Flutung ausfallen wird. Da Sulfat stark mobilisiert wird, verringert sich die Konzentration an Barium (Abbildung 27). Nachdem das mobilisierbare Sulfat der Grube aufgebraucht ist, steigt die Ba Konzentration entsprechend der Nachlieferung aus den anderen Provinzen wieder an. Die sich einstellende Ba Konzentration wird bei etwa 1,6 mg/l liegen.

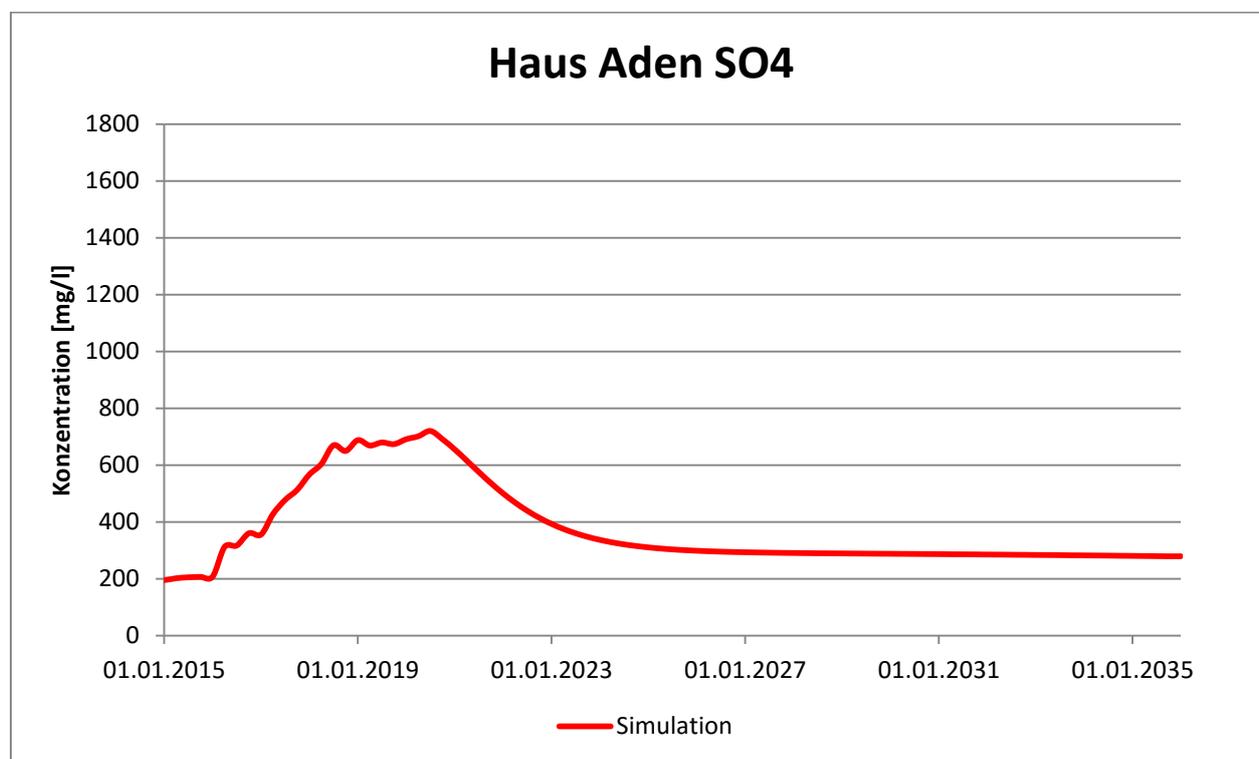


Abbildung 24: Prognose zur Entwicklung der SO_4 – Konzentration für die Provinz Haus Aden

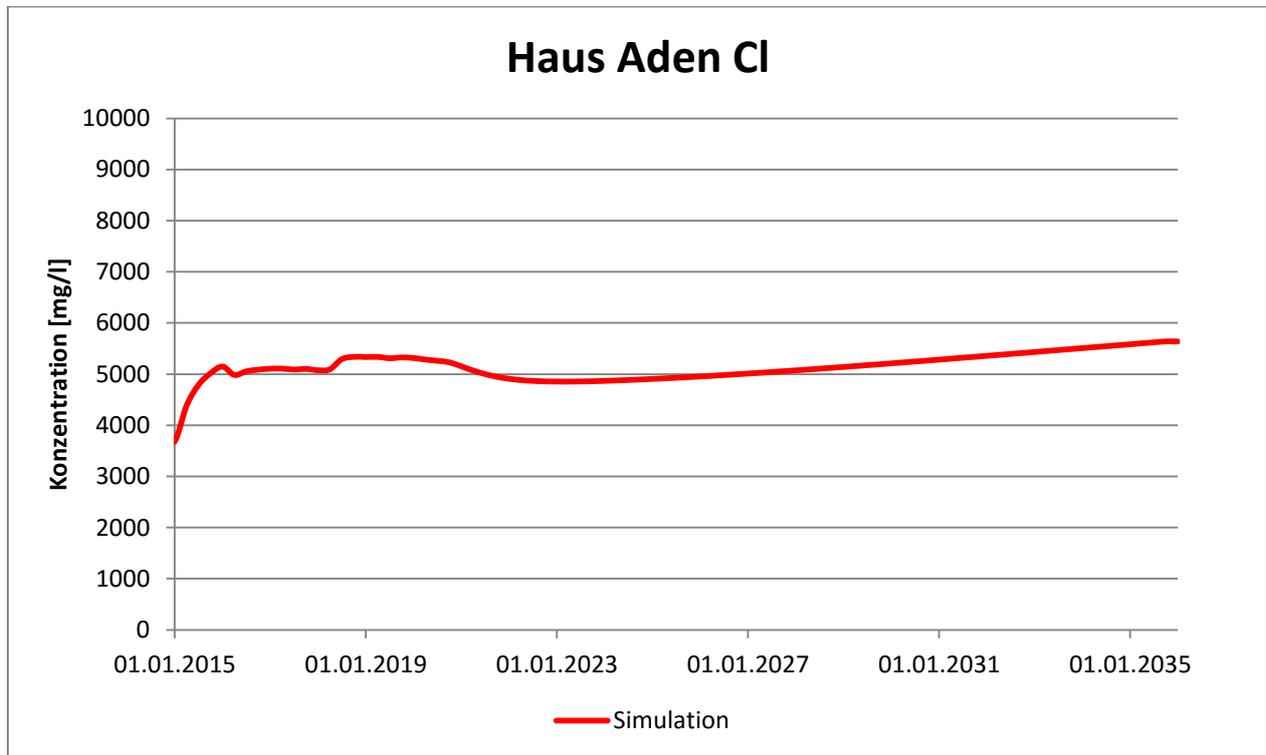


Abbildung 25: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration für die Provinz Haus Aden

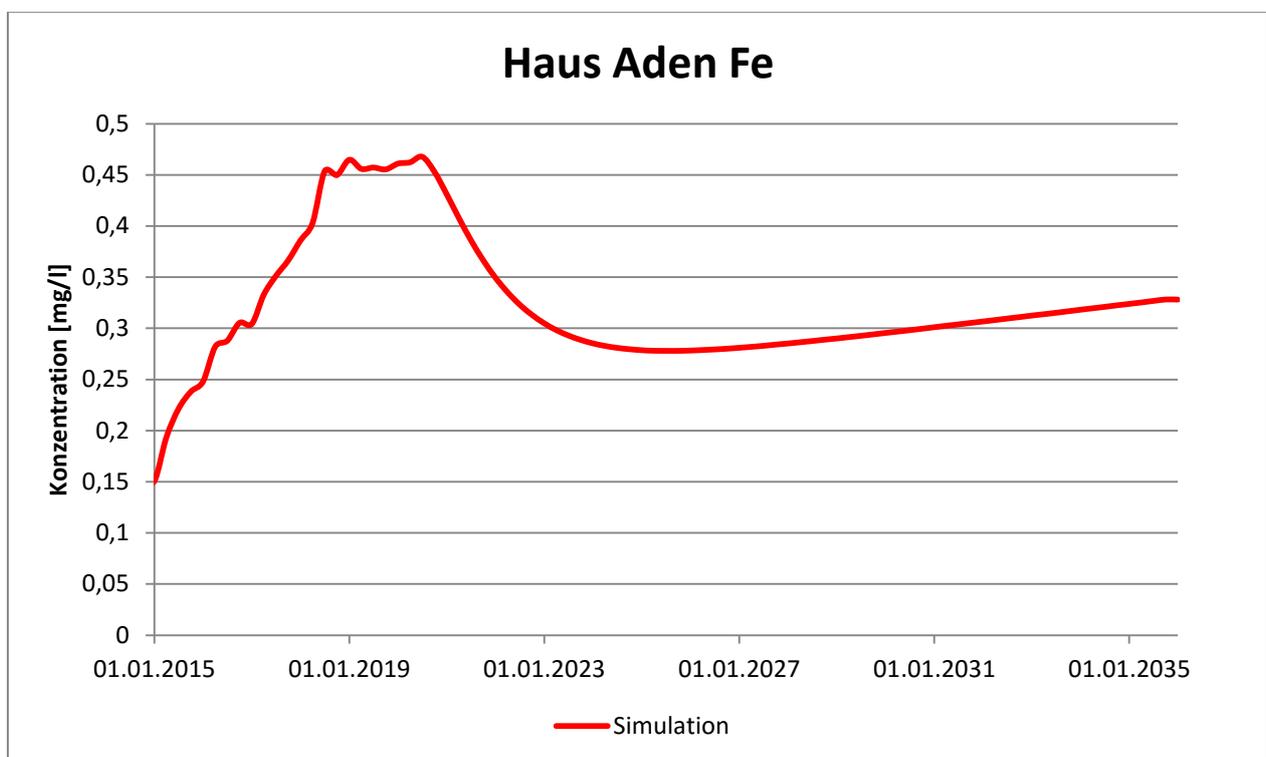


Abbildung 26: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration für die Provinz Haus Aden

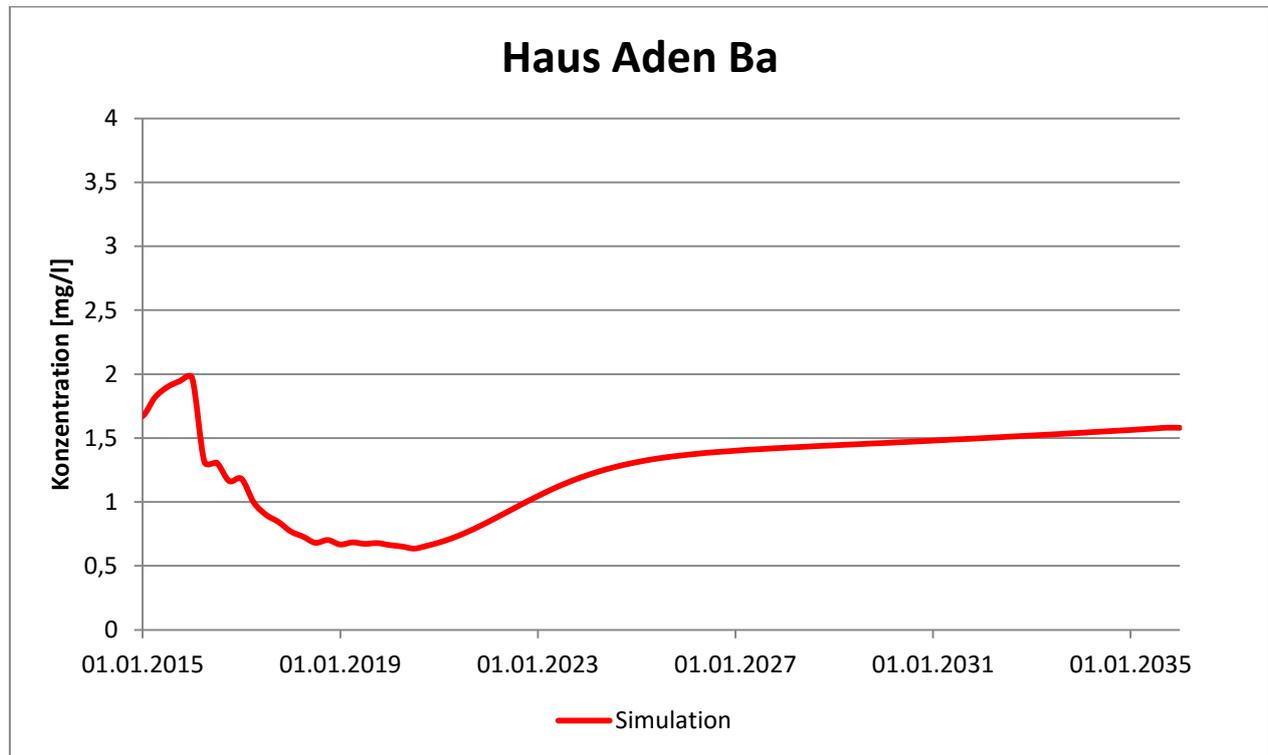


Abbildung 27: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration für die Provinz Haus Aden

Die zu erwartende Wasserqualität in Haus Aden ist sehr vom Beginn der Flutung in Haus Aden abhängig. Exemplarisch soll die Cl – Konzentration betrachtet werden. Die Einstellung der Wasserhaltung in Heinrich Robert bewirkt einen Anstieg des Grubenwassers in den östlichen Provinzen. Diese Flutung hält an, bis der Wasserspiegel das Niveau von -984 mNN erreicht. Diese Teufe ist zum einen das Niveau der Wasserhaltung Haus Aden zum anderen die kritische Teufe, an der es zum Überlauf von hochsalinaren Wässern (ca. 46 g/l Cl) aus Grillo nach Haus Aden kommt. Die eingetragene Menge des hochkonzentrierten Wassers setzt sich aus der Gesamtheit aller Zuflüsse im östlichen Bereich des Bergwerks zusammen. Der Zufluss beträgt etwa 2,9 m³/min. Der Zufluss aus den westlichen Bergwerksprovinzen beträgt ca. 22,5 m³/min. Sobald das saline Wasser des Ostens nach Haus Aden eindringt, wäre eine Konzentrationserhöhung des geförderten Chlorids von 5 g/l auf bis zu 10 g/l zu erwarten. Da entsprechend des Modells und der zugrunde liegenden Parameter das -984 mNN Niveau im Bereich Grillo erreicht sein müsste, müsste der Anstieg der Konzentration messtechnisch feststellbar sein. Dies ist jedoch nicht der Fall. Eine zeitliche Verzögerung ist möglich, da diverse Unsicherheiten bzgl. des Anstiegsverhaltens der östlichen Provinzen bestehen. Eine sichere Kalibrierung war nicht durchführbar, da keine Monitoringdaten von Wasserständen in den östlichen Provinzen vorlagen. Die Autoren sind der Meinung, dass dieser Effekt auftreten wird und empfehlen die Konzentration des geförderten

Wassers regelmäßig zu prüfen, um bei einem Konzentrationsanstieg die Wasserhaltung einzu-
stellen und somit Konzentrationsspitzen im Fördervolumenstrom zu vermeiden.

4.6 Auswertung ausgewählter Massenbilanzen

Zur Erhöhung des Verständnisses der ablaufenden Prozesse sind in nachfolgender Abbildung 28
die Massenbilanzen der Spezies SO_4 , Cl, Fe und Ba für das gesamte Grubensystem in einem
Stapeldiagramm dargestellt. Gezeigt werden:

- die kumulierten Massen, die über die Wasserhaltungen aus dem System entnommen
werden (grüne Färbung)
- die kumulierten Massen, die dem Grubensystem für die Einbringung über die 45 Jahre
zur Verfügung stehen
 - untertägige Zuflüsse (hellrot)
 - technische Maßnahmen (dunkelrot)
- die kumulierten Massen, die im Grubensystem vorhanden sind (Speicherterm)
 - im Grubenhohlraum (hellblau)
 - im umgebenden Gestein (dunkelblau)

Eine Aufteilung des Speicherterms in gelöste und ausgefallene Spezies war nicht möglich. Die
Massenbilanzbetrachtung bezieht sich nur auf den Zeitraum 01.01.1990 – 31.12.2034. Die ange-
gebene Ordinate gibt den Massenanteil der jeweiligen Spezies in Bezug auf die initiale Masse
des Speicherterms im Grubenhohlraum an.

SO_4

Im initialen Zustand befindet sich das größte SO_4 Potential im Speicherterm des umgebenden
Gesteins. Es ist etwa 9-mal höher als initial in den Grubenwässern enthalten ist. Im zeitlichen
Verlauf verändert sich dieses Verhältnis während der Flutung auf das -600 mNN Niveau. Viel
 SO_4 diffundiert aus dem Gestein in die Grubenwässer. Die Summe beider Speicherterme geht
fast stetig zurück, da die entnommene Menge über die Wasserhaltungen höher ist als der Eintrag
über untertägige Zuflüsse. Es sollte auch bewusst sein, dass ein gewisser Teil des Speicher-
terms der Gruben als Bestandteil des ausgefallenen Barits vorliegt.

Cl

Das Hauptpotential des Cl stammt aus den untertägigen Zuflüssen. Über die 45 Jahre hinweg wird die 20-fache Menge der initialen Cl Menge in das Grubensystem eingebracht. Ein Großteil – ca. das 14-fache der initialen Cl-Masse – wird über die Wasserhaltungen wieder ausgetragen. Die restliche Masse hat sich in der Grube und dem umgebenden Gestein angereichert. Auch hier ist eine verstärkte Akkumulation zu Beginn der Flutung feststellbar, die auch nachfolgend anhält. Die fortschreitende Akkumulation ist auf die Aufkonzentrierung der östlichen Provinzen zurückzuführen, die in Folge des Eintrittes von Grubenwasser aus den westlichen Gruben und der damit verbundenen Versüßung während der Flutung verbunden war.

Dies wird sich kaum auf die zu fördernde Cl – Konzentration auswirken, da der wesentliche Anteil des Mischwassers aus den westlichen Provinzen stammt.

Fe

Analog zu SO_4 liegt das initiale Fe – Potential im Speicherterm des anstehenden Gesteins. Genauso wird ein Großteil während der Flutung mobilisiert und diffundiert in die Gruben. Der Anteil an gelösten und ausgefallenen Spezies konnte nicht bilanziert werden. Es ist anzunehmen, dass der gelöste Anteil wesentlich geringer ist. Die Masse, die dem System hinzugefügt wird, ist im Verhältnis zu den Speichertermen verschwindend gering. Es ist jedoch erkennbar, dass die Fe – Entnahme durch die Wasserhaltung zur Verringerung der Summe beider Speicherterme führt.

Ba

Die Hauptquelle des Ba sind die untertägigen Zuflüsse. Der Eintrag in das System im Laufe der 45 Jahre beträgt etwa das 51-fache der initialen Ba Masse in den Gruben. Der Austrag über die Wasserhaltungen (ca. 12-fache der initialen Masse) ist geringer als der Eintrag, sodass der Speicherterm des Grubensystems ansteigt. Wie für das Sulfat ist auch ein Teil des Speicherterms von Ba Bestandteil des ausgefallenen Barits. Insbesondere in der Zeit nach der Flutung ist kaum ein Austrag an Ba zu verzeichnen, da die SO_4 -haltigen Wässer der westlichen Gruben auf die Ba-haltigen Wässer der Ostgruben treffen und die Ausfällung von Barit erhöhen.

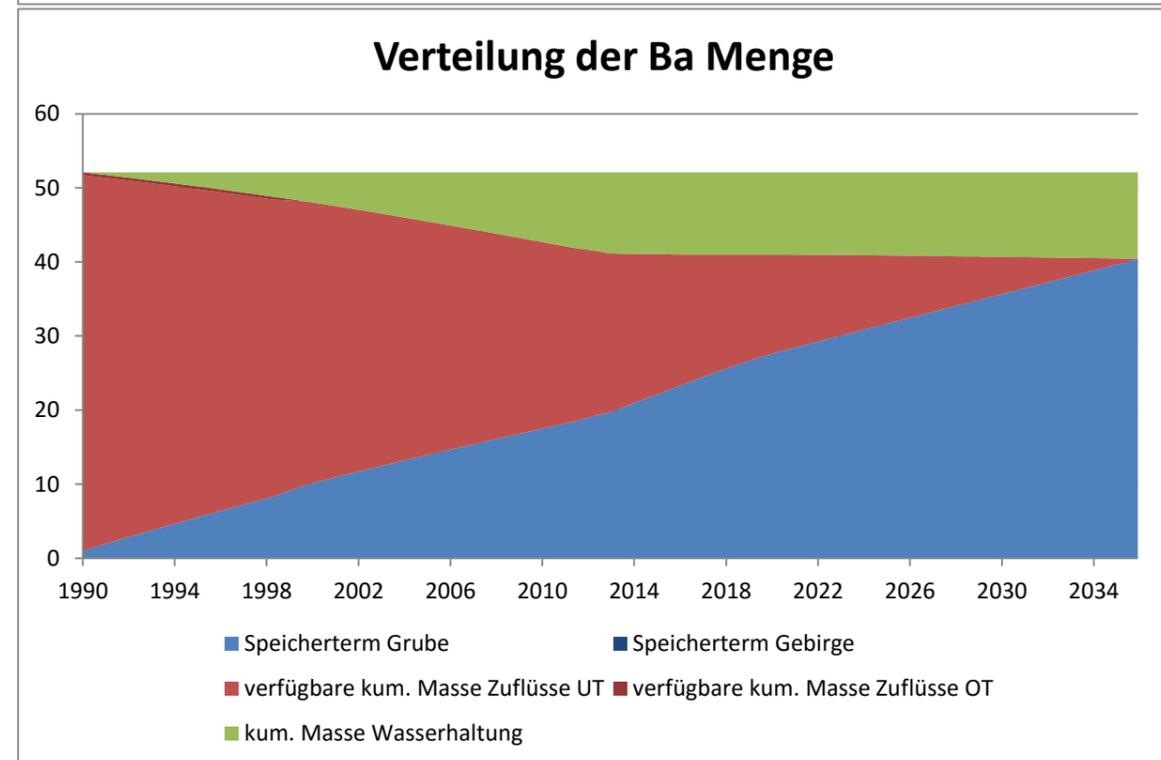
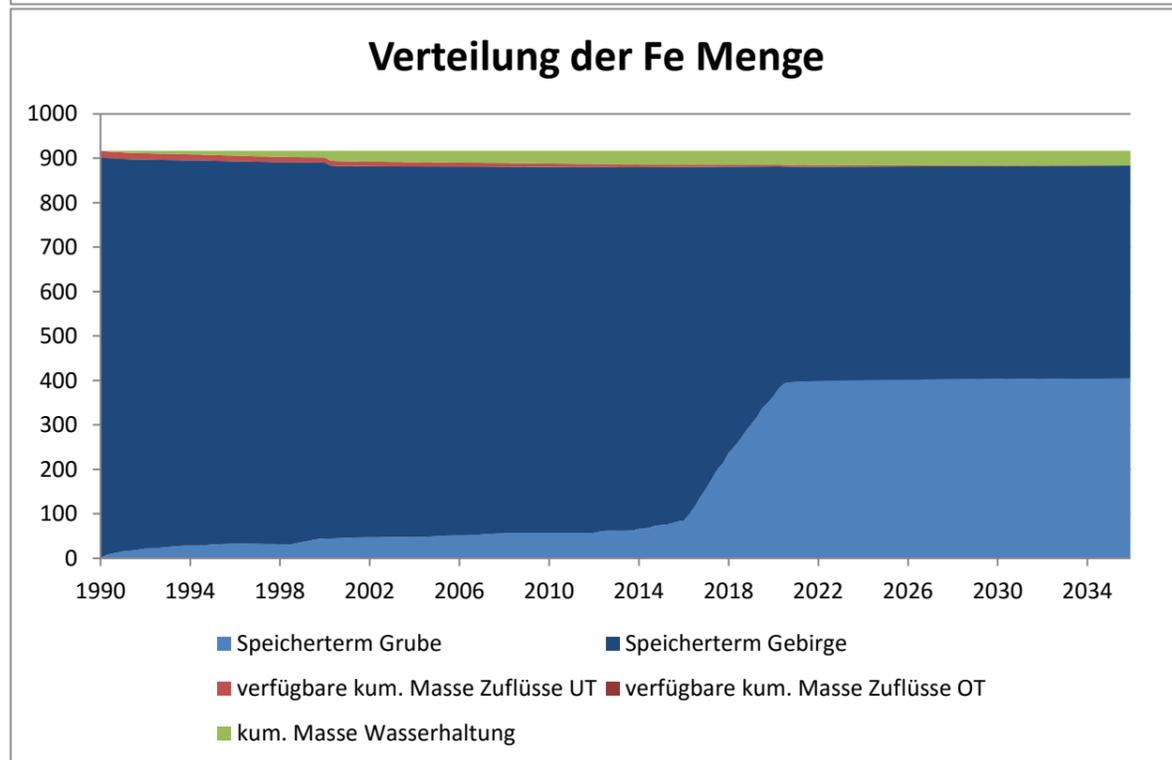
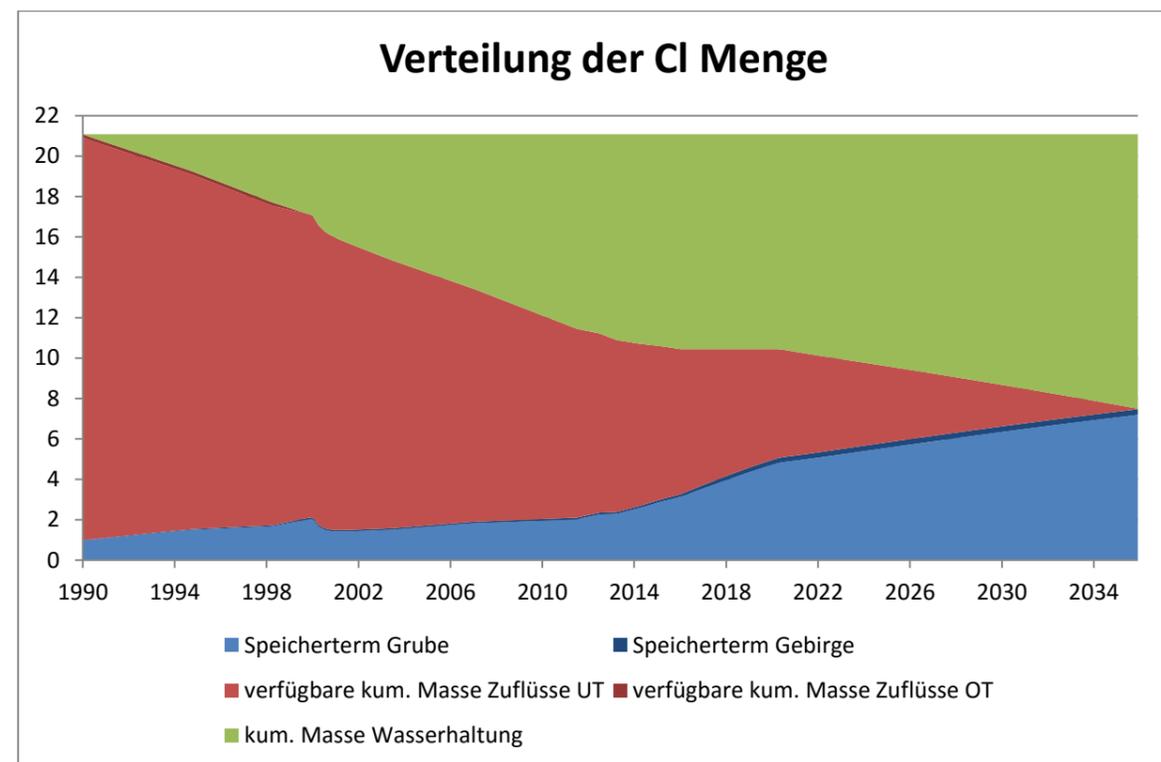
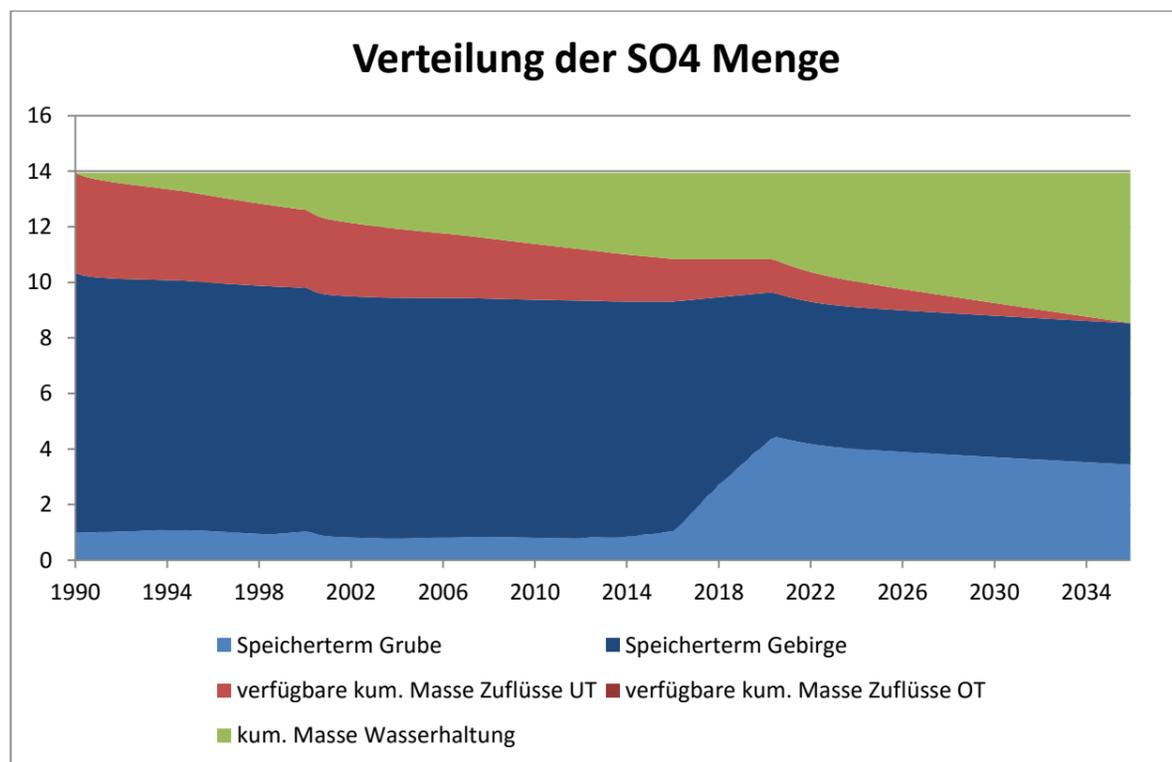


Abbildung 28: Darstellung der Massenbilanzen für die Spezies SO₄, Cl, Fe und Ba (normiert auf die initiale Masse der jeweiligen Spezies im Speicherterm Grube)

4.7 Vergleich der Prognosen G.E.O.S. – DMT

4.7.1 Entwicklung des Flutungsniveaus sowie der Fördermengen

Im nachfolgenden werden die berechneten Wasserspiegelhöhen von G.E.O.S. (Abbildung 29) und DMT (Abbildung 30) dargestellt. Die Anstiegskurven der Wasserspiegel verhalten sich ähnlich. Ein wesentlicher Unterschied ist der Flutungsvorgang auf das -600 mNN Niveau, der bei G.E.O.S. später einsetzt als bei DMT. Dies ist den aktualisierten Informationen über Flutungsbeginn bzw. Einstellungen diverser Wasserhaltungen geschuldet. Die Hauptflutung ist jedoch nur zeitlich um ca. 2 Jahre verschoben. **Das auftretende Flutungsverhalten und die Flutungsdauer von ca. 4,5 Jahren sind identisch. Die prognostizierte Förderrate beträgt 24,2 m³/min. Dieser Wert wurde von DMT und G.E.O.S. unabhängig ermittelt und wird als plausibel eingestuft.** Ein weiterer Unterschied ist das zeitliche Anstiegsverhalten von Gneisenau (14) und Kurl (12). Der verzögerte Anstieg der DMT - Simulation wird über eine exponentielle Funktion zur Beschreibung des Leitwertes der Strecke Querschlag 9. östl. Abtlg. und Reduktion des Leitwertes der Förderberg, von -800 m Sohle bis -1060 m Sohle realisiert. Dieser Ansatz wurde im Nachgang an den beobachteten Flutungsverlauf so gewählt und parametrisiert. Prognostisch ist dies nicht möglich.

Deshalb wurde im G.E.O.S. Modell ein vereinfachter Ansatz mit einem konstanten Wert für beide Strecken angenommen. Dieser wurde entsprechend dem Messwert von August 2014 eingestellt. Für die prognostischen Aussagen hinsichtlich des Flutungsniveaus von -600 mNN spielt dies keine Rolle, da weitere Verbindungsstrecken zwischen den betroffenen Provinzen bestehen, die den ungehemmten Wasserfluss ermöglichen.

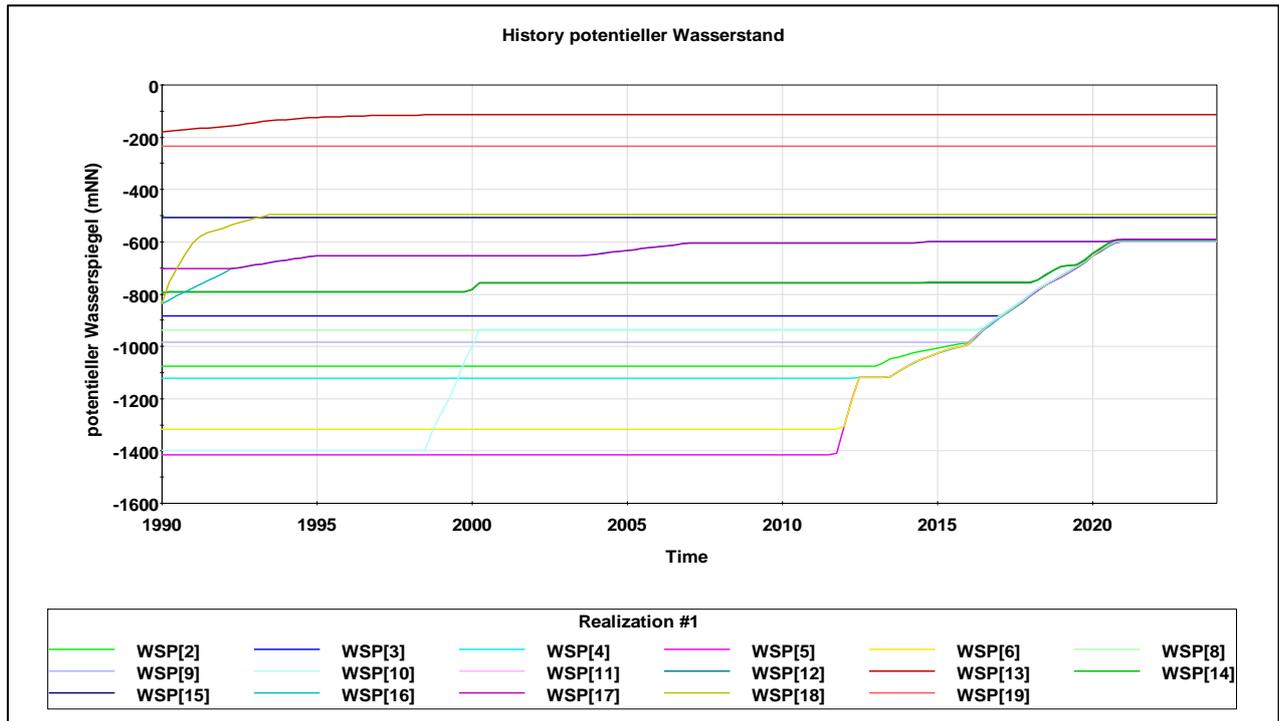


Abbildung 29: Nachrechnung der Wasserstände aller Bergwerksprovinzen durch G.E.O.S. ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)

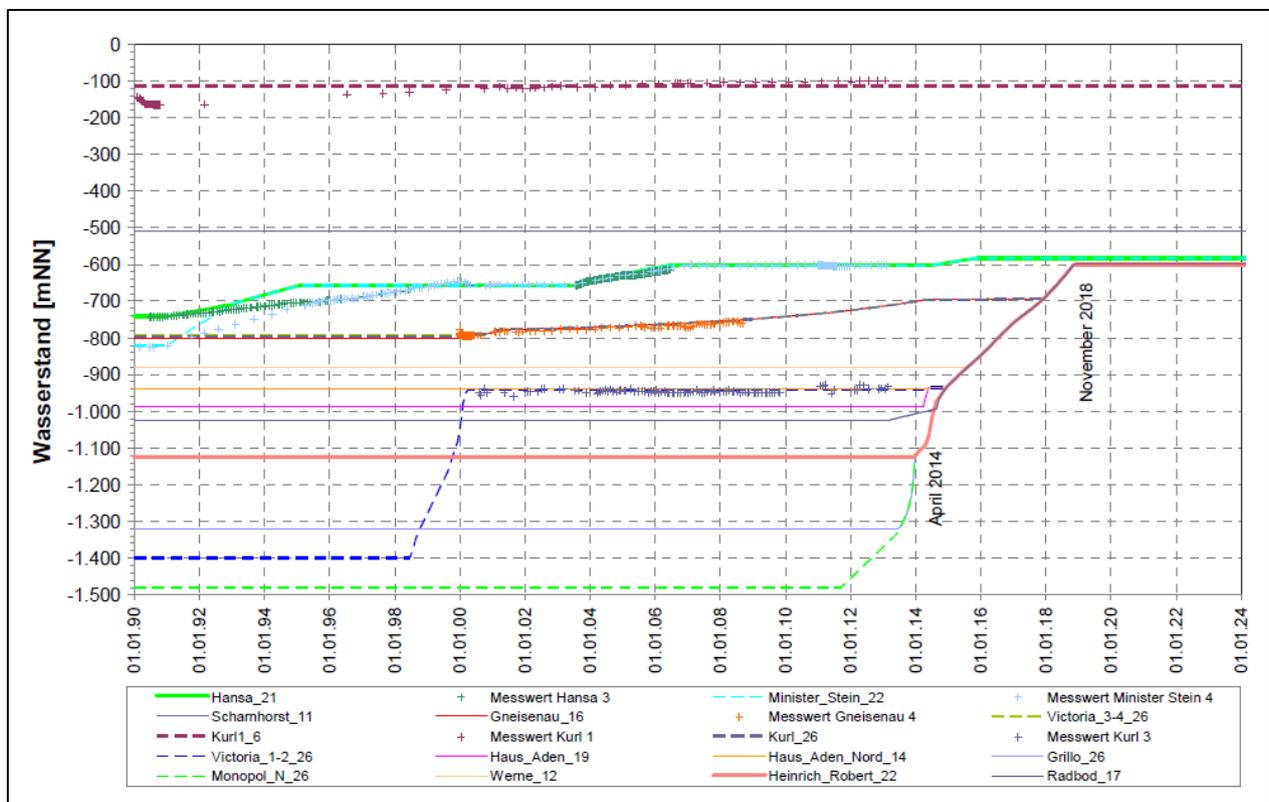


Abbildung 30: Nachrechnung der Wasserstände von Bergwerksprovinzen durch DMT

4.7.2 Entwicklung der Wasserqualität

Eine Gegenüberstellung der prognostischen maximalen Konzentrationen von DMT und G.E.O.S. wird in Tabelle 1 gezeigt. Grundsätzlich treten die Maximalkonzentrationen der mobilisierbaren Oxidprodukte (Fe und SO_4) unmittelbar nach der Flutung auf das -600 mNN Niveau auf und klingen anschließend ab. Es ist festzustellen, dass die DMT Ergebnisse höhere Maximalkonzentrationen aufweisen. Die Ursache liegt wahrscheinlich in der unterschiedlichen Parametrisierung der Diffusionskinetik, d.h. der Nachlieferung von Oxidationsprodukten aus dem anstehenden Gebirge, die bei DMT schneller abläuft aber auch zügiger abklingt. Zudem kann der Wert von G.E.O.S. etwas gedämpft sein, wenn der Peak von der zeitlichen Modelldiskretisierung unterschätzt wird. Die abklingenden Werte für Sulfat des eingestellten Gleichgewichts sind nahezu gleich (G.E.O.S.: 250 mg/l; DMT: 200 mg/l). Die Eisenkonzentration von G.E.O.S. (max 0,47 mg/l) bleibt dauerhaft niedriger als die Eisenkonzentrationen von DMT (3 mg/l). Ursache ist die Fällung von Siderit, die im DMT Modell nicht berücksichtigt wird. DMT nutzt unterdessen eine mikrobiologische Umsetzung des Eisens, die im G.E.O.S. Modell nicht angewandt wird. Daher variieren die Prognosen deutlich. Alle weiteren Elementkonzentrationen werden während der Flutung verdünnt und steigen nach Erreichen des Flutungsniveaus geringfügig an. Zum Teil wird dieser Anstieg nicht registriert. Der Konzentrationsanstieg ist eine Folge der Flutung des östlichen Bergwerks. Zunächst fließt geringsalin角度 Wasser in die östlichen Bergwerksprovinzen und verdünnt die Wässer. Nach Erreichen des Flutungsniveaus prägen wieder die salin角度 Zuflüsse der östlichen Provinzen die Wässer. Die berechneten Konzentrationen der Elemente sind in der gleichen Bandbreite. Lediglich Chlorid und Barium zeigen Abweichungen. Chlorid ist auf die verwendeten Modellstrukturen zurückzuführen. DMT nutzt eine zusätzliche Differenzierung der einzelnen Boxen in vertikale Scheiben. Im G.E.O.S. – Modell wird jede Provinz / Grube als ein Kompartiment betrachtet, in dem Durchmischung stattfindet. Folglich sind im DMT Modell Konzentrations-schichtungen entstanden, die im G.E.O.S. Modell nicht berücksichtigt werden können. Allerdings ist kritisch anzumerken, dass im DMT-Modell höher gelegene Scheiben teilweise höhere Mineralisationen aufweisen als niedrigere Scheiben. Dies ist nicht plausibel und deutet auch darauf hin, dass Dichteeffekte auch im DMT-Modell nicht sachgerecht berücksichtigt wurden. Für Barium ist bei DMT eine maximale Konzentration von 5 mg/l angegeben. Entsprechend der Grafik auf Seite 11/18 des Berichts „Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost“ (DMT, 2015) liegt die maximale Konzentration in der Förderebene bei ca. 0,2 mg/l. Der Wert von G.E.O.S. liegt zwischen diesen Werten.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der prognostischen maximalen Konzentrationen der Simulationen von G.E.O.S. und DMT nach Beginn der Flutung auf das -600 mNN Niveau bei der Förderung im Haus Aden (Werte auf zwei Stellen gerundet)

Element	Maximale Konzentration G.E.O.S. [mg/l]	Maximale Konzentration DMT [mg/l]
SO ₄ [mg/l]	720	1400
Cl [mg/l]	5600	8000
Fe [mg/l]	0,47	3,0
Ba [mg/l]	2,0	5,0
B [mg/l]	1,1	1,5
NH ₄ [mg/l]	4,4	3,0
Zn [mg/l]	0,12	0,2
Pb [mg/l]	0,005	0,02
Cd [mg/l]	0,0007	0,002
Ni [mg/l]	0,0055	0,02
Cu [mg/l]	0,0072	0,02
Cr [mg/l]	0,0036	0,01

Insgesamt gehen wir davon aus, dass die DMT-Prognose konservativer angelegt ist als die mit dem vorliegenden Gutachten erstellte Prognose. Mit der hier getroffenen Annahme einer vertikalen Durchmischung in den einzelnen Kompartimenten stellt die hier vorgelegte Prognose bereits einen relativ konservativen Ansatz hinsichtlich der möglichen Konsequenzen von Dichteschichtungen dar.

4.8 Zusammenfassende Einschätzung

Zur Verifizierung der von DMT prognostizierten Flutungsdynamik sowie der Flutungswasserqualität wurde von uns ein vereinfachtes Kompartimentsmodell entwickelt, welches die wesentlichen hydraulischen und stofflichen Randbedingungen auf der Grundlage der von der RAG übergebenen Primärdaten abbilden kann. Eine Prüfung der von DMT verwendeten konzeptionellen und

numerischen Ansätze war leider nicht möglich, da das Boxmodell nicht dokumentiert wurde. Dokumentationen von anderen Standorten erlauben jedoch einen Einblick in das grundsätzliche Modellkonzept. Ob es für die Prognose für das BW Ost von Seiten DMT grundsätzliche konzeptionelle Anpassungen gab, muss deshalb offenbleiben.

Mit dem entwickelten Modell können die Wasserspiegel in den einzelnen Provinzen / Gruben für die Messwerte vorliegen, sehr gut abgebildet werden. Auch ist dieses Modell in der Lage, die historisch beobachteten Konzentrationen der geförderten Wässer in den Gruben Heinrich-Robert, Hansa und Haus Aden mit Ausnahme zwischenzeitlicher Abweichungen sehr gut abzubilden.

Auf der Grundlage der Nachrechnung der Historie wurde schließlich eine Prognose für die weitere Flutung bis zum Niveau von – 600 m NN erstellt. Dabei wurden im Gegensatz zu DMT aktualisierte hydraulische Randbedingungen (Zeitpunkt Einstellung Wasserhaltungen) verwendet, weshalb sich der Flutungsverlauf zwar zeitlich verschiebt, jedoch grundsätzlich vergleichbar ist. Damit wird der von DMT prognostizierte Flutungsverlauf auch quantitativ bestätigt.

Die Prognose der Flutungswasserqualität zeigt qualitativ einen vergleichbaren Verlauf, jedoch prognostiziert DMT höhere Konzentrationen im geförderten Flutungswasser für nahezu alle Stoffe. Insgesamt gehen wir davon aus, dass die DMT-Prognose konservativer angelegt ist als die von uns erstellte Prognose. Mit unserer Annahme einer vertikalen Durchmischung in den einzelnen Kompartimenten stellt unsere Prognose bereits einen relativ konservativen Ansatz hinsichtlich der möglichen Konsequenzen von Dichteschichtungen dar.

Die Autoren stellten fest, dass ein späterer Flutungsbeginn in Haus Aden zu Konzentrationsspitzen im Förderwasser führen wird, sobald die Verbindung zwischen Haus Aden und Grillo aktiviert wird. Diese sind bisher messtechnisch nicht erfasst worden. Es wird dennoch empfohlen, das Förderwasser zu beobachten.

5 Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten - Unsicherheitsanalyse

5.1 Motivation und Vorgehensweise

Die Prüfung der Sicherheit der Aussagen der im Auftrag der RAG erstellten Gutachten zur Beschaffenheit der Grubenwasserqualität während des Grubenwasseranstieges sowie nach Abschluss des Grubenwasseranstieges stellt einen weiteren Schwerpunkt der Prüfung dar.

Hier soll insbesondere der Frage nachgegangen werden, wie sich Unsicherheiten in den Ausgangsparametern auf die Prognoseergebnisse auswirken. Dazu werden in einem ersten Schritt unterschiedliche Schlüsselparameter hinsichtlich ihrer Unsicherheit diskutiert und plausible Bandbreiten festgelegt (Abschnitt 5.2). In einem zweiten Schritt erfolgt eine probabilistische Flutungsprognose unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten mittels eines Monte-Carlo-Verfahrens (Abschnitt 5.3). Dies stellte sich als sehr zeitaufwändig heraus, da für jedes Kompartiment, jeden Zeitschritt in jeder Realisierung die Geochemie durch Integration von PHREEQC konsistent berücksichtigt wurde.

5.2 Abschätzung von Parameterunsicherheiten

Die bisherigen Betrachtungen wurden deterministisch durchgeführt, d.h. für alle Modellparameter musste eine Festlegung auf feste Werte erfolgen, obwohl diese teilweise gar nicht sicher bestimmbar waren. Während für die bereits gefluteten Bereiche eine Kalibrierung von Parametern mit einiger Sicherheit möglich ist, sind deren Entwicklungen mit steigendem Flutungsniveau in der Regel unsicher bzw. mit Bandbreiten behaftet. Auf der Grundlage des grundlegenden Systemverständnis sowie der Erfahrungen des AN wurden die folgenden hydraulischen und chemischen Parameter als einerseits besonders relevant und andererseits als unsicher eingestuft:

- Pyrit- und Karbonatinventar in den Grubenbereichen oberhalb des bisherigen und zur Kalibrierung verwendeten Flutungsniveaus. Hier wird ein Unsicherheitsbereich von $\pm 20\%$ bezogen auf die kalibrierten Werte angenommen. Diese Unschärfe ist schwierig abschätzbar, da die Minerale i.d.R. heterogen im Gestein verteilt sind bzw. nur eingeschränkt mit dem Grubenwasser im Kontakt stehen.
- Unsicherheit in der chemischen Zusammensetzung der Zuflüsse bei steigendem Flutungsniveau. Hier wird ein Unsicherheitsbereich von $\pm 10\%$ bezogen auf die beim Grubenbetrieb gemessenen Werte angenommen. Dieser Wert wird in der Wasseranalytik als

typische Unsicherheit gesehen basierend auf Ungenauigkeiten während der Probenahme, Probenvorbereitung und der Analytik an sich.

- Unsicherheit im flutbaren Grubenhohlraum. Hier wird ebenfalls eine Bandbreite von $\pm 10\%$ bezogen auf die markscheiderisch ermittelten Werte angenommen. Er ist zurückzuführen auf nachträgliche Setzungsprozesse und unterschätzter Wasseraufnahmefähigkeiten des Gesteins. Erfahrungen aus dem Oelsnitzer und Zwickauer Revier zeigten Unsicherheiten von $\pm 10\%$.
- Die Unsicherheit im Abdrückverhalten der Zuflüsse mit steigendem Wasserspiegel. Hier zeigt die Erfahrung mit unterschiedlichen Grubenflutungen eine große Bandbreite. Die von DMT verwendete lineare Abdrückfunktion kann hinsichtlich der Zuflussmengen als optimistisch angesehen werden. Uns sind auf der anderen Seite auch Zuflussverhältnisse bekannt, bei denen es bis zum finalen Flutungsstand keine Reduzierung der Zuflüsse gab. Dies stellt einen eher konservativen Ansatz dar.

Die angenommenen Bandbreiten der genannten Parameter und deren Unsicherheiten werden in Tabelle 2 nochmals zusammengefasst.

Tabelle 2: Auflistung der variablen Parameter

Parameter	Minimum	Maximum
Verändertes Pyrit- und Karbonatinventar oberhalb des kalibrierten Bereichs	-20% des kalibrierten Inventars	+20% des kalibrierten Inventars
Unsicherheit in der chemischen Zusammensetzung der Zuflüsse	-10% der Messwerte	+10% der Messwerte
Unsicherheit für das Hohlraumvolumen einer Grube	-10% der Messwerte	+10% der Messwerte
Unsicherheit bei der Abdrückfunktion	Lineare Abdrückfunktion $Q = Q(h)$	Abdrückfunktion entspr. $Q = \begin{cases} Q_0 & ; h \leq 0 \text{ mNN} \\ Q(h) & \end{cases}$

Die o.g. Bandbreiten werden in Form von Gleichverteilungen im Modell berücksichtigt. Aufgrund der Anforderungen an die Rechenleistung erfolgte eine Beschränkung auf 20 Realisierungen, bei denen zufällig die genannten Parameter aus den angegebenen Spannen mittels eines Monte-Carlo Algorithmus ausgewählt wurden.

Es ist anzumerken, dass das Spektrum der Unschärfe nicht vollständig ausgenutzt wurde. Es gibt weitere Parameter, die Unsicherheiten aufweisen (z.B. räumliche Verteilung des Pyrit-Karbonatinventars, andere Stoffquellterme, verschlechterte Leitfähigkeit der Verbindungsstrecken) und einen Einfluss auf die Wasserqualität haben. Da in Folge der limitierten Rechenleistung lediglich 20 Realisationen durchführbar sind und viele Bandbreiten nur schwer abzuschätzen sind, wurde sich für die vier benannten Unsicherheiten entschieden.

5.3 Prognose der Flutung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den getroffenen Unsicherheiten treten für alle Prognoseparameter Bandbreiten auf. In den nachfolgenden Grafiken werden verschiedene im Ergebnis der Simulation ermittelte Konzentrationsentwicklungen gezeigt. Dabei werden alle Realisationen ausgewertet und eine Bandbreite der Möglichkeiten in Form einer farblichen Kodierung dargestellt. Je dunkler die Fläche gefärbt ist, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten der Konzentration.

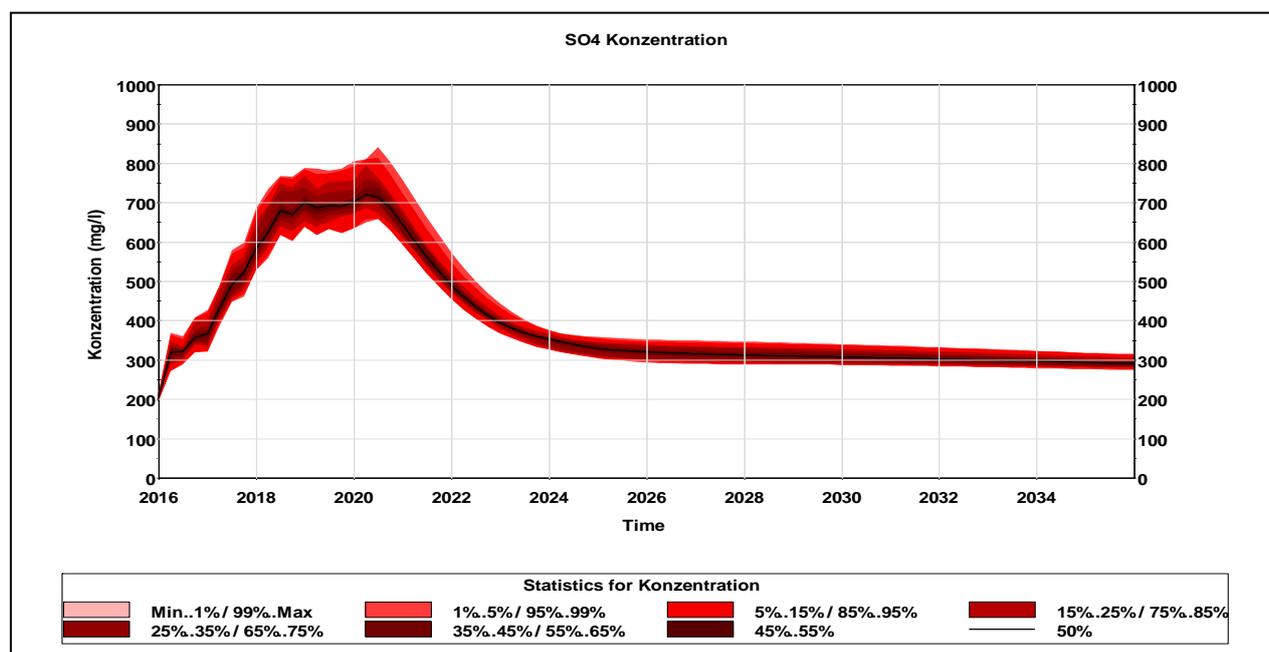


Abbildung 31: Prognose zur Entwicklung der SO4 – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

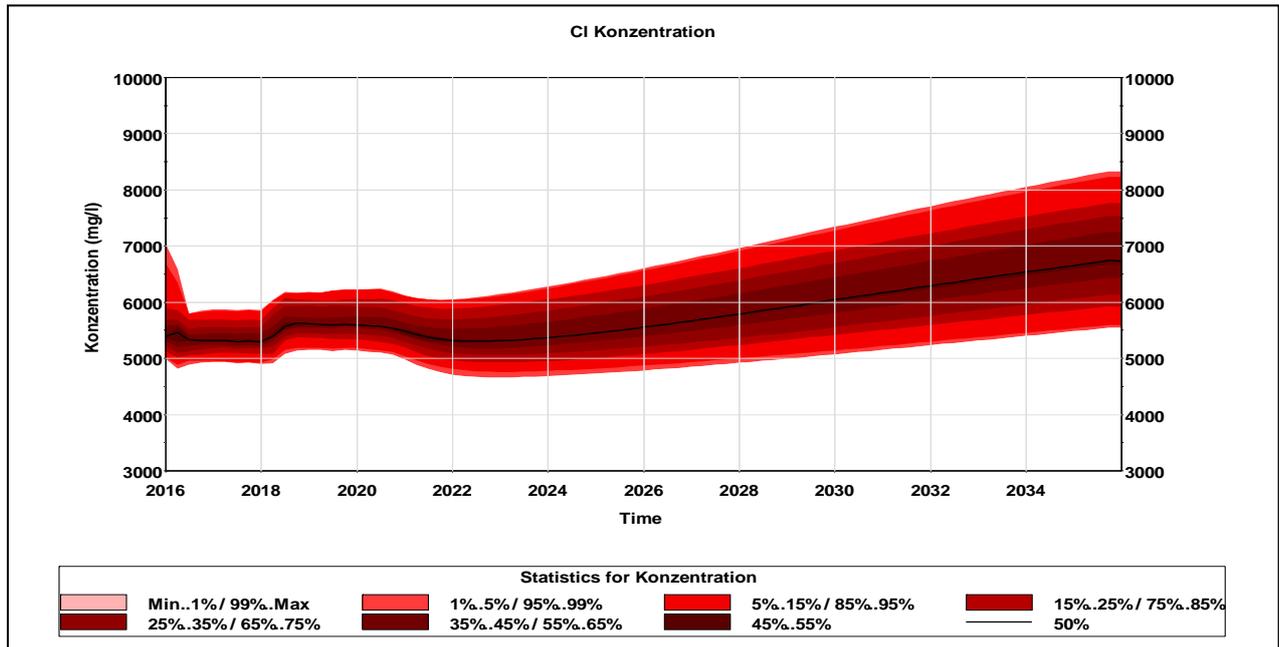


Abbildung 32: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

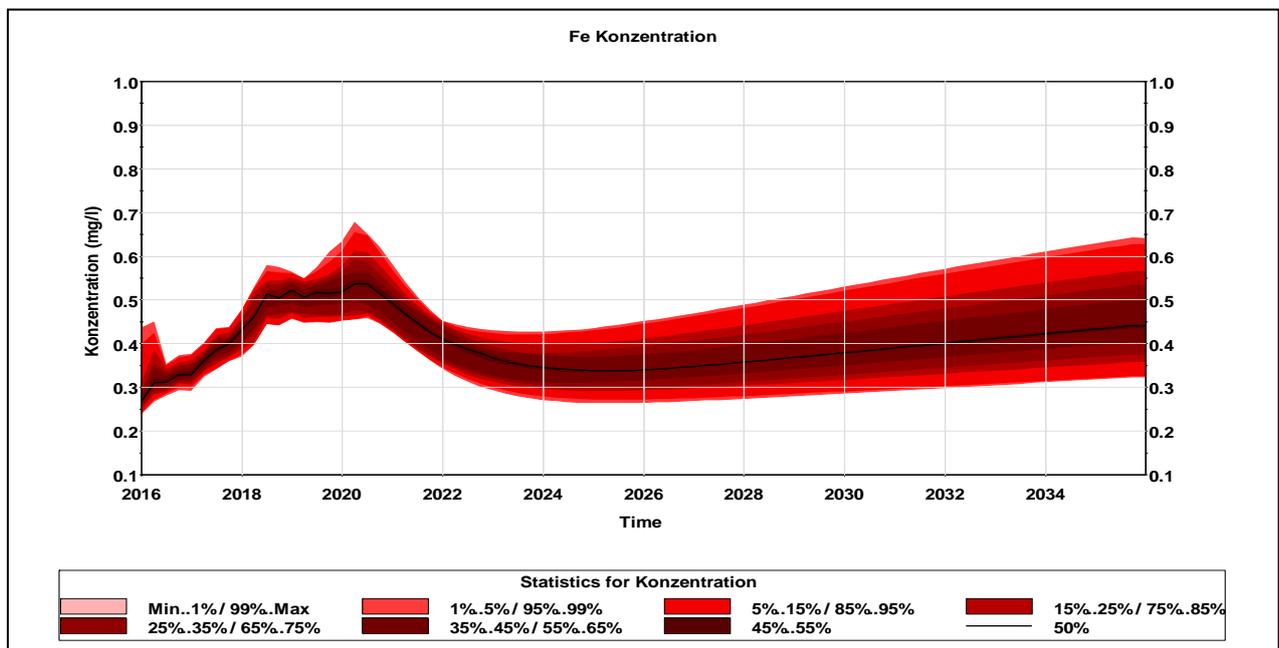


Abbildung 33: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

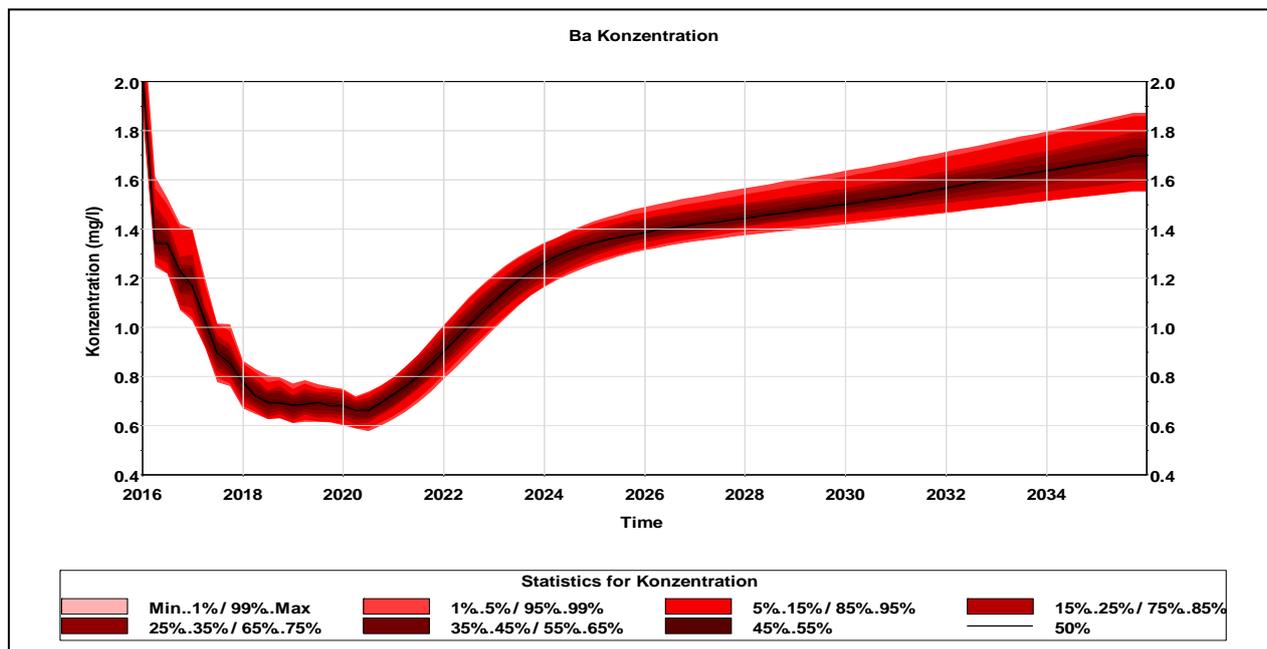


Abbildung 34: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration in Haus Aden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Die Simulationsergebnisse wurden hinsichtlich der minimalen und maximalen Konzentrationen für die unterschiedlichen Wasserinhaltsstoffe ausgewertet. Das Ergebnis ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Minimalen und Maximalen Konzentrationen, die zum Ende der Simulationszeit zu erwarten sind

Element	Minimale Konzentration	Maximale Konzentration
SO ₄ [mg/l]	272	315
Cl [mg/l]	5500	8400
Fe [mg/l]	0,32	0,65
Ba [mg/l]	1,5	1,9
B [mg/l]	1,1	1,3
NH ₄ [mg/l]	4,2	6,0
Zn [mg/l]	0,12	0,19
Pb [mg/l]	0,004	0,006

Element	Minimale Konzentration	Maximale Konzentration
Cd [mg/l]	0,0006	0,0008
Ni [mg/l]	0,005	0,007
Cu [mg/l]	0,007	0,009
Cr [mg/l]	0,003	0,004

5.4 Zusammenfassende Einschätzung

Im Rahmen der Unsicherheitsanalyse wurden vier für die Entwicklung des Flutungsstandes und der Flutungswasserqualität als besonders relevant eingeschätzte Parameter mit plausiblen Bandbreiten versehen und Prognosen im Rahmen von Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Im Ergebnis sind die berechneten Zielgrößen (Flutungswasserkonzentrationen) in ihrer zeitlichen Abhängigkeit mit Bandbreiten versehen. Dabei sind diese durchgeführten Simulationen lediglich exemplarisch zu betrachten. Einerseits sind eine Vielzahl weiterer Parameter ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet, andererseits zeigen die Erfahrungen mit Grubenflutungen, dass eine sehr belastbare Prognose nur möglich ist, wenn schon langjährige Erfahrungen bei der Flutung der entsprechenden Grube vorliegen. **Auf dieser Grundlage gehen wir davon aus, dass die Unschärfe der Prognosen für einzelne Konzentrationen durchaus im Bereich eines Faktors 2 - 3 liegen kann. Dagegen sind die Fördermengen bzw. Flutungsverläufe in der Regel mit deutlich höherer Sicherheit vorhersagbar.** In diesem Sinne können auch die von DMT vorgelegten Prognoseergebnisse als vergleichbar mit den hier dargestellten Ergebnissen angesehen werden. In diesem Sinne wird empfohlen, die Flutungsmodelle bei fortgeschrittener Flutung weiter zu kalibrieren, um belastbarere Langzeitprognosen zu erhalten.

6 Prüfung der Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen

6.1 Motivation und Vorgehensweise

Es sind die Auswirkungen von zukünftigen technischen Rahmenbedingungen, beispielsweise die Umstellung auf Brunnenwasserhaltungen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Flutung zu prüfen. Hierzu werden qualitative Betrachtungen angestellt und einfache Abschätzungen durchgeführt.

6.2 Brunnenwasserhaltung

Das Grubenwasser des BW Ost wird zurzeit von einer auf der -940m-Sohle eingerichteten Pumpstation zutage gefördert. Grubenwasserhebung und Einleitung der Grubenwässer in die Lippe sind geregelt durch eine wasserrechtliche Erlaubnis (Verlängerung) vom 20.10.2010 (Az. 61.h10-7-4-13), die bis zum 31.07.2021 befristet ist.

Mehr als 90% der gehobenen Grubenwässer fließen der Wasserhaltung Haus Aden über den Grubenbereich Gneisenau zu. Dieser Wasseranteil wird hinter dem sogenannten Victoriadamn angestaut und über eine Rohrleitung der Pumpstation am Schacht Haus Aden 2 zugeführt. Ein Vorlage- und Ausgleichsbecken, wie es in anderen Schachtanlagen aus Gründen eines gesicherten Pumpenbetriebs angelegt ist, war für die Grubenwasserhaltung Haus Aden 2 bisher nicht notwendig.

Mit der Genehmigung des Abschlussbetriebsplanes ist vorgesehen, die derzeitige Grubenwasserhebung durch eine sogenannte Brunnenwasserhaltung zu ersetzen (Abbildung 35). Der Begriff „Brunnenwasserhaltung“ beschreibt die Förderung des Grubenwassers mit Hilfe von in Bergbauschächten installierten Tauchmotorpumpen (TMP). Die Brunnenwasserhaltung unter Nutzung von Bergbauschächten ist ein im internationalen Bergbaugeschäft verbreitete Technik. Sie wurde und wird auch in Betrieben der RAG (Grube Hansa, Grube Friedlicher Nachbar) seit vielen Jahren eingesetzt. Es gibt aus der Sicht der Autoren keine grundsätzlichen technischen Bedenken betreffend die Sicherheit und Zuverlässigkeit beim Einsatz dieser Technik am Standort Haus Aden.

Hebung des Grubenwassers von der Tagesoberfläche

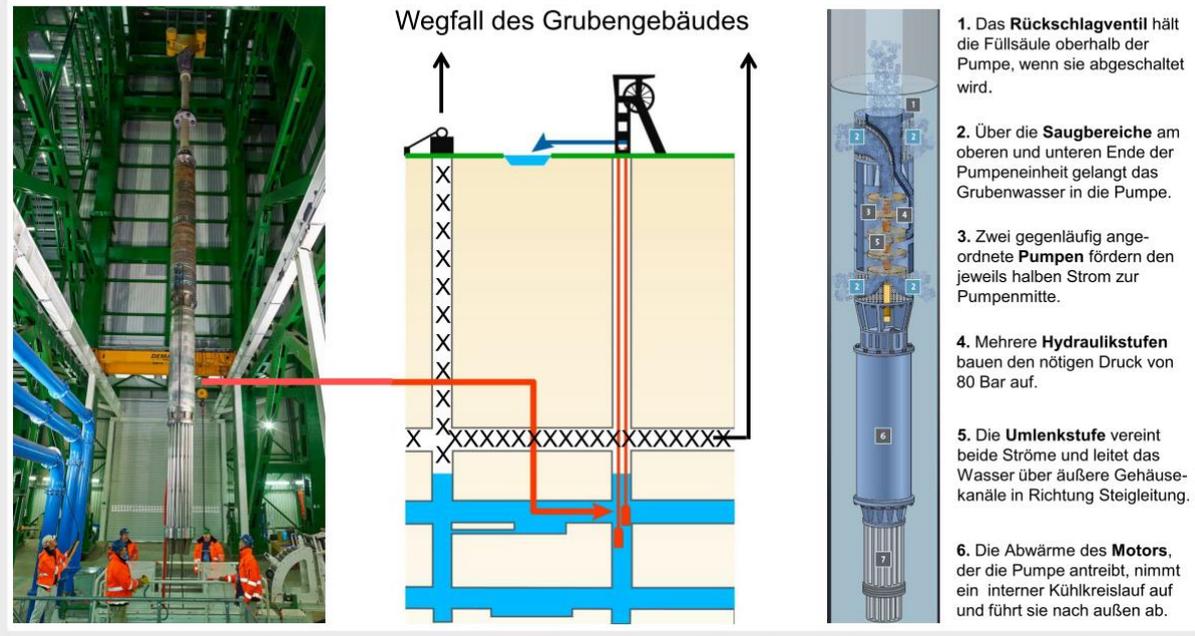


Abbildung 35: Exemplarische Darstellung der Förderung von Grubenwasser durch eine Brunnenwasserhaltung (Quelle: RAG Präsentation Grubenwasser 01.07.2016)

Entsprechend einer E-Mail vom 02.11.2016 der RAG an die Autoren sind folgende technischen Rahmenbedingungen vorgesehen:

- *Anzahl und technische Daten der TMP:* Es sind 3 TMP mit einer Leistung von 15 m³/min vorgesehen (1 x Dauerläufer, 1 x sukzessive Zuschalten, 1 x Reserve)
- *Fahrweise und vorgesehene Steuerung des Wasserspiegels (Min- und Max-Niveau):* Maximales Wasserniveau = -605 m NN, minimales Wasserniveau = -615 m NN.
- *Lage der Ansaugöffnungen der TMP:* Die Ansaugöffnungen werden ca. 20 – 25 m unterhalb des min. Wasserspiegels liegen.
- *Anbindungen von Strecken/Sohlen an den "Brunnenschacht" unterhalb des Wasserspiegels:* Nur die Strecken auf der -940 m-Sohle sind am Schacht Haus Aden 2 offen. Alle höheren Sohlen sind abgedämmt.

Nach Kenntnis der Autoren ist nicht vorgesehen, die technischen Rahmenbedingungen übertage zu ändern. Es ist vorgesehen, den Betrieb der neben dem Schacht eingerichteten H₂O₂-Dosieranlage zur Oxidation von Sulfidschwefel fortzuführen.

Entsprechend der Planung der RAG müssen die Grubenwässer von der -940 m-Sohle bis in ein Niveau von ca. -635 bis -640 m NN aufsteigen, um in die TMP zu gelangen. Bei dem mindestens 300 m langen Aufstieg durch den Schacht, der einen Durchmesser von 7,2 m besitzt, wird die mittlere Fließgeschwindigkeit bei Förderung mit 1 TMP von 15 m³/min etwa 0,37 m/min oder 0,6 mm/s betragen. Eine derartige Geschwindigkeit kann theoretisch ein Quarzkorn von etwa 0,027 mm Durchmesser gegen die Schwerkraft in Schwebelage halten. Bei gleichzeitigem Betrieb von 2 TMP mit einer Gesamtleistung von 30 m³/min würde die mittlere Fließgeschwindigkeit etwa 1,2 mm/s betragen und rechnerisch ausreichen, um ein rundes Quarzkorn von etwa 0,04 mm Durchmesser in Schwebelage zu halten. Die Vergleichsrechnungen machen deutlich, dass nur sehr feine Schwebstoffe in die TMP und damit an die Oberfläche gelangen können.

Das Wasservolumen in der 300 m wassererfüllten Schachtsäule beträgt etwa 12.200 m³. Damit ist bei einer Förderrate von 15 m³/min die Verweilzeit des Wassers in der Schachtsäule etwa 13,5 Stunden und bei Betrieb von 2 TMP etwas mehr als 6,5 Stunden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass hydrochemische Reaktionen wie z.B. die Verbindung von Ba- und Sulfat-Ionen, bei diesen Retentionszeiten in dem gemischten Grubenwasser abgelaufen sind.

Unter Bezug auf die derzeitige Pumpentechnik wird die Brunnenwasserhaltung die beiden vorgenannten Verbesserungen bewirken:

- Minderung der Schwebstofffracht
- Verbesserung der Durchmischung.

Nach Ansicht der Autoren bringen die zukünftigen technischen Rahmenbedingungen damit eine insgesamt geringfügige Verbesserung der Grubenwasserqualität über Tage.

Nach Einschätzung der Autoren sind Auswirkungen auf die Chloridkonzentrationen des geförderten Grubenwassers nicht zu erwarten, da durch die unveränderten grundsätzlichen hydraulischen Verhältnisse die Pumpenwasserhaltung keine Auswirkungen auf die Verteilung der Zuflussverhältnisse sowie auf die Durchmischung aufweist.

Die von der RAG vorgesehene technische Auslegung mit insgesamt drei TMP wird als ausreichend betrachtet, da selbst beim Ausfall einer TMP der Wasserspiegel gehalten werden kann und beim Ausfall mehrerer ein sehr langsamer Anstieg des Grubenwasserspiegels erfolgen wird. Allerdings sei an dieser Stelle bereits auf die im Zusammenhang mit der Szenarienanalyse (Abschnitt 8.3) festgestellte Sensitivität der Wirksamkeit einzelner hydraulischer Verbindungen hingewiesen. Daraus wird die Schlussfolgerung gezogen, dass auch in weiteren Bereichen des BW

Ost Reservebrunnen vorgesehen werden sollten, um auf einen Ausfall bestimmter Verbindungen reagieren zu können.

Ein weiterer Vorteil der Brunnenwasserhaltung gegenüber der Hebung mit Hilfe eines Pumpensumpfes ist die variabel gestaltbare Pumprate. Im Fall von Niedrigwasser der Lippe kann das Flutungsniveau erhöht, respektive die Pumprate reduziert werden, um die eingeleitete Salzfracht an den Durchfluss der Lippe anzupassen. Im Falle von erhöhten Durchflussraten der Lippe kann das ursprüngliche Flutungsniveau wieder eingestellt werden. Die erhöhte Salzfracht, die während dieser Zeit aus der Wasserhaltung gehoben wird, wird durch den erhöhten Durchfluss der Lippe verdünnt. Diese technische Maßnahme gibt wesentlich mehr Spielraum im Umgang mit der Wasserhaltung.

6.3 Zusammenfassende Einschätzung

Insgesamt wird eingeschätzt, dass die Umstellung auf Brunnenwasserhaltung mittels Tauchmotorpumpen keine negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität haben wird. Insbesondere gehen wir nicht davon aus, dass die Umstellung auf Wasserhaltung mittels TMP Auswirkungen auf ggf. stattfindende Schichtungserscheinungen haben wird. Mit dem vorgesehenen System aus insgesamt drei TMP ist ausreichend Redundanz vorhanden, um Ausfälle zu kompensieren. Zudem bietet das System Reaktionsmöglichkeiten, um im Falle von Niedrigwasser die Einleitung der hochkonzentrierten Wässer aus der Wasserhaltung zu reduzieren.

7 Vergleichende Betrachtung der Grubenwasserverhältnisse anderer Steinkohlenreviere mit dem ehemaligen Bergwerk Ost

7.1 Motivation und Vorgehensweise

In der Leistungsbeschreibung wird (an unterschiedlichen Stellen) sowohl der Vergleich der Grubenwasserverhältnisse mit dem Aachener als auch mit dem Ibbenbürener Revier gefordert. Dies erfolgt vor allem vor dem Hintergrund der Fragestellung, ob die in den genannten Revieren bei der Flutung beobachteten Entwicklungen auf das Bergwerk Ost übertragen werden können. In diesem Kapitel wurde deshalb der Vergleich mit beiden Revieren durchgeführt. In Abschnitt 7.2 erfolgt eine vergleichende Betrachtung zum Aachener Revier und in Abschnitt 7.3 zum Ibbenbürener Revier.

7.2 Vergleichende Betrachtungen zum Aachener Revier

Im Aachener Steinkohlerevier wurde die bergbauliche Wasserhaltung in den Jahren 1993/1994 endgültig eingestellt. Damit bestehen nahezu 25 Jahre Erfahrung mit der Flutung eines großräumigen untertägigen Steinkohleabbaus in NRW. Neben zahlreichen Einzelveröffentlichungen zu Abbau und Flutung im Aachener Steinkohlerevier liegt seit 2011 eine detaillierte Monografie zum Thema Grubenwasseranstieg vor: *Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlerevier - eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge*, Dissertation Peter Rosner, RWTH Aachen. Die Arbeit fasst die komplexen Daten zum Grubenwasseranstieg in grafischer und textlicher Weise zusammen. Eine numerische Modellierung zur Prognose oder Rückanalyse des Grubenwasseranstiegs, wie sie für die Gruben des Saarlandes und des Ruhrreviers existieren, ist nicht Gegenstand der Dissertation Rosner.

Die nachfolgende fachliche Einschätzung der Autoren stützt sich i.W. auf die in der Dissertation Rosner enthaltenen Daten und Bewertungen. Letztere wurden auf Plausibilität mit anderer Literatur und eigenen Erfahrungen der Autoren geprüft. Es ergaben sich keine für die Aufgabenstellung relevanten Widersprüche.

Die Datenbasis der Dissertation Rosner endet mit dem Jahr 2009. Bemühungen der Autoren um aktuellere Monitoringdaten hatten keinen Erfolg. Auf Nachfrage erklärte der Geschäftsführer des zuständigen Eschweiler Bergwerksverein (EBV), dass seit 2009 keine unerwarteten Veränderungen beim Grubenwasseranstieg eingetreten seien. Der Wasseranstieg sei gleichmäßig verlaufen und beim Chemismus des Grubenwassers seien keine wesentlichen Änderungen eingetreten.

Diese Angaben des EBV erscheinen den Autoren plausibel, so dass die fachliche Einschätzung nicht insgesamt durch einen Mangel an Daten beeinträchtigt wird.

Insgesamt ist auffällig, dass die Mineralisation der Grubenwässer im Aachener Revier bereits mit Start der Flutung (Abbildung 36) deutlich geringer ist als die aktuelle Mineralisation der Grubenwässer im Tiefbergbau des Ruhrreviers.

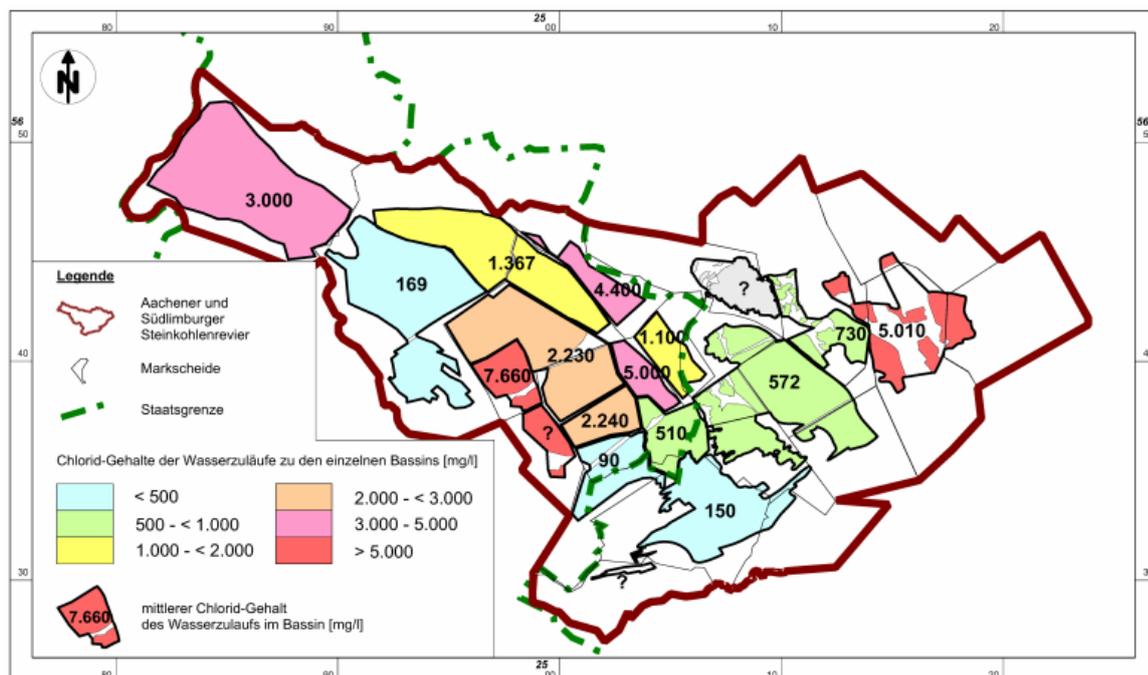


Abbildung 36: Chlorid-Gehalte der betriebszeitlichen Wasserzuläufe zu den Gruben des Aachener und Südlimburger Reviers in der Endphase der jeweiligen Wasserhaltungen (Quelle: Diss. Rosner 2011, Abb. 5.2)

Eine Vergleichbarkeit zwischen Aachener Revier und dem BW Ost zeigt sich in grundsätzlichen Erscheinungen, die auch andernorts bei Flutung von Steinkohlegruben beobachtet werden können:

- Weiträumige und langfristig wirksame hydraulische Verbindungen, die einen einheitlichen Grubenwasserspiegel innerhalb des Grubengebäudes bewirken
- Ausspülen von Oxidationsprodukten sulfidischer Gemeineteile mit Konzentrationen von Eisen und Sulfat, die mit Beginn der Flutung Spitzenwerte zeigen und im Laufe der Flutung abnehmen
- Geringer werdender Einfluss von Tiefenwasserzuflüssen durch den sich erhöhenden hydrostatischen Druck.

- Sukzessive „Aussüßung“ bei steigendem Zuflussanteil aus gering mineralisierten Deckgebirgsgrundwasserleitern.

Ein so gearteter Flutungsverlauf trifft zwar sehr häufig für die Flutung von Bergwerken zu, läuft aber nicht zwingend in allen Fällen so ab. Auch die Detailbeschreibungen in der Dissertation Rosner zeigen deutlich, wie stark Flutungsanstieg und Grubenwasserchemismus in Einzelbergwerken eines zusammenhängenden Reviers variieren können.

In weiten Teilen des Aachener Reviers erfolgte im fortgeschrittenen Stadium der Flutung eine „Aussüßung“, die auch andernorts für Flutungsverläufe charakteristisch ist. Über das Deckgebirge erfolgen Druckausgleich und Fließvorgänge zwischen Grubenbereichen, die nicht direkt miteinander verbunden sind. Über die Wechselwirkung zwischen Grubenwasser und Grundwasser im Deckgebirge erfolgt auch eine Angleichung der Mineralisation. Abweichend davon verharnte im BW Emil Mayrisch die Mineralisation (Chlorid-Gehalt von 5.010 mg/l in 1993) während der gesamten dokumentierten Flutung auf relativ hohem Niveau, da dort keine signifikanten Deckgebirgszuflüsse vorhanden sind. Eine ähnliche Beharrung der Mineralisation wird für das BW Ost erwartet, dort allerdings auch bedingt durch Zufluss aus dem hoch mineralisierten unteren Grundwasserstockwerk. Eine „Aussüßung“ wird im BW Ost auch langfristig wegen fehlender hydraulischer Verbindungen zu gering mineralisierten Grundwasserleitern nicht prognostiziert.

Aus der Sicht der Autoren gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Bedingungen zwischen Aachener Revier und BW Ost, die nachstehend aufgelistet sind (Tabelle 4).

Tabelle 4: Wesentliche Unterschiede betreffend die Bedingungen im Aachener Revier und im BW Ost

Unterschiedliche Bedingungen	Aachener Revier	BW Ost
Geologie	Deckgebirgsformationen abwechslungsreich, von unterschiedlichen Mächtigkeiten und eingeschränkter flächenhafter Verbreitung	Teil des Münsterländer Beckens mit großflächig aushaltenden, mächtigen Deckgebirgsschichten über Karbon; flächendeckende Verbreitung des mächtigen Grundwasserstauers „Emscher Mergel“

Unterschiedliche Bedingungen	Aachener Revier	BW Ost
Mineralisation	Chloridgehalte in Tiefenwässern bis etwa 7.660 mg/l im Mittel; nur schwache Mineralisation in Deckgebirgsgrundwasserleitern	Chloridgehalte im Bereich 50.000 mg/l (Heinrich Robert) und 20.000 mg/l (Hansa);
Bergbau	Relativ geringe Abbauteufen; nur lokal tiefes Abbauniveau bis -1.200 mNHN (Feld Norbert Metz)	Überwiegend tiefer Abbau bis 1.500 m Teufe ; tagesnaher Altbergbau beschränkt auf Südwesten (Tremonia)
Hydraulik	Erheblicher Zufluss aus schwach mineralisiertem Deckgebirge und durch Versickerung von Niederschlagswässern	Keine hydraulischen Verbindungen zu tagesnahen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern
Wasserhaltung	Westliche Wasserprovinz: durch Pumpen kontrollierter Anstieg mit Betriebsphasen (Schutzwasserhaltung) Östliche Wasserprovinz: Einstellung sämtlicher Pumpen in 1993, seitdem ungehinderter Wiederanstieg und Annäherung an einen quasi-stationären Endzustand	Teilweise Einstellung von Wasserhaltungen; Teilflutung langfristig angedacht bis etwa Niveau -600 mNN

Aus Sicht der Autoren wird der wesentliche Unterschied des zukünftigen Grubenwasseranstiegs im BW Ost mit dem beobachteten Anstieg im Aachener Revier begründet durch die Präsenz eines ausgedehnten Grundwasserstauers (Emscher Mergel), der für das BW Ost bislang eine hydraulische Verbindung zwischen Grubenwasser/unterem Grundwasserleiter und Grundwasser aus einem oberen tagesnahen Grundwasserleiter verhindert. Eine hydraulische Verbindung zu oberflächennahem Grundwasser besteht nur im südwestlichen Randbereich, der bis zum Jahre 2014 i.W. durch die Zentrale Wasserhaltung Hansa mit entwässert wurde.

Die Übertragbarkeit von Flutungsverläufen wird ebenfalls kritisch gesehen in einer „Ersteinschätzung des LANUV (FB 52)“ vom 24.03.2016 (Dok. 56), die prüfen sollte, „ob durch den Gruben-

wasserwiederanstieg im nordrhein-westfälischen Steinkohlenrevier (Ruhrrevier) und der damit verbundenen Förderung von Grubenwasser aus niedrigeren Teufen mit einer geringeren Mineralisation der Förderwässer gerechnet werden kann“. Darin heißt es: *Aus dem Aachener Steinkohlerevier liegen aus einer Literaturstudie viele Beschaffenheitsdaten von Tiefenwässern vor, die eine Zonierung in Abhängigkeit vom Mineralgehalt anzeigt. Diese Zonierung bezieht sich aber v.a. auf die Salzkonzentrationen. Aussagen zur teufenspezifischen Zonierung anderer Stoffe können daraus nicht abgeleitet werden. Ob die Zonierung auf das Steinkohlerevier an der Ruhr übertragen werden kann, ist bislang nicht belegt und scheint gerade aufgrund der in Rosner (2011) im Detail aufgezeigten Prozesse und Randbedingungen fraglich. Eine grundsätzliche Übertragbarkeit (Abnahme im Hinblick auf den Salzgehalt) scheint demnach innerhalb eines vergleichsweise abgeschlossenen Einzelsystems unter der Voraussetzung geringer Strömungsgeschwindigkeit und nach vollständiger Flutung möglich. Jedoch bestehen viele Einflussfaktoren, die eine generelle Zonierung der Tiefenwässer beeinflussen, sie sogar aufheben können.*

Die Dissertation Rosner führt auf S. 101 eine Vergleichbarkeit der Grubenwasseranstiege Grube Maria/Aachener Revier und BW Westfalen/südöstliches Ruhrrevier an wegen starker Prägung durch Tiefenwasserzutritte bzw. fehlender oder nur untergeordneter Wasserzuläufe aus dem Deckgebirge.

Da die Autoren eine teilweise Vergleichbarkeit der Verhältnisse im BW Westfalen mit denen im BW Ost sehen, wie weiter unten erläutert, sei diese Ansicht Rosners hier relativiert. Die Autoren stützen sich dabei auf eigene Kenntnis und einen detaillierten Bericht der DMT „Hydrogeologisches Gutachten zu möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs nach Einstellung der bergbaulichen Wasserhaltung des Steinkohlenbergwerks Westfalen“ aus dem Jahre 2000 (Dok. 5). Dieser Bericht enthält eine gute Beschreibung der Grubenwasserzuflüsse während der Betriebszeit des BW Westfalen und stellt fest (S. 57): *Nach Abschalten der Wasserhaltungen in der Schachanlage Westfalen wird das Wasser im Grubengebäude ansteigen. Das Wasser entstammt dem Tiefen Grundwasserstockwerk (Karbon), im Wesentlichen aber auch dem Unteren Grundwasserstockwerk (Turon/Cenoman).*

Im Gegensatz zur Situation Grube Maria/Aachener Revier sind im Bereich BW Westfalen die Wässer des hangenden Grundwasserleiters (Cenoman/Turon) stark mineralisiert.

Im BW Westfalen waren allerdings die Grubenwasserläufe insgesamt gering, was sich auch in der anfänglich relativ geringen Anstiegsgeschwindigkeit (Rosner 2011, Abb. 8.1) widerspiegelt. Nach insgesamt 16 Jahren Grubenwasseranstieg liegt der Grubenwasserspiegel im Schacht 7 des BW Westfalen bei mittlerweile -472 m NN und hat damit den Grubenwasserspiegel der Grube

Maria über den gleichen Zeitraum in etwa erreicht, obwohl das Startniveau im BW Westfalen etwa 400 m tiefer lag. Für eine Vergleichbarkeit von historischen mit bevorstehenden Flutungsverläufen in unterschiedlichen Revieren, die Rosner nach dem Einfluss von Wasserzuläufen aus dem Deckgebirge zieht, fehlt noch als wichtige Einflussgröße die untertägige Hohlraumverteilung.

7.3 Vergleichende Betrachtungen zum Ibbenbürener Revier

Der Auftraggeber erwartet von den Autoren eine fachliche Einschätzung, inwieweit die in Ibbenbüren dokumentierte Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge eines Anstiegs auch im Ruhrrevier für den Standort Haus Aden/ Monopol erwartet werden kann und wenn ja, bis zu welchem Zeitpunkt.

Im Ibbenbürener Steinkohlerevier (Abbildung 37) wurde das Westfeld im Jahre 1979 stillgelegt. Die anschließende Flutung des Grubengebäudes erreichte im Dezember 1982 ein quasi-stationäres Niveau von +65 m NN. Das Grubenwasser des Westfeldes fließt seitdem ohne Pumpbetrieb über den Dickenberger Stollen aus dem stillgelegten Bergwerk. Die Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Westfeld ist dokumentiert. Die aktuell gültige wasserrechtliche Erlaubnis Grubenwasser aus dem stillgelegten Westfeld durch den Dickenberger Stollen über den Stollengraben in die Kläranlage Gravenhorst abzuleiten, datiert vom 30.11.2015 (Bez. Reg. Arnsberg Az. 61.i1-7-3-5). Die Erlaubnis ist gültig bis zum 31.12.2020 und regelt in ihren Nebenbestimmungen u.a. die Selbstüberwachung auf Mengen und Qualitätsparameter. Zusätzlich werden im Rahmen der Behördenüberwachung regelmäßig Analysen des Grubenwassers im Auftrag der Bez. Reg. Arnsberg erstellt. Die Ergebnisse dieser Überwachung stellte die Bez. Reg. Arnsberg in digitaler Form zur Verfügung. Damit standen den Autoren insgesamt ausreichend Daten zur chemischen Zusammensetzung der Grubenwässer des Westfeldes zur Verfügung, die eine fachliche Einschätzung erlaubten.

Das Ostfeld des BW Ibbenbüren wird in 2018 seine Kohleproduktion einstellen und anschließend soll das Ostfeld bis zu einer vorläufigen Höhe von etwa 100 m unter Gelände geflutet werden (Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG August 2014, S. 26ff).

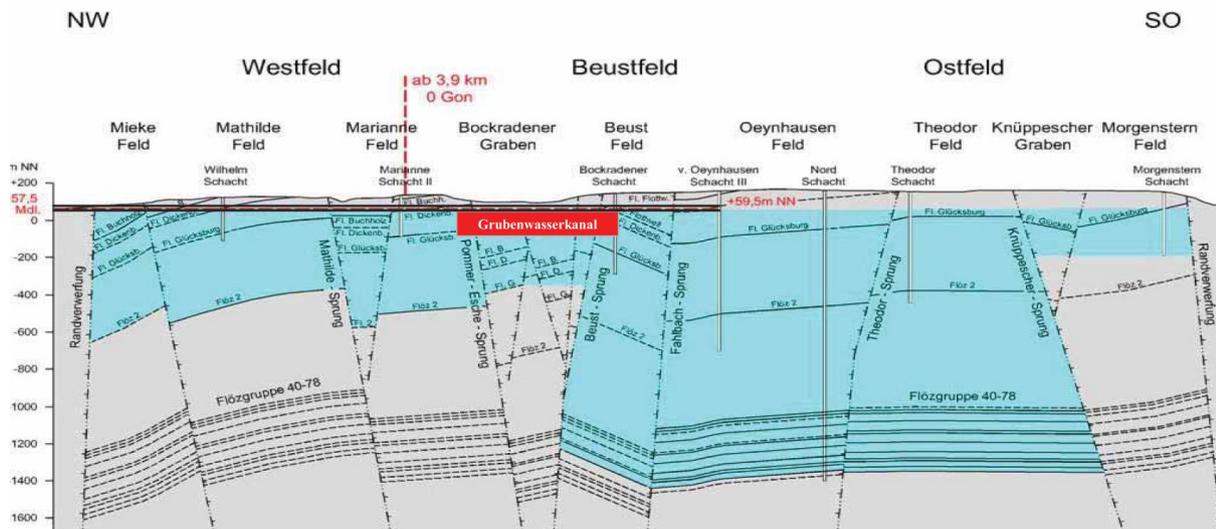


Abbildung 37: Schnitt durch das Ibbenbürener Steinkohlerevier (Quelle: RAG Anthrazit Ibbenbüren, Präsentation 21.11.2016)

Aus Sicht der Autoren weisen die räumlichen Bedingungen betreffend Geologie, Hydrogeologie und Bergbau in den Bereichen Ibbenbüren Westfeld und BW Ost so starke Unterschiede auf, dass eine Übertragbarkeit der langjährigen Erfahrungen aus dem Ibbenbürener Revier nicht zu erwarten ist. Die unterschiedlichen Bedingungen erläutert nachstehende Liste (Tabelle 5).

Tabelle 5: Wesentliche Unterschiede betreffend die räumlichen Bedingungen im BW Ibbenbüren, Westfeld und im BW Ost

Räumliche Bedingungen	BW Ibbenbüren, Westfeld	BW Ost
Geologie	Horstartig herausgehobener Höhenzug, zum großen Teil aus Formationen des Karbons bestehend	Teil des Münsterländer Beckens mit differenziertem, mächtigen Deckgebirge über Karbon

Räumliche Bedingungen	BW Ibbenbüren, Westfeld	BW Ost
Hydrogeologie	1 Grundwasserstockwerk (Karbon) mit direkter hydraulischer Verbindung zwischen Tagesoberfläche und Grubengebäude	3 Grundwasserstockwerke: <ul style="list-style-type: none"> • Tiefer Grundwasserleiter (Karbon) • Unterer Grundwasserleiter (Cenoman/Turon) • Oberer Grundwasserleiter (Oberkreide, Quartär). Mächtiger Grundwasserstauer (Emscher Mergel) zwischen unterem und oberem Grundwasserleiter; direkte hydraulische Verbindung zwischen Grubengebäude und Tagesoberfläche beschränkt auf südwestlichen Randbereich
Bergbau	Tagesöffnungen in Form von Schächten und Stollen, Abbau wenige 100 m unter Gelände und tagesnaher Altbergbau	Überwiegend vertikale Tagesöffnungen (Schächte), Abbau bis 1.500 m Teufe; tagesnaher Altbergbau beschränkt auf Südwesten (z.B. BW Tremonia)

Das Grubenwasser des Ost- und Westfeldes fließt daher in einem zur Atmosphäre hin offenem System. Die hydrochemischen Eigenschaften des Grubenwasserauslaufs am Dickenberger Stollen werden durch relativ hohe Eisen- und Sulfatgehalte bei saurem pH-Wert charakterisiert. Die Oxidation von sulfidischen Mineralien und die Auswaschung der Oxidationsprodukte halten offensichtlich auch nach mehr als 35 Jahren des Grubenwasseranstiegs weiterhin an. Dagegen erhalten die Flutungswässer im BW Ost nach Einstellung der Bewetterung keinen Zugang mehr zum Sauerstoff aus der Atmosphäre. Es werden sich folglich reduzierende anstelle der vormals oxidierenden Bedingungen einstellen. Dies ist bereits in Teilen des Grubengebäudes des BW Ost geschehen, so dass eine Behandlung des Grubenwassers notwendig wurde, um den Geruch von Schwefelwasserstoff zu unterdrücken.

Bezüglich der Chloridgehalte zeigen die Grubenwässer am Dickenberger Stollen nachhaltig sehr niedrige Konzentrationen. Diese wurden im Mittel der Jahre 2011 bis 2015 mit 116 mg/l bestimmt

(Bez. Reg. Arnsberg, Dok. 10). Die Chloridgehalte vor Flutung des Westfeldes werden mit knapp unter 2.000 mg/l angegeben (RAG Anthrazit Ibbenbüren, Dok. 12).

Die aktuellen Chloridkonzentrationen im Grubenwasser des Ostfeldes liegen bei etwa 22.000 mg/l. Die Erwartungswerte der Chloridkonzentration werden angegeben mit ca. 6.400 mg/l bei dem geplanten vorläufigen Anstieg und mit ca. 610 mg/l bei einem Grubenwasseranstieg mit Auslaufniveau bei ca. +60 mNN (RAG Anthrazit Ibbenbüren, Dok. 12).

Die dokumentierten Chloridkonzentrationen stehen im Einklang mit dem Grundsatz: Zunahme der Mineralisation mit der Teufe bzw. Abnahme der Mineralisation mit Höhe der Flutung. Das Ostfeld wird bis zu einer größten Teufe von 1600 m betrieben, während der Abbau des Westfeldes bis zu einer Maximalteufe von etwa 600 m unter Gelände stattfand.

Eine Übertragbarkeit der Chloridentwicklung bei Flutung des Westfeldes auf die Verhältnisse im BW Ost ist aus fachlicher Einschätzung der Autoren wegen der vorgenannten räumlichen und daraus resultierenden hydraulischen Unterschiede nicht gegeben. Im Gegensatz zum Westfeld wird das Grubengebäude des BW Ost nach aktueller Datenlage auch langfristig keine vertikale hydraulische Verbindung zu höher gelegenem „Süßwasser“ erhalten.

7.4 Fachliche Einschätzung zur Entwicklung der Mineralisation im Ruhr Revier

Wie bereits in den fachlichen Einschätzungen zur Vergleichbarkeit der Situation im BW Ost mit den Revieren Ibbenbüren und Aachen erwähnt, erwarten die Autoren bei einem Grubenwasseranstieg im BW Ost bis zum Niveau von etwa -600 mNN keine Minderung der Mineralisation. Wie auch in der Dokumentation der DMT dargelegt, ist gemessen an der heutigen Situation, eine Zunahme der Mineralisation für die am Standort Haus Aden eingeleiteten Grubenwässer zu erwarten. Der Grund hierzu liegt darin, dass die Grundwässer aus dem unteren Grundwasserleiter (Cenoman/Turon), die sich mit dem Grubenwasser aus dem Karbon mischen, ebenfalls hoch mineralisiert sind und daher kein „Aussüßungspotential“ vorhanden ist. Diese Bedingung gilt für den flächenmäßig größten Teil des BW Ost.

Der südwestliche Randbereich der zentralen Wasserhaltung BW Ost (Kurl 1, Tremonia) umfasst aber auch geologisch unterschiedliche Bedingungen, die wegen geringer mächtig werdenden Emscher Mergels hydraulische Verbindungen zwischen dem oberen („süßen“) und dem unteren („salzigen“) Grundwasserstockwerk erlauben. Insofern ist eine pauschalierende Aussage zur langfristigen Mineralisation im Gesamtbereich BW Ost nicht geboten. Die Autoren sehen allerdings wegen der hohen Mineralisation der tieferen Grund- und Grubenwässer und wegen der

großen Distanz zur Wasserhaltung Haus Aden auch langfristig keinen nennenswerten Einfluss der Verhältnisse am südwestlichen Rand auf die Mineralisation bei Förderung der Grubenwässer am Standort Haus Aden.

Mit dem BW Ost vergleichbare geologische und hydrogeologische Bedingungen finden sich in den dem BW Ost benachbarten Bergwerken Königsborn (Einstellung der Wasserhaltung in 1996) und Westfalen (Einstellung der Wasserhaltung in 2000), die beide in fortgeschrittener Flutung sind.

Den Autoren wurde ein Bericht der DMT „Hydrogeologisches Gutachten zu möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs nach Einstellung der bergbaulichen Wasserhaltung des Steinkohlenbergwerks Westfalen“ aus dem Jahr 2000 verfügbar gemacht. Darin werden wesentliche historische Daten zur Wasserhaltung im BW Westfalen zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige hydrogeologische Verhältnisse gegeben. Auswertbare Berichte zum bisher erfolgten Verlauf der Flutungen in beiden Bergwerken liegen den Autoren allerdings nicht vor. Es ist aber mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass aus beiden Flutungen wertvolle Erkenntnisse für die Flutung am größeren BW Ost gewonnen werden können.

Obwohl BW Königsborn und BW Westfalen untertägig hydraulisch isoliert und vom BW Ost abgekoppelt sind, wird letztlich eine hydraulische Verbindung über den unteren Grundwasserleiter geschaffen, da alle drei Bergwerke mit dem unteren Grundwasserleiter in Verbindung stehen. Hydraulisch wirksame Verbindungen zwischen dem Cenoman/Turon und dem Karbon sind durch historische Wassereinbrüche (Huske 2006) belegt und werden im Bericht der DMT detailliert beschrieben.

Bei fortdauernder Förderung von Grubenwasser aus dem BW Ost ist dann nicht auszuschließen, dass langfristig wegen des nach Norden ausgerichteten Druckgradienten auch Wasser aus den Bereichen Königsborn und Westfalen in der Wasserhaltung Haus Aden gehoben werden wird.

7.5 Zusammenfassende Einschätzung

Im Ergebnis des Vergleichs mit dem Aachener und dem Ibbenbürener Revier wird von den Autoren eingeschätzt, dass eine Übertragbarkeit der beobachteten Flutungsverläufe bzw. insbesondere der Entwicklung der Mineralisation nicht gegeben ist. Die Ursachen dafür wurden im Detail für beide Reviere analysiert. Sie sind vor allem in den unterschiedlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und damit im Zusammenhang mit der abweichenden Mineralisation der Zuflüsse zu sehen. Bei derartigen Vergleichen wird immer wieder deutlich, dass zwar ei-

nige generelle Trends bei Grubenflutungen übertragbar sind (einheitlicher Grubenwasserspiegel innerhalb des Grubengebäudes, Ausspülen von Oxidationsprodukten sulfidischer Gemengeteile, geringer werdender Einfluss von Tiefenwasserzuflüssen durch den sich erhöhenden hydrostatischen Druck und sukzessive „Aussüßung“ bei steigendem Zuflussanteil aus gering mineralisierten Deckgebirgsgrundwasserleitern), jedes Revier jedoch seine spezifischen Besonderheiten aufweist und damit im Detail betrachtet werden muss.

8 Weitergehende Betrachtungen - Szenarienanalyse

8.1 Motivation und Vorgehensweise

In diesem Abschnitt sollen Szenarien untersucht werden, die aus der Sicht der Bearbeiter besonders relevant im Zusammenhang mit der Grubenflutung zu sehen sind. Diese Szenarienbetrachtungen erscheinen vorm dem Hintergrund des im Rahmen der Bearbeitung entwickelten Systemverständnis sinnvoll. Sie wurden deshalb zusätzlich zu den beauftragten Leistungen durchgeführt.

Zunächst sollen die Auswirkungen eines höheren Flutungsniveaus auf die Qualität der zu hebenden Wässer untersucht werden. Dazu wird in Abschnitt 8.2 angenommen, dass die Flutung bis zu dem Niveau von -300 m NN fortgesetzt wird. Eine stoffliche Beeinflussung von genutzten Trinkwasserressourcen wird aufgrund der hydraulischen Verhältnisse auch bei diesem Flutungsstand nicht erwartet.

Außerdem erfolgt in Abschnitt 8.3 eine Untersuchung dahingehend, welche Auswirkungen die Unwirksamkeit ausgewählter hydraulischer Verbindungen auf den Flutungsstand hat. Dies ist vor allem dadurch motiviert, dass es zwischen einigen Grubenfeldern nur eine einzige hydraulische Verbindung gibt. Daraus können bei der zentralen Wasserhaltung unerwünschte Konsequenzen entstehen.

8.2 Weiterflutung bis zu einem Flutungsstand von -300 m NN

Das Szenario Weiterflutung der Gruben soll das mögliche Potential bezugnehmend auf Reduzierung der Pumpenleistung sowie die Verringerung der Mineralisation des Förderwassers darstellen. Dazu wird angenommen, dass die Wasserhaltung erst bei dem -300 mNN Niveau wieder in Betrieb genommen wird. Dieses Niveau wurde gewählt, um einen deutlichen Effekt zu demonstrieren. Die Prüfung damit verbundener Risiken liegt nicht im Rahmen dieses Gutachtens. Als Ergebnis der Modellierung sind keine nennenswerten hydraulischen Änderungen zu verzeichnen (Abbildung 38). Die Flutungsdauer beträgt etwa 8 Jahre. Der Zufluss geht bei Zugrundelegung des von DMT postulierten Zusammenhangs zwischen Flutungsniveau und Zufluss um ca. 4 m³/min zurück. Bei eher konservativer Betrachtung, wie er Bestandteil der in Abschnitt 5 durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen ist, kann dieser Rückgang auch deutlich geringer ausfallen. Jedoch kann behauptet werden, dass eine Weiterflutung bis zu einem solchen Niveau zu einer deutlichen Reduzierung der Energiekosten für das Pumpen führt. Gegenüber dem Niveau von – 600 m NN wird von einer Reduzierung auf ca. 50% ausgegangen. Dies ist einerseits be-

dingt durch die Reduzierung der Förderhöhe und andererseits durch die geringfügige Reduzierung des Volumenstromes.

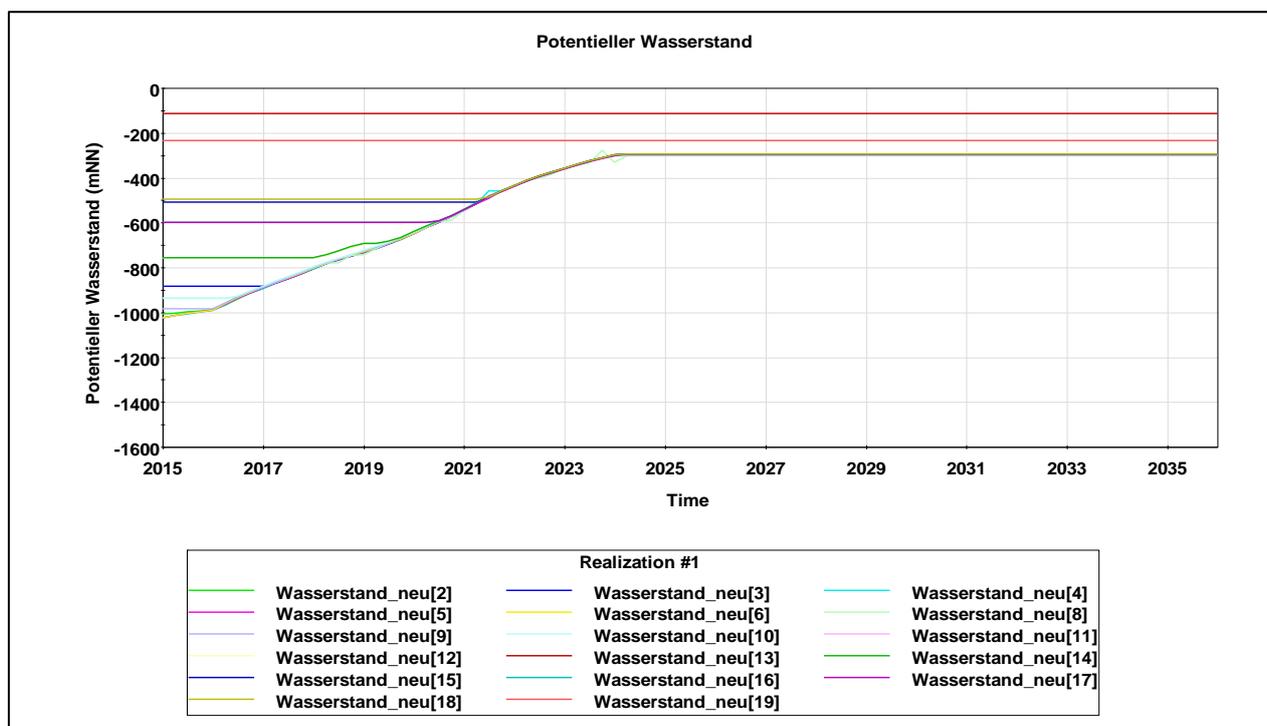


Abbildung 38: Prognose der Flutung bei Anhebung des Flutungsniveaus auf -300 mNN ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)

Im Zuge der stofflichen Prognose ließ sich klar der Einfluss der Abdrückfunktionen für die Elemente nachvollziehen. Die SO_4 – Konzentration (Abbildung 39) und die Fe – Konzentration (Abbildung 41) nehmen während der Flutung auf das -300 mNN Niveau zu. Dies sind die Bestandteile, die als Folge der Pyritoxidation vorrätig im umgebenden Gestein vorliegen und durch Diffusion in das Strömungsfeld gelangen. Nach Erreichen des Flutungsniveaus klingen beide Konzentrationen ab. Der Anstieg der Cl – Konzentration (Abbildung 40) ist stark von den Zuflüssen in die Provinz Haus Aden abhängig. Während der Flutung (bis etwa 2024) nimmt die Konzentration zu, da die westlichen Gruben gefüllt werden, somit fließt weniger geringmineralisiertes Wasser nach Haus Aden. Dieser Anteil nimmt nach Erreichen des -300 mNN Niveaus zu, sodass die Konzentration zügig fällt. Der anschließende Anstieg ist durch die Wiedererhöhung der Salinität der Ostprovinzen zu begründen. Im Vorfeld strömte gering mineralisiertes Grubenwasser der Westprovinzen in den östlichen Bereich und führte zur Verdünnung der Wasser. Da dieser Zufluss wegfällt, konzentrieren sich die Grubenwässer der östlichen Grubenfelder entsprechend

derer natürlichen Zuflüsse auf. In Summe wird die Konzentration in Haus Aden nicht mehr wesentlich ansteigen, da der Zufluss der westlichen Provinzen deutlich höher ist. Die Konzentration an Barium (Abbildung 42) wird von der SO_4 – Konzentration und somit der Ausfällung von Barit bestimmt. Je mehr Sulfat in der Lösung ist, desto geringer ist die Ba – Konzentration und umgekehrt.

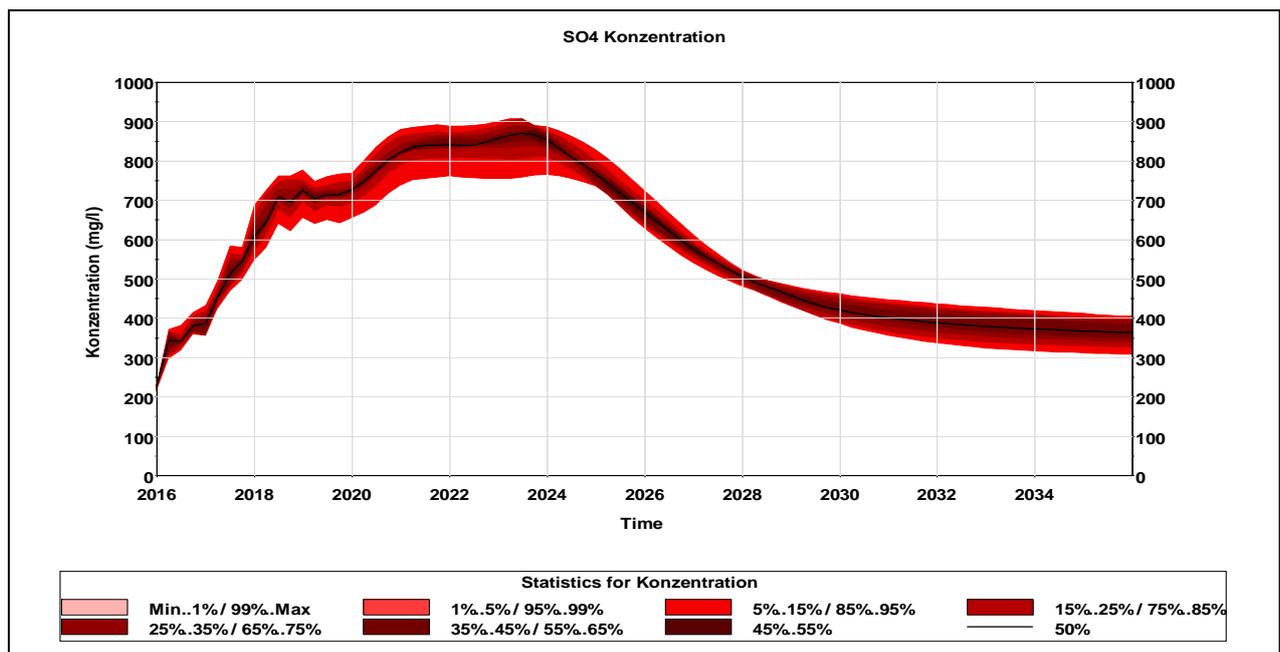


Abbildung 39: Prognose zur Entwicklung der SO_4 – Konzentration in Haus Aden für das Flutniveaue -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

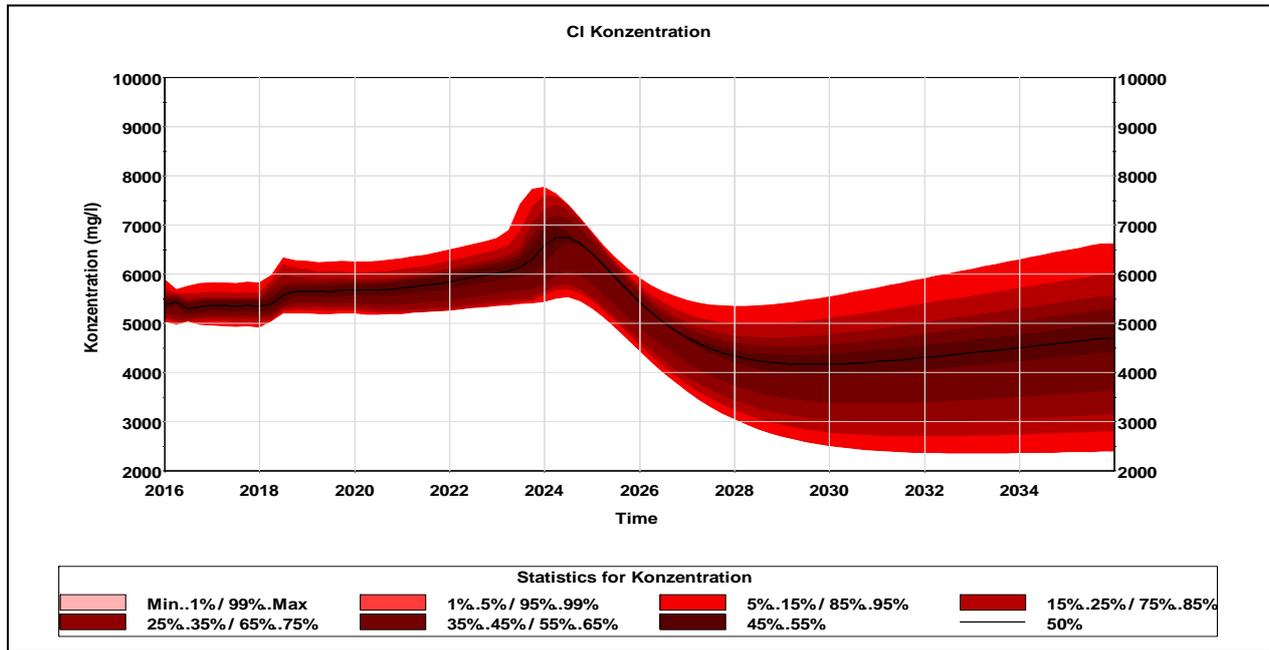


Abbildung 40: Prognose zur Entwicklung der Cl – Konzentration in Haus Aden für das Flutungs-niveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

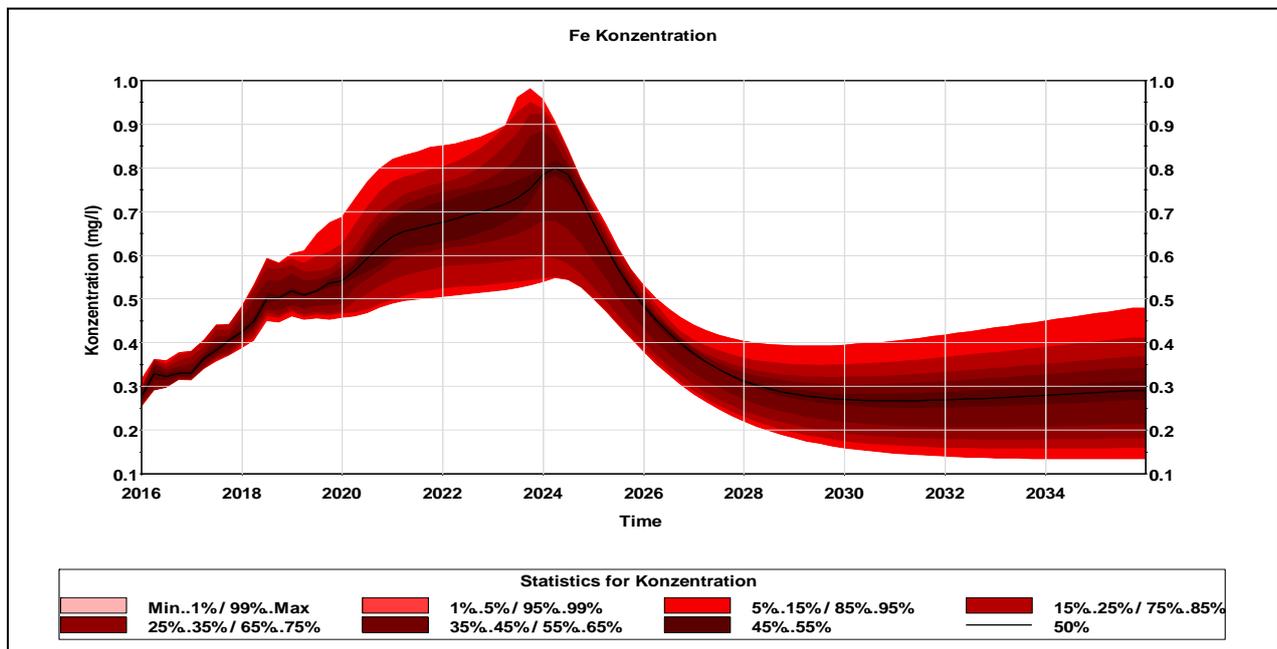


Abbildung 41: Prognose zur Entwicklung der Fe – Konzentration in Haus Aden für das Flutungs-niveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

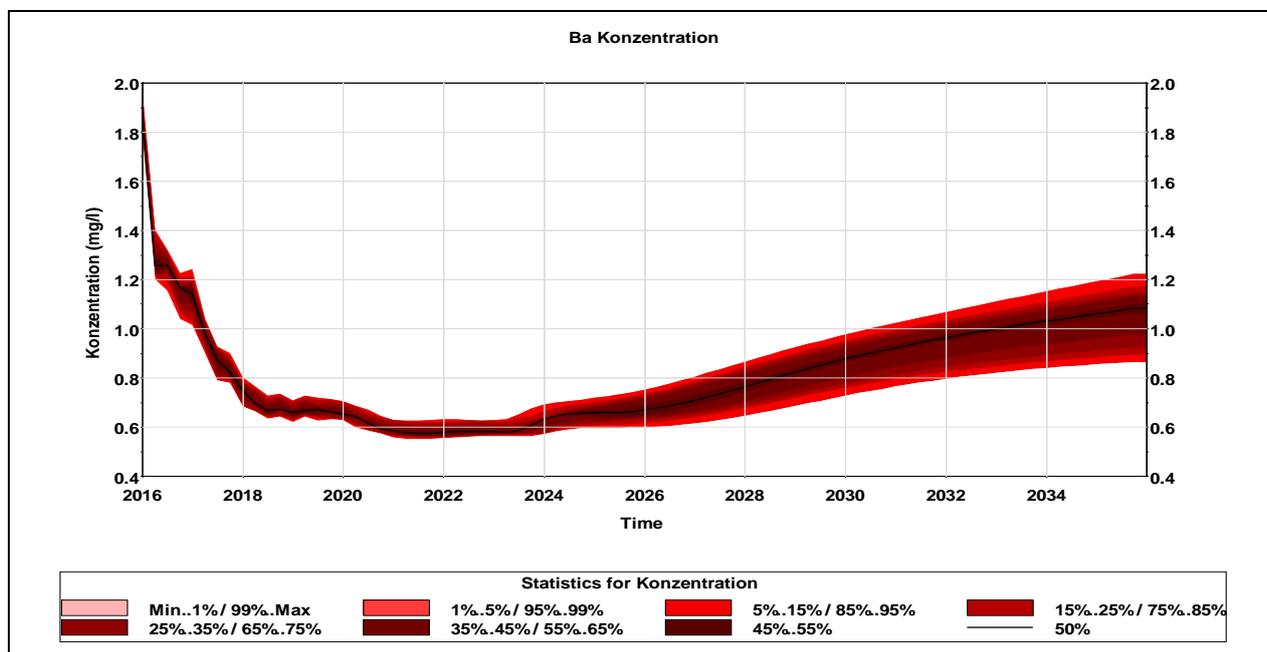


Abbildung 42: Prognose zur Entwicklung der Ba – Konzentration in Haus Aden für das Flutungsniveau -300 mNN unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Werden die Konzentrationen für das -300 mNN Niveau mit dem -600 mNN Niveau verglichen, ist festzustellen, dass bei Flutung auf das höhere Niveau geringere Konzentrationen zu erwarten sind (Tabelle 6). Insbesondere Cl kann durch diese Maßnahme um 2000 bis 3000 mg/l reduziert werden.

Tabelle 6: Gegenüberstellung von prognostischen minimalen und maximalen Konzentrationen für die Flutungsniveaus – 600 mNN und -300 mNN

Element	-600 mNN Minimum	-600 mNN Maximum	-300 mNN Minimum	-300 mNN Maximum
SO ₄ [mg/l]	272	315	300	400
Cl [mg/l]	5500	8400	2250	6750
Fe [mg/l]	0,32	0,65	0,12	0,49
Ba [mg/l]	1,5	1,9	0,85	1,2
B [mg/l]	1,1	1,3	1,0	1,2
NH ₄ [mg/l]	4,2	6,0	3,0	5,4
Zn [mg/l]	0,12	0,19	0,06	0,15
Pb [mg/l]	0,004	0,006	0,003	0,005

Element	-600 mNN Minimum	-600 mNN Maximum	-300 mNN Minimum	-300 mNN Maximum
Cd [mg/l]	0,0006	0,0008	0,0004	0,0007
Ni [mg/l]	0,005	0,007	0,004	0,006
Cu [mg/l]	0,007	0,009	0,006	0,008
Cr [mg/l]	0,003	0,004	0,003	0,004

8.3 Sensitivität von ausgewählten hydraulischen Verbindungen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde festgestellt, dass einige Strecken existieren, denen aus hydraulischer Sicht eine große Bedeutung zukommt. Allen voran die Strecke zwischen den Provinzen Victoria 1-2 (10) und Haus Aden (9). Sie verbindet in großer Tiefe den gesamten westlichen Teil des Grubensystems mit der Wasserhaltung. Verringert sich die Durchlässigkeit der Verbindung signifikant, besteht die Gefahr, dass das westliche Grubensystem (Nr. 10-19) vollläuft (Abbildung 43). Eine Ertüchtigung dieser Verbindung ist wegen der schon bestehenden Überflutung nicht mehr möglich. Für diesen Fall sind im Grubenwasserkonzept der RAG für die Provinz Hansa „Reservebrunnen“ ausgewiesen. Im Detail sollen die Schächte 2 und 3 der Grube Hansa bei Bedarf zu Wasserhaltungen ausgebaut werden. Ebenfalls ist die Strecke zwischen der Provinz Hansa (17) und Minister Stein (16) von besonderer Bedeutung. Fällt die tiefergelegene Strecke (-750,7 mNN - -705,1 mNN) aus, steigt der Wasserspiegel bis auf -369,3 mNN bevor die obere Verbindung aktiv werden kann (Abbildung 44).

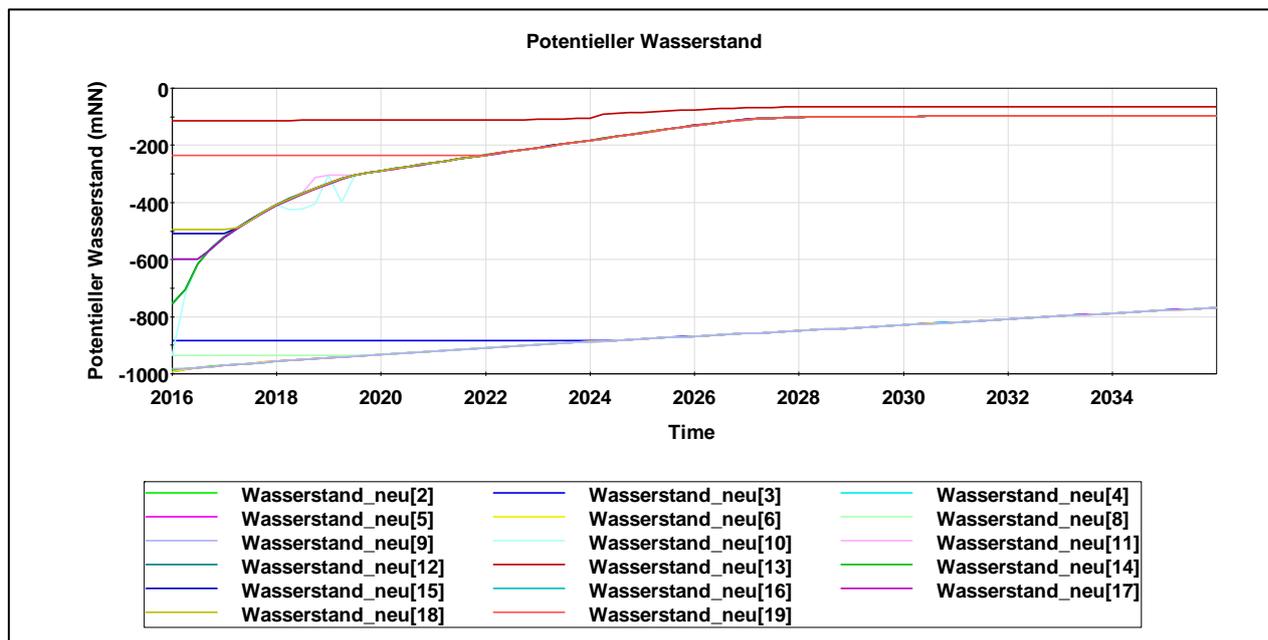


Abbildung 43: Entwicklung des Wasserspiegels bei Verschließen der Tiefenverbindung Victoria 1-2 – Haus Aden ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)

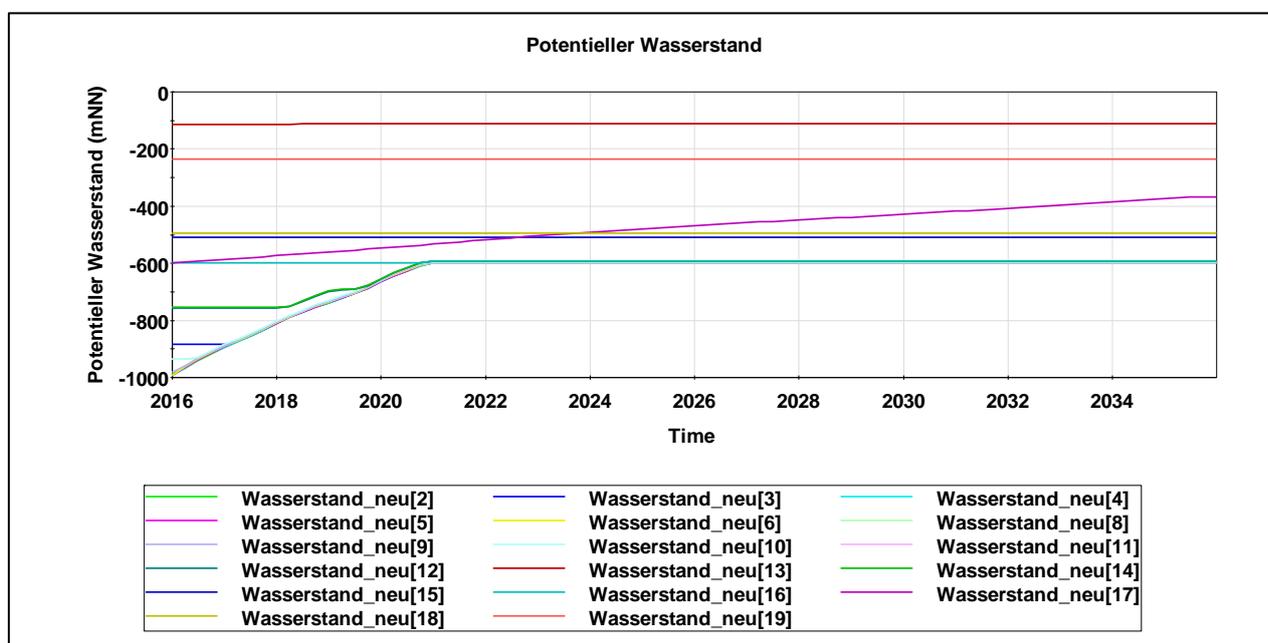


Abbildung 44: Entwicklung des Wasserspiegels bei Verschließen der Tiefenverbindung Hansa – Minister Stein ([Zahlen in Klammern] beziehen sich auf die Nummerierung der Grubenfelder gemäß Abbildung 1)

8.4 Zusammenfassende Einschätzung

Als erstes Szenario wurde die Weiterflutung bis zu einem Niveau von -300m NN untersucht. Dabei wurde deutlich, dass die Pumprate um einige m³/min zurückgeht. Auch wird erwartet, dass die Konzentrationen an Cl und Barium gegenüber dem Flutungsniveau von -600 m NN zurückgehen. Dies steht im Zusammenhang mit der Reduzierung salinärer Zuflüsse durch den erhöhten Wasserspiegel. Demgegenüber wird ein Anstieg der Konzentrationen von Sulfat und Eisen zum Ende der Simulation erwartet. Dies resultiert aus der Mobilisierung weiterer Stoffpotenziale und wird im weiteren Verlauf wieder abklingen.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass eine Flutung auf ein höheres Niveau als -600 m NN deutliche Vorteile bieten könnte, insbesondere die Reduzierung der sich einstellenden Chloridkonzentration sowie die signifikant reduzierten Energiekosten (Pumpkosten) . Deshalb wird aus technischer Sicht empfohlen, diese Variante einer Detailprüfung unter Einbeziehung des hydrogeologischen Umfeldes (insbesondere Ausschluss der Beeinflussung der TW-Gewinnung in den Halterner Sanden) sowie technischer Randbedingungen (Verbindungen zu weiteren Grubenfeldern, Rückzugsstrategie etc.) durchzuführen.

In einem weiteren Szenario wurde angenommen, dass einzelne, für das hydraulische System wesentliche Verbindungen ihre hydraulische Funktion verlieren (deutliche Reduzierung des Leitwertes – Strecken verschließen sich). Von besonderer Bedeutung ist hierbei einerseits die Strecke zwischen den Provinzen Victoria 1-2 (10) und Haus Aden (9) sowie andererseits die Strecke zwischen der Provinz Hansa (17) und Minister Stein (16). Es wird deutlich, dass beide hydraulischen Verbindungen essentiell für das Funktionieren des Gesamtsystems sind, wobei der Strecke zwischen den Provinzen Victoria 1-2 (10) und Haus Aden (9) die entscheidende Bedeutung zukommt, da ein Versagen zu einem vollständigen Volllaufen des westlichen Grubensystems führen würde. Da das Versagen einzelner Strecken im Steinkohlenbergbau nicht unwahrscheinlich ist, wird daraus die Schlussfolgerung gezogen, dass hierfür entsprechende Notwasserhaltungskonzepte vorgesehen werden sollten. Für diesen Fall sind im Grubenwasserkonzept der RAG für die Provinz Hansa „Reservebrunnen“ ausgewiesen. Im Detail sollen die Schächte 2 und 3 der Grube Hansa bei Bedarf zu Wasserhaltungen ausgebaut werden. Das geförderte Wasser soll anschließend in die Emscher eingeleitet werden. Insofern kann damit festgestellt werden, dass das Versagen der genannten Verbindungen zwar kritisch wäre, im Flutungskonzept diesem Sachverhalt jedoch bereits entsprechend Rechnung getragen wurde.

9 Fortführende Bearbeitung

9.1 Motivation

Im Zusammenhang mit der Erstellung des Gutachtens wurde eine Vielzahl von Sachverhalten analysiert und Betrachtungen angestellt. Insbesondere auch mit dem im Zusammenhang der Begutachtung entwickelten Modell bieten sich Möglichkeiten der weiteren Nutzung an. Dies wird in den Abschnitten 9.2 und 9.3 erläutert. Weiterhin wird die Erweiterung und Pflege der im Rahmen des Projektes entwickelten Datenbank empfohlen, in der sämtliche relevanten Informationen zur Grubenflutung konsistent enthalten und jederzeit abrufbar sind. Dies wird in Abschnitt 9.4 dargestellt.

Die nachfolgend aufgelisteten Aspekte sollen lediglich Anregungen darstellen, die auf Wunsch des Auftraggebers auch gerne detailliert untersetzt werden können.

9.2 Weiterentwicklung des Modells und Untersuchung von Detailspekten

Im Rahmen der Bearbeitung wurde erstmals ein hydraulisch geochemisches Flutungsmodell für das Bergwerk Ost entwickelt, welches analog zum Modell der DMT in der Lage ist, belastbare Flutungsprognosen zu erstellen. Dieses Werkzeug kann für weitergehende Betrachtungen, Sensitivitätsanalysen, Szenarienbetrachtungen usw. von Seiten des Auftraggebers genutzt werden. Die flexible Modellstruktur gestattet es, sowohl Teilbereiche detailliert räumlich aufzulösen als auch zusätzliche Prozesse in das Modell einzubeziehen. Bspw. können Fragen im Zusammenhang mit der Optimierung des Flutungsniveaus detaillierter untersucht werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, das Modell auf weitere Grubenfelder bzw. Wasserprovinzen auszudehnen und somit eine Grundlage für eine belastbare Einschätzung der Frachteinträge in das gesamte Oberflächenwassersystem zu erarbeiten. Mit fortschreitender Flutung kann das Modell weiter kalibriert und damit die Unsicherheiten deutlich reduziert werden. Damit wird der Auftraggeber in die Lage versetzt, die langfristige Entwicklung von Wassermengen und Wasserqualitäten der Wasserhebungen unabhängig zu beurteilen.

9.3 Aufbau und Übergabe eines GoldSim Player Files

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dem Auftraggeber das bestehende Modell in einer solchen Form zu übergeben, dass dieser eigenständig Parameter ändern und Prognosen erstellen kann. Dazu bietet die zur Modellimplementierung genutzte Software GoldSim™ die Möglichkeit,

das Modellfile als sogenanntes Playerfile zu speichern, welches mit einer nutzerfreundlichen Oberfläche versehen werden kann. Dieses kann dann an den Auftraggeber übergeben werden. Zusammen mit einer entsprechenden Einweisung und Schulung werden die Mitarbeiter des Auftraggebers in die Lage versetzt, eigenständig Flutungsprognosen mit geänderten Parametern oder Randbedingungen durchzuführen. Weitere Spezialsoftware wird nicht benötigt.

9.4 Erweiterung und Pflege einer zentralen Datenbank mit sämtlichen relevanten Daten zur Flutung des BW Ost

Im Zusammenhang mit der Erstellung der Studie wurden die für das Verständnis und die Modellierung der Grubenflutung relevanten Daten identifiziert und die maßgeblichen wurden von der RAG bereitgestellt. Damit liegt nunmehr eine Datengrundlage vor, die insbesondere um weitere Monitoringdaten, sowie Daten zur Wasserhaltung fortlaufend ergänzt bzw. gepflegt werden sollte.

Um die Nutzungsmöglichkeit der Daten zu erhöhen, wurde von uns eine WEB-basierte Datenbank aufgebaut, die mit einem gesicherten Zugriff über das Internet nutzbar ist. Das zugrundeliegende Datenbankkonzept basiert auf dem im Rahmen der Wismut-Sanierung entwickelten Datenbanksystems AL.VIS. Es ist in der Lage, sämtliche mit einer Sanierung bzw. Grubenflutung in Zusammenhang stehenden Daten konsistent zu halten und bietet eine Vielzahl flexibler Recherchemöglichkeiten.

Beispielsweise wird von der Wismut GmbH neben dem umfassenden internen AL.VIS-basierten Datenmanagement eine ausgewählte Datenmenge für die Genehmigungsbehörden bereitgestellt. Damit können diese immer auf die aktuellen Monitoringdaten und weitere relevante Daten zugreifen.

Unter diesem Blickwinkel wird empfohlen, die im Rahmen des Projektes entwickelte Datenbank in enger Zusammenarbeit mit der RAG zu pflegen und fortzuführen. Zudem wird empfohlen, analog zum Bergwerk Ost auch vergleichbare Daten weiterer Grubenfelder bzw. Wasserprovinzen in dieser Datenbank abzulegen und diese Daten zu pflegen. So ist für alle zukünftigen Bewertungen und Einschätzungen eine einheitliche Datengrundlage vorhanden.

10 Literaturverzeichnis

- [1] IHS, SCHEDELIG, HEITFELD, ROSNER UND PAAPE (2007): Gutachten zu den möglichen Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier auf die Schutzgüter und den daraus resultierenden Monitoring-Maßnahmen.
- [2] STRUCKMEIER, W. (1990): Wasserhaushalt und Hydrologische Systemanalyse des Münsterländer Beckens.
- [7] RUDOLPH (2006): Deckgebirgsdaten im südwestlichen Münsterland und Ruhrgebiet. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie Heft 101.
- [43] RAG (2014): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen .
- [44] GRIGO, HEITFELD, ROSNER UND WELS [2007]: Ein Konzept zur Überwachung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Ruhrgebiet. 7. Altbergbau-Kolloquium. Freiberg
- [45] MUNLV (2008): Bewirtschaftungsziele bei durch Grubenwassereinleitungen beeinflussten Oberflächenwasserkörpern in Nordrhein-Westfalen .
- [46] ROSNER (2011): Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier - eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge. Dissertation RWTH Aachen.
- [47] MKULNV (2015): Hintergrundpapier Steinkohle zum Bewirtschaftungsplan 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas.
- [48] BUND (2015): Stellungnahme BUND zum Hintergrundpapier Steinkohle zum Bewirtschaftungsplan 2016-2021.
- [49] DMT, KLINGER, ECKART (2015): Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost.
- [50] MKULNV (2015): Brief an LANUV betreffend EU-Wasserrahmenrichtlinie, Grubenwassermonitoring, Daten 2014.
- [51] MKULNV (2016): Brief an Geol. Dienst betreffend Grubenwasseranstieg und Mineralisation von Wässern.
- [52] MKULNV (2016): Präsentation Dr. Friederike Vietoris Auftaktgespräch.

-
- [53] MELCHERS, GOERKE-MALLET, HENKEL, COLDEWEY, WESCHE (2015): Dichteschichtungen in Flutungswasserkörpern als Beitrag zur Optimierung der langzeitigen Wasserhaltung; Mining Report 151 (2015) No. 6.
- [54] RAG (2016): Präsentation Dr. Michael Drobniowski Die technische Ausgestaltung und der Stand des Grubenwasserkonzeptes.
- [55] RAG (2016): Präsentation Dr. Michael Drobniowski Technische Möglichkeiten zur Steuerung laufender Grubenwasseranstiege.
- [56] LANUV (2016): Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge des Grubenwasserwiederanstiegs im nordrhein-westfälischen Steinkohlerevier.
- [57] AHU (2016): Zwischenbericht - Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen. Teil 1.
- [58] DMT, KLINGER, ECKART, RÜTERKAMP, KAPPERNAGEL (2016): 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.
- [59] MWEIMH (2014): Brief Aktueller Stand und Grundlagen der Planungen für die langfristige Wasserhaltung in der Steinkohle.
- [60] MWEIMH (2014): Brief Sitzung des Unterausschusses Bergbausicherheit am 05.09.2014 Wasserhaltungskonzept der RAG AG (identisch mit Dok. [43])
- [61] MWEIMH (2015): Brief Erkenntnisse der Landesregierung zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen und etwaigen Umweltauswirkungen.
- [62] MWEIMH (2015): Brief Erkenntnisse der Landesregierung zum Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen und etwaigen Umweltauswirkungen (Stand: 17.02.2015, nochmals ergänzt 19.03.2015).
- [63] MWEIMH (2015): Brief 17. Sitzung des Unterausschusses Bergbausicherheit am 24.04.2015 in Dortmund zu TOP 2 "PCB-haltige Hydraulikflüssigkeiten in RAG Bergwerken".
- [64] MKULNV (2015): Brief PCB haltige Hydraulikflüssigkeiten in RAG Bergwerken, Genehmigungssituation Bergwerk Walsum.

-
- [65] MWEIMH & MKULNV (2015): Brief PCB im Grubenwasser, Sondermessprogramm 2015 - Belastungen von Oberflächengewässern und von aktiven Grubenwassereinleitungen mit bergbaubürtigem PCB.
- [66] ahu AG (2017): Entwurf des Abschlussberichts Teil I - Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen (Stand Januar 2017).