

Abschlussbetriebsplan

des

Steinkohlenbergwerks Ibbenbüren

Anlage 17

**Prognose zur optimierten Wasserannahme
nach Stilllegung des
Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld)**

DMT GmbH & Co. KG

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



Prognose zur optimierten Wasserannahme nach Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld)

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

Bestellung: 4969307/I01/DA vom 29.07.2013

Sachverständige: Dr. C. Klinger
P. Rüterkamp
Dr. M. Eckart

Tel.-Durchwahl: 0201/172-1812

Fax: 0201/172-1891

DMT-Bearbeitungs-Nr.: EG-HW-2012-056

Essen, den 19.02.2019

DMT GmbH & Co. KG

Handwritten signatures in blue ink. The signature on the left is for Dr. C. Klinger, and the signature on the right is for P. Rüterkamp.

(Klinger)

(Rüterkamp)

Dieses Gutachten besteht aus 104 Seiten.



DIN EN ISO
9001
zertifiziert

DIN EN ISO
14001
zertifiziert

Earth. Insight. **Values.**

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
1 Einleitung	7
2 Verwendete Unterlagen.....	9
3 Ibbenbürener Karbonscholle	12
3.1 Westfeld.....	15
3.1.1 Struktur	15
3.1.2 Grubenwassersituation	15
3.1.3 Stilllegungsmaßnahmen.....	18
3.1.4 Wasseranstieg	19
3.1.5 Wasserqualität	22
3.2 Ostfeld	25
3.2.1 Struktur	25
3.2.2 Erzbergbau	26
3.2.3 Bergwerksaufbau	28
3.2.4 Wasserzuflüsse.....	32
3.2.5 Grubenwasserqualität	40
4 Modellaufbau.....	45
4.1 Boxmodell als Prognosewerkzeug	46
4.2 Abbauflächen und Boxen	47
4.3 Resthohlraumvolumen	50
4.4 Hydraulisch wirksame Verbindungen	53
4.5 Grubenwasserinhaltsstoffe.....	58
4.6 Kalibrierung Westfeld.....	65
5 Prognose Ostfeld	75
5.1 Wasseranstiegsprognose.....	77
5.2 Prognose Grubenwasserqualität	80
5.2.1 Salze.....	81
5.2.2 Oxidationsprodukte	89
5.2.3 Sonstige Parameter	95
6 Zusammenfassung.....	97
7 Fazit	104

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	Seite
Abbildung 1: Ibbenbürener Karbonhorst (aus /5/)	12
Abbildung 2: Blockbild der Ibbenbürener Karbonscholle, dargestellt am Flöz Glücksburg (aus /4/)	13
Abbildung 3: Tektonische und bergbauliche Gliederung der Ibbenbürener Karbonscholle (verändert n. /4/)	13
Abbildung 4: Schematischer NW-SE-Lagerstättenschnitt	14
Abbildung 5: Wasserhaltung West und Ost (Übersicht n. RAG)	16
Abbildung 6: Wasserhaltung West und Ost (schematische Darstellung nach RAG)	16
Abbildung 7: Tiefendifferenzierte Verteilung der Analysenwerte von Chlorid, Sulfat, Eisen und pH in Zuflüssen in das Westfeld Ibbenbüren	18
Abbildung 8: Abdämmmaßnahmen West – Ost	19
Abbildung 9: Wasseranstieg im Westfeld (aus /5/)	20
Abbildung 10: Grundwassermessstellen im Einzugsbereich Westfeld (verändert nach /5/)	21
Abbildung 11: Wasserqualität im Wilhelmschacht ca. 4 Monate vor Erreichen des Überlaufniveaus (n. /17/)	23
Abbildung 12: Wasserqualität (Eisen) im Dickenberger Stollen	24
Abbildung 13: Wasserqualität (Sulfat) im Dickenberger Stollen	24
Abbildung 14: Tektonische und bergbauliche Gliederung im Ostfeld der Ibbenbürener Karbonscholle (verändert n. /4/)	25
Abbildung 15: Betriebsbereich Ostfeld (grün)	26
Abbildung 16: Vererzungen und Zechen im Zechstein im Ostteil der Ibbenbürener Karbon-Scholle	27
Abbildung 17: Streckennetz des Bergwerkes Ibbenbüren Ostfeld mit den zuletzt betriebenen Bauhöhen, Stand 2017	29
Abbildung 18: Tiefes Grubengebäude (ohne 3. Sohle), Stand Anfang 2019	30
Abbildung 19: Abbauflächen im Flöz Glücksburg	31
Abbildung 20: Abbauflächen im Flöz 54	31
Abbildung 21: Wasserzuflüsse in das Ostfeld Ibbenbüren mit Wassermenge (m ³ /min) und farblicher Zuordnung zu dem Modellboxen (Stand 2016)	34
Abbildung 22: Wasserzuflüsse zum Nordschacht mit Wassermenge und farblicher Kennzeichnung des Salzgehaltes	36
Abbildung 23: Abgleich der verfügbaren Wassermengen (m ³ /min) aus Grundwasserneuberechnung und Zuordnung als Oberflächensickerwasser in die Grube	37

Abbildung 24:	Verteilung der auf Basis der Grundwasserneubildungsberechnung verfügbaren Wassermengen (m^3/min) auf den Abfluss in das Umland (grüne Pfeile) und auf Sickerwasser in den tieferen Untergrund (blau).....	38
Abbildung 25:	Verteilung der Zuflüsse gering mineralisierter Wässer in das Ostfeld.....	39
Abbildung 26:	Wasserzuflüsse in das Ostfeld Ibbenbüren mit Wassermenge (m^3/min) und farblicher Zuordnung von Chlorid-Konzentrationsklassen (mg/L).....	41
Abbildung 27:	Tiefendifferenzierte Verteilung der Analysenwerte von Chlorid, Sulfat und Eisen in Zuflüssen in das Ostfeld Ibbenbüren.....	42
Abbildung 28:	Geologische Karte der oberflächennahen Gesteinseinheiten (grau: zutage ausstreichendes Karbon) (Ausschnitt aus Anl. 5 in /8/).	43
Abbildung 29:	Boxmodel mit den digitalisierten Abbauflächen (ältere/höhere Abbaue Blau, jüngere/tiefere Abbau Magenta) und Wasserannahmestandorten.	45
Abbildung 30:	3d-Ansicht des Boxmodells Ibbenbüren.	48
Abbildung 31:	Nach Boxen sortierte Abbauflächen, differenziert nach Polygondatensatz bzw. Lage zum Flözsprung.	49
Abbildung 32:	Wichtungsfaktoren zur Resthohlraumberechnung.	52
Abbildung 33:	Vertikale Resthohlraumverteilung (Primärdaten aus Abbauvolumen) im Ostfeld.	53
Abbildung 34:	Hydraulische Verbindungen im Westfeld mit Niveauangaben (links) und Beschreibung (rechts).....	56
Abbildung 35:	Hydraulische Verbindungen im Ostfeld (Stollen = magenta, Leitwert 2 = rot, L 1 Strecke = dunkelblau, L 1 Flözverbindung = mittelblau, L 0,5 = schwarzblau, L 0,1 = hellblau, L 1e-03 = gelb, L 1e-10 = grau.....	57
Abbildung 36:	Im Boxmodell implementierte Zuflüsse mit Angabe von Zuflussmenge (m^3/min) und Salinität (Farbskala).....	59
Abbildung 37:	Proben aus Verwitterungszonen des höheren Ibbenbürener Ostfeldes.....	61
Abbildung 38:	Metallkonzentrationen in Abhängigkeit von pH-Werten in Eluaten und Wasserproben.	62
Abbildung 39:	Aus Feststoffproben mobilisierte Metallanteile.	63
Abbildung 40:	Wassermengen vor und nach Stilllegung und Wasseranstieg im Westfeld.	65
Abbildung 41:	Konzentrationsentwicklung von Chlorid im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	67
Abbildung 42:	Entwicklung des pH-Wertes im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	68
Abbildung 43:	Konzentrationsentwicklung von Sulfat im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	69

Abbildung 44:	Konzentrationsentwicklung von Eisen im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	70
Abbildung 45:	Molverhältnisse von Sulfat und Eisen im Ablauf des Westfeldes im Kontext der pH-Wert-Entwicklung.....	70
Abbildung 46:	Konzentrationsentwicklung von Calcium im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	71
Abbildung 47:	Konzentrationsentwicklung von Mangan im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	72
Abbildung 48:	Konzentrationsentwicklung von Zink im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	72
Abbildung 49:	Konzentrationsentwicklung von Nickel im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	73
Abbildung 50:	Konzentrationsentwicklung von Kupfer im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	74
Abbildung 51:	Schematischer West-Ost-Schnitt durch das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren mit wesentlichen Elementen zum Zeitpunkt nach erfolgtem Wasseranstieg.	75
Abbildung 52:	Nach Wasseranstieg +63 mNN verbleibende Zuflüsse (m ³ /min) entsprechend Standortanalyse und Modellrechnungen mit hydraulisch wirksamen Verbindungen und erwarteten Hauptwasserbewegungen.....	76
Abbildung 53:	Wassermengen für das Ibbenbürener Ostfeld (Prognose s. Abbildung 54).....	77
Abbildung 54:	Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel +63 mNN.	78
Abbildung 55:	Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel 0 mNN.	79
Abbildung 56:	Konzentrationsentwicklung von Chlorid im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	82
Abbildung 57:	Chloridkonzentrationsverteilungen (Variante F 0,25) in den Modellscheiben mit RHV bei den Zeitschnitten: Wasserstand +50 mNN (oben), +63 mNN 2050 (unten). Blaue Rahmen: Modellscheibe mit Wasserzufluss.....	83
Abbildung 58:	Frachtentwicklung für Chlorid im Ostfeld linear (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).....	86
Abbildung 59:	Frachtentwicklung für Chlorid im Ostfeld logarithmisch (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).....	87
Abbildung 60:	Konzentrationsentwicklung von Ammonium im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	88
Abbildung 61:	Entwicklung des pH-Wertes im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	89
Abbildung 62:	Konzentrationsentwicklung von Sulfat im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	90
Abbildung 63:	Frachtenentwicklung für Sulfat im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).....	91

Abbildung 64:	Konzentrationsentwicklung von Eisen im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	92
Abbildung 65:	Frachtenentwicklung für Eisen im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).	93
Abbildung 66:	Konzentrationsentwicklung von Zink im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	94
Abbildung 67:	Konzentrationsentwicklung von Kupfer im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).....	94
Abbildung 68:	Temperaturentwicklung im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).	96
Abbildung 69:	Vergleich der nach Wasseranstieg (Zeitpunkt Ende Modellrechnung 2050) in verschiedenen Niveaus im Grubenwasserabstrom verbleibenden Frachten.	102
Abbildung 70:	Anteil der bei Wasseranstieg auf +63 mNN gegenüber 0 mNN verbleibenden Frachten (Zeitpunkt Ende Modellrechnung 2050).	103

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1:	Grubenwassertypen Westfeld (n. /7/)	17
Tabelle 2:	Gering mineralisierte Wasserzuflüsse in das Ostfeld mit Herkunft aus dem oberflächennahen Bereich.	36
Tabelle 3:	Modelleingangsanalysen für eine Auswahl von Zuflüssen in das Ostfeld Ibbenbüren.	44
Tabelle 4:	Hydraulische Verbindungstypen Boxmodell.	55
Tabelle 5:	Ausgewählte Verbindungen im Boxmodell Ibbenbüren Ostfeld (vgl. Abbildung 35).	57
Tabelle 6:	Vergleich der verbleibenden Restfrachten nach Wasseranstieg auf +63 mNN und 0 mNN.	88
Tabelle 7:	Zusammenstellung der Modellergebnisse maximale erwartete Konzentrationen bei Wasserniveau +63 mNN und 0 mNN - Beginn Wasserannahme und 2050.	100
Tabelle 8:	Zusammenstellung der Modellergebnisse maximale erwartete Frachten bei Wasserniveau +63 mNN und 0 mNN - Beginn Wasserannahme und 2050.	101

1 Einleitung

Das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH hat Ende 2018 seinen Betrieb im Ostfeld eingestellt. Die letzte Kohle war im August 2018 aus dem Beustfeld gefördert worden. Die Baufelder Südöstliches Mittelfeld und Beustfeld, in denen sich die zuletzt aktiven Bauhöhen befanden, sind inzwischen abgedämmt. Nach wie vor wird jedoch die tiefe Wasserhaltung im Nordschacht auf der 6. Sohle (-1.290 mNN) betrieben. Das Wasser wird von dort zur Hauptwasserhaltung am Schacht Oeynhaus 3 auf der 3. Sohle (-178 mNN) gepumpt, zu Tage gefördert und der Sedimentationsanlage Püsselbüren zugeleitet.

Es ist geplant diese Wasserhaltung noch 2019 einzustellen und das Wasser dann bis in ein tagesnahes Niveau ansteigen zu lassen. Vorbild für dieses Konzept ist das Westfeld der Ibbenbürener Karbonscholle, in dem der Abbau bereits Mitte 1979 eingestellt und der Wasseranstieg Anfang 1980 eingeleitet wurde. Seit Ende 1982 wird dort das Wasser im Niveau ca. +65 mNN ohne Pumpbetrieb angenommen und über den Dickenberger Stollen drucklos der Wasseraufbereitungsanlage Gravenhorst zugeleitet.

Im Vorfeld des Grubenwasseranstiegs im Ostfeld wurden verschiedene Szenarien zu einer Steuerung des Wasseranstiegs, Vermischung der Westfeld- und Ostfeldwässer sowie Standorte der künftigen Wasseraufbereitung diskutiert. Aufgrund der hydraulischen Zuflussbedingungen wurde bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Untersuchungen erkannt, dass höhere Wasserstände zu geringeren Abflussmengen mit geringerer Mineralisation führen würden. Ziel war es von daher für solche optimierten Bedingungen den Stoffaustrag mit dem nach Wasseranstieg verbleibenden Restgrubenwasser zu quantifizieren.

Die Stilllegung eines solchen Bergbaurevieres stellt eine beträchtliche ingenieurtechnische Herausforderung dar. Dies bezieht sich sowohl auf die technische Vorbereitung der Grubenbaue selbst, als auch auf die Prognose der anzunehmenden und schließlich in einen Vorfluter einzuleitenden Grubenwässer nach dem Wasseranstieg. Darüber hinaus ist bei dem angestrebten Wasserniveau eine mögliche Beeinflussung des oberflächennahen Grundwasserhaushaltes durch die ansteigenden Grubenwässer zu beachten. In die bereits im Zuge des Wasseranstiegs im Westfeld entstandene Grundproblematik der erhöhten Eisen- und Sulfatgehalte reihen sich viele Fragestellungen, wie der Grubenwasseranstieg und die langfristige Wasserhaltung zu planen ist.

Im Ruhrrevier, aber auch im Saarland, in Lothringen, bei der Wismut GmbH und zahlreichen weiteren internationalen Steinkohlenlagerstätten stellt das von der DMT GmbH & Co. KG (DMT) entwickelte Boxmodell das flächen-deckend eingesetzte Modellwerkzeug zur Prognose und Planung von Grubenwasserniveaus sowie deren Mengen und Qualitäten dar. Eine wichtige Voraussetzung, um derart großräumige Verhältnisse strömungstechnisch abbilden zu können, ist in bergbaulich geprägten Gebieten die Tatsache, dass die Gruben-/Grundwasserströmung maßgeblich auf bergbaulichen Elementen wie Strecken, Schächten, Bohrlöchern und Stollen stattfindet und dass diese Wässer innerhalb der Grubenfelder oder großer homogener Einheiten hydraulisch kurzgeschlossen sind. Damit ist die Definition relativ großer Bilanzeinheiten (Boxen), für die der verbleibende Resthohlraum ein wesentliches Merkmal ist, zur Beschreibung der Strömungsprozesse möglich. Durch die bisherigen analog zum Ruhrgebiet durchgeführten Digitalisierungsarbeiten liegen für den Bereich Ibbenbüren diese Eingangsdaten vor.

Damit bietet sich die Anwendung des Boxmodells an, um Maßnahmen bei der Wasserhaltung im Zuge der Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren zu planen und zu optimieren. Damit sind vergleichende Berechnungen auf Basis einer Bestandsaufnahme der Zuflüsse, ihrer Herkunft und ihrer Zusammensetzung im Abgleich mit anderen Studien zur Beschaffenheit des oberflächennahen Bergbaus sowie des Grundwassers zu den Auswirkungen unterschiedlicher Wasserstände möglich. Mit Schreiben vom 29.07.2013 beauftragte die RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, Ibbenbüren, die DMT GmbH & Co. KG, Essen, mit der gutachterlichen Begleitung dieser Optimierungsmaßnahmen.

2 Verwendete Unterlagen

In zahlreichen Schriften wurden verschiedenste Aspekte des Ibbenbürener Steinkohlenreviers bearbeitet. Unter den für dieses Gutachten vorrangigen Themen Hydrogeologie/-chemie und Bergbau/bergmännische Wasserwirtschaft sind an veröffentlichter Literatur v.a. die Arbeiten von /1/, /3/, /4/, /5/ und /7/ (besonders /5/ liefert eine umfassende und relativ aktuelle (2000) Darstellung) sowie die geologischen Karten und die entsprechenden Erläuterungen zu erwähnen. Des Weiteren liegen der Bearbeitung zahlreiche unveröffentlichte Dokumente aus den Archiven der DMT (bzw. der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (WBK)) wie z. B. Meldearbeiten, eigene Gutachten und Kartenwerke (Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks 1 : 10.000, z.T. mit Erl.) sowie natürlich diverse Unterlagen des Bergwerkes und intensive untertägige Befahrungen zu Grunde.

Aktuell wurde darüber hinaus durch die Prof. Dr. Coldewey GmbH unter Mitwirkung der DMT (numerisches Grundwasserströmungsmodell) ein Gutachten zur Beeinflussung des oberflächennahen Grundwassers durch einen Wasseranstieg im Ostfeld bis +63 mNN erstellt /8/. Die sich hieraus ergebenden Wechselwirkungen mit dem heutigen und künftigen Grubenwasser lieferten wertvolle Eingangsbedingungen für das für das Boxmodell wichtige Verständnis der Grubenwasserherkunft.

Schriften:

- /1/ BÄSSLER, R. (1970): Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers. – Z. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem.: 209-286; Hannover.
- /2/ DMT GMBH & Co. KG (2018): Bergwerk Ibbenbüren - Auswertung der Grubenbilder der Erzgruben südlich und östlich der Karbonrandverwerfung. – DMT-BA 11600-2018-510-002 v. 09.08.2018, 20 S.; Essen [unveröff.].
- /3/ DOMALSKI, R.F. (1988): Bergmännische Wasserwirtschaft der Steinkohlenbergwerke Preussag AG Kohle/Ibbenbüren und Gewerkschaft Sophia-Jacoba/Hückelhoven - Ein Vergleich -. – Mitt. Westfälische Berggewerkschaftskasse, H. 60, 174 S.; Bochum.
- /4/ DROZDZEWSKI, G. (1985): Tiefentektonik der Ibbenbürener Karbon-Scholle. – In: DROZDZEWSKI, G., & ENGEL, H., & WOLF, R., & WREDE, V. (1985): Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlenlagerstätten, S. 189-216, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; Krefeld.

- /5/ GOERKE-MALLET, P. (2000): Untersuchungen zu raumbedeutsamen Entwicklungen im Steinkohlenrevier Ibbenbüren unter besonderer Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Bergbau und Hydrologie. – Diss. RWTH Aachen, D 82: 226 S., Verl. Mainz.
- /6/ HAACK, W. (1935): Erläuterungen zu Blatt 2010 [heute 3713] Hasbergen. – Geol. Kt. von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25.000, Erl., 2010 [heute 3713] Hasbergen: 84 S.; Berlin.
- /7/ KÖTTER, K., & MAUSOLF, F. (1962): Hydrogeologie des Westteiles der Ibbenbürener Karbonscholle (unter besonderer Berücksichtigung der Grubenwasserbeschaffenheit der Kohlenbergwerke). – Forsch.-Ber. Land Nordrh.-Westf., Nr. 999: 113 S., Westdeutscher Verl., Köln u. Opladen.
- /8/ PROF. COLDEWEY GMBH (2018): Untersuchung und geohydraulische Modellierung der zu erwartenden Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Ostfeld des Bergwerkes Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH. – 21.12.2018, 113 S.; Dülmen [unveröff.].
- /9/ RAMB, K.-W. (1983): Zur Geologie und Hydrogeologie des Vorlandes der Ibbenbürener Karbonscholle im Raum Steinbeck/Gravenhorst. – Diplomarb., 67 S., TU Clausthal, Dez. 1983 [unveröff.].
- /10/ RUDAKOV, D.V., & COLDEWEY, W.G., & GOERKE-MALLET, P. (2013): Modellierung der Zu- und Abflüsse von Untertagebauwerken innerhalb des stillgelegten Steinkohleabbaubereichs Westfeld (Ibbenbüren). – Markscheidewesen, 120, Nr.1-2: 33-40.
- /11/ SKIBA, R. (1954): Thema: Die Wasserverhältnisse am Nordrand des Schafberges in der Umgebung von Mettingen. – Geol. Meldearb., 34 S., Hannover, 24.10.1954 [unveröff.].
- /12/ THIERMANN, A. (1970), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.: Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25.000, Erl., 3712 Tecklenburg: 243 S.; Krefeld.
- /13/ THIERMANN, A. (1975), mit Beitr. von BRAUN, F.J., & KALTERHERBERG, J., & REHAGEN, H.-W., & SUCHAN, K.H., & WILL, K.-H., & WOLBURG, J.: Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25.000, Erl., 3611 Hopsten: 214 S.; Krefeld.
- /14/ THIERMANN, A. (1980), mit Beitr. von DUBBER, H.-J., & KALTERHERBERG, J., & REHAGEN, H.-W., & SUCHAN, K.H.: Erläuterungen zu Blatt 3612 Mettingen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25.000, Erl., 3612 Mettingen: 200 S.; Krefeld.
- /15/ VORDERMARK, W. (1965): Thema: In Fortsetzung der Untersuchungen von Klaus Kötter [...] soll nunmehr der Untersuchungsbereich über die 2. Sohle hinaus in die Tiefe vorgetragen werden. Hierbei handelt es sich vorwiegend um die Anfertigung von chemischen Analysen über den Gehalt an Eisen, die Zunahme von Chloriden und die Wechselwirkung dieser Ionen. Daraus sind Schlüsse zu ziehen hinsichtlich der Pyritführung des Nebengesteins sowie der Gehalte an Schwefelsäure im Grubenwasser. Die Herkunft der

- Sulfate sowie der Chloride ist nach Möglichkeit anzugeben. [...] – Geohydrolog. Meldearb., 26 S., Ibbenbüren, 07.04.1965 [unveröff.].
- /16/ WBK (1953): Bericht über das Wasservorkommen im Felde der aufgelassenen Eisenerzgrube Perm und seine Beziehung zum Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren. – 7 S., Bochum, 08.04.1953 [unveröff.].
- /17/ WBK (1982): Wasserprobenahme Wilhelmschacht/Preussag, Ibbenbüren. – 6 S., Bochum, 05.10.1982 [unveröff.].
- /18/ WBK (1983): Stilllegung Westfeld - Grundwasserverhältnisse im Vorland des Westfeldes und Chemie der Grundwässer (Zwischenbericht). – 20 S., Bochum, 14.02.1983 [unveröff.].
- /19/ WBK (1983): Stilllegung Westfeld - Wasseraustritt im Bereich des ehemaligen Bergwerks Westfeld der Preussag AG Kohle. – 8 S., Bochum, 09.03.1983 [unveröff.].
- /20/ WBK (1987): Stellungnahme zur Stilllegung Westfeld – Wiederherstellung der hydrogeologischen Gegebenheiten im Vorland der Ibbenbürener Hochscholle. – 3 S., Bochum, 20.02.1987 [unveröff.].

Karten:

- /K1/ Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000 – Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; Krefeld.
Blätter
- 3611 Hopsten (1975) mit Erl., Bearb. BRAUN, F.J., & THIERMANN, A.
 - 3612 Mettingen (1980) mit Erl., Bearb. THIERMANN, A.
 - 3711 Bevergern (Hörstel) (1970), Bearb. THIERMANN, A.
 - 3712 Tecklenburg (Ibbenbüren) (1970) mit Erl., Bearb. THIERMANN, A.
- /K2/ Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25.000. – Hrsg. Preuß. Geol. L.-Anstalt; Berlin.
Blatt
- 2010 (heute 3713) Hasbergen (1935) mit Erl., Bearb. HAACK, W., & POTONIÉ, R.
- /K3/ Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks 1 : 10.000. – Hrsg. Westfälische Berggewerkschaftskasse; Bochum. [unveröff.]
Blätter
- Bevergern (1969), Bearb. OBERMANN, P.
 - Ibbenbüren (1967) mit Erl. (1971), Bearb. OBERMANN, P.
 - Mettingen (1966) mit Erl. (1968), Bearb. OBERMANN, P.
 - Recke (1965) mit Erl. (1965), Bearb. SEMMLER, Waltr.
 - Seeste (1971), Bearb. MERZ, E.

3 Ibbenbürener Karbonscholle

Auf eine ausführliche Darstellung der geologisch-hydrogeologischen und bergbaulichen Verhältnisse wird in diesem Gutachten verzichtet. Diese werden als weitgehend bekannt vorausgesetzt bzw. können in der o.g. Literatur, z.B. in /5/, nachgelesen werden.

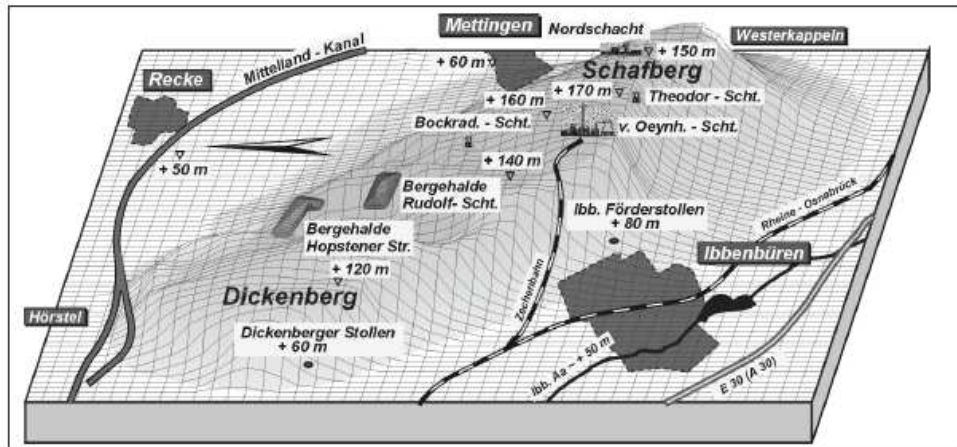


Abbildung 1: Ibbenbürener Karbonhorst (aus /5/).

Die Ibbenbürener Karbonscholle wurde durch tektonische Prozesse in der Oberkreide emporgesprengt und erhebt sich, leicht nach NE gekippt, morphologisch deutlich über dem umgebenden Vorland (Abbildung 1, Abbildung 2). Da anschließend jüngere Gesteinsschichten erodiert wurden, steht das Karbon großflächig zutage bzw. unter geringmächtigem Quartär an. Dies gilt vornehmlich für das Westfeld, das Ostfeld weist in großen Bereichen eine weitgehend geschlossene, ungestörte Überdeckung mit teilweise bis über 20 m mächtigem Quartär auf, das z.T. aus gering wasserdurchlässigen Grundmoränen und Lößablagerungen besteht (Abbildung 28, S. 43). Ein mächtiges Deckgebirge wie im mittleren und nördlichen Ruhrkarbon fehlt jedoch, nur im Bockradener Graben werden bis zu 60 m erreicht (dort z.T. auch Zechstein).

Eine Besonderheit im Ibbenbürener Revier, sind die Sandsteine, die in der Schichtenfolge dominieren. Für das 1.500 m mächtige Profil des Nordschachtes wurde die folgende Verteilung ermittelt /5/: Sandstein 55 %, Sandschiefer 24 %, Schiefer 18 %, Kohle 3 %. Die Sandsteine unterscheiden sich in einer Reihe von Eigenschaften von den Ton-Siltsteinen, die auch für einen Wasseranstieg von Bedeutung sind. Neben Porosität, Klüftung und Bruchverhalten zählen dazu auch Karbonatgehalte und chemische Zusammensetzung.

Der Steinkohlenabbau in Ibbenbüren fand, räumlich durch den Bockradener Graben weitgehend getrennt, im Westfeld und im Ostfeld statt. Grob zusammengefasst lassen sich drei Abbaublöcke unterscheiden (Abbildung 4):

- Westfeld bis Flöz 2 (bis ca. -500 mNN)
- Ostfeld bis Flöz 2 (bis ca. -630 mNN am Nordschacht: oberhalb „Flözsprung“)
- Ostfeld ab Flöz 40 (ab ca. -1040 mNN am Nordschacht: unterhalb „Flözsprung“)

Im Westfeld endete der Abbau im Niveau von -500 mNN im Jahre 1979 (Fl. 2 im Unterwerksbau). Im Ostfeld wurden durch die Untersuchungsbohrung UB 150 aus dem damaligen Sumpf des Nordschachtes /5/ neue Vorräte unterhalb des sog. Flözsprungs, eine bis über 400 m mächtige Schichtenfolge ohne bauwürdiges Flöz, nachgewiesen, so dass der Steinkohlenabbau hier ab dem Jahr 1971 bis in heutige Zeit weiterführt werden konnte.

Abbildung 4 zeigt zudem die in diesem Abbaurevier angelegten Schächte sowie den Grubenwasserstand des Westfeldes und die aktuelle Wasserableitung im Ostfeld über den Ibbenbürener Fördersollen an. Der Abbau im Beustfeld als Bestandteil der Bockradener Grabenstruktur erfolgte nur in zwei deutlich getrennten Niveaus (Flöz Glücksburg sowie Flöze 53 u. 54) ober- und unterhalb des Flözsprunges. Der Steinkohlenabbau des Ostfeldes wird randlich von Erzgruben begleitet, die z.T. in hydraulischem Kontakt mit dem Steinkohlenabbau stehen und von daher für den geplanten Wasseranstieg im Ostfeld zu berücksichtigen sind (s. Kap. 3.2.2).

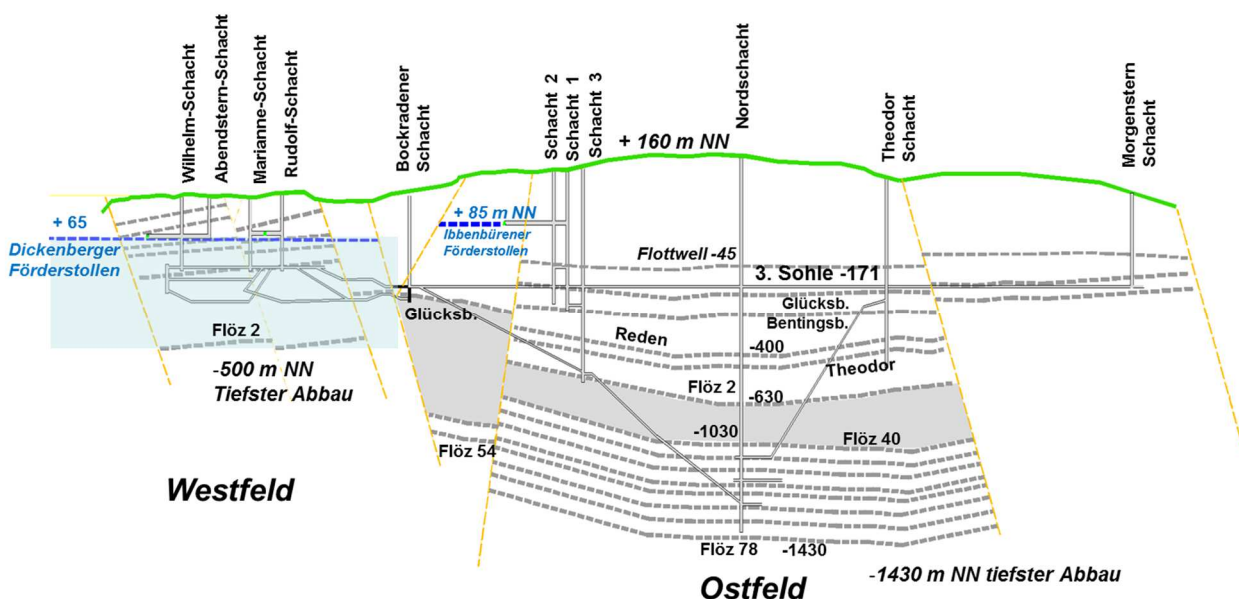


Abbildung 4: Schematischer NW-SE-Lagerstättenschnitt.

3.1 Westfeld

Vorliegendes Gutachten hat zwar die Stilllegung des Ostfeldes im Fokus, für das Verständnis der Prozesse beim Wasseranstieg und für die Kalibrierung des Modells ist aber das Westfeld von wesentlicher Bedeutung, da dieser Wasseranstieg hier bereits vollzogen ist und umfangreiche Messungen während der anschließenden Wasserannahme vorliegen. Es gilt daher Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu erkennen und für die Prognose des Ostfeldes zu berücksichtigen.

3.1.1 Struktur

Das Westfeld lässt sich durch abbaubegrenzende Sprünge (Mieke-, Mathilde-, Berg- und Pommer-Esche-Sprung) in die Baufelder Mieke, Mathilde, Rudolf, Marianne und Bockradener Graben teilen (Abbildung 3). Mit der Auf-fahrung der Wetterstrecke Flöz Buchholz im Bockradener Graben zum Bockradener Schacht wurde das BW Westfeld 1970 untertägig an das BW Ostfeld angeschlossen, die Kohleförderung lief aber weiter getrennt. Der Bockradener Graben wurde vom West- und Ostfeld genutzt. Die Schächte Wilhelm (Mathilde-Feld), Marianne (Marianne-Feld), Rudolf (Rudolf-Feld) und Bockraden (Bockradener Graben) sind über die 2. Sohle im Niveau von ca. -75 mNN miteinander verbunden. Diese Verbindung wurde später durch Hochdruckdämme wieder geschlossen, so dass die beiden Baufelder heute voneinander getrennte Einheiten bilden.

Das Westfeld weist n. /5/ eine Abbaufäche von ca. 5 x 3,5 km auf und ist durch die 1. Sohle (ca. +35 mNN), die 2. Sohle (ca. -78 mNN), die Teilsohle (ca. -180 mNN), die 3. Sohle (ca. -280 mNN) und die 4. Sohle (ca. -480 mNN) in unterschiedlichem Ausmaß erschlossen. Gebaut wurde im sog. Flözbergbau, d.h., das Grubengebäude besteht im Wesentlichen aus Flözstrecken und einfallenden Gesteinsbergen zur Flözverbindung. Gebaut wurden die Flöze Flottwell (HF, NF), Alexander, Dickenberg, Buchholz, Glücksburg, Bentingsbank, Reden und zuletzt, bis zur Stilllegung 1979, Flöz 2. Die Grube erreichte eine Tiefe von ca. -500 mNN.

3.1.2 Grubenwassersituation

Die zuzitenden Grubenwässer, in den Jahren 1970-1979 vor der Stilllegung im Mittel 15,1 m³/min, wurden zuletzt über drei Nebenpumpenkammern (Nr. 2: Niveau. Fl. Glücksburg, ca. -162 mNN; Nr. 3: Niv. Fl. 2, Fuß v. Ostquerschlag 2, ca. -465 mNN; Nr. 4: Wetterstrecke Fl. Glückburg,

ca. -385 mNN) zur Hauptpumpenkammer (Nr. 1) auf der 2. Sohle am Wilhelmschacht (ca. -78 mNN) geleitet /3/. Von dort wurden sie auf das Niveau des Dickenberger Stollens (ca. +65 mNN), der sich am südlichen Rand der Lagerstätte entlang zieht (Abbildung 5, Abbildung 6), gehoben und der Aufbereitungsanlage Gravenhorst zugeführt. Die 2. Sohle ist zum größten Teil im Fl. Glücksburg aufgefahren, d. h. entsprechend dem Einfallen wird im Nordwesten des Westfeldes eine Tiefe von ca. -180 mNN (= Teilsohle) erreicht.

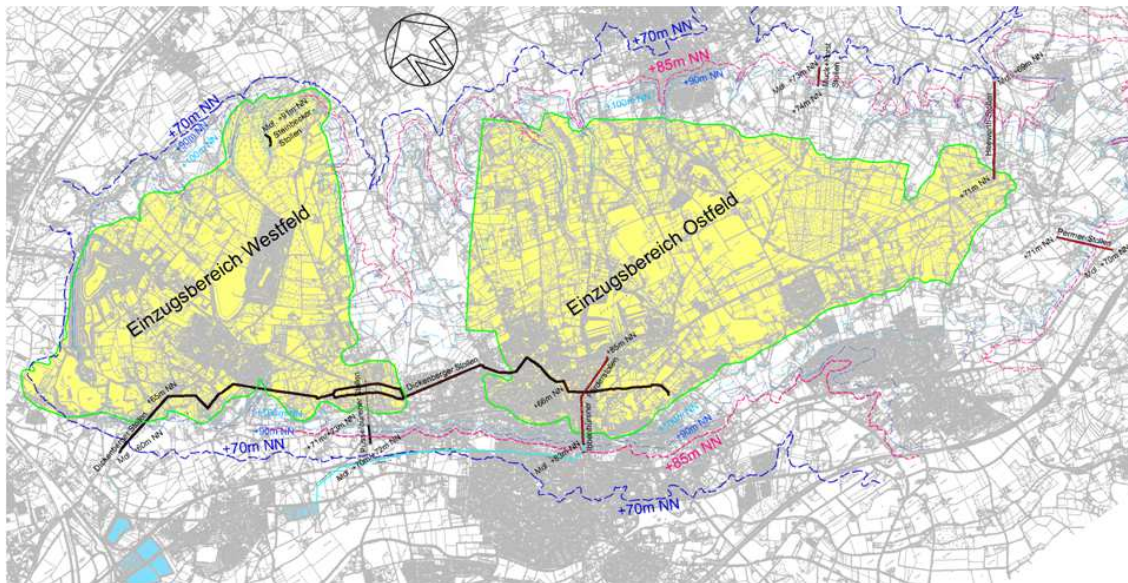


Abbildung 5: Wasserhaltung West und Ost (Übersicht n. RAG).

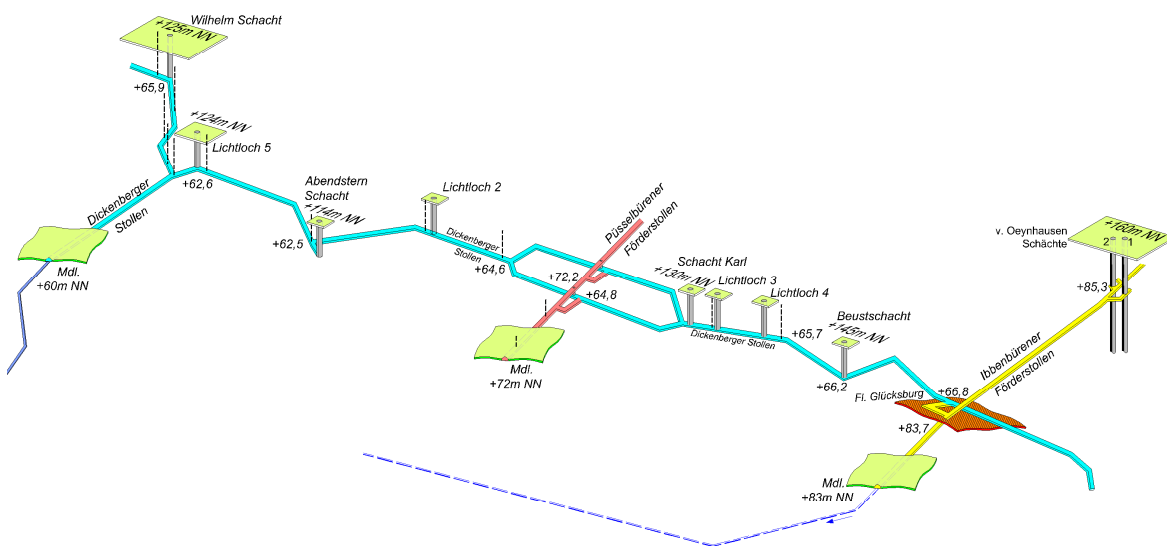


Abbildung 6: Wasserhaltung West und Ost (schematische Darstellung nach RAG).

Nach /7/ (1962), deren Probenahmekampagne 1957 jedoch nur bis etwas unterhalb des Niveaus der 2. Sohle (ca. -78 mNN) reicht, lassen sich die in Tabelle 1 aufgeführten Grubenwassertypen unterscheiden. Selten traten auch sulfatisch-chloridische Mischwässer auf.

Tabelle 1: Grubenwassertypen Westfeld (n. /7/)

Art	pH-Wert	Eisen (mg/L)	Sulfat (mg/L)	Chlorid (mg/L)	Mineralhärte (°dH)
mineralarm	> 4	< 100	< 300	< 100	< 40
sulfatisch	< 4	> 100	> 300		> 40
chloridisch				> 100	

Die mineralarmen Wässer generieren sich nach /7/ aus den Niederschlägen (der Niederschlagsanteil liegt bei ca. 37-40 % /1/, /5/). Sie treten über Klüfte und ausreichend durchlässige Schichten in das Grubengebäude ein und führen zu einer Verdünnung. Nach /1/ reicht die Niederschlagsabhängigkeit bis zu einer Teufe von ca. 350 m, darunter verlieren sich die Einflüsse deutlich.

Die mengenmäßig größte Gruppe der in /7/ beprobten Zuflüsse stellen die durch Verwitterung der in den alten Bauen befindlichen Eisensulfide wie Markasit und Pyrit entstandenen sulfatischen und eisenreichen Wässer dar. Die chloridischen bzw. die sulfatisch-chloridischen Wässer treten demgegenüber mengenmäßig stark zurück und wurden in /7/ hauptsächlich in den (damals) tiefsten Abbaubereichen (nördliches Steinbecker Feld) gefunden. Sie werden über Störungen (z. B. nördliche Randverwerfung) aus dem Vorland (salinares Zechsteingebirge) herantransportiert. Nach /1/ bzw. /7/ liegt die Süßwasser/Salzwasser-Grenze (Grenzziehung bei ± 1.000 mg/L Chlorid) im Ibbenbürener Karbon bei ca. -80 mNN bis -100 mNN.

1965 /15/ wurden die Arbeiten von /7/ weitergeführt, wobei nun Proben bis ca. -200 mNN ausgewertet werden konnten. Eine teufendifferenzierte Darstellung dieser beiden Probenahmekampagnen (sowie zweier Proben aus /1/) ist in Abbildung 7 zu sehen, die die zuvor skizzierten Verhältnisse bestätigt: das Auftreten von sulfat- und eisenreichen Wässern in den oberen Teufen, aber auch der Nachweis höherer Chloridgehalte in tieferen Zuflüssen.

Wichtig ist aber vor allem, dass bereits im aktiven Bergwerk in den Zuflüssen hohe Eisen- und Sulfatkonzentrationen ermittelt wurden. Zahlreiche Proben enthielten schon damals um die 100 - 1.000 mg/L Eisen und 1.000

- 5.000 mg/L Sulfat. Dies sind die Konzentrationen, die Eisen auch derzeit im aus dem Westfeld austretenden Grubenwasser gemessen werden (Sulfat ca. 1.800 mg/L und Eisen ca. 180 mg/L, s. Kap. 3.1.5 und Kap 4.6).

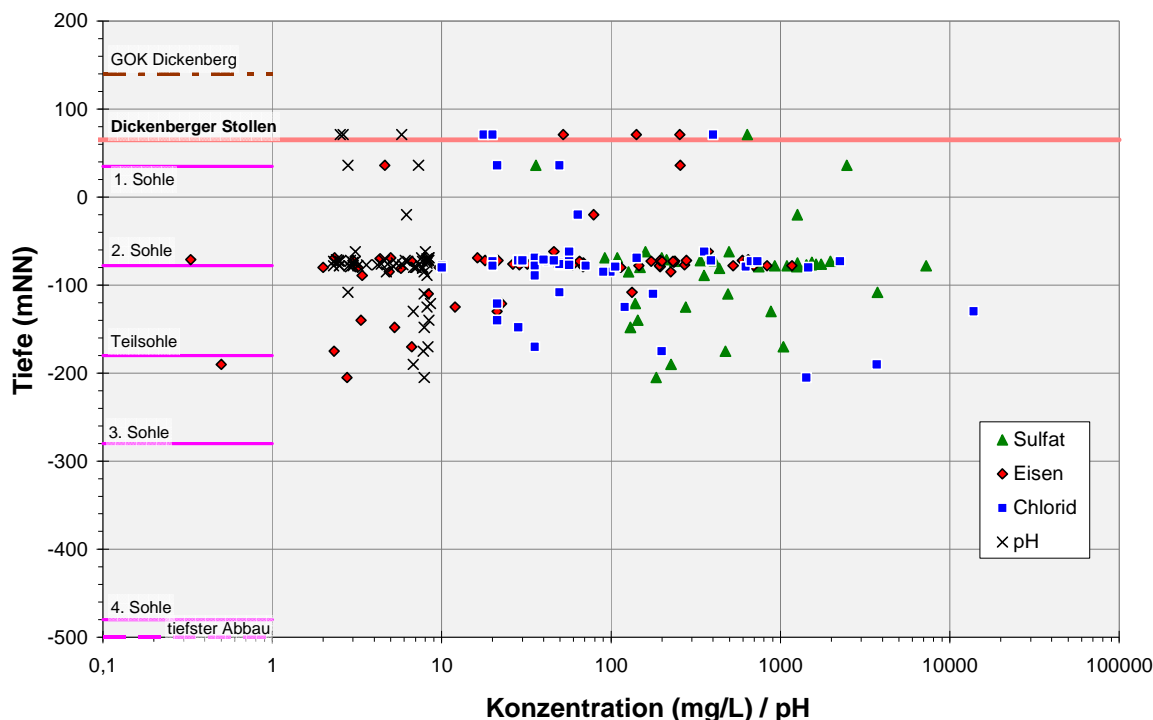


Abbildung 7: Tiefendifferenzierte Verteilung der Analysenwerte von Chlorid, Sulfat, Eisen und pH in Zuflüssen in das Westfeld Ibbenbüren.

Heute wie damals ist dies wohl hauptsächlich verursacht durch die o.g. Verwitterungsprozesse (s. Kap. 4.5) im nicht eingestauten Versickerungsbereich der Niederschläge. Erwähnt seien aber auch die beiden Entwässerungsbohrungen (Schluckbohrungen) im Bereich der Bergehalde Hopstener Straße und Rudolfschacht, die Niederschlagswasser in oberflächennahe und luffterfüllte Grubenbaue der Flöze Buchholz und Dickenberg ableiten.

3.1.3 Stilllegungsmaßnahmen

Der Abbau im Westfeld wurde Ende Juni 1979 eingestellt. Die Wasserhaltung wurde schrittweise durch Abschalten der Nebentropfenkammern 3 (18.12.1979), 2 (13.02.1980), 4 (19.02.1980) und schließlich der Hauptwasserhaltung am Wilhelmschacht am 20.03.1980 stillgelegt /3/. Über den Wilhelmschacht sollte das Grubenwasser bis zum Niveau Dickenberger Stollen (+ 65 mNN) ansteigen und über ihn abgeführt werden.

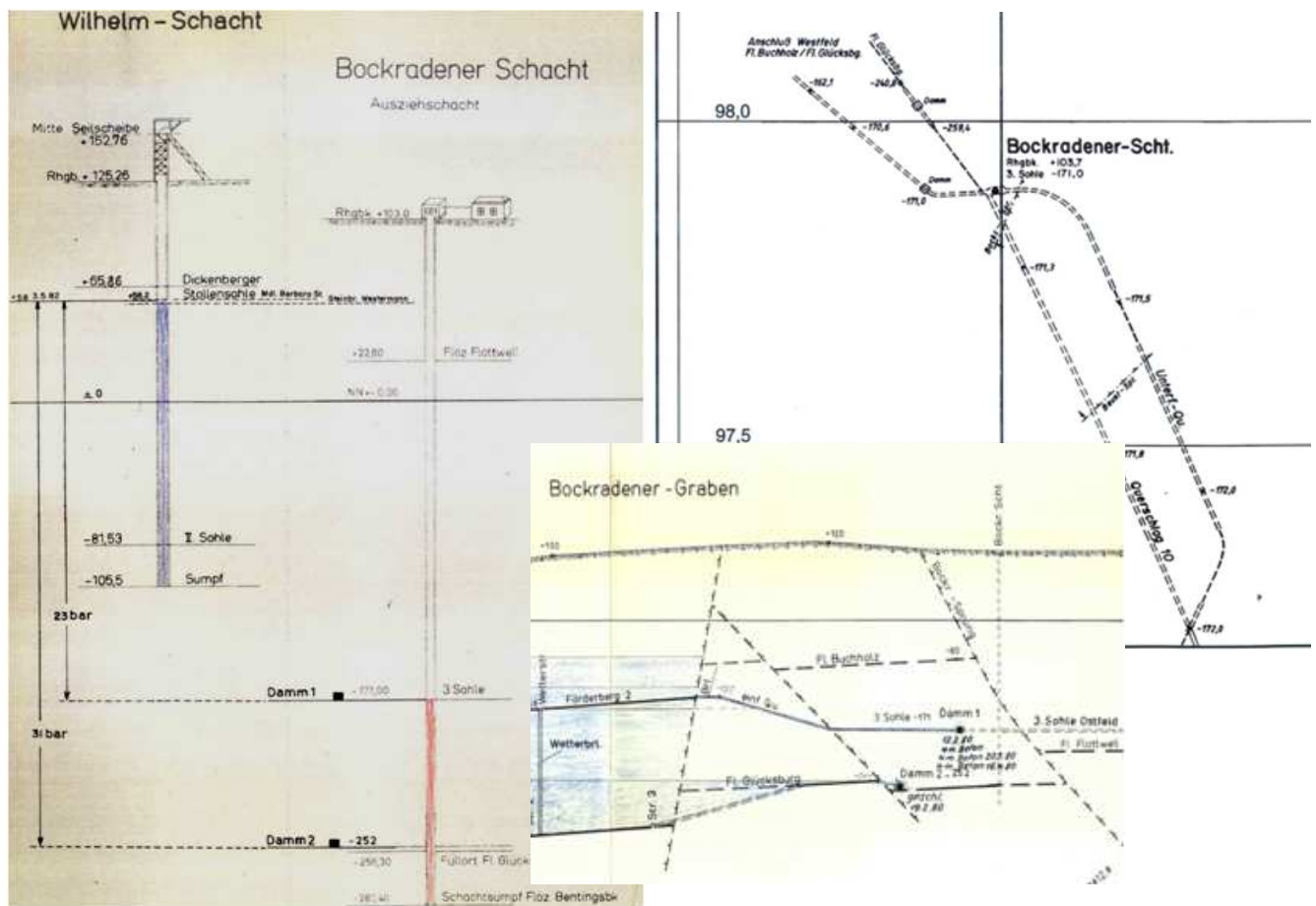


Abbildung 8: Abdämmmaßnahmen West – Ost.

Nach /5/ wurden im Zuge der Stilllegung alle Schächte verfüllt und die untertägigen Verbindungen zum Ostfeld über die Flöze Buchholz und Glücksburg westlich des Bockradener Schachtes durch druckfeste Dämme verschlossen. Gemäß Abbildung 8 stehen die Dämme im Niveau von -171 mNN (Damm 1) und -252 mNN (Damm 2).

3.1.4 Wasseranstieg

Nach /5/ wurde ein Hohlraumvolumen von 20 Mio. m³ ermittelt, von dem 10 % als verbleibendes Resthohlraumvolumen angenommen werden. Mit dem noch offenen Streckenvolumen von ca. 0,7 Mio. m³ ergab sich ein Gesamtvolumen von 2,7 Mio. m³. Bei einem mittleren Grubenwasserzulauf von ca. 12 m³/min, abgeschätzt aus der mittleren Förderrate 1970-1976 von 15,75 m³/min und einem Zulauf nach Abschluss des Grubenwasseranstiegs von ca. 8 m³/min, ergab sich eine Stauzeit von 156 Tagen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam die Abschätzung über die Niederschläge. Bei einem mittleren Jahresniederschlag von 789 mm und einer 30-prozentigen Versi-

ckerungsrate (= 237 mm) ergab sich für den 23,6 km² großen Einwirkungsbereich des Westfeldes eine Wassermenge von ca. 5,6 Mio. m³/a (= 10,65 m³/min), was einer Anstiegsdauer von 176 Tagen entspräche.

Nach obigen Abschätzungen hätte der Wasseranstieg etwa bis August/September 1980 dauern sollen, tatsächlich trat das Grubenwasser erst am 28.12.1982 in den Dickenberger Stollen über, d. h. der Grubenwasseranstieg dauerte mit gut 1.000 Tagen wesentlich länger als geplant.

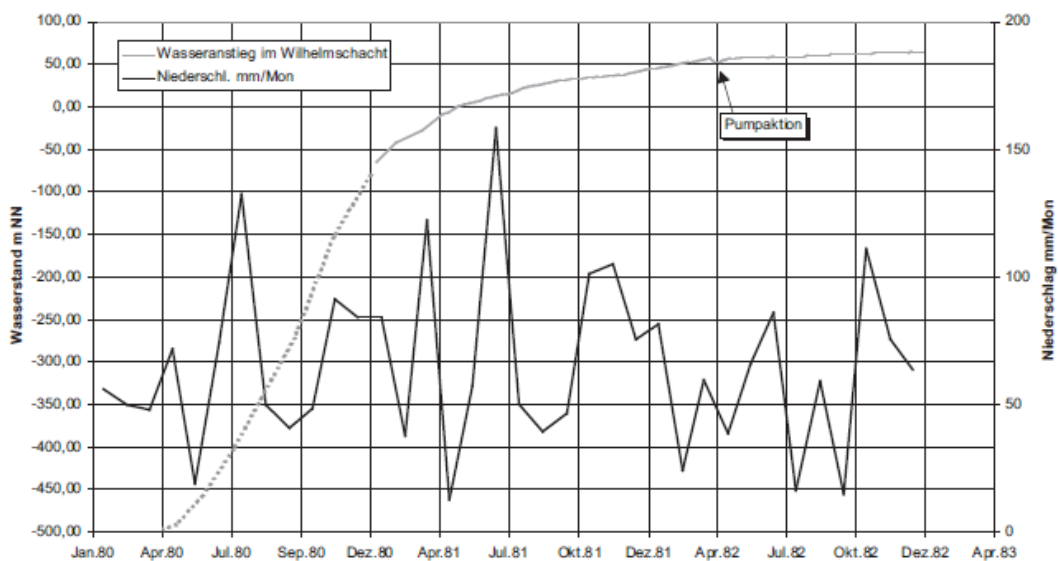


Abbildung 9: Wasseranstieg im Westfeld (aus /5/).

Der Verlauf des Grubenwasseranstiegs konnte nach /5/ nur im Wilhelmschacht nach Einstau des tiefsten Anschlags ab ca. -60 mNN etwa Anfang Januar 1981 kontinuierlich gemessen werden, während der darüber hinaus in Abbildung 9 dargestellte Anstiegsverlauf davor lediglich auf Annahmen beruht. Dieser dokumentierte Wasseranstiegsbereich reicht jedoch für eine Prozessanalyse aus. Nach /5/ können folgende Faktoren für den gegenüber der anfänglichen Erwartung erheblich längeren Wasseranstiegszeitraum verantwortlich sein:

- Das auffüllbare Gebirgsvolumen (Klüfte, Trennfugen) ist in der Hohlraumabschätzung nicht berücksichtigt.
- Das auffüllbare Volumen der abgebauten Flächen ist insbesondere in den oberen Bauflözen erheblich größer als die Plangröße von 10 % des ermittelten Hohlraumvolumens unterstellt.
- Eine weitere Volumenvergrößerung ist durch die Hebung der Tagesoberfläche, verursacht durch den mit dem Wasseranstieg einhergehenden Auftrieb, anzunehmen.

- Ausgehend von der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung kann im Einzugsbereich eine höhere Interzeption und Evapotranspiration angenommen werden, was zu einer Verringerung des dem Grubengebäude zufließenden Niederschlagswassers führt.

Zusammen ermöglichen diese Faktoren ein erheblich größeres auffüllbares Hohlraumvolumen bei geringeren Zuflüssen, was dann einen wesentlich längeren Wasseranstiegszeitraum zur Folge hätte.

Auf Ursachen für ein tatsächlich vorhandenes größeres auffüllbares Hohlraumvolumen weisen verschiedene Untersuchungen hin, die einen durch die bergbauliche Wasserentnahme bedingten Absenkungstrichter über die die Karbonscholle begrenzenden Störungen hinaus ausweisen (z. B. /5/, /9/, /11/, /18/, /20/). In /18/ wurden dazu die Ganglinien zahlreicher Brunnen und Grundwassermessstellen für den Zeitraum vor und nach dem Wasseranstieg im Westfeld ausgewertet. In diesen Untersuchungen wurde festgestellt, dass eine Grundwasserbeeinflussung des Zechsteins (Konglomerate und Kalke) gegeben war. Auch tiefe, bis in den Zechstein reichende Quarzarmessstellen zeigten eine Beeinflussung, flache ausschließlich im Quartär verfilterte Messstellen dagegen nicht. Beeinflussungen (Grundwassermessstellen Typ I) wurden auch im nördlichen Vorland und im Bockradener Graben nachgewiesen (Abbildung 10).

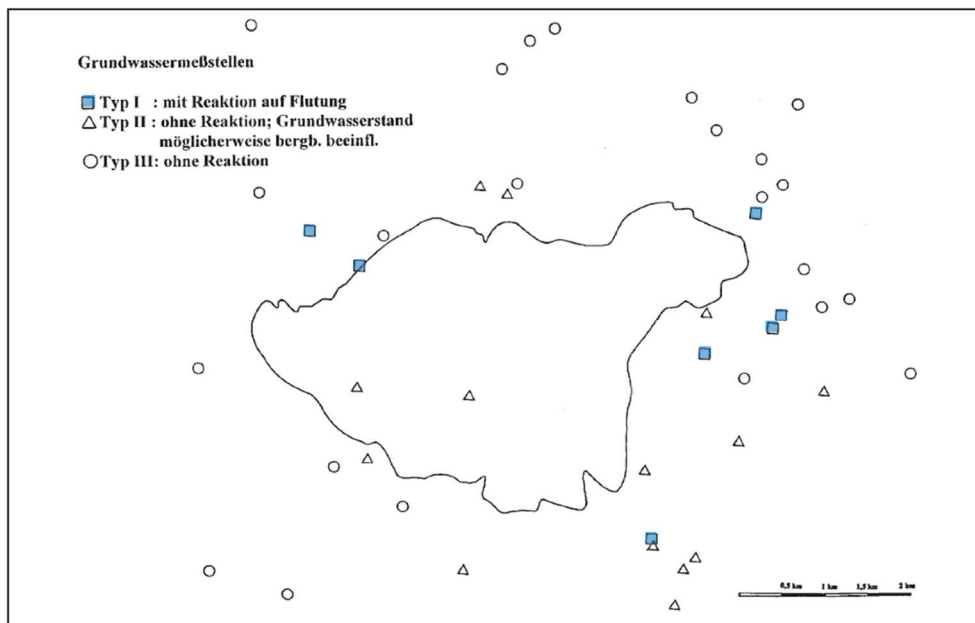


Abbildung 10: Grundwassermessstellen im Einzugsbereich Westfeld (verändert nach /5/).

Demnach hätte durch das aktive Bergwerk kein räumlich zusammenhängendes Areal mit einer Grundwasserabsenkung im Umland vorgelegen.

Vielmehr deutet das Nebeneinander von beeinflussten und nicht beeinflussten Messstellen auf eher kleinräumige Beeinflussungen hin. Ähnliche Grundwasserreaktionen wurden auch im Umfeld des Piesbergs vor der Aufgabe des Steinkohlenbergbaus dort festgestellt. Solche Verhältnisse würden dann aber auch Grundwasserabsenkungen in durch entsprechende Messstellen nicht erfassten Bereichen möglich machen und sind insofern von Bedeutung, als solche Rahmenbedingungen möglicherweise auch im Randbereich des Ostfeldes wirken (vgl. Kap.3.2.4).

Bezüglich Wasseraustritten über bergbauliche Hohlräume ist festzustellen, dass im Westfeld der Barbara-Stollen in +60 mNN den tiefsten möglichen Übertritt von Grubenwasser in ein Stollenbauwerk bildet. An dem verbrochenen Stollenmundloch im Bereich der Ortslage Uffeln konnte jedoch kein Wasseraustritt festgestellt werden /5/.

3.1.5 Wasserqualität

Neben dem gegenüber den Erwartungen erheblich längeren Wasseranstiegszeitraum war auch die Wasserqualität anders als erwartet. Das am Dickenberger Stollen austretenden Grubenwasser erreichte Anfang 1983 Eisengehalte von 2.400 mg/L (vgl. Abbildung 44 S. 70) und Sulfatgehalte (vgl. Abbildung 43 S. 69) von über 4.000 mg/L bei pH-Werten (vgl. Abbildung 42 S. 68) um 3 (s. Kap. 4.6) – Werte, die in dieser Höhe in der aktiven Bergbauzeit nur vereinzelt gemessen wurden (Abbildung 7, S. 18).

Zur Erklärung der Ursachen wurden bereits kurz nach Beginn der Wasserannahme Untersuchungen durchgeführt, die sich im Wesentlichen auf die Herkunft des abfließenden Wassers stützten. Bekannt war, dass Grubenwasser im Wilhelmschacht bis zur Stollensohle (+65 mNN) angestiegen war und über den „Schubkarren-Querschlag“ nach Süden dem Dickenberger Stollen (+62,6 mNN) zulief. Nach /19/ erreichte die am Stollenmundloch anfallende Wassermenge im Jan./Feb. 1983 einen Maximalwert von 12 m³/min. Messungen ergaben, dass max. 2 m³/min aus dem Bereich des Wilhelmschachts selbst zulaufen, wobei die Qualität dieser Wässer von den Qualitäten früherer Jahre nicht abwich (Abbildung 11). Sie setzen sich zusammen aus

- aufsteigenden Wässern aus dem Wilhelmschacht,
- Wässern aus dem Qu. Fl. Buchholz („Schubkarren-Querschlag“) und
- Wässern aus Fl. Dickenberg.

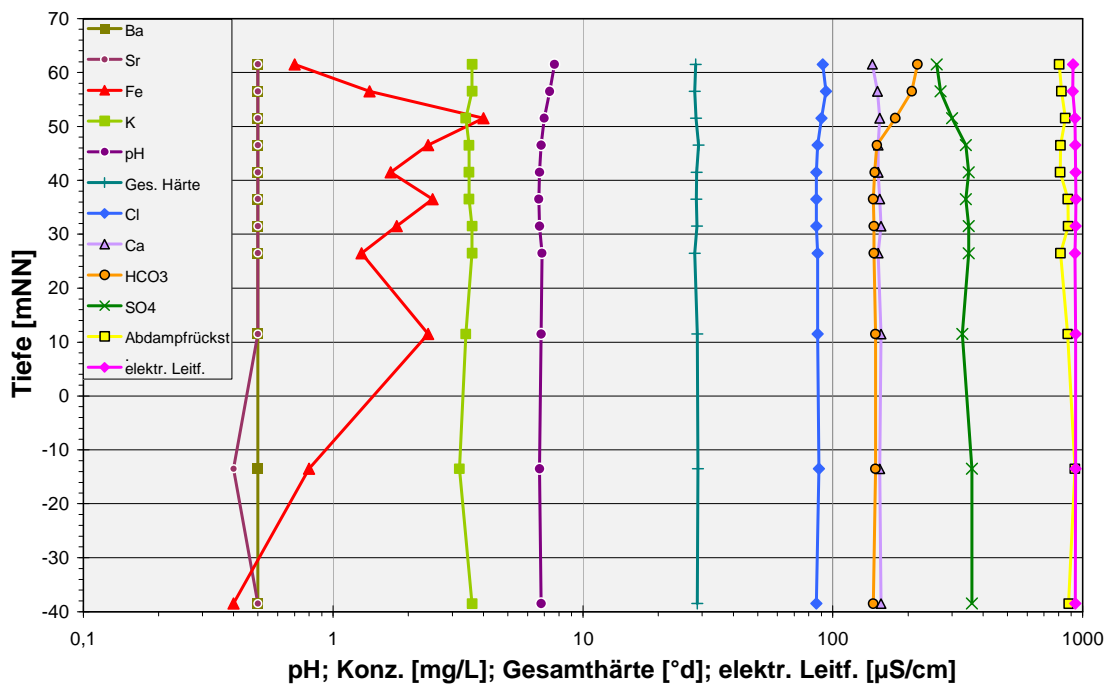


Abbildung 11: Wasserqualität im Wilhelmschacht ca. 4 Monate vor Erreichen des Überlaufniveaus (n. /17/).

Für den Wilhelmschacht bestätigen auch am 23.08.1982 durchgeführte Probenahmen in der Schachtwassersäule diese geringe Mineralisation /17/. Zum damaligen Zeitpunkt war der Übertritt in die Stollensohle (+65 mNN), nur noch 4,5 m bzw. ca. 4 Monate entfernt.

Folglich wäre der Hauptzufluss und damit die Ursache für die durch hohe Eisen- und Sulfatgehalte geprägte Wasserqualität im Stollenablauf nicht in der tiefen Grube (und dem Austritt über den Wilhelmschacht) zu suchen, sondern im (oberflächennahen) Zustrom aus dem östlichen Zweig des Dickenberger Stollens. Dies bestätigt auch eine Bohr- und Beprobungskampagne der RAG 2012/13, in der über diverse Lichtlöcher das Stollenwasser beprobt werden konnte (Abbildung 12, Abbildung 13). Demnach existiert im Westfeld eine intensiv wirksame Verwitterungszone, die über die anfängliche Ausspülung von während des Wasseranstiegs gelösten Pyritoxidationsprodukten hinaus zu deren kontinuierlichen Austrag führt. Diese Wasserzutritte in den Dickenberger Stollen würden dann vor allem zwischen Lichtloch 5 und Abendstern-Schacht erfolgen.

Die zeitliche Entwicklung verschiedener Inhaltsstoffe im Auslauf des Dickenberger Stollens wird in Kapitel 4.6 (Kalibrierung Westfeld) dargestellt. Die Auswirkungen der Pyritoxidation werden ausführlicher anhand von Proben aus dem Ostfeld in Kapitel 4.5 diskutiert.

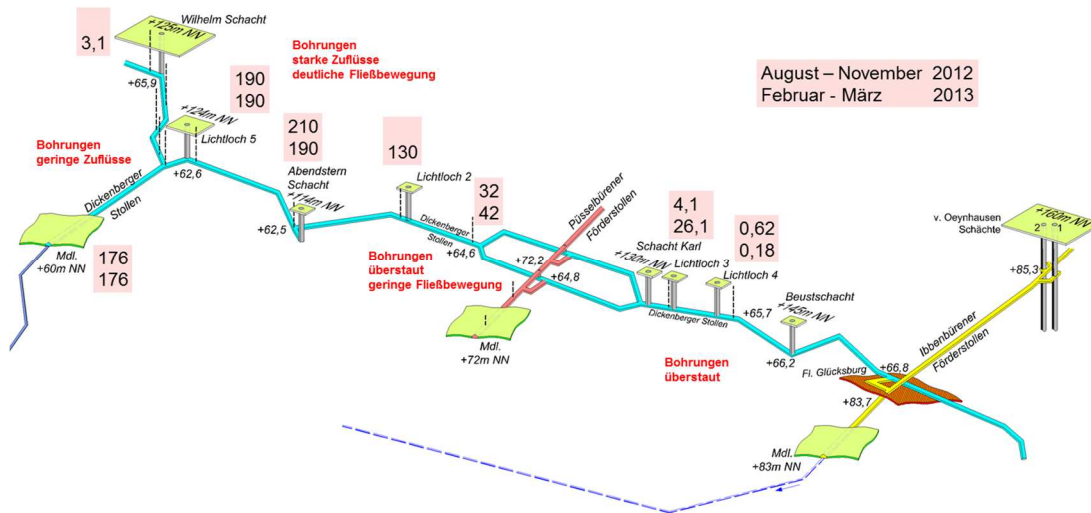


Abbildung 12: Wasserqualität (Eisen) im Dickenberger Stollen.

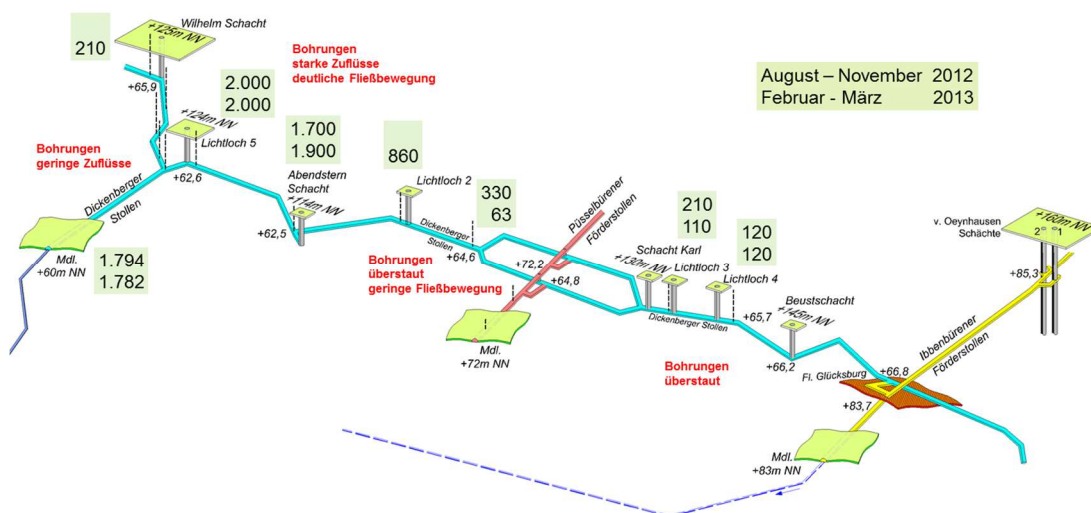


Abbildung 13: Wasserqualität (Sulfat) im Dickenberger Stollen.

Die Untersuchungen im Dickenberger Stollen reichen bis in den Bockradener Graben. Nach den Befunden in diesem östlichen Stollenabschnitt (Bohrungen überstaut, geringe Fließbewegung, kaum schwankende Wasserstände, geringe Chloridgehalte (40 mg/L), Nitrat) ist es wahrscheinlich, dass hier gesammeltes Sickerwasser von der Oberfläche in tiefer liegende Abbaue sickert und von dort dem Ostfeld zufließt (s. Kap. 3.2.4).

3.2 Ostfeld

3.2.1 Struktur

Im Vergleich zum Westfeld (Abbildung 3, S. 13) ist das Ostfeld tektonisch weniger stark zergliedert und weist größere Abbauflächen auf (Beust-, Oeynhausen- und Theodor-Feld), die durch den Fahlbach- und den Theodor-Spr. getrennt werden (Abbildung 14). Nach Westen begrenzt der Beust-Spr. das Beust-Feld gegen den Bockradener Graben. Das Theodor-Feld wird nach Osten vom Knüppeschen Sprung begrenzt. Daran schließt sich dann der Knüppesche Graben und zuletzt das Morgenstern-Feld an. Hier kam es aber nach 1960 nicht mehr zu dem geplanten Abbau von Fl. 2 und das Grubenfeld wurde 1965 praktisch abgeworfen /5/, d.h. auch ein Abbau unterhalb des Flözsprunges hat hier nicht stattgefunden. Ebenso ist im Knüppeschen Graben aufgrund seines komplexen Aufbaus Bergbau nur in vergangener Zeit (und oberflächennah) umgegangen.



Abbildung 14: Tektonische und bergbauliche Gliederung im Ostfeld der Ibbenbürener Karbonscholle (verändert n. /4/).

Ansonsten wurde in der zweiten Hälfte der 1960er und ersten Hälfte der 1970er Jahre vorwiegend das Fl. 2 gebaut (bis 1976; im höher gelegenen Fl. Glücksburg wurde teilweise noch bis 1978 gebaut). Mitte der 1960er

Jahre war abzusehen, dass die Vorräte von Fl. 2 nur bis etwa 1975 ausreichen würden. 1967 wurde deshalb die rd. 650 m tiefe Untersuchungsbohrung UB 150 aus dem damaligen Sumpf des Nordschachtes (Teufe 807 m) hergestellt, die unterhalb des Flözsprunges bauwürdige Flöze nachwies. Die Förderung in diesem Teufenbereich begann nach /5/ in den Flözen 45 bzw. 53/54 in den Jahren 1971/74. In den Jahren 1974/77 (und 1987) wurde der Nordschacht auf heutiges Niveau tiefergeteuft (Schachtsumpf 1.545 m Teufe).

Die o.g. Baufelder wurden betrieblichen Rahmenbedingungen angepasst, so dass schließlich der in Abbildung 15 dargestellte Betriebsbereich entstand. Der „moderne“, unterhalb des Flözsprunges betriebene Bergbau fand im Ostfeld somit zwischen Beust-Spr. im Westen und Knüppeschem Sprung im Osten statt.



Abbildung 15: Betriebsbereich Ostfeld (grün).

3.2.2 Erzbergbau

Südlich und östlich der Karbonrandverwerfung kommen in den Zechsteinkalken Eisen- und Buntmetallerze hydrothermalen Ursprungs vor, die von einigen Zechen oberflächennah bergmännisch abgebaut wurden (Abbildung 16). Aufgrund ihrer Randlage zum Steinkohlenbergbau im Ostfeld sowie der Höhenlage der hierfür aufgefahrenen Entwässerungsstollen ist dieser Bergbau auch für den geplanten Wasseranstieg im Ostfeld von

Bedeutung. In /2/ wurden daher Ausmaß und Höhenlage der Abbaubereiche und der zugehörigen Strecken der Erzgruben recherchiert und es wurde untersucht, ob bergmännische Verbindungen zu den Grubenbauen des Ostfeldes Ibbenbüren unterhalb eines Niveaus von +65 mNN bestehen.

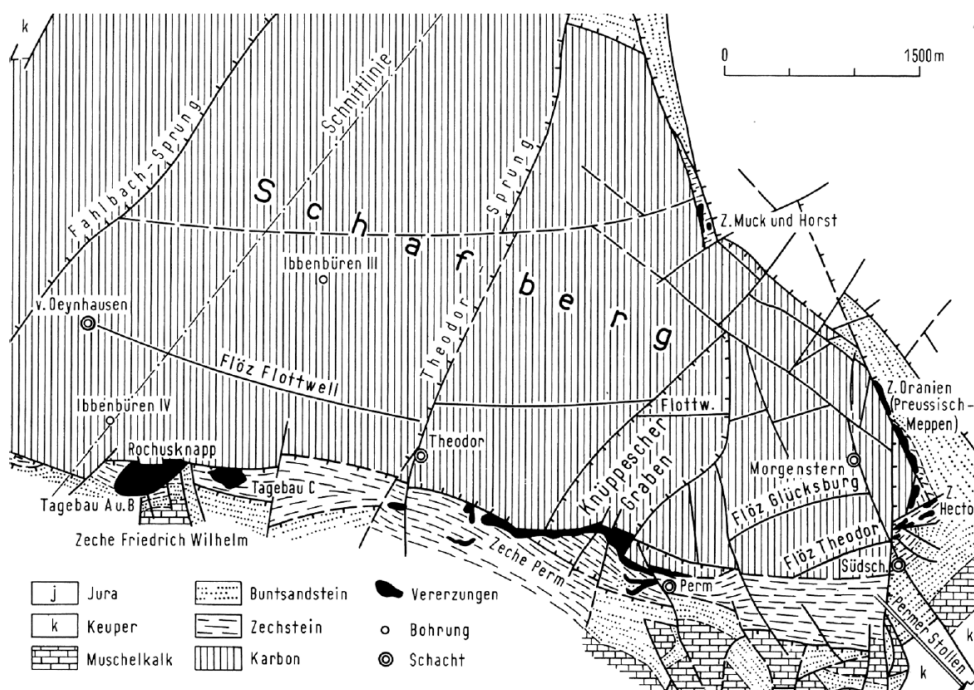


Abbildung 16: Vererzungen und Zechen im Zechstein im Ostteil der Ibbenbürener Karbon-Scholle.

Die Auswertungen in /2/ ergaben, dass der überwiegende Teil der Erzgewinnung oberhalb des in diesem Bericht zugrunde gelegten Referenzniveaus von +65 mNN stattgefunden hat. Die meisten Zechen sind über die Permer Stollensohle (+75 mNN) verbunden. Die darunter liegenden Sohlen und Abbaubereiche sind ausschließlich als „Unterwerksbau“ an die Permer Stollensohle angebunden, d.h. ein Wasserübertritt aus dem Ostfeld in die Erzzechen wäre nicht möglich, da dies nur über die oberhalb des geplanten Wasserstandes von +63 mNN gelegene Permer Stollensohle geschehen könnte.

Die beiden nördlichsten Zechen Muck und Horst haben keine Verbindung zum Permer Stollen, sondern sind über eine eigene Stollensohle auf ca. +74 mNN miteinander verbunden. Über den Erzbergbau hinaus hat in diesem tagesnahen Bereich auch Steinkohlenbergbau existiert. Die Steinkohlenzeche Perm hat nördlich der (Erz)Zeche Perm in den Jahren 1919-1921 das Flöz Glücksburg gebaut. Sie ist im Niveau von rd. +58 mNN an die Erz-

zeche Perm angeschlossen. Eine bergmännische Verbindung zum Steinkohlenabbau des Bergwerks Ibbenbüren besteht hier nicht, der Abstand beträgt mehr als 50 m.

Die Zeche Preussisch Meppen hat über einen Stollen eine bergmännische Verbindung zwischen Erz- und Steinkohlenbergbau geschaffen. Grubenbaue wie auch diese Verbindung liegen jedoch oberhalb des geplanten Wasserstands von +63 mNN womit eine Beeinflussung durch den geplanten Grubenwasseranstieg im Ostfeld nicht gegeben ist.

Darüber hinaus ist im Randbereich des Ostfeldes, in dem sich auch der Erzbergbau befindet, von weiträumigen hydraulisch wirksamen Verbindungen über Störungen und Klüfte auszugehen. Wohl über die Südliche Karbonrandverwerfung ist 1894 ein Wassereinbruch in das Ostfeld erfolgt. Daraus ist eine Speisung von Zuflüsse in das Ostfeld über die Karbonrandverwerfung zu folgern. Aus dieser Störungszone stammen auch Zuflüsse in die Erzgruben. Dieser Mechanismus wurde auch im Grundwassermodell /8/ berücksichtigt und findet seinen Niederschlag in entsprechenden Zuflüssen oberflächennahen Grundwassers im Boxmodell (s. Kap. 3.2.4).

Alle genannten den Erzbergbau entwässernden Stollen sind mit ihren jeweiligen Höhenlagen auch in dem Boxmodell berücksichtigt (s. Abbildung 35 S. 57), womit hier hydraulische Verbindungen zum Steinkohlenbergbau im Modell eingebaut sind, die aber aufgrund ihrer Höhenlage nicht zum Tragen kommen.

3.2.3 Bergwerksaufbau

Wie auch im Westfeld wurden im Ostfeld bis Ende der 70er Jahre die Flöze oberhalb des Flözsprungs (ca. -640 mNN) bis einschließlich Flöz 2 abgebaut, so dass sich die bergbaulichen Verhältnisse (Abbaumethoden, Versatz etc.) in den beiden Teilbergwerken entsprechen. Aufgrund der gleichen Struktur in Geologie und Flözaufbau der nur durch den Bockradener Graben getrennten Bergwerksteile (s. Abbildungen in den vorherigen Kapiteln) sind zudem auch Kohle- und Gesteinsbeschaffenheit vergleichbar, was für die Verwitterungsverhältnisse und damit die spätere Freisetzung von Produkten der Pyritoxidation von Bedeutung ist (s. Kap. 4.5).

Die obere Flözfolge wird neben den drei Oeynhausener-Schächten durch den Bockradener Schacht und den Theodorschacht erschlossen (Abbildung 17). Die beiden letztgenannten Schächte dienen heute als Abwetter-schächte. Die tiefste Sohle oberhalb des Flözsprungs ist die 3. Sohle auf einen Niveau von rd. -170 mNN. Nur mit dem Nordschacht wird die tiefere

Flözfolge von der Tagesoberfläche aus direkt erschlossen. Für den in den 70er Jahren begonnenen tiefen Abbau wurden darüber hinaus drei weitere Verbindungen zwischen der oberen und der unteren Flözfolge erstellt:

- Bohrgesenk an den Oeynhausen-Schächten, verbindet die 4. Sohle mit Flöz 54 im westlichen Mittelfeld, wird aber durch Dämme verschlossen und daher als hydraulische Vertikalverbindung im Boxmodell nicht berücksichtigt
- Querschlag 6 / Querschlag 7 zwischen Schacht Oeynhausen 3 und Nordschacht, Kohlenabförderung zum Zentralbunker am Schacht Oeynhausen 3, bleibt offen
- Wetterberg 45 / Querschlag 2 zwischen Bunker 10 Fl. 45 und Theodorschacht, bleibt offen, der Theodorschacht wird vollständig verfüllt

Diese Strukturen sind für Stilllegung und Wasseranstieg von Bedeutung, da sie singuläre Wegsamkeiten zwischen den beiden Stockwerken des Ostfeldes während des Wasseranstiegs sowie für den späteren Wasserabfluss darstellen. Aufgrund des kaum durchbauten Gebirges zwischen -600 und -700 mNN muss nämlich davon ausgegangen werden, und dies wird auch durch die Wasserzuflussverhältnisse so bestätigt, dass diese Schichten bis auf die genannten Verbindungen in ihren hydraulischen Eigenschaften durch den Bergbau nicht durchgreifend verändert wurden und somit weitgehend dicht sind, was im Modellaufbau entsprechend zu berücksichtigen ist.

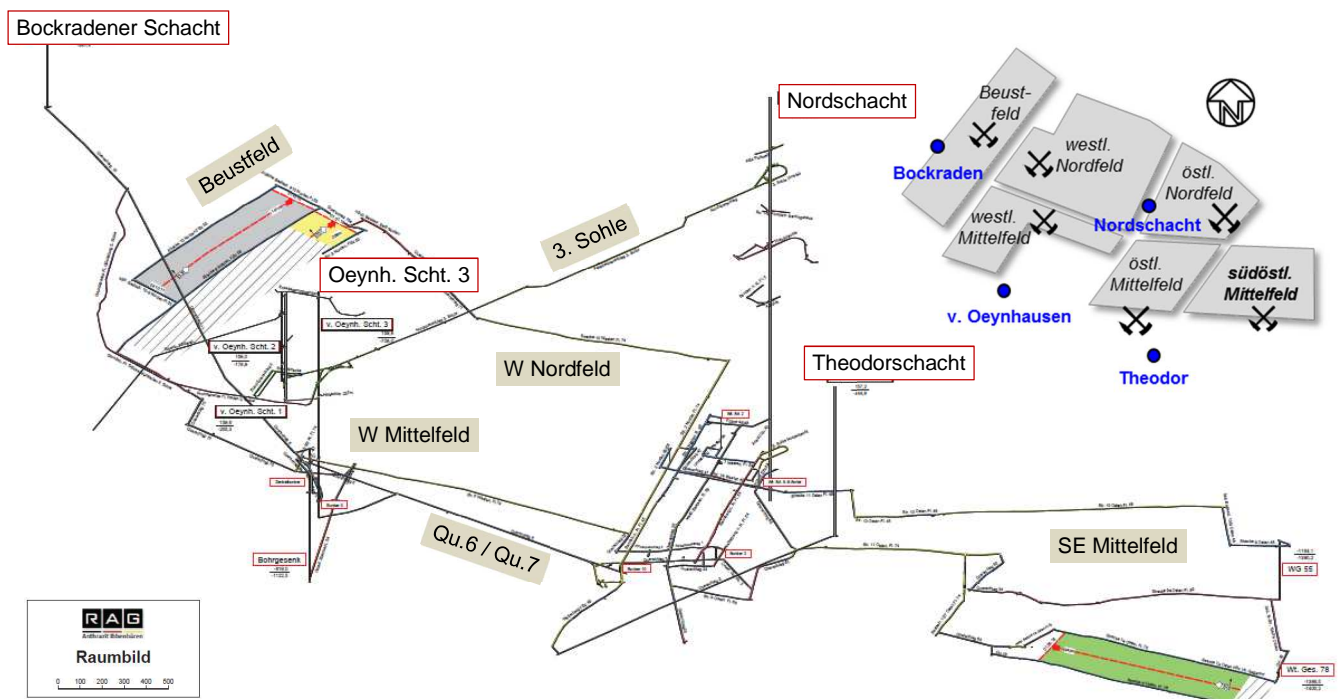


Abbildung 17: Streckennetz des Bergwerkes Ibbenbüren Ostfeld mit den zuletzt betriebenen Bauhöhen, Stand 2017.

Eine entsprechende hydraulische Bedeutung besitzt auch der Nordquerschlag 3. Sohle, der Schacht Oeynhausen 3 und Nordschacht auf -177 mNN verbindet. Auf der 3. Sohle am Schacht Oeynhausen 3 befindet sich auch die Hauptwasserhaltung, die aus den diversen Nebenwasserhaltungen beschickt wird.

Bedingt durch das Auslaufen der letzten Abbaubetriebe und Abdämmen der zugehörigen Baufelder stellt sich das aktuell offene Streckennetz nochmal deutlich reduziert dar (Abbildung 18). Demnächst ist zudem die Abdämmung der Strecken zum Theodorschacht sowie von Bunker 3 geplant.

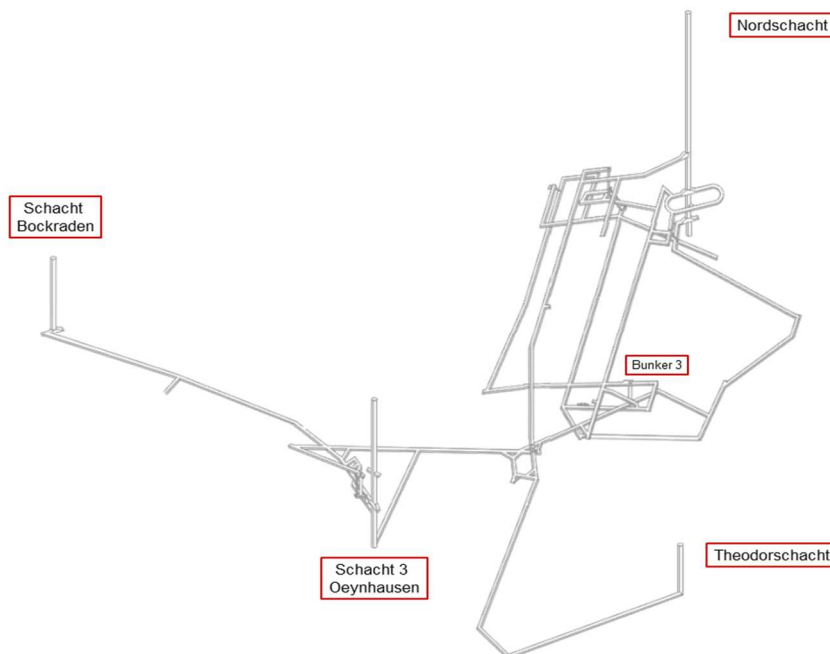


Abbildung 18: Tiefes Grubengebäude (ohne 3. Sohle), Stand Anfang 2019.

Neben diesem auf die letzten Bauhöhen ausgerichteten Streckennetz existieren natürlich noch weitaus mehr Strecken, deren Verteilung man am ehesten anhand der Abbauflächen nachvollziehen kann. Allerdings wurden diese Verbindungen vielfach durch Dämme unterschiedlicher Qualität verschlossen, so dass diese nicht prinzipiell als Fließwege für das Wasser im und nach dem Wasseranstieg eingestuft werden können.

Aufgrund der sehr komplexen Bergwerksstruktur kann und soll diese hier nicht dargestellt und rekapituliert werden. Da diese Unterlagen jedoch für die Erstellung des Boxmodells gesichtet wurden und in dieses eingeflossen sind, sei diesbezüglich auf die Beschreibung der Modelldaten in Kapitel 4.2 (Abbauverteilung) und 4.3 (Resthohlraumvolumen) verwiesen. Stellvertretend für die Abbauaktivitäten in den unterschiedlichen Zeiträumen zeigen

Abbildung 19 und Abbildung 20 die Verhältnisse für zwei intensiv gebaute Flöze oberhalb (Glücksburg) und unterhalb (54) des Flözsprunges.



Abbildung 19: Abbauflächen im Flöz Glücksburg.

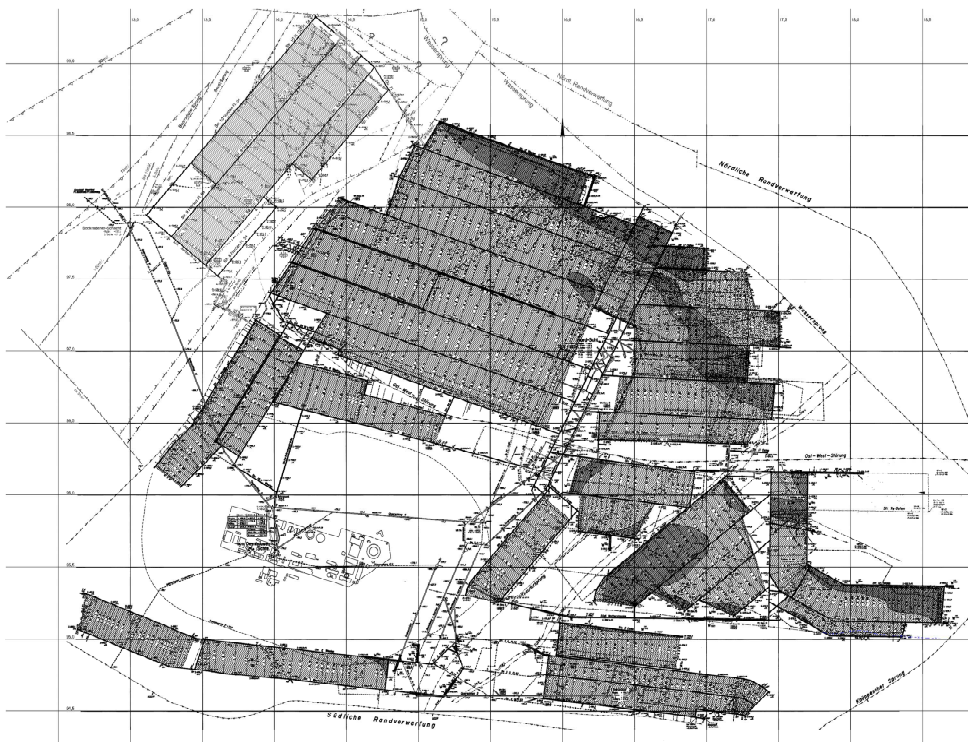


Abbildung 20: Abbauflächen im Flöz 54.

Flöz Glücksburg wurde nahezu flächendeckend abgebaut und verbindet bzw. vernetzt somit die gesamte Fläche des Bergwerkes incl. Südflügel und

Beustfeld. Das Flöz Glücksburg ist, abgesehen von wenigen Bauhöhen im Bergwerkstiefsten, auch das einzige Flöz das im Beustfeld erschlossen wurde (Abbildung 4; S. 14). Streckenverbindungen existieren so vom Beustfeld zum Bockradener Schacht. Aufgrund dieser Eigenschaften kann das Flöz Glücksburg als, entsprechend dem Schichteinfallen nach Nordosten geneigte, flächendeckende Drainage im Niveau -100 mNN (Südwesten) und -250 mNN (Nordosten) angesehen werden.

Ganz anders stellt sich die Abbauverteilung im modernen strebgebundenen Abbau seit den 60er Jahren dar. Hier zeigt sich auch die Störungsstruktur des Ostfeldes (Kap. 3.2.1) deutlicher, da mit den Streben die Durchbauung bzw. Annäherung an diese Flächen in stärkerem Maße vermieden wurde. Die Schachtpfeiler um den Nordschacht sowie die Oeynhausen Schächte mit dem Kraftwerk treten deutlich hervor. Auch eine Unterbauung der Hauptbandstraße über Querschlag 6/7 erfolgte nicht. Die Auffahrungen und Erschließung der einzelnen Bauhöhen erfolgte ausgehend vom Nordschacht bzw. den genannten Querschlägen.

3.2.4 Wasserzuflüsse

Die Ibbenbürener Karbonscholle zeichnet sich im Vergleich zu den nördlichen Bergwerken des Ruhrgebietes durch eine geringe bis flächendeckend fehlende Deckgebirgsüberlagerung aus. Dies bedingt vor allem im Westfeld Wasserzuflüsse, die - erkennbar durch jahreszeitlich niederschlagsabhängig schwankende Mengen - relativ direkt von der Oberfläche zutreten und infolgedessen vergleichsweise geringe, dem Grundwasser vergleichbare, Salzgehalte aufweisen (entsprechend den südlicheren Bergwerken im Ruhrrevier).

Das Bergwerk Ibbenbüren (Ostfeld) fasst diese Zuflüsse zum großen Teil getrennt von den übrigen und bereitet sie auf, so dass sie als Brauchwasser im Bergwerk genutzt werden können. Diese Vorgehensweise bewirkt, dass nur eine vergleichsweise geringe Wassermenge als Fremdwasser bezogen wird, was bei der Bilanzierung der Wasserzuflüsse im Vergleich zur gehobenen bzw. abgeleiteten Wassermenge zu berücksichtigen ist. Ebenso ist zu beachten, dass die den Klärteichen Püsselbüren zufließende Wassermenge auch Kraftwerks- und Oberflächenwässer des Betriebsgeländes beinhaltet. Dies beeinflusst sowohl Mengen als auch Zusammensetzung der Einleitung in die Ibbenbürener Aa, wo sich die offizielle Monitoringstelle des Bergwerks befindet (vgl. Kap. 5.1 Abbildung 53 S. 77). Die Messungen der

gehobenen Grubenwassermenge beziehen sich jedoch auf das reine Grubenwasser, das an einer Messstelle im Förderstollen auch separat beprobt wird (s. Kap. 3.2.5).

Die Wasserhaltung des Ostfeldes ist noch in Betrieb und somit die Gesamtheit der Zuflüsse der Messung zugänglich. Allerdings sind große Teile des Bergwerks abgedämmt, so dass es sich bei den nun größtenteils in den Sohlniveaus des Nordschachtes angenommenen Wässern überwiegend um Mischungen verschiedener, über die jeweiligen Baufelder verteilter, Wasserzuflüsse handelt. Vor Abdämmung der letzten Baufelder Beustfeld und Südöstlichem Mittelfeld bestand dort noch die Möglichkeit zur detaillierten Aufnahme der Zuflussverhältnisse.

Die Hauptwasserzuflüsse wurden vom Bergwerk Ibbenbüren seit Beginn der 80er Jahre regelmäßig gemessen und in einem Wasserbuch dokumentiert. Allerdings sind diese Zuflüsse auch Einwirkungen des fortschreitenden Bergbaus sowie veränderter Wasserführung unterworfen, so dass für die Nutzung im Modell, das auch auf einer Massenbilanzierung auf Basis von Abflussmengen und Stoffgehalten beruht, diese Messungen seit 2014 nochmals aktualisiert und erweitert worden sind. So wurden einige Zuflüsse in das Monitoring aufgenommen, die früher aufgrund geringer Mengen nicht separat betrachtet worden waren. Ziel war eine vollständige Bestandsaufnahme aller Zuflüsse mit Mengen sowie chemischer Zusammensetzung. Geringe Zuflussmengen, wie sie z.B. über mehrere Pumpenlöcher verteilt auftreten, wurden über die jeweiligen Wasserbecken bzw. Nebenwasserhaltungen berücksichtigt. Zusätzlich zum Abgleich der Summe aller Einzuzuflüsse mit der gehobenen Grubenwassermenge erlauben solche Nebenwasserhaltungen eine bergwerksinterne Kontrolle für die jeweiligen Einzugsbereiche.

Abbildung 21 zeigt alle Zuflüsse, die für das Bergwerk als dauerhafte Zutritte ermittelt werden konnten. Es wurde dabei versucht, die im Bergwerk genutzten Frischwässer den jeweiligen Zutrittsorten zuzuordnen und Mischwasserabflüsse aus der Betrachtung zu eliminieren. Die hier aufgeführten Zuflussmengen in m^3/min stellen die Grundlage des im Boxmodell implementierten Wasserstammbaums dar.

Die einzelnen Wasserzuflüsse werden entsprechend ihrer Lage im dargestellten Streckennetz bzw. in Interpretation des z.B. hinter Dämmen gelegenen Streckennetzes den an den Baufeldern orientierten Boxen (s. Kap. 4.2) zugeordnet. Dies betrifft zum Beispiel die Zuflüsse im Niveau Flöz Bentingsbank zum Nordschacht.

Weiterhin wird der jeweiligen Teilmenge eine Herkunft zugewiesen, was zum einen qualitativ in Form einer genetischen Interpretation erfolgt, zum anderen aber in einem Herkunftsniveau. Dieses entspricht dem jeweiligen Druckwasserspiegel, was sich in der Modellmethodik durch ein entsprechendes Zuflussverhalten auswirkt.

Aus Beobachtungen vor und nach Wasseranstieg gehobener Wassermengen ist bekannt, dass sich viele Zuflüsse langsam mit ansteigendem Grubenwasserspiegel abdrücken. Grund dafür sind die im Wasseranstiegsverlauf geringer werdenden Spiegeldifferenzen zu speisenden, oftmals weiter entfernt liegenden Rändern. Es wurden Abdrückfunktionen der Zuläufe in Abhängigkeit des Wasserspiegels entwickelt, die leicht gedämpft zum Grubenwasseranstieg verlaufen und dabei berücksichtigen, dass Grund-/Kluft-/Störungswasser oftmals auf höheren Sohlen angeschnitten und im Rahmen des fortschreitenden Abbaus in die Tiefe verschleppt wurden. Je höher also dieser Druckwasserspiegel liegt, desto geringer vermindert sich die Zuflussmenge während des Wasseranstiegs. Stammt der Zufluss aus einem Reservoir oberhalb des künftigen Grubenwasserspiegels, ist die Zuflussmenge für den zu betrachtenden Wasseranstieg als davon unbeeinflusst und kontinuierlich anzusetzen.

Insofern war es von Bedeutung, insbesondere solche Wasserzuflüsse zu identifizieren. Ein wesentlicher Anhaltspunkt hierfür ist zunächst die chemische Zusammensetzung (s. Kap. 3.2.5) im Zusammenspiel mit jahreszeitlichen Zuflussmengen (s.o.). Auf diese Weise wurden 11 Zuflüsse identifiziert, für die diese Herkunft wahrscheinlich ist (Tabelle 2).

Während der größte Teil dieser Zuflüsse sich in Gänze durch geringe elektr. Leitfähigkeiten bis $2.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ auszeichnet (Chloridgehalt ca. $250 \text{ mg}/\text{L}$) erfolgte für die beiden tieferen Zuflüsse die Zuordnung über dem Umstand, dass in diesen Niveaus neben den hier aufgeführten (mit 8.900 bzw. $14.200 \mu\text{S}/\text{cm}$ also keine eindeutigen Oberflächenwässer) auch andere mit deutlich höherer Salinität vorhanden sind (elektr. Leitfähigkeit ca. $40.000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Dies führt zu der Ableitung eines Mischwassers mit einem Anteil Oberflächenwasser (elektr. Leitfähigkeit $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$) und einer Restmenge mit Salzgehalten entsprechend des Parallelzuflusses. Auf diese Weise errechnen sich $1,55 \text{ m}^3/\text{min}$ im Niveau Bentingsbank bzw. $0,13 \text{ m}^3/\text{min}$ in dem tieferen Niveau der Theodorsohle. Da die Abbaue im Flöz Bentingsbank das Glücksburg-Flöz mit entwässern, das keine direkte Anbindung an den Nordschacht hat, und aufgrund der Abbauverteilung im Flöz Glücksburg mit seiner potenziellen Drainagewirkung (Abbildung 19, Kap. 3.2.3) ist so die ermittelte vergleichsweise große Menge an Oberflächenwasser in diesem Niveau sehr plausibel.

Tabelle 2: Gering mineralisierte Wasserzuflüsse in das Ostfeld mit Herkunft aus dem oberflächennahen Bereich.

Box	Niveau mNN	Beschreibung	Bemerkung	Leitf.keit µS/cm	Menge m³/min
oberhalb 3. Sohle					
Nordschacht	8	PK II	nach Übertage	1.175	0,2
Nordschacht	8	PK II	zur Flottwellsohle	820	1,0
Oeynhaus 3	-41	Stollensohle	Brauchwasser	815	0,4
Oeynhaus 3	-90	Schachtwasser oberhalb 3. Sohle	zur Hilfssohle	1.605	0,3
Flottwell / 3.Sohle					
Nordschacht	-46	Flottwell-Sohle westl. Damm	Frischwasser zur 3. Sohle	1.160	1,4
Westl. Mittelfeld	10	3. Sohle, Parallelstrecke	aus Flottwell-Abbauen	1.640	0,1
Westl. Mittelfeld	10	3. Sohle, Wagenverteilung	aus Flottwell-Abbauen	2.410	0,3
Oeynhaus 3	0	Schacht Bockraden	Frischwasser oberer Schacht	815	0,77
Oeynhaus 3	-311	Schacht Bockraden	Restwasser Schachtbasis	1.605	0,66
Bentingsbank = Entwässerung Glücksburg					
Östl. Nordfeld	-255 -289	Sumpf Querschlag Lf = 8.900 µS/cm	Gesamtzufl. 1,9 m³/min davon 1,55 m³/min Oberflächenwasser	1.000	1,55
Theodorsohle					
Westliches Nordfeld	-424	westl. Damm 58 Lf = 14.200 µS/cm	Gesamtzufl. 0,2 m³/min davon 0,13 m³/min Oberflächenwasser	1.000	0,13
				Summe	6,8

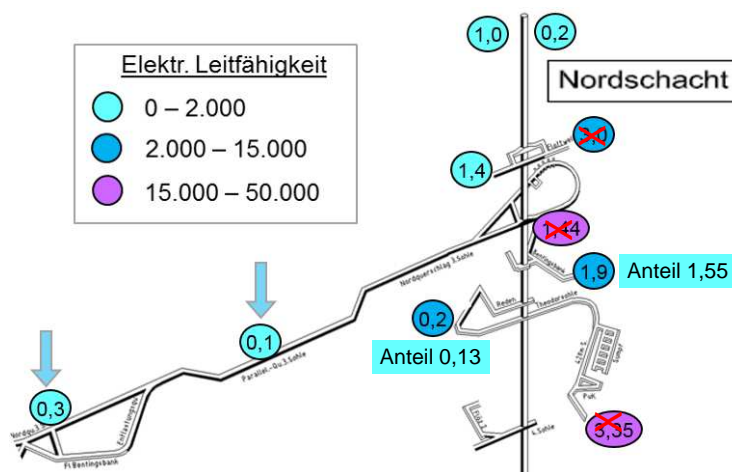


Abbildung 22: Wasserzuflüsse zum Nordschacht mit Wassermenge und farblicher Kennzeichnung des Salzgehaltes.

In Summe stammen demnach insgesamt 6,8 m³/min aus dem oberflächennahen Bereich. Für die Zuflüsse im Bereich des Nordschachtes und zur

3. Sohle ist diese Zuordnung nochmal in Abbildung 22 dargestellt. Die Annahmestellen, denen kein direkter Oberflächeneinfluss zugeordnet wird, sind durchgestrichen gekennzeichnet.

Diese Zuordnung zur Herkunft dieser Wässer von der Oberfläche der Karbonscholle des Schafberges wurde über das 2018 erstellte Grundwassermodell überprüft. Für dieses Grundwassermodell wurde auch die Grundwasserneubildung berechnet (/8/). Diese wurde für bergbaulich erschlossenen Teilbereiche orientiert an den Modellkompartimenten (Boxen, Kap. 4.2) aufsummiert und kann so mit den untertage dieser Herkunft zugeordneten Mengen verglichen werden (Abbildung 23). Entsprechend den Hauptstrukturen von Gebirge und Bergwerk wurde für die Teilbereiche Bockradener Graben, Beustfeld und Restbergwerk differenziert. Sowohl für diese Teilbereiche als auch in der Summe ergibt sich, dass zunächst grundsätzlich mehr Wasser aus der Grundwasserneubildung zur Verfügung steht, als anhand der Zuflüsse in das Bergwerk dieser Herkunft zugeordnet wurde.

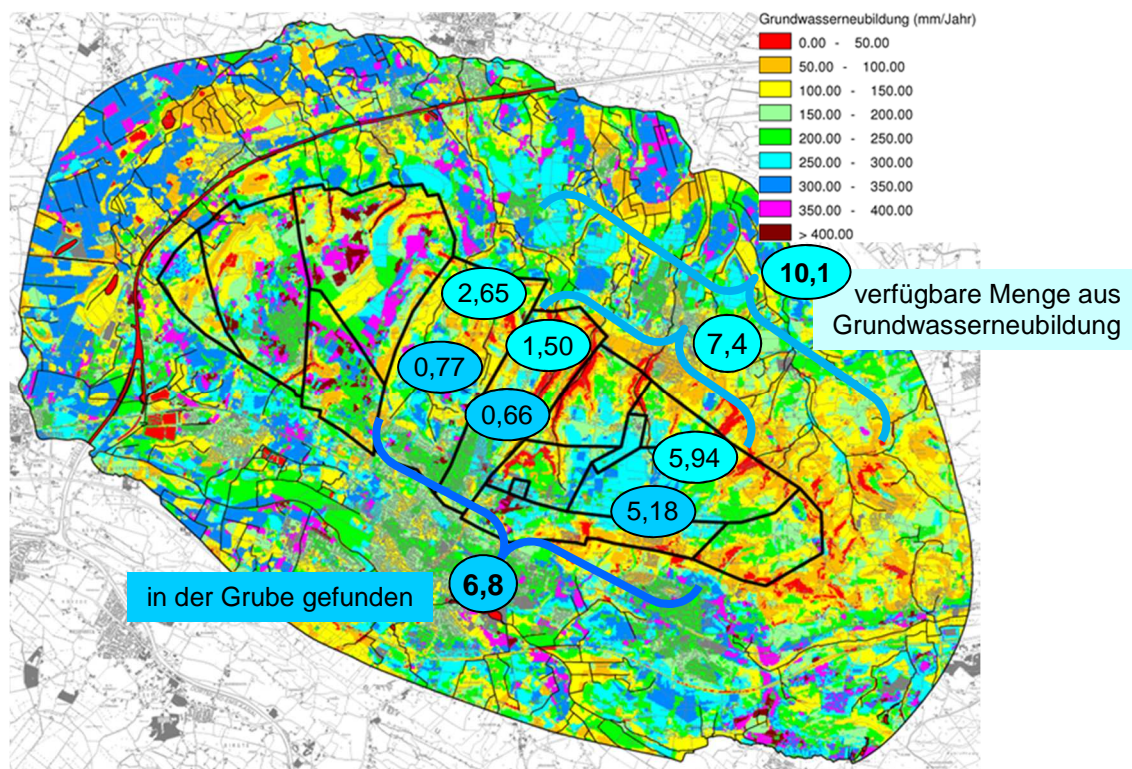


Abbildung 23: Abgleich der verfügbaren Wassermengen (m^3/min) aus Grundwasserneubildungsberechnung und Zuordnung als Oberflächensickerwasser in die Grube.

Die Grundwasserneubildung speist jedoch neben der Versickerung in den Untergrund auch den oberflächennahen Grundwasserabfluss in das Umland und die Oberflächengewässer (Bäche). Daher steht als Bergwerkszu-

fluss nur die Menge zur Verfügung, die das Grundwassermodell nach Kalibrierung des Gesamtmodells als Überschusswasser zur Versickerung in den tieferen Untergrund ausweist.

Diese Auswertung ergibt eine Übereinstimmung für die Segmente Bockradener Graben und Beustfeld, nicht jedoch für das Restbergwerk (Abbildung 24). Dort wird die Sickerwassermenge in das Bergwerk oberhalb der Grubenbaue zwar ergänzt um Versinkungen im südlichen Randbereich (0,11 und 0,74 m³/min, vgl. /8/, Einzugsbereich des Erzbergbaus Permer Stollen, Kap. 3.2.2), die so erhaltene Menge von insgesamt 3,52 m³/min reicht jedoch nicht aus, den postulierten Zufluss von Oberflächenwasser in die Grube von 5,18 m³/min (Abbildung 23) zu erklären.

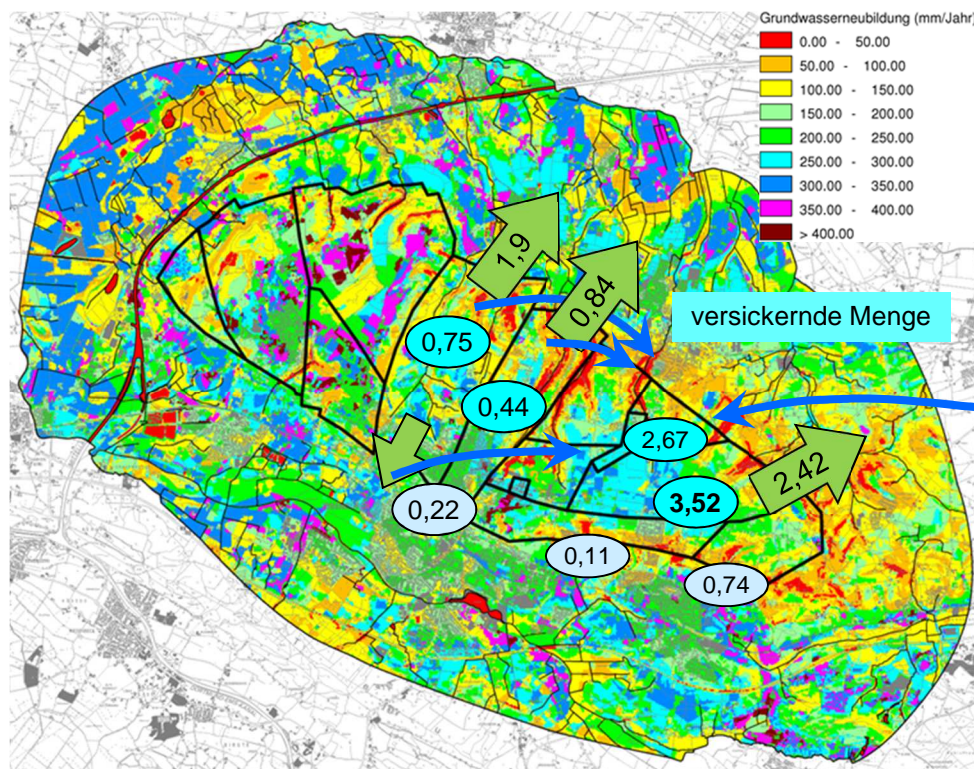


Abbildung 24: Verteilung der auf Basis der Grundwasserneubildungsberechnung verfügbaren Wassermengen (m³/min) auf den Abfluss in das Umland (grüne Pfeile) und auf Sickerwasser in den tieferen Untergrund (blau).

Für die Restmenge von 1,88 m³/min müssten also Zuflüsse außerhalb der Betrachtung des Grundwassermodells zur Verfügung stehen (blaue Pfeile in Abbildung 24). Hierfür liegen aus der langjährigen Beobachtung der Zuflüsse in das Bergwerk auch entsprechende Anhaltspunkte vor:

- Wasser aus dem Bereich des Bockradener Grabens (hier steht ausreichend Grundwasserabfluss zur Versickerung zur Verfügung) tritt dem Dickenberger Stollen zu und fließt dann über Flöz Glücksburg zum

Nordschacht. Hierfür gibt es plausible Anhaltspunkte aus den Wasserständen im östlichen Dickenberger Stollen (Kap. 3.1.4).

- Wasser aus den Bächen im nördlichen Schafberghang im Bereich Bockradener Graben und Beustfeld versickert anteilig in den Wassersprung. Solche Versinkungen, die dann im Bergwerk wiedergefunden wurden, waren in der Vergangenheit durch Tracerversuche nachgewiesen worden.
- Zuflüsse in die oberen Flöze wurden in der Vergangenheit der bergbaulichen Annäherung an den Wassersprung zugeordnet. Von daher ist es plausibel, dass solche Wässer auch heute noch dem Bergwerk zutreten. Da solche Versinkungen im Grundwassermodell nicht in Erscheinung treten, müssen diese Zuflüsse von außerhalb des Modellgebietes gespeist werden.

Für diese Herkunft und die erforderlichen Fließwege wurden Wasserzutritte in die Grube identifiziert, die für diese Entstehung in Frage kommen. Dies sind (Tabelle 2) der tiefe Zufluss zur Theodorsohle ($0,13 \text{ m}^3/\text{min}$), Anteile im Niveau Bentingsbank ($0,7$ von $1,55 \text{ m}^3/\text{min}$) sowie Anteile des Zuflusses aus der Flottwell-Sohle zum Nordschacht ($1,05$ von $1,4 \text{ m}^3/\text{min}$). Als Synthese zeigt Abbildung 25 die Verteilung der gering mineralisierten von der Oberfläche stammenden Zuflüsse in die Grube.

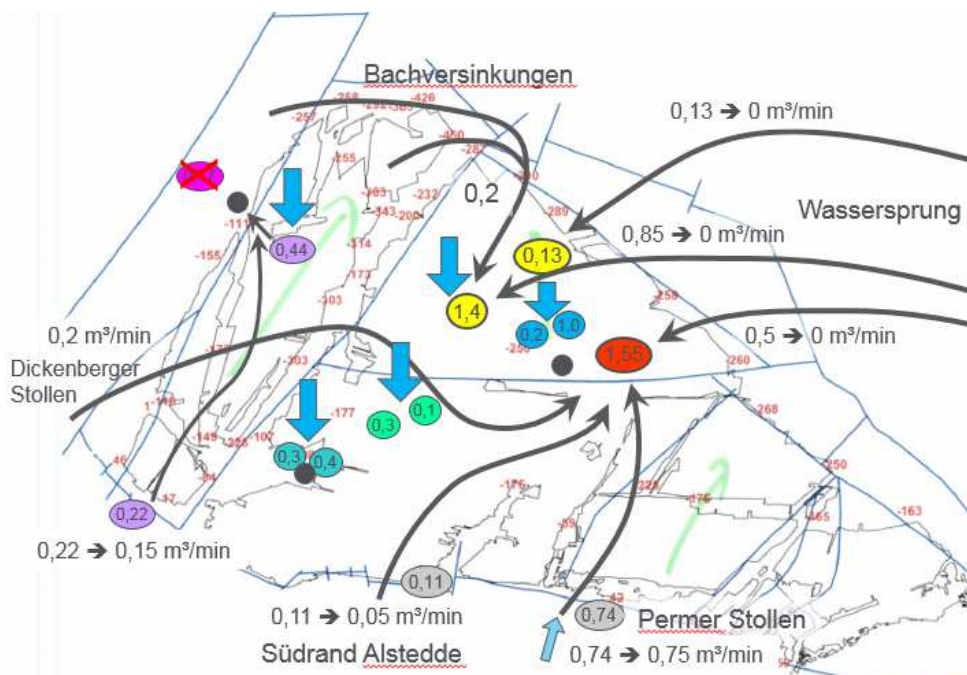


Abbildung 25: Verteilung der Zuflüsse gering mineralisierter Wässer in das Ostfeld.

Hier ist auch vermerkt, welche Beeinflussungen ihnen aufgrund der Herkunft jeweils im Wasseranstieg zugeordnet werden. Während Sickerwässer von der Oberfläche des Schafberges (dazu zählen auch die Bachversinkungen) unverändert zufließen werden (blaue Pfeile), wird davon ausgegangen dass das Druckniveau der Zuflüsse aus dem Wassersprung bei +63 mNN überstaut ist und dementsprechend der Zufluss dann verschwindet. Die Minderungsk Mengen der Versinkungen am Schafberg-Südrand sind das Resultat der Berechnungen mit dem Grundwassermodell /8/.

Über den rein genetischen Bezug sind die Ergebnisse des Grundwassermodells somit auch genutzt worden, Informationen über den Ort der Versickerung und somit die von einem Durchfluss betroffenen Bergwerksteile zu erhalten und auch das im Wasseranstieg zu erwartende Verhalten einzuschätzen. Lediglich für den oberen Zufluss in den Schacht Bockraden (0,77 m³/min) wird davon ausgegangen, dass er mit der Schachtverfüllung dem Grubengebäude nicht weiter zutreten wird und im oberen Grundwasserhorizont verbleibt. Für die Zuflüsse in die Schächte Oeynhaus (0,7 m³/min) und Nordschacht (1,2 m³/min) kann dies aufgrund der Höhenverhältnisse und der fehlenden Karbonüberdeckung jedoch nicht übernommen werden. Dies führt dazu, dass nach diesen Vorgaben auch nach Wasseranstieg ein Oberflächenzufluss in das Ostfeld von ca. 4,4 m³/min verbleiben wird. Diese Rahmenparameter wurden in das Modell übernommen womit dann die dynamischen Veränderungen der Zuflussbedingungen für die Wasseranstiegsphase berechnet werden (Kap. 5.2).

3.2.5 Grubenwasserqualität

Im Zusammenhang mit der Lokalisierung und Differenzierung der Zuflüsse in die Grube wurde schon mehrfach auf qualitative Aspekte eingegangen. Die dort herangezogenen Parameter (Chlorid-Konzentration, elektr. Leitfähigkeit) stehen hier stellvertretend für die Salinität und damit die Herkunft der Zuflüsse.

Die Darstellung der in den Zuflüssen gemessenen Chlorid-Konzentrationen in Abbildung 26 (vgl. auch Abbildung 27) ermöglicht einen recht guten Überblick über die Verteilung der verschiedenen Wassertypen im Bergwerk. Bis zur 3. Sohle dominieren gering salinare Wässer (Chlorid bis 5.000 mg/L). Typisch im Zwischenbereich bis zur 4. Sohle sind Chloridgehalte bis 50.000 mg/L. Höhere Salinitäten sind den tiefen Flözen des jüngeren Bergbaus unterhalb der bis zu 400 m mächtigen, nicht gebauten Gebirgsfeste vorbehalten, die das Absinken oberflächennaher Wässer in die tiefen Bau-

felder verhindert. Entsprechend gering sind auch die Zuflussmengen in dieser Teufe (in Summe ca. 2 m³/min). Hier handelt es sich offensichtlich um reine Schichtwässer des tiefen Karbon bzw. Zechstein.

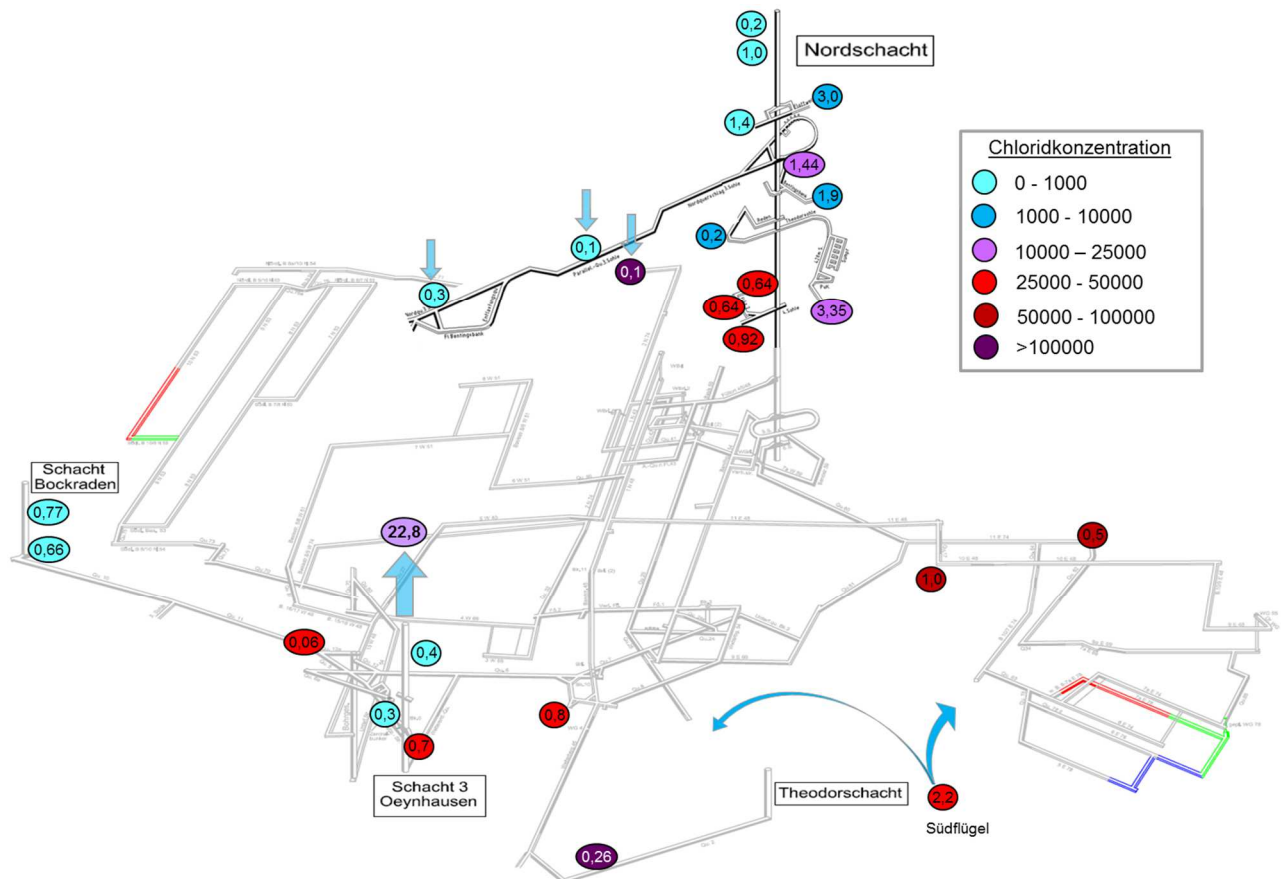


Abbildung 26: Wasserzuflüsse in das Ostfeld Ibbenbüren mit Wassermenge (m³/min) und farblicher Zuordnung von Chlorid-Konzentrationsklassen (mg/L).

Die gesammelten Grubenwässer werden über die Oeynhausens-Schächte mit einem mittleren Chloridgehalt von ca. 21.000 mg/L Chlorid gehoben. Das Bergwerk beprobt und analysiert diese Grubenwasserhebung wie auch die Einleitung in die Ibbenbürener Aa nach dem umfangreichen Parameterkatalog gemäß WRRL monatlich seit 2009. Neben den Hauptkationen (Na, K, Ca, Mg) und -anionen (Cl, SO₄, HCO₃) umfassen diese Analysen auch Begleitelemente der Salinität (B, NH₄, Br), Metalle (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, As, Se, Hg) und sonstige Spurenkomponenten (Ba, Sr, NO₂, P, TOC, DOC). Darüber hinaus werden Milieuparameter (pH, elektr. Leitfähigkeit, Temperatur) bestimmt. Diese Daten bilden über den vorliegenden Monitoringzeitraum von 10 Jahren eine ausreichende Grundlage zur Einschätzung der resultierenden Grubenwasserqualität.

Da das Modell die Gesamtheit dieser Stoffe, die sich ganz unterschiedlich auf die verschiedenen Zuflüsse verteilen, abbilden soll, waren entsprechende Informationen zu den einzelnen Zuflüssen erforderlich. Einige wichtige Zuflüsse waren seit 2003 regelmäßig beprobt und analysiert worden (Abbildung 27), so dass hierfür Zeitreihen zur Bewertung von Konstanz/Veränderungen vorlagen. Allerdings waren im Rahmen dieser betriebsinternen Überwachung bei weitem nicht alle der zuvor genannten Parameter analysiert worden. Daher wurde 2014 eine vollständige Bestandsaufnahme der damals bekannten Zuflüsse vorgenommen und diese dann zusammen mit wichtigen Nebenwasserhaltungen beprobt und analysiert. Diese Untersuchungen wurden 2015/2016 in vier Kampagnen mit nochmals ergänzten Zuflusspunkten fortgeführt, so dass ein belastbarer Datensatz für die gesamte Grube vorlag.

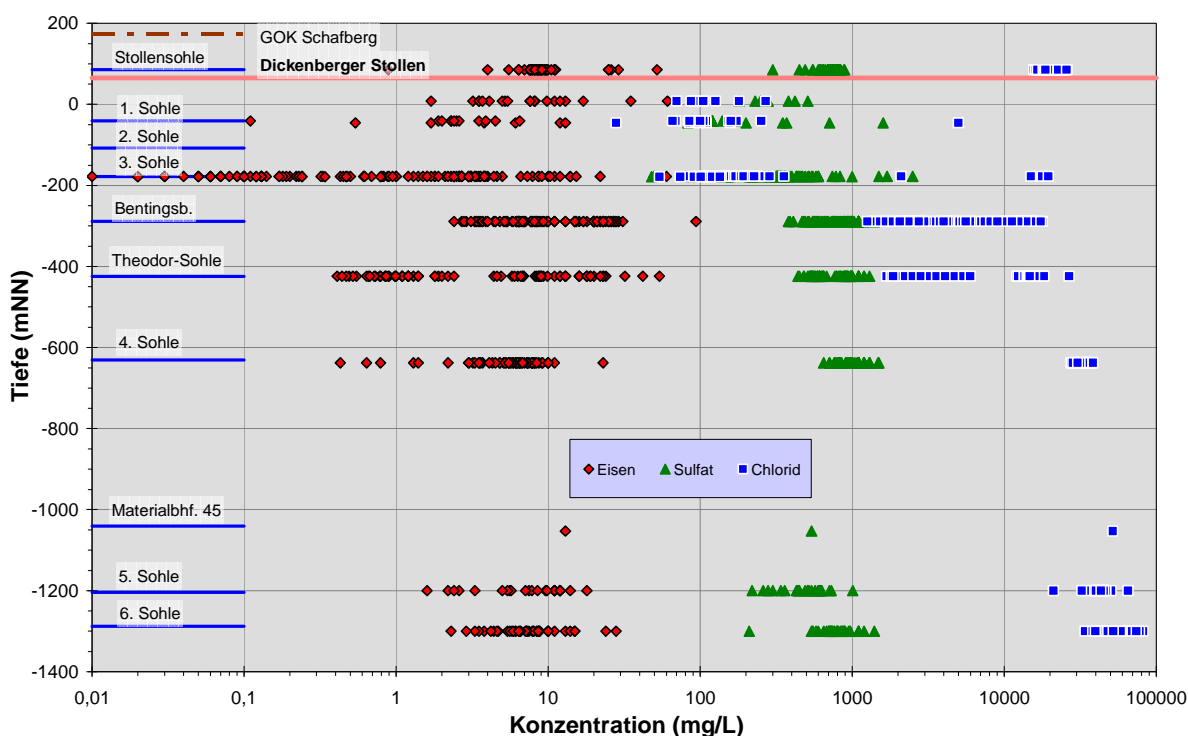


Abbildung 27: Tiefendifferenzierte Verteilung der Analysenwerte von Chlorid, Sulfat und Eisen in Zuflüssen in das Ostfeld Ibbenbüren.

Eine der damit durchgeführten Auswertungen zeigt Abbildung 27 für einige repräsentative Parameter. Erkennbar sind die mit der Tiefe zunehmenden Chloridgehalte, aber auch, dass die Eisenkonzentrationen 20 mg/L nur selten überschreiten. Im Mittel errechnet sich für den Wasserstammbaum ein Eisengehalt von knapp 10 mg/L. Dies ist deutlich weniger als im heutigen Westfeld (ca. 180 mg/L, vgl. Kap. 3.1.4 und 4.6) – trotz der dort bedingt durch die höheren Wasserstände kleineren potenziellen Oxidationszone.

Eine Ursache für diesen Unterschied dürfte die nahezu geschlossene ungestörte Überdeckung des Ostfeldes mit bis über 20 m mächtigem Quartär sein, das teilweise aus gering wasserdurchlässigen Grundmoränen und Lößablagerungen besteht (Kap. 3 und Abbildung 28). Außerdem bedeckt der oberflächennah geführte Abbau eine deutlich kleinere Fläche als im Westfeld /5/. Dadurch wird der freie Zutritt von Niederschlag und damit Luft-sauerstoff in die Lagerstätte gemindert. Auch die Versickerung von Haldensickerwasser über dem Westfeld fehlt hier. Gleichwohl deuten einzelne Zuflüsse aus dem Bereich des Flottwell-Flözes zur dritten Sohle an (Eisen 42 bzw. 35 mg/L), dass auch hier ein entsprechendes Mobilisationspotenzial für Eisen, aber auch für andere Metalle, existiert (Kap. 4.5).

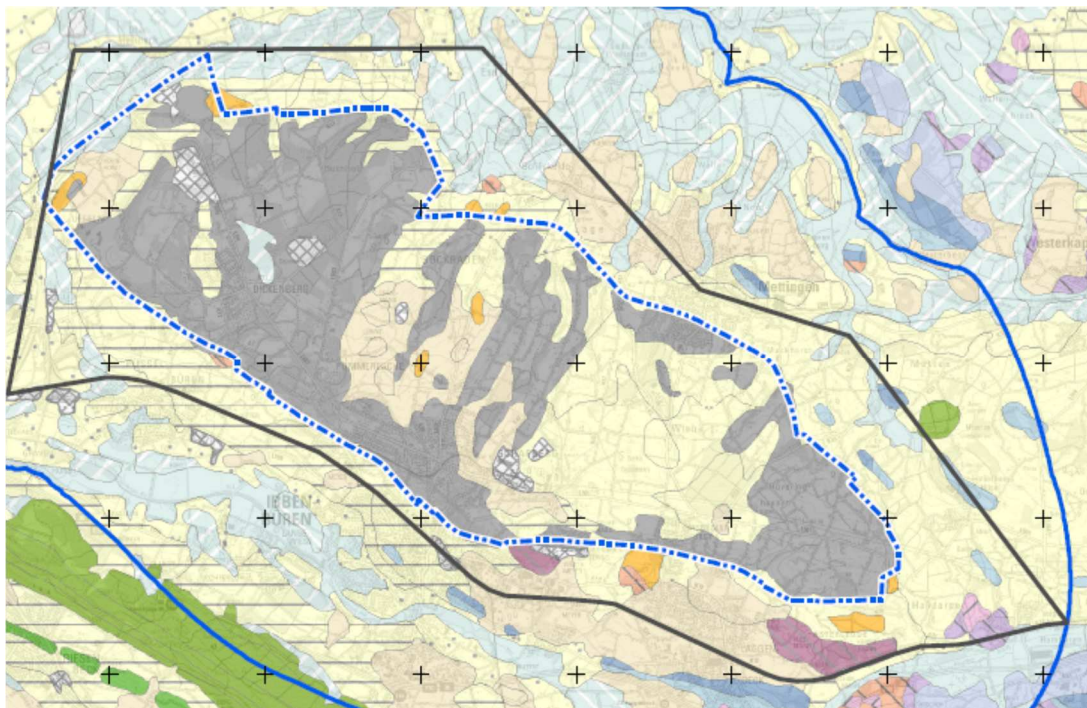


Abbildung 28: Geologische Karte der oberflächennahen Gesteinseinheiten (grau: zutage austreichendes Karbon) (Ausschnitt aus Anl. 5 in /8/).

Auf Basis dieser Daten sowie von Zusatzinformationen zu den verschiedenen Zuflüssen wurde ein Wasserstammbaum mit repräsentativen Stoffgehalten aller Zuflüsse generiert. Dieser Datensatz bildet die Grundlage für die Boxmodellberechnungen zum Wasseranstieg. Beispielfhaft zeigt Tabelle 3 die Modelleingangsdaten für eine repräsentative Auswahl an Zuflüssen mit breiter Streuung von Herkunft und Salinität. Die damit errechneten stationären Anfangsbedingungen werden in Kapitel 5.2 für das Gesamtgrubenwasser im Vergleich zu den Messwerten dargestellt.

Tabelle 3: Modelleingangsanalysen für eine Auswahl von Zuflüssen in das Ostfeld Ibbenbüren.

Box		NS	SE-Mitte	W-Mitte	W-Nord	W-Nord	W-Nord	W-Mitte	Süd
Beschreibung		PK II eisenhaltig Schmutzwasser- damm Flottwell	Flottwell, östlicher Damm, Schmutzwasser	Bentingsbank, Abhauen 4 = Abh. 1 Verl.	Theodorsohle, westl. Damm 58	4. Sohle, Flöz 2, Waldenbahnhof (Damm frei austragen- gend)	6. Sohle, 10W74, Standwasser-Lö- sungsbohrung Flöz 69	3. Sohle, Parallel- strecke	Südflügel (Qu25 u. B10/7E74)
Zulauf	m ³ /min	1,00	3,00	0,72	0,20	0,92	0,10	0,10	2,20
pH		6,75	7,00	6,70	7,30	7,30	6,10	4,80	6,95
EH	mV	100	150	150	80	100	150	500	100
T	°C	12	15	15	20	30	40	15	35
Elektr. Leitf.	µS/cm	820	12.400	43.450	14.200	108.600	230.500	1.640	114.400
Natrium	mg/L	31	2.178	8.750	2.630	28.680	83.850	68	30.970
Kalium	mg/L	4,0	22	66	22	146	380	4,1	167
Calcium	mg/L	96	461	905	289	1194	1137	179	790
Magnesium	mg/L	23	91	218	100	378	450	68	214
Eisen	mg/L	6,2	13,0	31,6	0,3	6,2	10,0	42,0	13,0
Mangan	mg/L	1,0	2,0	1,8	0,09	0,6	1,5	4,4	0,45
Zink	mg/L	0,09	0,42	0,03	0,03	0,6	0,12	0,65	0,12
Blei	mg/L	0,0010	0,0005	0,005	0,001	0,025	0,05	0,001	0,025
Cadmium	mg/L	0,00005	0,001	0,0005	0,00005	0,001	0,001	0,00022	0,001
Chrom	mg/L	0,0005	0,0005	0,005	0,0010	0,025	0,025	0,0017	0,025
Kupfer	mg/L	0,0067	0,0025	0,01	0,010	0,01	0,01	0,010	0,01
Nickel	mg/L	0,0131	0,046	0,05	0,025	0,05	0,05	0,26	0,05
Barium	mg/L	0,04	0,03	0,09	0,09	1,80	0,45	0,032	1,59
Strontium	mg/L	0,90	3,9	12,7	3,5	29,4	20,6	0,5	21,8
Bor	mg/L	0,05	0,5	0,38	0,4	1,1	2,9	0,06	1,9
Ammonium	mg/L	0,12	1	3,6	0,23	11,9	53	0,23	34,5
Chlorid	mg/L	76	3.950	14.900	4.150	46.540	131.560	116	48.955
Sulfat	mg/L	190	585	995	715	1.200	2.000	890	705
Nitrat	mg/L	2,35	0,5	0,5	1,95	21,0	0,5	1	0,5
Nitrit	mg/L	0,01	0,1	0,02	0,01	1,6	0,08	0,01	0,12
Bromid	mg/L	0,5	2	8,2	2,8	25	48	0,5	19
Phosphat	mg/L	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
HCO ₃	mg/L	140	177	391	342	317	98	14	937

4 Modellaufbau

Für die Ibbenbürener Karbonscholle wurde aufgrund der homogenen geologischen Rahmenbedingungen ein Gesamtmodell aufgebaut, das allerdings durch den Bockradener Graben in zwei hydraulisch getrennte Teilmodelle für Westfeld und Ostfeld zerlegt wird. Die bereits beschriebene Trennung durch den im Bockradener Graben weitgehend fehlenden Abbau wird auch in Abbildung 29 deutlich.



Abbildung 29: Boxmodell mit den digitalisierten Abbauflächen (ältere/höhere Abbaue Blau, jüngere/tiefere Abbau Magenta) und Wasserannahmestandorten.

Das zur Modellkalibrierung genutzte Westfeld ist vom Prinzip entsprechend wie das Ostfeld aufgebaut und mit Daten belegt. Zentrales Modellelement sind die Abbauflächen, wie sie in Abbildung 29 farblich differenziert entsprechend der beiden digitalisiert vorliegenden Datensätze dargestellt sind. Diese Abbauflächen bilden zusammen mit dem Streckennetz die Grundlage für eine Unterteilung des Abbaus in Teilbereiche, die sogenannten Boxen. Diese Vorgehensweise und die zugrundeliegenden wesentlichen Modellfunktionen sollen im Folgenden beschrieben werden.

4.1 Boxmodell als Prognosewerkzeug

Zur Wasseranstiegsprognose haben sich in den letzten Jahrzehnten robuste Werkzeuge etabliert, die in der Lage sind, realitätsnahe Prognosen für die Entwicklung der Grubenwasserspiegel und der -qualität zu liefern. Eine wichtige Voraussetzung, um großräumige Verhältnisse strömungstechnisch abbilden zu können, ist in bergbaulich geprägten Gebieten die Tatsache, dass die Gruben-/Grundwasserströmung maßgeblich auf bergbaulichen Elementen wie Strecken, Schächten, Bohrlöchern und Stollen stattfindet und dass diese Wässer innerhalb der Grubenfelder oder großer homogener Einheiten hydraulisch kurzgeschlossen sind. Damit ist die Definition relativ großer Bilanzeinheiten (Boxen) zur Beschreibung der Strömungsprozesse möglich. Dieses Konzept wurde erstmals zur Prognose der Ronneburger Uranlagerstätte ab 1991 umgesetzt und im Rahmen des Technologieprogramms Bergbau NRW ab 2002 in einem Forschungsvorhaben gezielt für die Deutsche Steinkohle adaptiert und in den Folgejahren sowohl für das Ruhrrevier als auch für die Lothringische Steinkohlelagerstätte und den Saarbergbau weiterentwickelt. Mit dem Modellaufbau für die Lagerstätte Ibbenbüren wurde 2013 begonnen.

Das Boxmodell-Programm BOX3D dient zur Berechnung der instationären dreidimensionalen Mengenströmung und des reaktiven Stofftransportes. Es setzt sich zusammen aus einem frei strukturierbaren Modell nach der Volumenbilanzmethode, welches definierte regellose Geometrien berücksichtigen kann (BOX) und einem daran direkt angekoppelten reaktiven Stofftransportmodell. Beide Modelle werden simultan gelöst.

Der Modellteil "BOX" dient insbesondere der Berücksichtigung von verschiedenartigsten hydraulischen Elementen wie z.B. Grundwasserleiter, bergmännische Strecken, Störungen und Entwässerungsleitungen. Entsprechend der Vielfalt der Strömungsformen werden laminare und turbulente Strömung sowie die zeitliche Veränderlichkeit von hydraulischen Eigenschaften gleichermaßen behandelt. Der Einfluss des oberflächennahen Grundwasserleiters wurde in einem separaten Modell berücksichtigt (vgl. /8/). Beide Modelle beinhalten die jeweiligen Erkenntnisse und mögliche Wechselwirkungen. Der berechnete Wasserspiegel im Boxmodell entspricht dem Spiegel im offenen Streckensystem der Grubenfelder. Dabei wird angenommen, dass innerhalb der Grubenfelder/Boxen im Teufenbereich des tatsächlichen stattgefundenen Abbaus aufgrund der zahlreichen Auffahrungen/Bohrungen annähernd hydraulischer Kurzschluss herrscht.

Die Aufbereitung der Daten geschieht mit einem Präprozessor und mit dem für das Boxmodell entwickelten CAD-Programm BOXCAD bzw. AutoCAD.

Die originären Modelldaten, aus welchen das Modell stets neu generiert wird, sind CAD-Daten wie Grubenfeldgrenzen (Polygone), Verbindungen (Linien) und Punkte (z.B. boxzentrierte Informationen wie Speichervolumen, chemische Kenngrößen). Alle Änderungen beziehen sich auf diese CAD-Daten. Das Basisdatenformat von BOXCAD ist das international weit verbreitete SURPAC-Format.

Das Stofftransportmodell beschreibt die Konzentrationsentwicklung im Grubenwasser unter Beachtung der Freisetzung von Stoffen während des Wasseranstiegs (z.B. SO_4 , Fe) und der Mischung mit geologischen Zuläufen, welche oftmals z.B. höhere Salzkonzentrationen aufweisen. Das Stofftransportmodell besitzt Reaktionsterme, welche die verschiedene Sorptions- und Desorptionsmechanismen sowie chemische Reaktionen zwischen und innerhalb von Phasen berücksichtigen können.

Aufbauend auf dem berechneten Geschwindigkeitsfeld wird die Stofftransportgleichung (Konvektionsgleichung) zeitparallel für die flüssige Phase gelöst. Für die feste Phase wurden Mineralphasen implementiert. Es werden verschiedene Spezies einer Mineralphase zur Beschreibung des geochemischen Milieus beachtet. Zwischen den Migranten innerhalb der flüssigen, aber auch zwischen flüssiger, gasförmiger und fester Phase können Wechselwirkungen bestehen.

4.2 Abbauflächen und Boxen

Wie bereits beschrieben, orientiert sich die Abgrenzung von Boxen an Homogenitätsbereichen innerhalb eines Bergwerkes oder einer Bergwerksregion. Vertikal unterteilt das Modell so ein Segment in 26 Scheiben, die eine variable Mächtigkeit haben können. Im Normalfall sind jedoch alle Boxscheiben in einem Untersuchungsbereich gleich dick. Im Westfeld beträgt die Scheibendicke für die betrachtete Mächtigkeit zwischen +140 mNN und -600 mNN immer 26 m. Im Ostfeld (+170 mNN bis -1.500 mNN) sind die Scheiben in der Regel 62 m dick mit einem den Flözsprung repräsentierenden dickeren Segment (200 m) zwischen -700 und -900 mNN (Abbildung 30).

Eine Box ist im Idealfall intensiv durchbaut und vertikal durchlässig mit nur wenigen Verbindungen zu umgebenden Abbaugebieten. Das Bergwerk Ibbenbüren ist im Vergleich zum Ruhrgebiet, wo z.T. ein Bergwerk durch eine Box repräsentiert wird, vergleichsweise klein. Die Abgrenzung von Westfeld und Ostfeld fällt nach diesem Verfahren leicht, da der Bockradener Graben mit seinem isolierten Abbau das natürliche Trennelement darstellt.

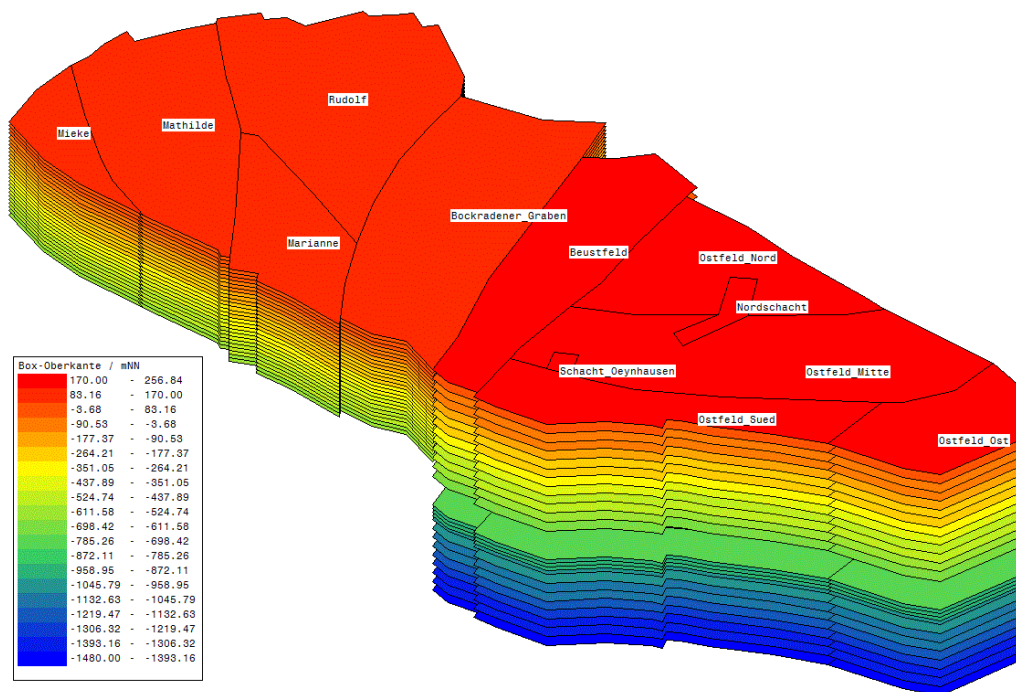


Abbildung 30: 3d-Ansicht des Boxmodells Ibbenbüren.

Gleichzeitig ist in einigen Flözen ein sehr intensiver und fast durchgängiger Abbau über die Gesamtfläche erfolgt, so dass innerhalb der beiden Felder eine Abgrenzung – betrachtet man die Gesamtverteilung in Abbildung 29 - zum Teil schwerfällt. Dennoch macht eine Unterteilung vor allem zur differenzierten Beschreibung von Strömung- und Auswaschungsprozessen Sinn:

- Ein Zufluss durchströmt im Modell aufgrund des beschriebenen Homogenitätskonzeptes immer die gesamte Modellzelle (Scheibe), dem er zugeordnet ist (Zuflussniveau vgl. Kap. 3.2.4). Chemische Prozesse in dieser Zelle (Fällungsreaktionen, Mobilisation von Oxidationsprodukten, s. Kap. 4.5) erfassen somit ebenfalls das in einem Modellsegment vorhandene Wasservolumen und den jeweiligen Durchfluss.
- Für das Ostfeld liegen sehr detaillierte Informationen zu den Zuflussverhältnissen vor (Kap. 3.2.4). Bereiche mit wenigen Zuflüssen wechseln mit sehr wasserreichen ab. Will man das im Modell spiegeln, ist eine möglichst differenzierte Modellstruktur erforderlich.
- Die bergbaulich gewachsene Struktur und die nach Rückzug verbleibenden Hauptwasserwege führen zu einer Bündelung der Zuflüsse im Bereich des Nordschachtes und der Oeynhausen-Schächte. Es hat sich an anderen Standorten bewährt, zur Abbildung dieser Wasserbewegungen zusätzlich Schachtboxen einzuführen, die ein geringes Hohlraumvolumen haben (kein Abbau) und in denen das Modell niveaubezogen die Wasserentnahme bzw. -ableitung simuliert.

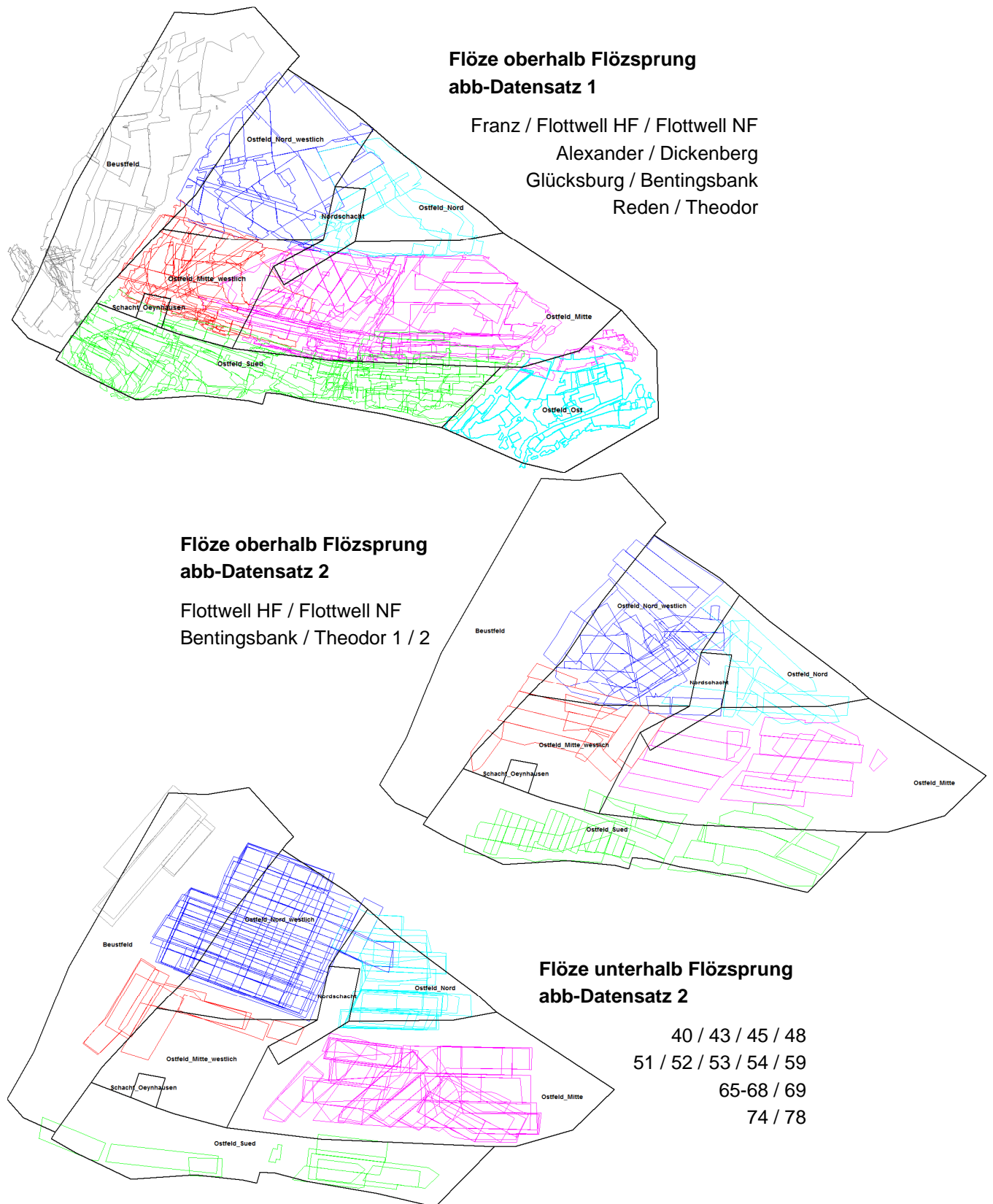


Abbildung 31: Nach Boxen sortierte Abbauflächen, differenziert nach Polygondatensatz bzw. Lage zum Flözsprung.

Wie bereits zuvor beschrieben, ist die Trennung von Baufeldern überwiegend auf die Störungen in beiden Feldesteilen zurückzuführen (vgl. Kap. 3 und 3.2.1. Diese störungsbedingte Trennung von Abbaubereichen zeigt sich am besten in den jüngeren Bauhöhen unterhalb des Flözsprunges (Abbildung 31 unten). Diese Verteilung der Abbaupolygone findet sich entsprechend in der bergbaulichen Darstellung in Abbildung 15 (S. 26). Lediglich im nördlichen Ostfeld überlagern sich die Abbaue.

Grundsätzlich findet sich diese Struktur auch in den jüngeren Bauhöhen oberhalb des Flözsprunges (Abbildung 31 mitte). Erst im Altbergbau löst sich diese Untergliederung auf (Abbildung 31 oben), wie bereits am besonders intensiv gebauten Flöz Glücksburg gezeigt wurde (Abbildung 19, S.31). Solche Abbaukontakte werden im Modell durch eine intensiviertere laterale Durchlässigkeit (Verbindung) zwischen den benachbarten Modellscheiben berücksichtigt (s. Kap. 4.4), so dass auch solche niveaudifferenziert sehr unterschiedlichen Abbauverhältnisse abgebildet werden können.

Im Westfeld entsprechen Bergbau und Abbauflächen dem höheren Ostfeld. Abbau in der modernen Strebtechnik findet sich nur untergeordnet (magenta eingefärbt in Abbildung 29). Gut erkennbar sind die Baufelder Mathilde und Rudolf, auf die sich der Abbau in größere Tiefen im Westfeld auch beschränkt, so voneinander getrennt. Trotz des in allen vier Boxen des Westfeldes z.T. intensiven Abbaus insbesondere im Flöz Glücksburg wurden die Störungen hier aber nur mit wenigen Strecken durchörtert (s. Abbildung 34, Kap. 4.4), so dass die dort dargestellte Boxenunterteilung vorgenommen werden konnte.

4.3 Resthohlraumvolumen

Der nach Beendigung des Bergbaus mit Wasser auffüllbare Hohlraum ergibt sich aus dem Abbau der Kohle zzgl. Nebengestein (Berge), den sonstigen untertägigen Auffahrungen und im entwässerten geologischen Hohlraumvolumen (Porenvolumen und Klüfte). Der ursprünglich geschaffene bergmännische Hohlraum verringert sich durch den infolge der Absenkung der hangenden Schichten wieder verschlossenen Volumenanteil und den eingebrachten Versatz. Wie groß der verbleibende offene Volumenanteil im Abbau als der wichtigsten Komponente der oben genannten Ursachen letztlich ist, hängt maßgeblich von den wirkenden Gebirgsdrücken, der Festigkeit und dem Bruchverhalten des anstehenden Gesteines, dem Durchbaungsgrad und von der Art des Versatzes ab.

Die genannten Ursachen für den untertage verbliebenen Hohlraum lassen sich in der folgenden **Materialbilanzgleichung** zusammenfassen:

$$V_{RHV} = V_{RFV} - V_S - V_V \cdot (1 - k_P)$$

V_{RHV}	- Resthohlraumvolumen	(m ³)
V_{RFV}	- Rohfördervolumen	(m ³)
V_S	- Senkungsvolumen	(m ³)
V_V	- Versatzvolumen	(m ³)
k_P	- Porosität des Versatzes bzw. des Bruches bei Selbstversatz	(-)

Das Verfahren geht primär vom Rohfördervolumen (RFV) aus, welches Grubenfeld- oder teilgebietsbezogen und teufenabhängig zu erheben ist. Dieses Rohfördervolumen wird mit einem Faktor multipliziert, welcher die Teufe und das spezielle Abbauverfahren berücksichtigt:

$$V_{RHV} = V_{RFV} \cdot F \text{ (Teufe, Versatzart)}$$

V_{RFV}	- Rohfördervolumen	(m ³)
V_{RHV}	- Resthohlraumvolumen	(m ³)
F	- Einflussfaktor, $0 < F < 1$	(-)

Das Rohfördervolumen setzt sich zusammen aus:

$$V_{RFV} = V_{Sch} + V_{AV} + V_K + V_{NG}$$

V_{Sch}	- Volumen der Schächte	(m ³)
V_{AV}	- Vol. der Aus- und Vorrichtungsstrecken	(m ³)
V_K	- abgebautes Kohlevol. bzw. verwertbare Förderung	(m ³)
V_{NG}	- gewonnenes Bergevol. in Abbauen	(m ³)

Die Berechnung des Resthohlraumvolumens besteht aus folgenden Teilschritten:

1. Ermittlung des Rohfördervolumens aus digitalisierten Umringspolygonen der Abbaue (s. Abbildung 29, Kap. 4.2).
2. Umrechnung der Rohfördermenge in ein Resthohlraumvolumen als Funktion der Teufe und des Versatzgrades.

Abbildung 32 zeigt die bei der Resthohlraumberechnung für das Boxmodell verwendeten Wichtungsfaktoren.

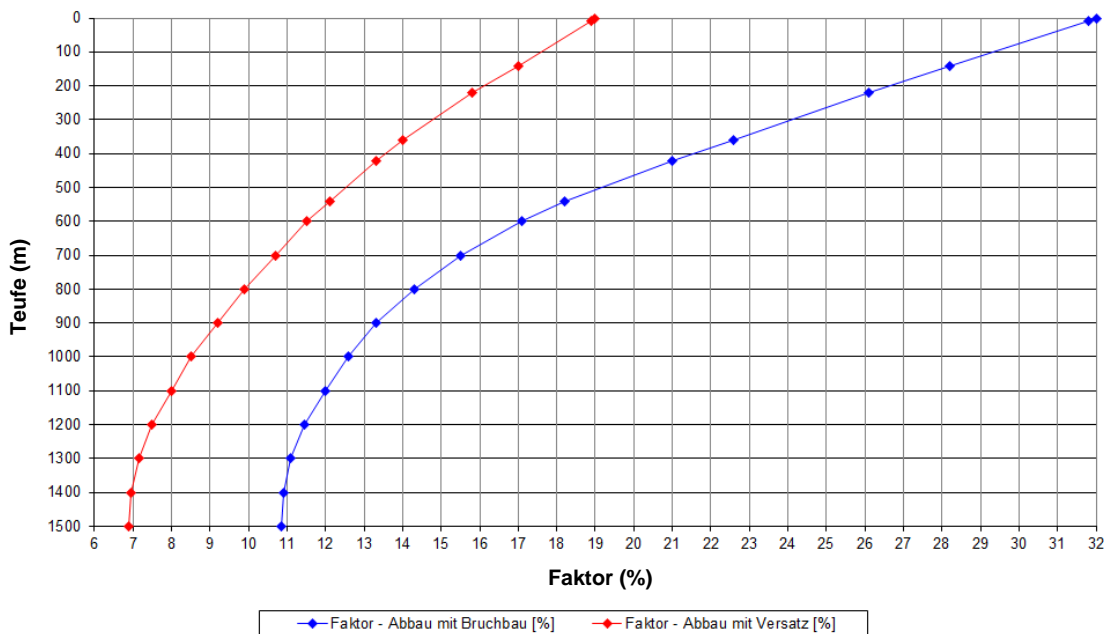


Abbildung 32: Wichtungsfaktoren zur Resthohlraumberechnung.

Mit dieser Methode wird ein Primärdatensatz zum Resthohlraumvolumen für die einzelnen Boxen bzw. Modellscheiben generiert. Abbildung 33 zeigt diese Verteilung für das gesamte Ostfeld, in der sich die einzelnen Flöznieveaus gut hervorheben. Auch der nicht bzw. nur lokal abgebaute Bereich zwischen -700 mNN und -900 mNN ist gut erkennbar. Das Einfallen der Flöze und des Flözsprungs nach NE ist in dieser Darstellung allerdings zu berücksichtigen, wodurch in dieser komprimierten Gesamtdarstellung Flöz-Überlagerungen erscheinen, die in dem jeweiligen Baufeld so nicht vorhanden sind.

Falls aus Zusatzinformationen ersichtlich oder aufgrund von Kalibrieroptionen möglich, können in einem zweiten Schritt Anpassungen dieses Hohlraumgerüsts erfolgen. So wurden die bekannten Standwasserflächen oberhalb des Flözsprunges manuell aus dem mit Wasser noch auffüllbaren Hohlrauminventar entfernt. Der bereits erfolgte Wasseranstieg im Westfeld bietet die Möglichkeit, die Berechnungen zu kontrollieren und im oberflächennahen Bereich anzupassen (s. Kap. 4.6). Im Westfeld wurde offensichtlich, dass im oberflächennahen Bereich eine deutliche Verlangsamung des Wasseranstiegs aufgetreten ist, also ein zusätzliches Hohlraumvolumen vorhanden gewesen sein muss. Mögliche Gründe hierfür wurden in Kapitel 3.1.4 diskutiert. Dementsprechend wurde dieses zusätzliche Hohlraumvolumen im Modell für das Westfeld implementiert, wodurch dann eine gute Nachbildung des Wasseranstiegsverlaufes erzielt werden konnte.

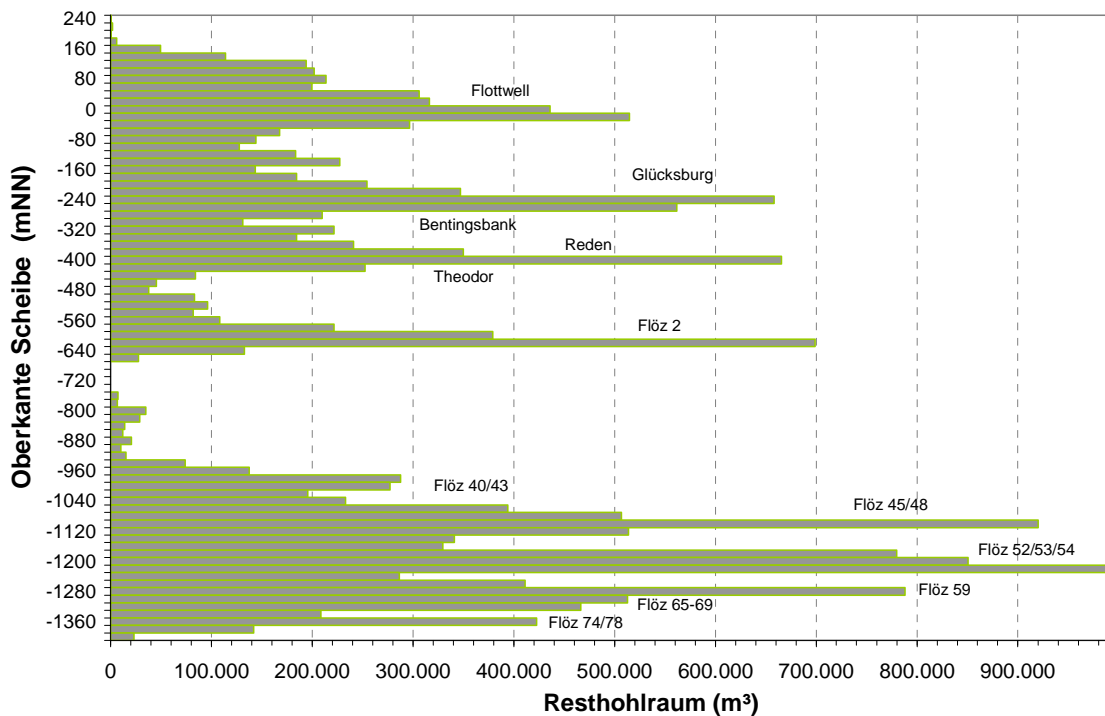


Abbildung 33: Vertikale Resthohlraumverteilung (Primärdaten aus Abbauvolumen) im Ostfeld.

Diese Vorgehensweise wurde für das Ostfeld übernommen, wobei nicht klar ist, inwiefern die Bedingungen im Ostfeld bzw. in dessen Randbereichen denen des Westfeldes entsprechen. Das Grundwassermodell /8/ konnte bis auf lokale Versenkungen am Südrand keine relevanten Absenkungen des Grundwasserspiegels nachweisen, die dann beim Wasseranstieg in der Grube aufgefüllt werden müssten. Da aber als Ursachen für das zusätzliche auffüllbare Hohlraumvolumen auch karboninterne Faktoren, wie z.B. durch Besonderheiten des Ibbenbürener Sandsteins, eine Rolle spielen können, werden für das Ostfeld vier Varianten betrachtet, in denen die Hohlraumergänzung oberhalb -74 mNN vollständig (Faktor 1,0) bzw. in gemindertem Maße (F 0,75 - F 0,5 - F 0,25) übernommen wird.

Für die Basisvariante (Faktor 1,0) wurde die zusätzliche Porosität oberhalb 50 mNN auf 1 %, zwischen 50 mNN und -12 mNN auf 0,29 % und im Bereich von -12 mNN und -74 mNN auf 0,11 % gesetzt, also Werte, die eher im Festgesteinsbereich als für Lockergesteine üblich sind.

4.4 Hydraulisch wirksame Verbindungen

Mit Stilllegung der Wasserhaltungen und Wasseranstieg verschwinden die vorgegebenen Gradienten zu den wasserfrei gehaltenen Grubenbauen.

Insgesamt erfolgen Wasserbewegungen im vom Wasser erfüllten ehemaligen Bergwerk nicht überall gleichmäßig sondern in Abhängigkeit von Strömungswiderständen und Potenzialdifferenzen. Bezogen auf die Gesamtfläche bzw. das Gesamtvolumen eines Bergbaugebietes existieren nur wenige Hauptwasserwege, d.h. Strecken mit höheren Fließraten und -geschwindigkeiten (wenige Meter je Minute). Diese sind auf den Verbindungen zwischen den hauptsächlichen Wasserzuflüssen bzw. Sammelbereichen und den Entlastungspunkten zu lokalisieren.

Das bedeutet zum anderen, dass im größten Teil des Streckennetzes - immer in Abhängigkeit von den Zuflussbedingungen – nur eine geringe Wasserbewegung stattfindet. Dieses Grundprinzip wird überprägt von in den Strecken errichteten Dämmen. In den Abbauen selbst sind aufgrund der Randbedingungen (Abdämmung, von besser durchlässigen Strecken umgeben) so gut wie keine Strömungen nach vollständiger Wassersättigung möglich. Während der Auffüllung mit Wasser ist der Strömungs- und Transportgradient in den Abbau hinein gerichtet. Ein Stoffaustrag aus einem ehemaligen Abbau selbst ist somit kaum möglich. Im Fokus der Betrachtung von Stoffmobilisationen (s. Kap. 4.5) steht aufgrund dieser hydraulischen Bedingungen somit das Streckennetz und die Übergangsbereiche zu den Abbauen.

Im Boxmodell sind verschiedenste Strömungsgesetze wie z.B. laminare Strömung, turbulente Rohrströmung, Kluftströmung und zeitabhängig veränderliche laminare Strömungsgesetze implementiert. Derzeit werden mit diesen Strömungsgesetzen die in Tabelle 4 aufgeführten Typen hydraulischer Verbindungen beschrieben.

Die Größen k_f -Wert (Durchlässigkeitsbeiwert), die Gradientenstrecke (strömungstechnisch wirksame Länge Δs [m], über welche die Potenzialdifferenz Δh wirkt) und die durchströmbare Fläche ΔA [m²] werden im Boxmodell zum Komplexparameter L [m²/s] (Leitwert oder Conductance) zusammengefasst:

$$L = k_f \cdot \Delta A / \Delta s$$

L - Leitwert [m²/s]

Die Verbindungen zwischen den Boxen stellen neben den auffüllbaren Hohlräumen (s. Kap. 4.2 und 4.3) und der Zuflusssituation (Kap. 3.2.4) einen der wichtigsten Parameter für die Modellierung dar. Hierbei wurde sich an der auch an den Boxmodellen im Ruhrgebiet bewährten Verfahrensweise orientiert.

Tabelle 4: Hydraulische Verbindungstypen Boxmodell.

TypNr	Objekt	Besonderheiten im Modell
1	Strecke*	Laminare Strömung, hoher zeitlich konstanter Leitwert, exakt definierte Überlaufpunkte
2	Abbau oder Konvergenzbeeinflusste Strecke	Laminare Strömung, Leitwert stark von Konvergenz abhängig, immer mit Zeitfunktion
3	Bohrung/Rohr (oder Strecke*)	Strömung turbulent, direkt nach Strickler
4	Störungsflächen	Strömung turbulent
5	Abbaue (-annäherung) mit definiertem Überlaufpunkt	Laminare Strömung, Leitwert konstant, Info's für Leitwertberechnung werden nach Schema Typ 6 mitgeteilt (ohne Zeitfunktion)
6	Vielzahl von möglichen Verbindungen (relativ undefiniert) oder Abbaue (-annäherung)	Laminare Strömung, Strömung beginnt bereits am tiefsten Niveau, unabhängig von welcher Seite dieses erreicht wird. Leitwert erhöht sich mit Einstauhöhe linear, bis oberes Niveau erreicht ist, „ABBA für Abbauannäherung“ s.u. ohne Zeitfunktion
7	Versinkung aus Deckgrundwasserleiter	Ersetzt q_c_rand.str, ansonsten wird in höchste Box eingebunden, deren Sohle tiefer als GWL liegt.
8	Vertikale Verbindung	Laminare Strömung: Bei sehr hoher Durchlässigkeit muss Sohlniveau der Box genau dem Überlaufpunkt angepasst werden (Verstürzen von Grubenwasser).alternativ -> Kluft turbulent
9	Strecke*	Wie 1) zeitl. Konstanter LW jedoch größtenteils im Flöz (L schlechter als Typ 1)
10	Geologische Verbindung	Laminare Strömung, konstanter Leitwert oder Leitwert direkt proportional abhängig von der Größe der durchströmten Fläche bzw. Einstauhöhe des Grubenwassers (Letzteres wird bei automatischer Generierung verwendet)
11	Damm in Strecke	Konstanter Leitwert, begrenzte Druckhöhe
12	Störung/Kluft = T1	Cubic Law $T = g \cdot B^3 / 12 \cdot \eta \cdot \nu$
13	zeitabhängige geologische Verbindung	Bottrop - Sonderfunktionen wie Dichtwand
14	Kluftströmung turbulent glatt = T2	Turbulente Strömung in Kluft, glatt: Exponent wird intern auf 4/7 gesetzt, auf L2 wird LW laminar übergeben
15	Kluftströmung laminar rau = T4	Laminar rau
16	Kluftströmung turbulent rau = T4	Turbulent rau, auf L2 wird LW laminar übergeben, Exponent intern auf 0,5 gesetzt
17	Kluftstroemung - laminar cubic law	Kluftweite wird übergeben oder im Programm aus $Kl = f(dp)$ ermittelt. LW wird erst im Programm berechnet und übergebene Klw überschrieben.
20	turbulente Strömung	offenes Trapezgerinne
100+	Geologische Verbindung	Steuerung der Verbind_geol nach Speziellen Anforderungen (z.B. Dichtwand)

Die hydraulische Verbindung zwischen zwei Boxen (also intensiv durchbauten und von dem Umfeld abgrenzbaren Bereichen des Bergwerkes) wird als Linie im zum Boxmodell gehörenden CAD-System „BoxCAD“ dargestellt. Am Ende der Linie stehen als Z-Werte die wichtigen Überlaufhöhen in mNN. Im zum Datensatz gehörenden Textfeld werden weitere wichtige Informationen abgespeichert, wie der Typ der Verbindung, der Leitwert, allgemeine Textinformation und ggf. auch Datum der Auffahrung bzw. letztmaligen Rekonstruktion, Länge und Durchmesser (bei Rohren oder Bohrlöchern).

Da im Westfeld der Abbau in den Boxen Mieke und Marianne nur bis in das Flöz Glücksburg reichte, stellen sich die dort implementierten Verbindungen recht übersichtlich dar (Abbildung 34). Die meisten Verbindungen liegen im

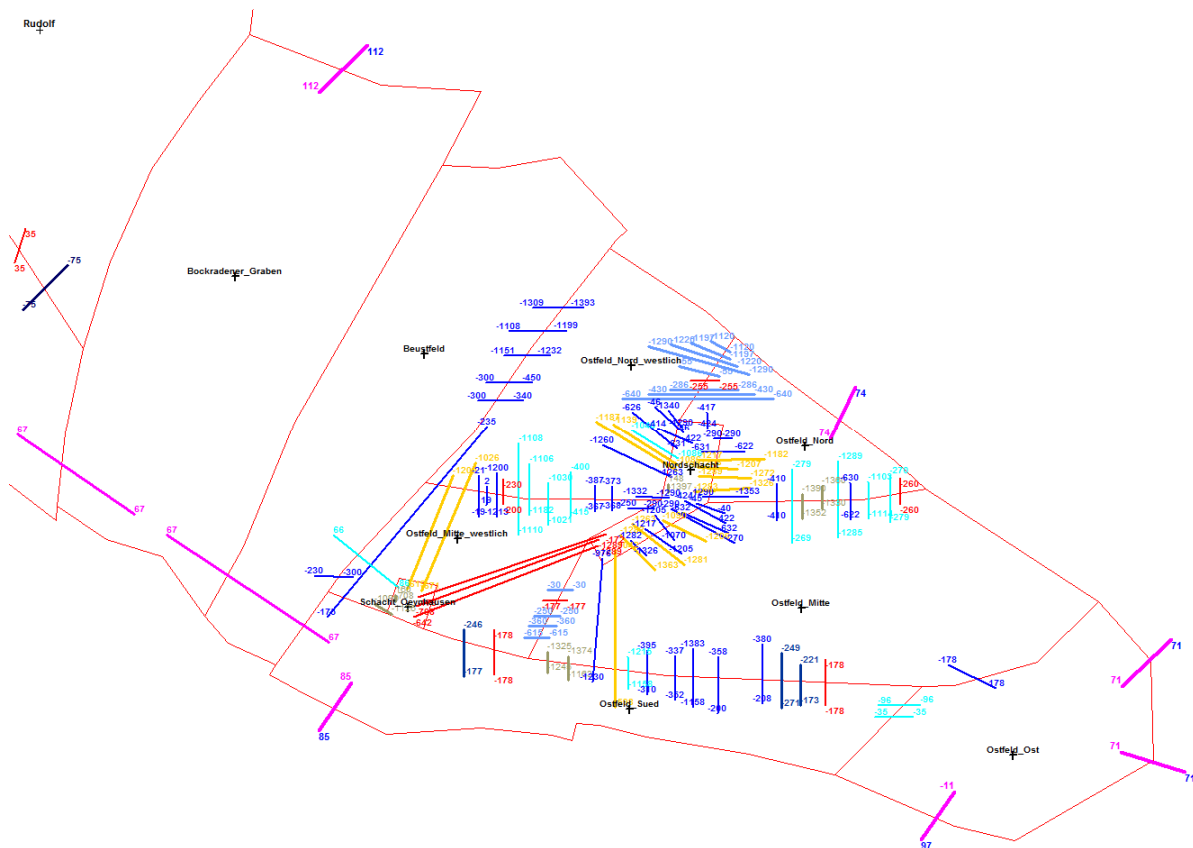


Abbildung 35: Hydraulische Verbindungen im Ostfeld (Stollen = magenta, Leitwert 2 = rot, L 1 Strecke = dunkelblau, L 1 Flözverbindung = mittelblau, L 0,5 = schwarzblau, L 0,1 = hellblau, L 1e-03 = gelb, L 1e-10 = grau).

Tabelle 5: Ausgewählte Verbindungen im Boxmodell Ibbenbüren Ostfeld (vgl. Abbildung 35).

von [mNN]	nach [mNN]	Beschreibung	L [m ² /s]
-642	-1289	Nordschacht-Schacht_Oeynhausens Querschlag 6 und 7	2
-1309	-1393	Beustfeld-Ostfeld_Nord_westlich Qu. 71	1
-619	-1200	Ostfeld_Nord_westlich-Schacht_Oeynhausens Querschlag 50	1E-03
-1340	-1290	Ostfeld_Nord_westlich-Nordschacht Qu. 42	1
-1200	-1213	Ostfeld_Nord_westlich-Ostfeld_Mitte_westlich Qu. 70	1
-1360	-1330	Ostfeld_Nord-Ostfeld_Mitte Qu. 34	1E-10
-1108	-1199	Beustfeld-Ostfeld_Nord_westlich Qu. 70	1
-1325	-1245	Ostfeld_Sued-Ostfeld_Mitte Qu. 51	1E-10
-1260	-1263	Ostfeld_Nord_westlich-Nordschacht Qu. 25	1
-1263	-1281	Ostfeld_Mitte-Nordschacht Flöz 59 Nordschacht-Ostfeld_Mitte	1E-03
-1374	-1163	Ostfeld_Sued-Ostfeld_Mitte Qu. 22	1E-10
-1217	-1205	Ostfeld_Mitte-Nordschacht Bandberg nach Norden	1
-1208	-1207	Ostfeld_Nord-Nordschacht Flöz 54	1E-03
-1215	-1158	Ostfeld_Sued-Ostfeld_Mitte Str. 4 Sueden Flöz 54	0,1
-380	-208	Ostfeld_Sued-Ostfeld_Mitte Strecke 4 Westen	1
-260	-260	Ostfeld_Nord-Ostfeld_Mitte durchgängiger Abbau Flöz Gluecksburg	2
-96	-96	Ostfeld_Ost-Ostfeld_Sued Abhauen 2 Querschlag 5	0,1
-221	-173	Ostfeld_Sued-Ostfeld_Mitte 3. TFS	0,5
-21	-19	Ostfeld_Nord_westlich-Ostfeld_Mitte_westlich Bandberg nach Norden	1
66	86	Beustfeld-Schacht_Oeynhausens Fl. Gluecksburg Stollensohle	0,1
-300	-450	Beustfeld-Ostfeld_Nord_westlich	1

Zum Ende der Bearbeitung wurde die gesamte Struktur nochmal vollständig überprüft und aktualisiert. Als Resultat enthält das Modell insgesamt 95 Verbindungen, von denen eine Auswahl in Tabelle 5 aufgeführt ist, um die Diversität der Verbindungen sowie die Differenzierung bezüglich der hydraulischen Durchlässigkeit zu veranschaulichen. Besonders hohe Leitwerte ($2 \text{ m}^2/\text{s}$) wurden sowohl den Hauptverbindungsstrecken aufgrund der großen Streckenquerschnitte als auch den Boxengrenzen im Flöz Glücksburg zugeordnet (rot in Abbildung 35). Normale Strecken haben den Leitwert $1 \text{ m}^2/\text{s}$ und entsprechend verringern sich die Werte bei geringer eingeschätzten Streckenquerschnitten. Die geringsten Durchlässigkeiten werden abgedämmten Strecken mit Leitwerten von $1\text{E-}03 \text{ m}^2/\text{s}$ bzw. $1\text{E-}10 \text{ m}^2/\text{s}$ zugewiesen.

Im Normalfall sind die Boxenscheiben innerhalb einer Box vertikal durchlässig, weil davon ausgegangen wird, dass das Gebirge durch Unterbauung aufgelockert ist und sie durch bergmännische Strukturen wie seigeren Grubenbauen oder Bohrlöcher verbunden sind. Ein Wasserzutritt in einer höheren Scheibe "fällt" somit im Modell (Ausgangszustand) nach unten bis er auf eine Pumpe bzw. einen Wasserspiegel trifft. Im wassererfüllten Zustand tritt diese vertikale Durchlässigkeit aufgrund der veränderten hydraulischen Gradienten gegenüber den Wasserbewegungen auf den Strecken in den Hintergrund. Im Ostfeld ist diese vertikale Durchlässigkeit in der Fläche im Bereich des Flözsprunges aber definitiv nicht gegeben, was im Modell mit einer sehr geringen Durchlässigkeit im Niveau oberhalb Scheibe 14 (-700 – -900 mNN) beachtet wird. Das Modell berücksichtigt so nur die in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Streckenverbindungen durch diesen Teufenbereich und trennt so die beiden Abbaubereiche realitätsnah weitgehend voneinander. Dies ist erforderlich, um sowohl die Prozesse im Auffüllzeitraum nach dem Abstellen der Pumpen und damit die Qualität der die verschiedenen Baufelder auffüllenden Wässer als auch das anschließende Fließen zu dem Entlastungspunkt im Oeynhausens-Schacht 3 korrekt zu beschreiben.

4.5 Grubenwasserinhaltsstoffe

Die Wasserzuflüsse in das Bergwerk und deren Zusammensetzung wurden bereits in den Kapiteln 3.2.4 und 3.2.5 beschrieben, womit eine wesentliche Stoffquelle für das sich im Wasseranstieg in den Hohlräumen sammelnden Wasser schon genannt ist. Diese geogenen Salze sind in den tiefen Zuläufen gegenüber den Wasserzutritten aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter angereichert, was dann über das differenzierte Abdrückverhalten generell eine Abnahme der Salzgehalte im nach dem Wasseranstieg anzunehmenden Wasser bedingt. Das Modell bildet diese auf Basis bisheriger

Wasseranstiege abgeleiteten Prozesse ab. Abbildung 36 fasst nochmal die Verteilung der Zuflüsse über das Ostfeld mit deren Salinität (Chloridkonzentration in mg/L) zusammen. Diese relative Verteilung von Chlorid lässt sich auf die salinitätskorrelierten Inhaltsstoffe (z.B. Na, K, Ca, Mg, B, NH₄, Br) übertragen.

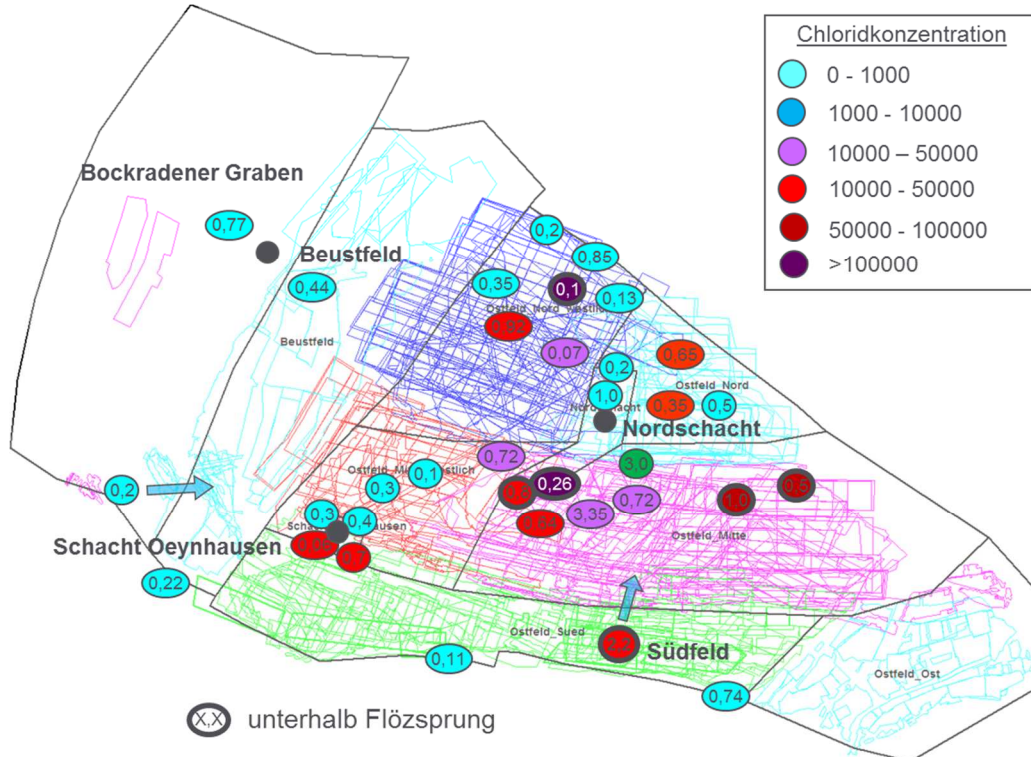


Abbildung 36: Im Boxmodell implementierte Zuflüsse mit Angabe von Zuflussmenge (m³/min) und Salinität (Farbskala).

Andererseits werden aber während des Wasseranstiegs Produkte der Pyritoxidation gelöst. Der Übertritt dieser Stoffe in das Grubenwasser, das schließlich zu Pumpe oder Entwässerungsstollen abströmt, erfolgt dann in Abhängigkeit von den räumlichen Verhältnissen in der Grube mit einer zeitlichen Verzögerung, die im Boxmodell über eine Diffusionskonstante beschrieben wird. Aufgrund des limitierten Pools dieser Stoffe ist auch ihr Auftreten im Grubenwasser zeitlich begrenzt und durch veränderliche Konzentrationen gekennzeichnet, wobei das Konzentrationsmaximum im Allgemeinen direkt nach Abschluss des Wasseranstiegs bei dem Wasserübertritt bzw. der Wasserannahme zu beobachten ist.

Mit dem Wasseranstieg werden Grubenräume aufgefüllt, welche seit vielen Jahren infolge der bergmännischen Wasserhaltung entwässert sind. Diese Entwässerung führte zum Eindringen von Sauerstoff in die größtenteils im

reduzierenden Milieu gebildeten Begleitminerale der Kohle und infolgedessen zu deren Oxidation. Wichtigste Komponenten sind hierbei die Reaktionsprodukte der Pyritoxidation Sulfat und Eisen, aber auch andere Salze und Schwermetalle können dabei in mobilisierbare Form überführt werden.

Während Sulfat auch in Zeiträumen der betriebenen bergmännischen Wasserhaltung erhöht gegenüber den Ursprungskonzentrationen vor Bergbau oder zulaufenden Wässern auftritt, wird Eisen in dieser Phase vielfach in Form leichtlöslicher Eisen(II)minerale oder als Eisen(III)hydroxid ausgefällt. Diese Fixierung erfolgt in Abhängigkeit von dem pH-Wert des Sicker- bzw. Porenwassers, der wiederum vom Karbonatgehalt der Gesteinsfolgen bestimmt wird. Bei geringen pH-Werten entfällt die $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Bildung weitgehend, wie auch am Beispiel des Westfeldes gezeigt werden konnte (Kap. 3.1.4), was dann zu entsprechend hohen Eisenkonzentrationen führt (Kap. 4.6). Als zweiter Hauptbestandteil des Pyrits (FeS_2) findet sich Sulfat als oxidierte Form des Schwefels im Grubenwasser. Sulfat kann in Reaktion mit Kalzium, das entweder primär aus dem Grubenwasser oder aus der Pufferungsreaktion mit Karbonaten stammt, z.B. als Gips ausgefällt werden, allerdings sind diese Salze leicht löslich und Sulfat damit in hohem Maße remobilisierbar.

Nach der Wasserfüllung der Grubenbaue setzt somit eine Milieuwandlung durch Sauerstoffabschluss ein. Unter diesen Bedingungen besteht die Möglichkeit einer Migration der Eisen-II-Pools aus dem von den Wetter oxidierten Gestein. Dies und der Prozess der Auswaschung, d.h. dem Austausch des die Grubenhohlräume zunächst füllenden Grubenwassers aus dem Anstiegsprozess durch nachströmende Wässer, führen zunächst immer zu deutlich erhöhten Konzentrationen von Eisen-II und Sulfat und weiteren im Pyrit bzw. Nebengestein durch die produzierte Säure mobilisierbaren Metallen im nach dem Wasseranstieg angenommenen Grubenwasser.

Die Menge dieser Stoffe hängt von den bergbaulichen Gegebenheiten und den Eigenschaften des Gebirges (Nebengestein, Kohle) ab und ist im Modell durch geeignete Module und Eingangsparameter zu berücksichtigen. Das im Westfeld nach dem Wasseranstieg angenommene Wasser zeichnet sich durch ungewöhnlich niedrige pH-Werte (pH 3; Abbildung 42, S. 68) und sehr hohe Eisengehalte (1.000 mg/L; Abbildung 44, S. 70) aus. Ungewöhnlich deswegen, weil im Ruhrkarbon pH-Werte zwischen 6 und 7 und Eisengehalte zwischen 50 und 100 mg/L als typisch gelten können. Das Westfeld, dessen geologisch-bergbauliche Rahmenbedingungen wie zuvor beschrieben auch auf das Ostfeld übertragen werden können, muss daher spezifische Bedingungen aufweisen, die sich oftmals nur über einen

vergleichbaren Wasseranstieg, wie hier eben durch das Westfeld gegeben, identifizieren und beschreiben lassen.

Sensibilisiert durch diese Erfahrungen fielen bei der Befahrung des Bergwerkes in den Strecken oberhalb des Flözsprunges an vielen Stellen Ausblühungen gelb-grünlicher Salze auf, die in dieser Form in den Bergwerken des Ruhrgebiets nicht auftreten (Abbildung 37). Diese Schichten (der Nordquerschlag 3. Sohle zwischen Nordschacht und Oeynhausener-Schächten ist teilweise ohne Ausbau aufgefahren) bestehen zum Teil aus Ibbenbürener Sandstein.

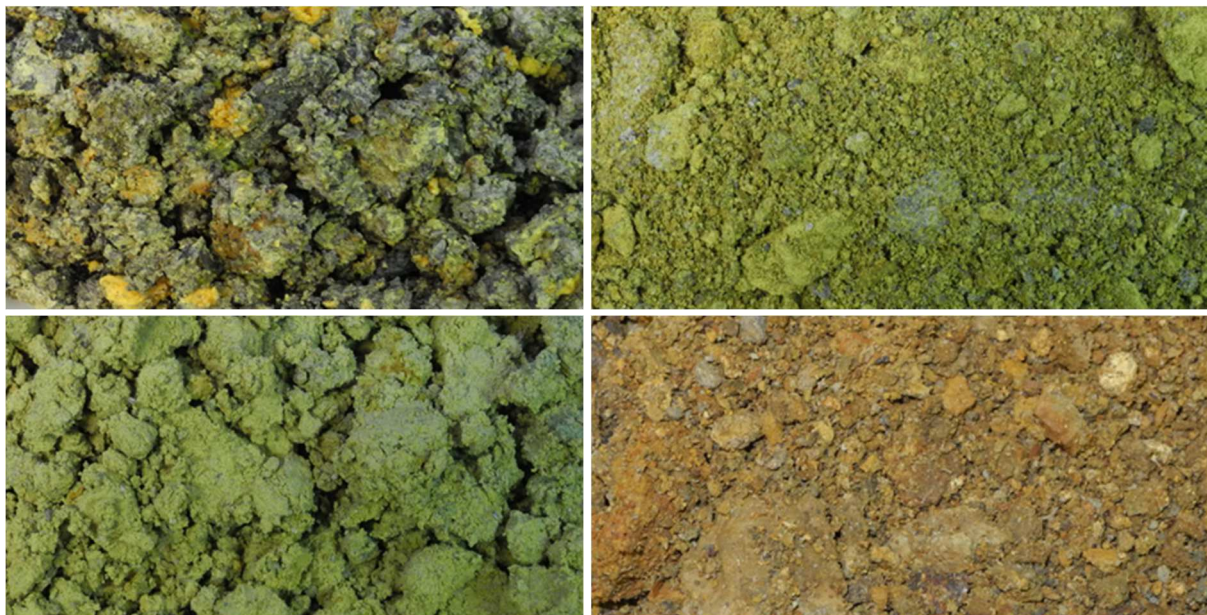


Abbildung 37: Proben aus Verwitterungszonen des höheren Ibbenbürener Ostfeldes.

Neun derartige Proben wurden entnommen und mittels Eluat (Bestimmung der in Wasser mobilisierbaren Anteile) und Feststoffzusammensetzung (Bestimmung des insgesamt vorhandenen Stoffinventars) untersucht. Zum Vergleich wurden zwei Proben des Ruhr-Bergwerkes Auguste Victoria (AV) aus feinkörnigem Material aus lange existierenden Strecken, für die somit ebenfalls eine langjährige Sauerstoffexposition vorausgesetzt werden kann, mit untersucht.

Fünf von diesen neun Ibbenbürener Proben ergaben im Eluat (Wasser-Feststoff-Verhältnis 10:1) pH-Werte < 4 , drei waren sogar stark sauer mit pH-Werten von < 3 . Zusammen mit diesen geringen pH-Werten wurden sehr hohe Gehalte an Eisen, aber auch an den Metallen Mangan, Zink, Kobalt, Kupfer und Nickel ermittelt (Abbildung 38). Die Gehalte an Blei, Cadmium und Chrom waren deutlich geringer. Die AV-Proben mobilisierten

ebenso wie zwei Proben aus Ibbenbüren zwar auch Sulfat, aber bei neutralem bis alkalischen pH-Wert kaum Metalle.

Diesen Feststoffeluat wurden zwei eisenhaltige Wasserzuflüsse auf die 3. Sohle (Parallelstrecke, Wagenverteilung), die aus einem höher gelegenen Flözniveau (Flottwell) zulaufen, gegenübergestellt. Die dort gemessenen Metallkonzentrationen passen entsprechend der pH-Werte (3,1 bzw. 6,5) recht gut zu den Eluatkonzentrationen.

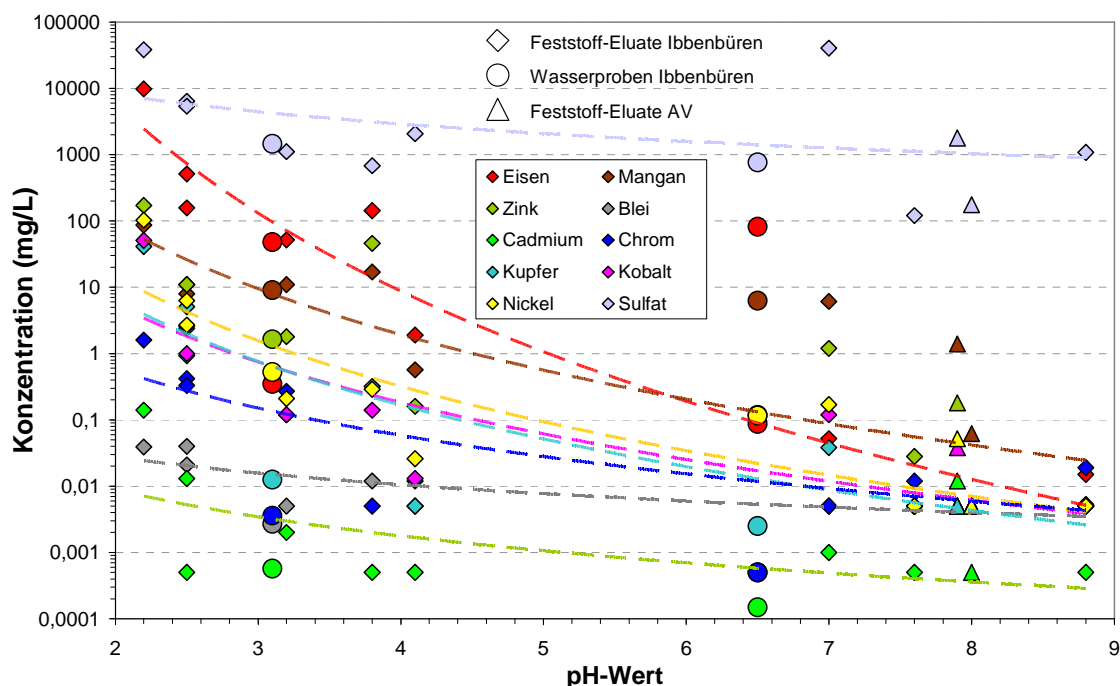


Abbildung 38: Metallkonzentrationen in Abhängigkeit von pH-Werten in Eluaten und Wasserproben.

Die in den entnommenen Proben (möglichst konzentrierte Ausblühungen) enthaltenen Metallgehalte sind insbesondere in den Proben, die niedrige pH-Werte verursachen, auch in hohen Anteilen als lösliche Salze verfügbar. Diese Proben sind in Abbildung 39 mit roten Farben gekennzeichnet. Die Anteile liegen zwischen 30 % und 100 %. Besonders mobil erscheinen Mangan, Zink, Kupfer, Kobalt und Nickel. Die Cadmiumgehalte sind zwar absolut gering, sind aber auch als lösliche Salze in den Ablagerungen angereichert. Als gering mobil sind Blei und Chrom zu bewerten.

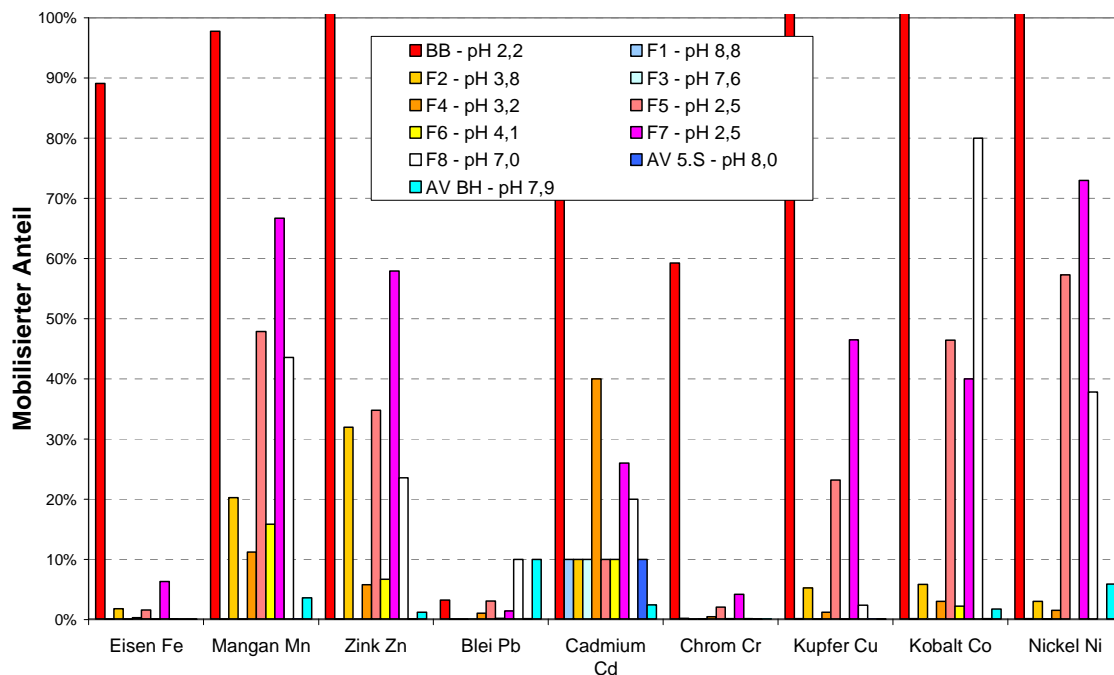


Abbildung 39: Aus Feststoffproben mobilisierte Metallanteile.

Die Ergebnisse wurden zudem mit den Befunden im Ablauf des Westfeldes abgeglichen. Zwar wurde nach Wasserannahme keine entsprechende Metallanalytik durchgeführt, aber auch die heute im Ablauf des Dickenberger Stollens zu gewinnenden Erkenntnisse sind noch aussagefähig und stehen in Einklang mit den Eluatbefunden. Für das Verständnis des Verhaltens beim Wasseranstieg und der Prognose der aus dem Ostfeld anzunehmenden Wasserqualitäten sind hieraus folgende Erkenntnisse abzuleiten:

- Der Zusammenhang zwischen Säure, hohen Sulfatgehalten und Eisen macht das Vorhandensein von Eisen(II)-Sulfat-Salzen (grüne Farbe) wahrscheinlich. Solche Salze sind typisch für eisenreiche, schlecht gepufferte Oxidations-Sickerwasser-Zonen.
- Die beprobten Ausblühungen sind als direkte bzw. indirekte Produkte der Pyritoxidation zu verstehen. Es ist davon auszugehen und entspricht dem allgemeinen Verständnis dieses Prozesses, dass sich solche Salze auch in Klüften des die Strecken umgebenden Gebirges befinden bzw. Haftwässer/Porenwässer mit ähnlichen Zusammensetzungen vorhanden sind.
- Ebenso wie im Westfeld dürften auch im Ostfeld zumindest die die Hohlräume oberhalb des Flözsprunges füllenden Wässer niedrige pH-Werte und erhöhte Metallkonzentrationen aufweisen. Die Zusammensetzung des anzunehmenden Grubenwassers hängt dann von den Strömungsbedingungen ab (Kap. 5.2).

- Neben Eisen ist mit erhöhten Konzentrationen vor allem von Mangan, Zink, Kupfer, Kobalt und Nickel zu rechnen.
- Da diese Metalle eng korreliert mit Eisen auftreten, dürfte auch das Mobilisationsverhalten und Auswaschverhalten mit Eisen vergleichbar sein. Hierfür stehen Vergleichsdaten aus dem Westfeld zur Verfügung (Kap. 4.6).

Diese Informationen fließen letztlich in Modelleingangsdaten ein, mit denen der mobilisierbare Pool an wasserlöslichen Stoffen beschrieben wird. Der Datensatz wurde am Westfeld kalibriert und dann für das Ostfeld übernommen.

Es ist bekannt, dass die Freisetzung der hier beschriebenen Stoffe nicht plötzlich stattfindet, sondern dies ein Prozess ist, der durch kinetisch gehemmte Mineralauflösungsreaktionen, gehemmt durchströmte Bereiche, diffusive Stoffübergänge usw. beeinflusst wird. Deshalb darf der Stoffpool auch im Modell nicht sofort bei Überstauung in den Streckensystemen aktiviert werden. Aus diesem Grunde wurde der Modell-Hohlraum in 3 Kompartimente unterteilt.

- Das erste Kompartiment sind die sehr gut durchströmbaren Strecken, die auch die Verbindung zwischen den Grubenfeldern abbilden.
- Das zweite Kompartiment ist der Stoffpool, welcher in Form leicht löslicher Minerale und relativ leicht zugänglicher Porenlösungen (s.o.) im Umfeld der Strecken und in Übergangsbereichen zwischen Abbauen und Hauptstreckensystemen vorliegt. Dieser Stoffpool wird im Modell vereinfacht als bereits in gelöster Form vorliegende ruhende Phase vorgehalten, welche sich mit der strömenden Phase (Strecken) austauscht. Dieser Austausch wird durch einen Kinetikkoeffizienten (k_{qdiff} – auch Querdiffusions- oder Austauschkoefizient genannt) gesteuert. Dieser Koeffizient wurde theoretisch aus Ausspülungskurven (e-Funktionen) und deren analytischen Lösung abgeleitet und in zahlreichen Untersuchungen unter Beachtung einer strengen Massebilanz kalibriert.
- Das dritte Kompartiment sind die Abbaue. Diese besitzen zwar einen beachtlichen Stoffpool, werden aber unter den Bedingungen des Langfrontabbaus nach Abwerfen nur noch sehr schlecht durchströmt. Zudem sind diese Bereiche nur vergleichsweise kurz der Bewetterung ausgesetzt und somit sind auch die theoretischen oxidativen Stoffumsätze nur gering. Deshalb kann auch die Stofffreisetzung aus den Abbaubereichen nur gering sein; allerdings werden sie während des Wasseranstiegs aufgefüllt und sind aus der Sicht der Massebilanz

streng zu beachten. Tritt bereits aufkonzentriertes Grubenwasser in einen bislang trockenen Abbaubereich ein, so stellen die Abbaue eine Stoffsenke dar, da das eingespeicherte stoffangereicherte Grubenwasser kaum bzw. nur sehr langsam wieder freigesetzt wird. Ursache hierfür ist, dass die umgebenden Strecken eine vielfach bessere Durchlässigkeit besitzen als die Abbaue und das Wasser deshalb die Abbaue über die Strecken umströmt.

4.6 Kalibrierung Westfeld

Aufgrund zahlreicher Unterschiede des Steinkohlenreviers Ibbenbüren zum Ruhrgebietsbergbau in der Karbonausbildung, der Abbauverteilung und den hydrogeologischen Rahmenbedingungen stellt der schon abgeschlossene Grubenwasseranstieg des Westfeldes mit dem anschließenden langjährig vorliegenden Monitoring eine sehr wichtige Grundlage zur Einschätzung der künftigen Entwicklungen im Ostfeld dar. Zwar deckt der Abbau im Westfeld nur den oberen Teil des Ostfeldes ab, jedoch ist dies der Bereich, für den auch dort erwartet wird, dass er die Qualität der anzunehmenden Wässer überwiegend bestimmen wird (Kap. 5).

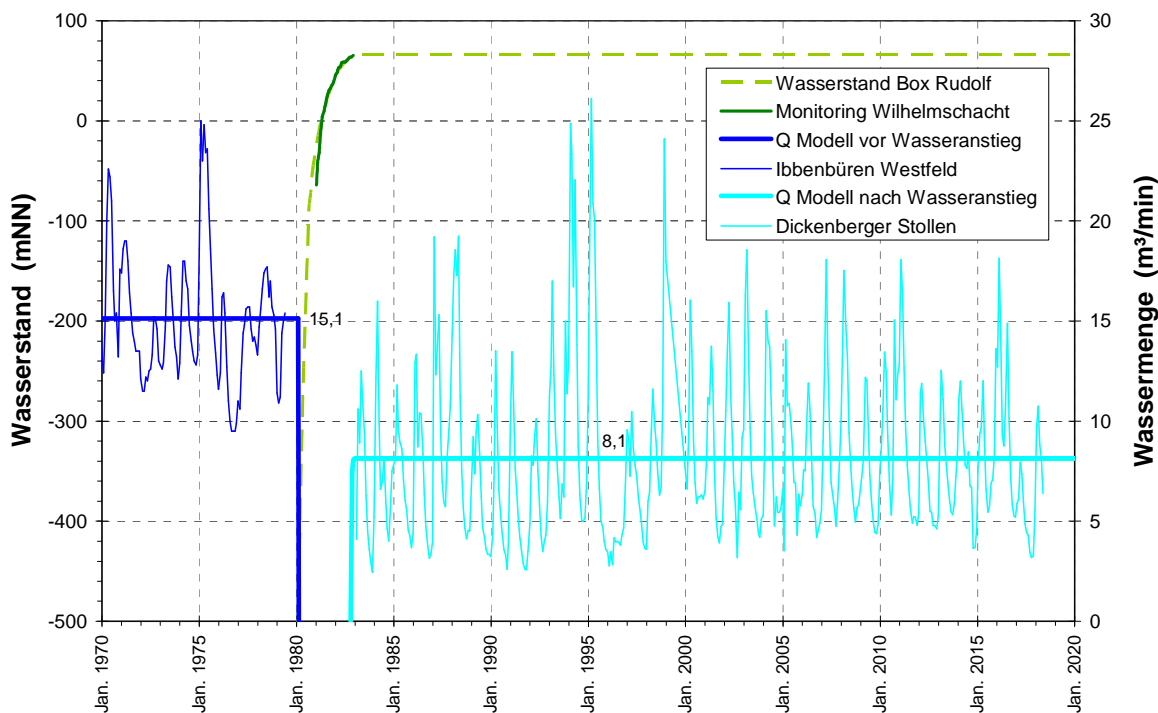


Abbildung 40: Wassermengen vor und nach Stilllegung und Wasseranstieg im Westfeld.

Das Westfeld wurde und wird in hohem Maße von niederschlags- bzw. grundwasserneubildungsabhängig jahreszeitlich schwankenden Sicker-

wässern infiltriert. Dies spiegelt sich in den Schwankungen der Wassermengen wider, die bis 1980 gehoben wurden und seit 1982 über den Dickenberger Stollen ablaufen (Abbildung 40). Das Boxmodell rechnet allerdings auf Basis von Jahresmittelwerten, über die die Veränderungen durch den Wasseranstieg besser quantifizierbar werden (Wasserhebung 1970-1979: \varnothing 15,1 m³/min, Abfluss Dickenberger Stollen: \varnothing 8,1 m³/min). Es hat somit eine deutliche Minderung der Wasserzutritte stattgefunden, obgleich auch heute noch Maximalmengen wie zu Zeiten des aktiven Bergwerks erreicht werden können. Überwiegend variieren die Mengen jedoch zwischen 4 und 15 m³/min.

Obgleich für das Westfeld im Vergleich zu dem heute sehr gut dokumentierten Ostfeld weniger Informationen aus dem Zeitraum vor dem Wasseranstieg vorlagen, konnte aus dem Zusammenwirken von Mengen- und Qualitätsdaten ein schlüssiges Bild zu den Verhältnissen dort abgeleitet werden. Für das Westfeld liegen für die obere Hälfte des gebauten Teufenabschnitts Aufzeichnungen zur Qualität der Wässer vor, aus denen man Rückschlüsse auf die Herkunft ziehen kann (Kap. 3.1.2). Entsprechende Mengenangaben der Zuflüsse oder Aussagen zu deren Beständigkeit sind rar und Analysen (oder Zeitreihen) des gehobenen (Misch-)Wassers fehlen. Aus den verfügbaren Daten wurde für das Modell vereinfachend zwischen einem Sickerwasser von der Tages- bzw. Karbonoberfläche (diese 8,1 m³/min blieben nach Wasseranstieg im Jahresmittel erhalten) und einem lateralen Zustrom (7 m³/min wurden im Wasseranstieg abgedrückt) differenziert. Grundlagen hierfür lieferten auch die Überlegungen zu dem Verlauf des Wasseranstiegs (Kap. 3.1.4), die dann auch für das Ostfeld berücksichtigt werden (Kap. 5.1).

Die Zusammensetzung des Sickerwassers von der Oberfläche erschließt sich auch durch die nach Wasseranstieg analysierten Zusammensetzungen, die, wie das Beispiel Chlorid stellvertretend für die im Wasser primär enthaltenen Stoffe zeigt, über mehr als 30 Jahre weitgehend konstant geblieben sind (ca. 180 mg/L Abbildung 41). Hohe initiale Konzentrationen, die darauf hindeuten würden, dass stark salzhaltige Zuflüsse (Tiefenwasseranteil) nach dem Wasseranstieg in relevanten Mengen aus den Strecken und sonstigen Hohlräumen ausgewaschen wurden, sind nicht aufgetreten.

Dennoch wurde aufgrund der Daten zu einzelnen Zuflüssen in das Westfeld (Kap. 3.1.2) sowie der Verhältnisse im Ostfeld davon ausgegangen, dass solche höher salinaren Wässer entsprechend der Tiefenverhältnisse bis -500 mNN auch im Westfeld mit relevanten Wassermengen existiert haben. Aber auch diese Stoffgehalte (Chlorid 3.700 mg/L) resultieren in der Modell-

kurve nur in einem geringen Anfangspeak, was auf bevorzugte Wasserströmung auf den höheren Sohlen und den Verbleib der Salzwässer in den weitgehend isolierten tieferen Abbaubereichen hinweist. Im Westfeld stellt die 2. Sohle im Niveau -70 bis -80 mNN im Flöz Glückburg diesen hydraulischen Kurzschluss über den gesamten Abbaubereich zur Verfügung (vgl. Abbildung 34 S. 56). Es ist jedoch festzuhalten, dass die sich so ergebenden Gehalte für das Mischwasser vor dem Wasseranstieg auf einer Annahme beruhen (auch für die übrigen Parameter) und sich nicht verifizieren lassen.

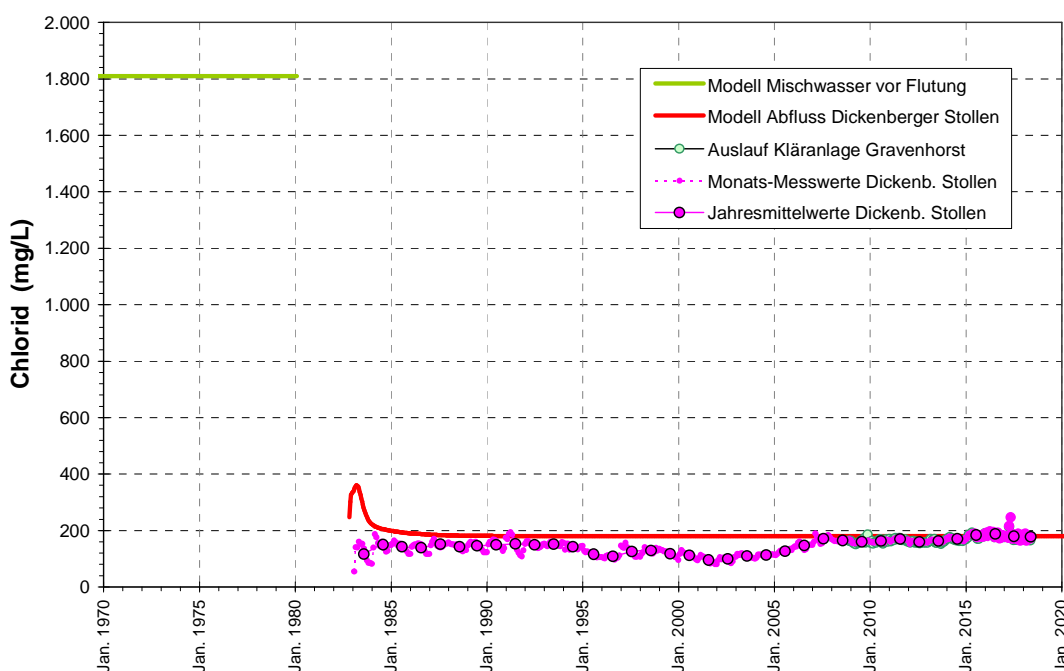


Abbildung 41: Konzentrationsentwicklung von Chlorid im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Aufgrund dieser Datensituation wird auf weitere primäre Salzgehalte im Westfeld nicht weiter eingegangen. Zudem ist Chlorid auch der einzige Parameter aus dieser Stoffgruppe der seit Beginn der Wasserannahme kontinuierlich bestimmt wurde. Auch scheint die bergbauliche Zuflusssituation nur bedingt übertragbar und für das Ostfeld liegen sehr detaillierte Daten für den heutigen Zustand vor.

Übertragbar erscheinen aber die Veränderungen, die das Wasser bei Füllung der bergbaulich geschaffenen Hohlräume erfahren hat und die im Wesentlichen auf der Mobilisation von Produkten der Pyritoxidation beruhen (Kap. 4.5). Die hierfür besonders relevanten Parameter Eisen, Sulfat und pH-Wert wurden über den gesamten Zeitraum (seit 1983) analysiert, weshalb dieser Prozess auch in der Initialphase der Auswaschung sehr genau

nachvollziehbar ist. 2009 wurde ein zusätzliches Monitoring der Wässer nach Aufbereitung mit deutlich erweitertem Parameterumfang begonnen (Auslauf Kläranlage Gravenhorst). Durch die Aufbereitung erfährt das Wasser jedoch Veränderungen, die sich erfahrungsgemäß nicht auf die Zielparame-ter der Aufbereitung pH-Wert und Eisen beschränken. Daher wurde 2015 ein Monats-Monitoring mit dem gleichen Umfang im Auslauf des Dickenberger Stollens initiiert, womit sich die Zusammensetzung des Grubenwasserablaufes ohne Veränderungen im Ableitungsgraben oder der Kläranlage bewerten lässt.

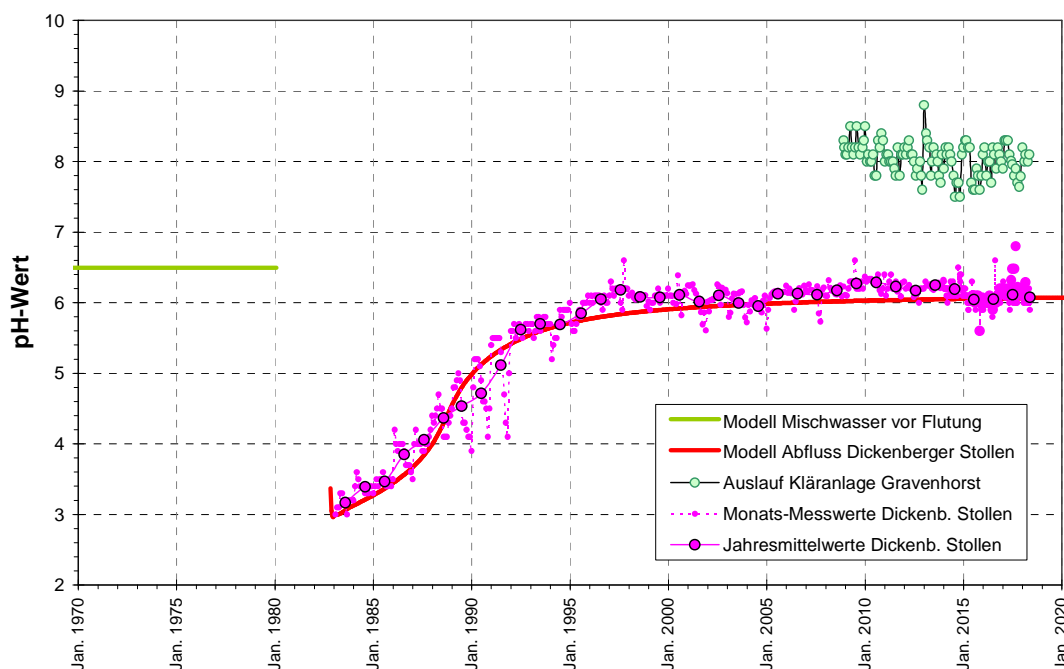


Abbildung 42: Entwicklung des pH-Wertes im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Die zuvor genannten Hauptkomponenten, die bei der Oxidation des Pyrits entstehen, belegen eine sehr hohe Intensität dieses Prozesses. Anfänglich wurde deutlich saures Wasser angenommen, für das der Begriff “acid mine water“ angemessen ist. pH-Werte um 3 (Abbildung 42) sind nur durch hohe Pyritgehalte bzw. sehr vollständige Oxidation und gleichzeitig geringe Karbonatgehalte im Gestein zu erklären, die eine Pufferung bewirken würden.

Der pH-Anstieg korreliert mit einer Abnahme der Sulfat- und Eisengehalte, was mit der Auswaschung der beim Wasseranstieg in Lösung gegangenen Stoffe in Zusammenhang steht. Dies ist ein auch an anderen Standorten bekannter Prozess und wird durch die sehr präzise Reproduktion der zeitlichen Entwicklungen mit dem Modell, das genau diesen Vorgang abbildet, bestätigt.

Auch die hohen Sulfatkonzentrationen (Abbildung 43) sind nur durch hohe Stoffumsätze von Pyrit zu erklären. Die Modelleingangsdaten für die Sulfatfreisetzung mussten gegenüber anderen Standorten im Ruhrkarbon um den Faktor 2-5 erhöht werden, um die Maximalkonzentrationen von 6.000 mg/L nachzubilden. Zwar ist zu berücksichtigen, dass die Sickerwasser von der Karbonoberfläche eine sehr hohe Grundlast von 2.000 mg/L besteuern, gleichwohl unterstreicht diese Entwicklung die andersartige Ausprägung dieses Standortes.

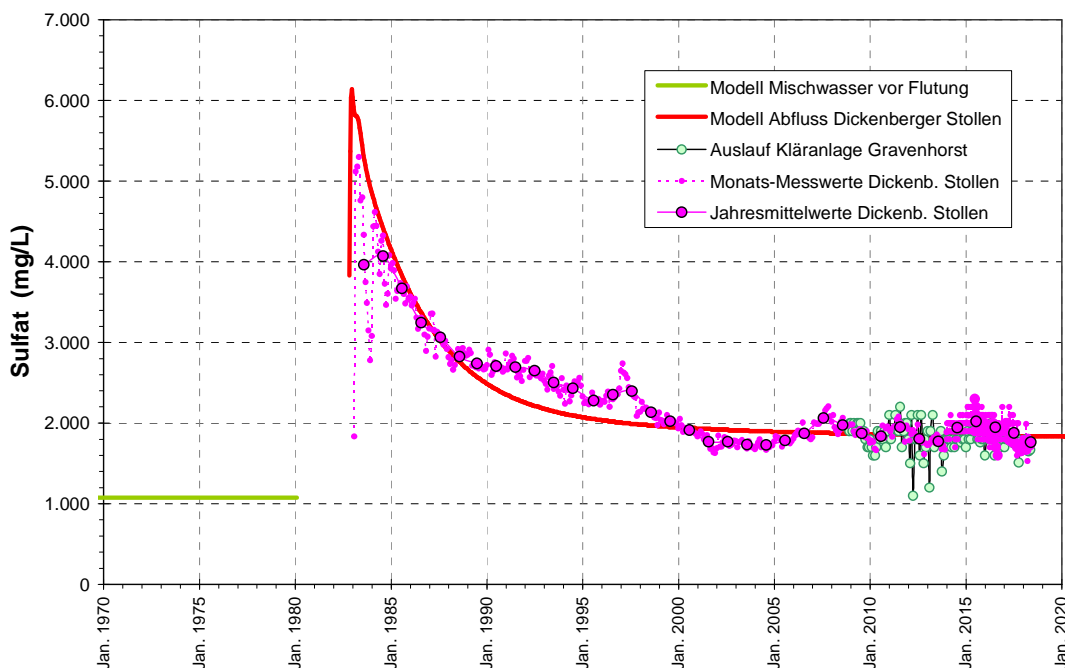


Abbildung 43: Konzentrationsentwicklung von Sulfat im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Dies trifft noch in höherem Maße für die Eisenkonzentrationen zu (Abbildung 44). Konzentrationen von mehr als 1.000 mg/L sind sonst eher für Erzbergwerke typisch. Übliche Konzentrationen im Ruhrkarbon werden um mehr als das 10-fache überschritten. Diese gegenüber Sulfat nochmals erhöhten Faktoren sind durch die sauren pH-Werte erklärbar. Im gepufferten Milieu bilden sich in der entwässerten bewetterten Grube auch Eisen(III)hydroxide, die während eines Wasseranstieges immobil bleiben, was zu einer stöchiometrischen Abreicherung von Eisen gegenüber Sulfat führt (FeS_2 enthält $\text{Fe} : \text{S} = 1 : 2$). Die im sauren Milieu gebildeten Eisen(II)salze sind jedoch sehr gut löslich und werden so während des Wasseranstiegs mobilisiert, wodurch nahezu die gesamte aus Pyrit freigesetzte Eisenmenge auch ausgewaschen wird (Abbildung 45). Mit zunehmend vollständiger Auswaschung des mobilisierten Reservoirs aus dem eingestauten Bergwerk wird der Grubenwasserchemismus immer mehr von den

Sickerwässern von der Oberfläche geprägt und hier findet eine selektive Festlegung des Eisens bei den auf pH 6 gepufferten pH-Werten statt.

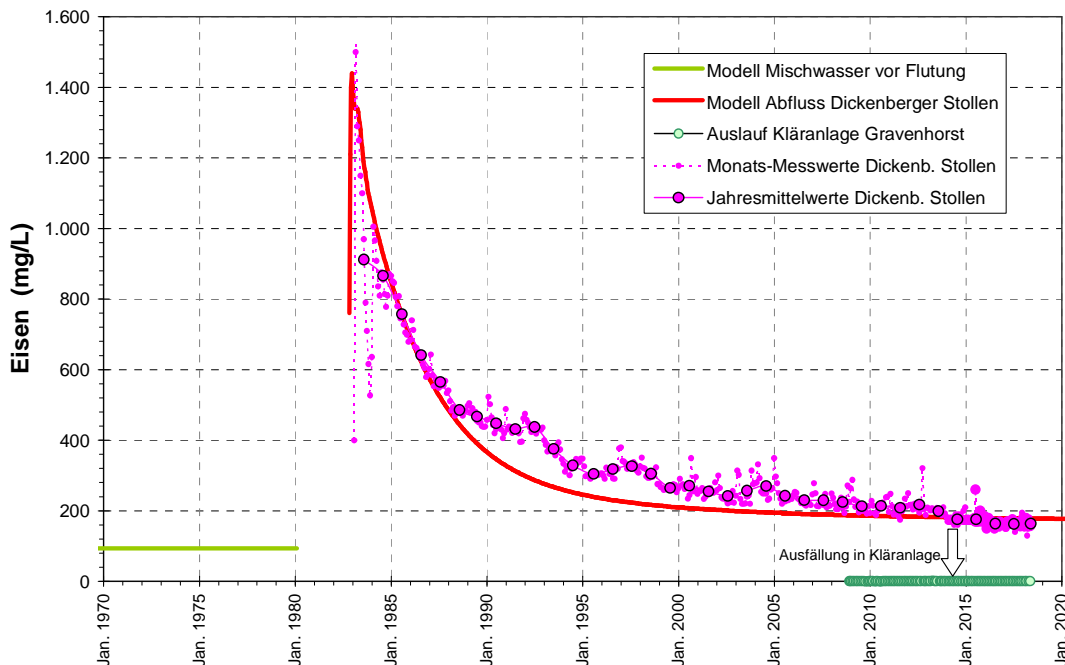


Abbildung 44: Konzentrationsentwicklung von Eisen im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

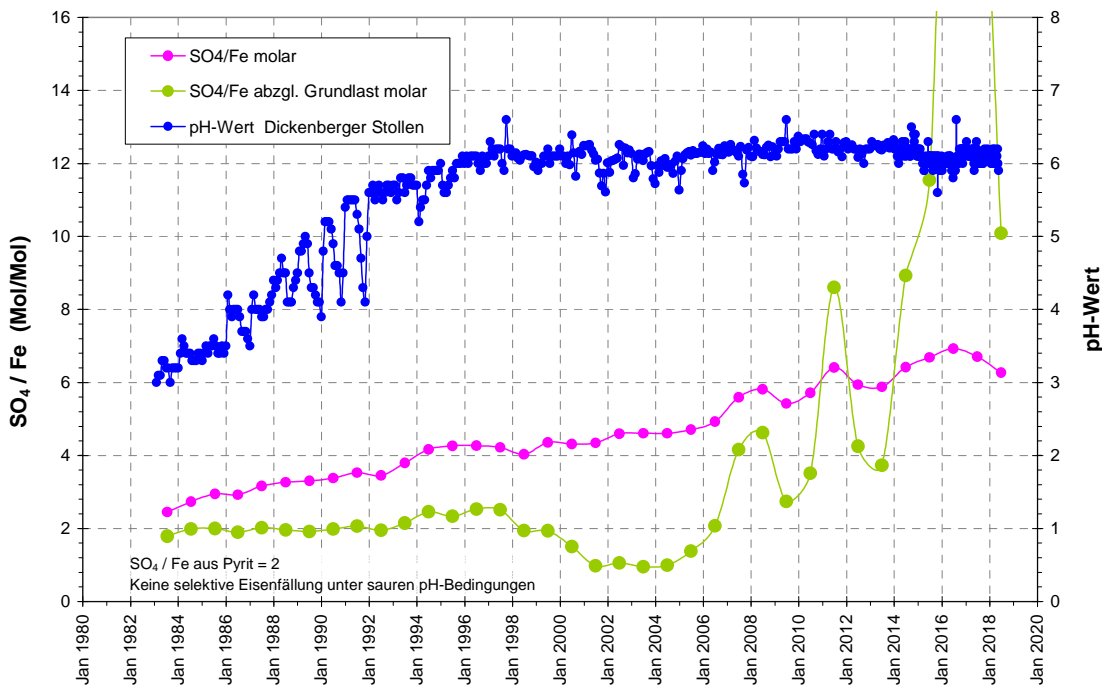


Abbildung 45: Molverhältnisse von Sulfat und Eisen im Ablauf des Westfeldes im Kontext der pH-Wert-Entwicklung.

Für Eisen ist die Minderung der Konzentrationen während der Grubenwasseraufbereitung (Abbildung 44) ganz offensichtlich. Die Zugabe von Kalkmilch führt zudem zu der von dieser Fällung erfordernten pH-Wert-Anhebung (Abbildung 42) und auch zu einer Erhöhung der Calcium-Konzentrationen (Abbildung 46). Die chemischen Veränderungen in der Kläranlage lassen sich somit bezüglich der Hauptkomponenten sehr gut nachvollziehen.

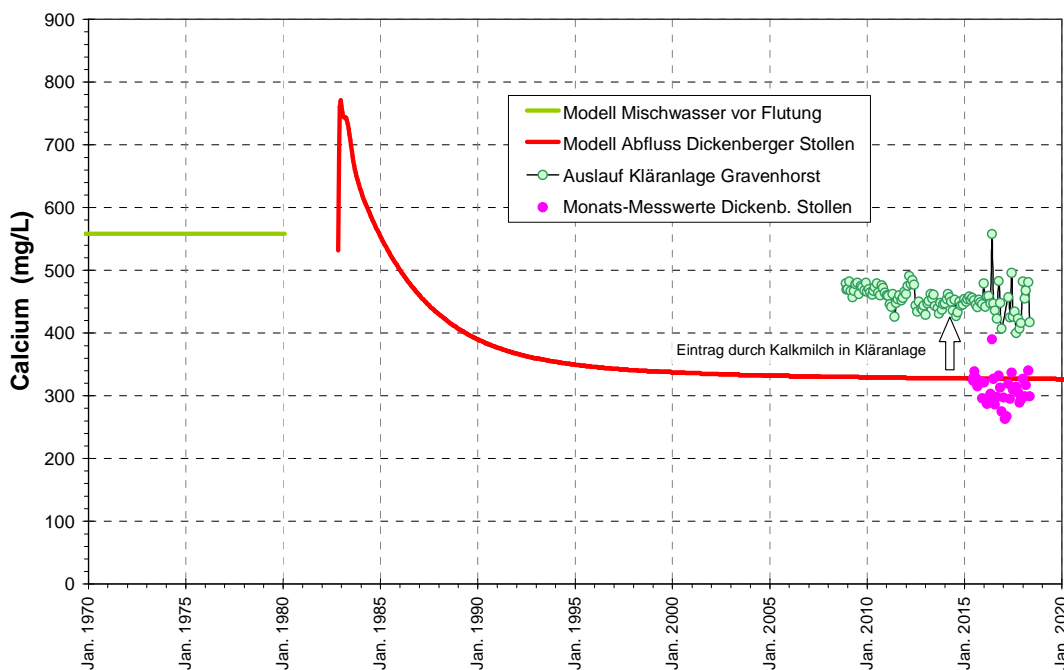


Abbildung 46: Konzentrationsentwicklung von Calcium im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Für Calcium, wie auch für alle anderen außer den bislang dargestellten Stoffen, sind die Konzentrationen und deren Dynamik in der Anfangsphase der Wasserannahme jedoch nicht dokumentiert. Von besonderem Interesse wären solche Daten für andere Metalle, da für diese aufgrund der Materialuntersuchungen im Ostfeld und der sauren pH-Werte im Westfeld gleichfalls Mobilisationen beim Wasseranstieg und insbesondere initial erhöhte Konzentrationen bei der Wasserannahme zu erwarten sind.

Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass im Zuge der Grubenwasseraufbereitung und Eisenfällung andere Metalle mit gefällt werden. Dabei wirken Mitreißeffekte (die übrigen geringer konzentrierten Metalle werden anstelle Eisen in die Struktur des Eisenhydroxids eingebaut) und Sorption. Da zu vermuten war, dass die seit 2009 gemessenen Metallgehalte im Ablauf der Kläranlage nicht die Verhältnisse im Grubenwasser widerspiegeln, werden seit 2015 solche Bestimmungen im Ablauf des Dickenberger Stollens durchgeführt.

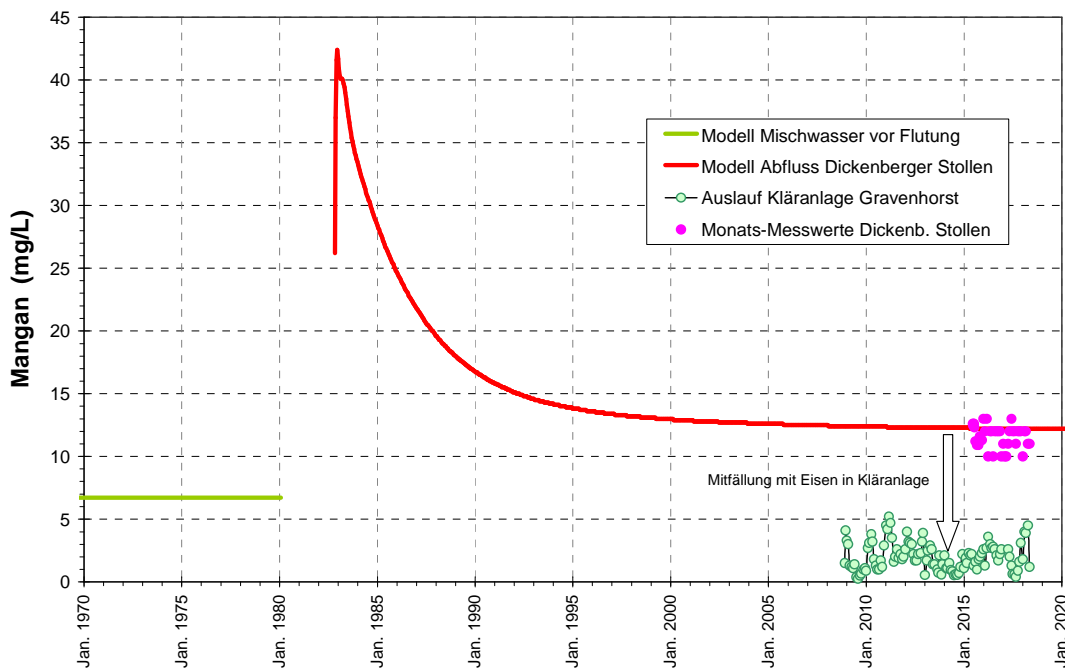


Abbildung 47: Konzentrationsentwicklung von Mangan im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

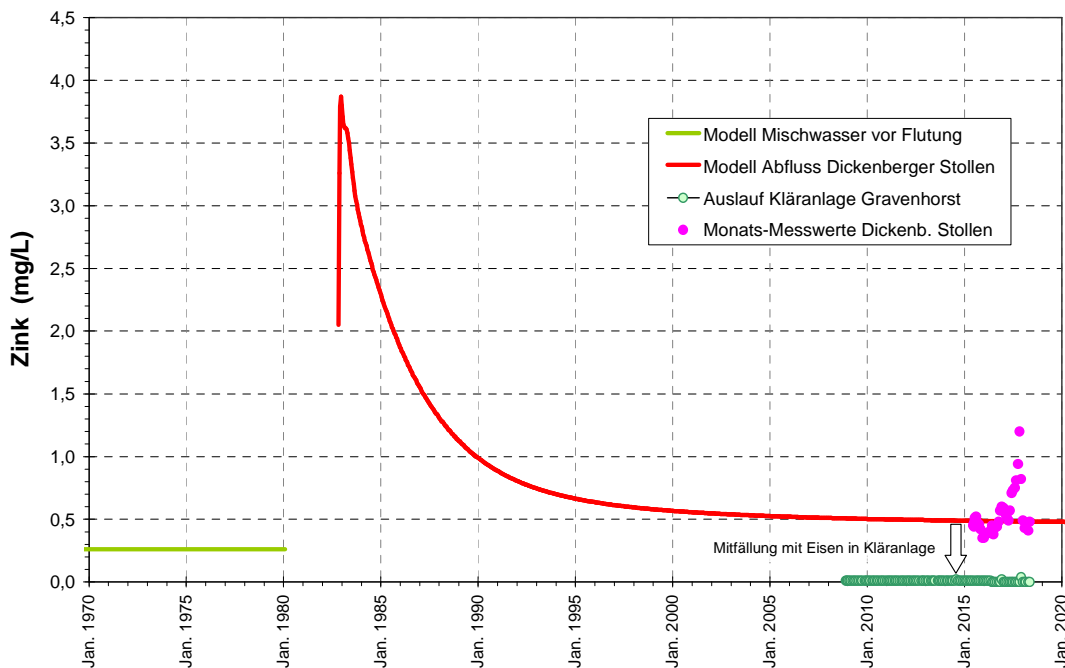


Abbildung 48: Konzentrationsentwicklung von Zink im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Die Messreihen zeigen, dass die Konzentrationen von Mangan (Abbildung 47), Zink (Abbildung 48) und Nickel (Abbildung 49) im Grubenwasser in der Tat deutlich höher sind, als die vorherigen Daten andeuteten. Die Konzentrationsniveaus implizieren, dass diese Metalle zusammen mit Eisen wohl

überwiegend aus Pyrit (vor allem Ni, Co, Cu, Zn) oder in Folge dieser Hauptreaktion (Mangan) bis heute bei der Sickerwasserpassage durch das wasserungesättigte Gebirge gelöst werden. Mangan dürfte aufgrund eher geringer sulfidischer Bindungsneigung aus sekundär durch Säurepufferung gelösten Karbonaten (häufiger Bestandteil in Calcit CaCO_3 , Siderit FeCO_3 , und Ankerit $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$) stammen. Da dieses Verhalten den anhand der Salzbildungen im Ostfeld ermittelten Mobilitäten entspricht (Kap. 4.5), muss davon ausgegangen werden, dass in der Initialphase der Wasserannahme Konzentrationen entsprechend der Eisendynamik vorgelegen haben.

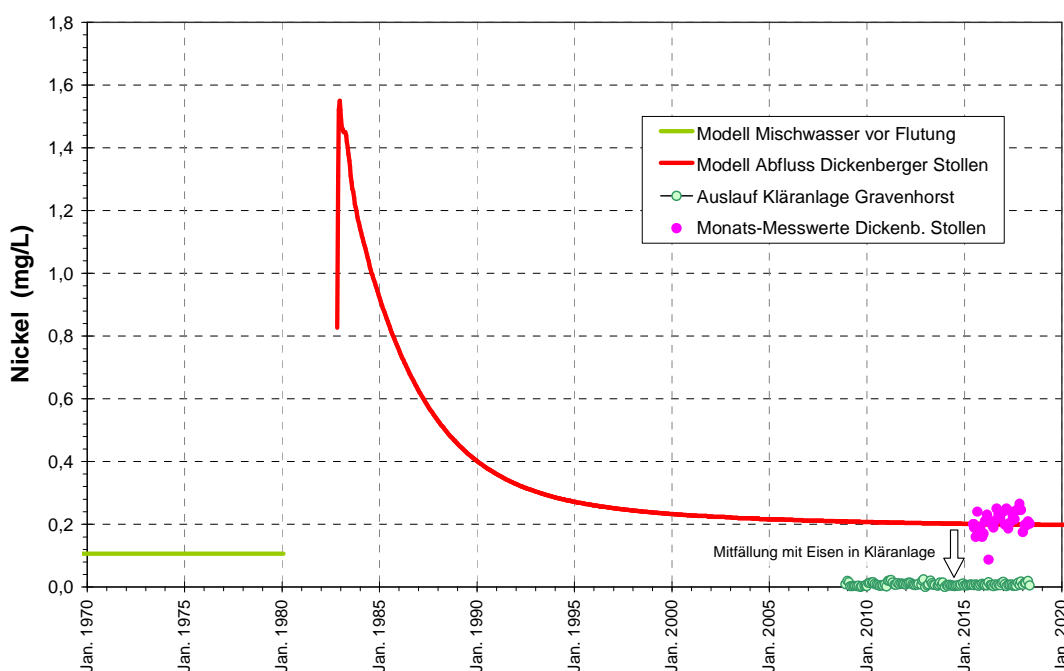


Abbildung 49: Konzentrationsentwicklung von Nickel im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Das Boxmodell berücksichtigt dies durch entsprechende Stoffpools zur Mobilisation im Wasseranstieg. Gegenstand der Kalibrierung konnte entsprechend der verfügbaren Daten nur die heutige Situation bei weitgehend abgeklungener Auswaschung des wassererfüllten Grubengebäudes sein. Die Verhältnisse der löslichen Metallmengen wurden daher weitgehend auf Basis der Eluatuntersuchungen der Salzausblühungen im Ostfeld abgeleitet (Kap. 4.5).

Entsprechend dieser Befunde werden für alle betrachteten Metalle Mobilisationen in der Reihenfolge $\text{Fe} \gg \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu} \gg \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd}$ erwartet. Die Verifizierung der Verhältnisse anhand der Monitoringdaten wird zum Teil dadurch erschwert, dass sich auch durch Laborwechsel die

Bestimmungsgrenzen z.T. deutlich im Laufe der Zeit erhöht haben. Veränderungen bzw. Trends sind so nicht immer eindeutig. Obgleich die angenommenen Stoffpools für Kupfer (Abbildung 50), Blei, Chrom und Cadmium sehr gering sind, dürften dennoch aufgrund des insgesamt sehr niedrigen Konzentrationsniveaus anfangs erhöhte Gehalte im übertretenden Grubenwasser aufgetreten sein. Diese Grundparameter zur Stoffmobilisation würden für das Ostfeld übernommen.

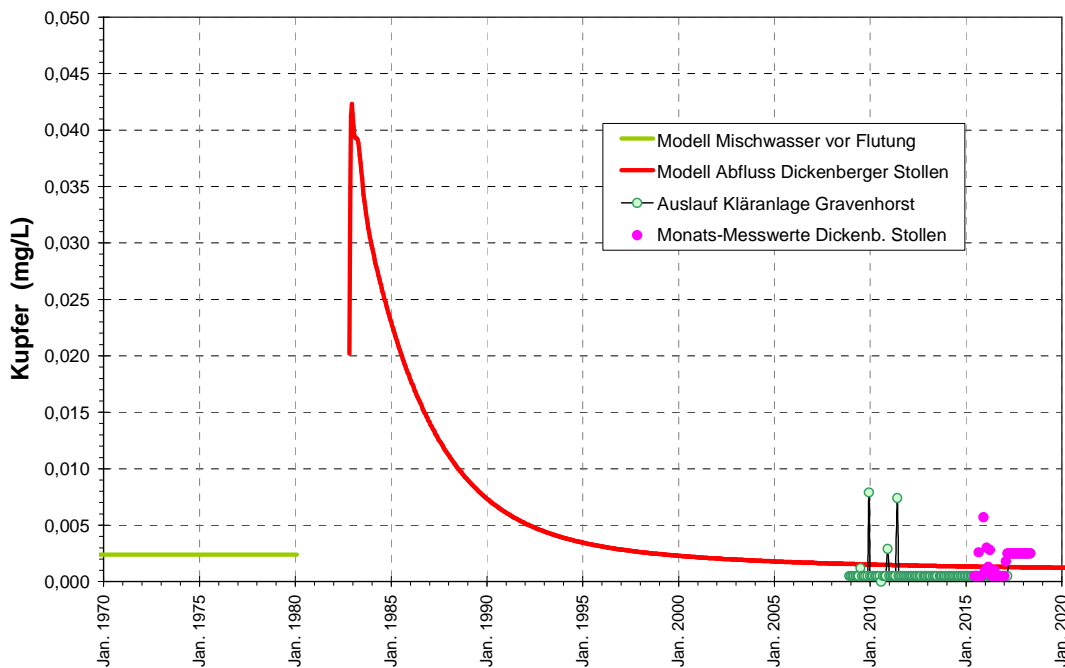


Abbildung 50: Konzentrationsentwicklung von Kupfer im Westfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

5 Prognose Ostfeld

In der zweiten Jahreshälfte 2019 soll der Wasseranstieg im Ostfeld des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren eingeleitet werden, indem zunächst die tiefe Wasserhaltung im Nordschacht eingestellt und der östliche Bergwerksbereich auf der 3. Sohle und im Querschlag 6 abgedämmt wird. Noch in 2019 sollen dann die verbleibenden Schächte verfüllt werden, womit dann der endgültige Rückzug aus dem Bergwerk vollzogen ist.

Die Planungen sehen vor, den Wasserstand bis in ein Niveau ansteigen zu lassen, in dem möglichst geringe Zuflussmengen in die bergbaulich geschaffenen Hohlräume zu minimierten Durchströmungen und Abflussmengen aus der Grube führen. Nach den hydraulischen Untersuchungen in /8/ und /2/ ist ein Wasseranstau bis auf +63 mNN ohne Wasserübertritte in das Umfeld möglich. Nur Teile des Flottwell-Flözes und die nur mit sehr kleinen Flächen gebauten Flöze Franz und Alexander im Übergangsbereich Beustfeld/Bockradener Graben sind dann nicht überstaut (Abbildung 51). Das Restwasser soll anschließend über einen noch zu erstellenden Stollen zur Grubenwasseraufbereitungsanlage Gravenhorst geleitet werden.

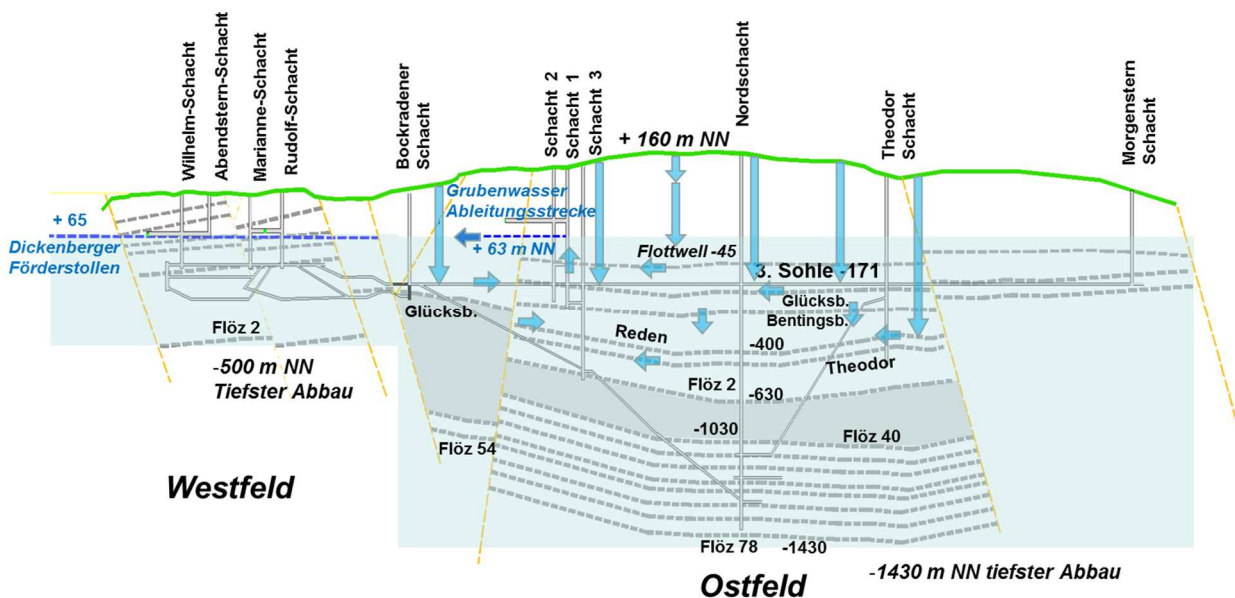


Abbildung 51: Schematischer West-Ost-Schnitt durch das Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren mit wesentlichen Elementen zum Zeitpunkt nach erfolgtem Wasseranstieg.

Dieser Wasseranstieg soll dazu führen, ähnliche Abflussverhältnisse im Ostfeld wie zuvor schon im Westfeld zu erreichen, wo nur noch Sickerwasser von der Oberfläche des Karbonhorstes in das ehemalige Bergwerk sickert und über den Dickenberger Stollen abfließt. Die Analyse der

Standortbedingungen hatte ergeben, dass die dafür erforderlichen Rahmenbedingungen im Ostfeld bei entsprechenden Wasserständen offensichtlich gegeben sind. Analog ist aufgrund der Grundwasserverhältnisse zu folgern, dass bei tieferen Wasserständen mehr Wasser mit höheren Salzgehalten zufließen wird. Die Modelleingangsparameter wurden diesen Befunden angepasst.

Dementsprechend werden sich die im Niveau +63 mNN aus dem Bergwerk abfließenden Wassermengen auf die der Karbonoberfläche zugeordneten Wasserzuflüsse vermindern. Diese Zuflüsse sind über das gesamte Ostfeld verteilt (Abbildung 52). Es steht daher zu erwarten, dass sie über die Abbauflächen und der diese nach wie vor verbindenden Strecken verteilt in Richtung Entlastungspunkt Oeynhausens-Schächte abfließen, wobei der Nordschacht aufgrund seiner intensiven Anbindung an die diversen Sohlen und Flöze eine Knoten- und Sammelfunktion einnehmen wird.

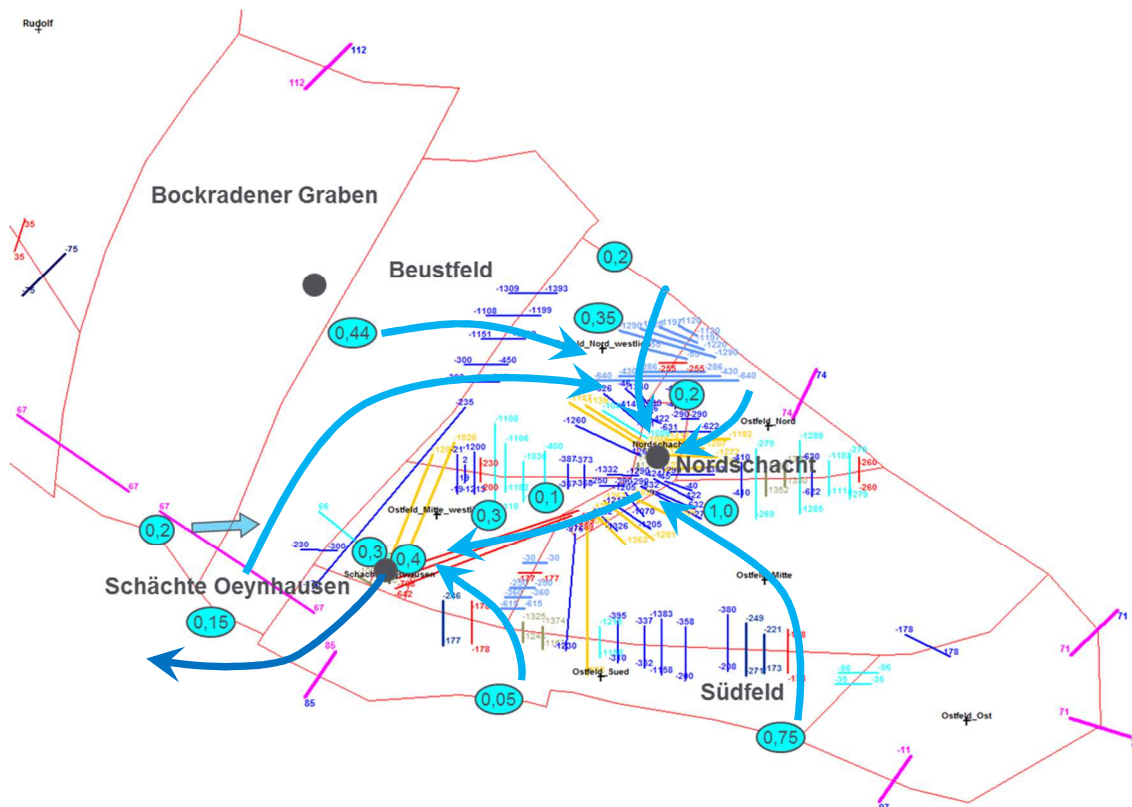


Abbildung 52: Nach Wasseranstieg +63 mNN verbleibende Zuflüsse (m³/min) entsprechend Standortanalyse und Modellrechnungen mit hydraulisch wirksamen Verbindungen und erwarteten Hauptwasserbewegungen.

Im Gegensatz zu den Abflussmengen nach Erreichen des Übertrittsniveaus, die durch Modellvorgaben definiert werden, sind die Verhältnisse während des Wasseranstiegs sowie die resultierenden hydrochemischen Entwicklungen so komplex und hängen von zahlreichen Faktoren ab, dass sie sich

ohne Modell nicht vorhersagen lassen. Dies gilt insbesondere für Vergleichsbetrachtungen bei unterschiedlichen Wasserständen. Wasserwege stellen sich dann anders dar, im höheren Bergwerksbereichen entfallen Lösungsprozesse und die Zuflüsse werden aufgrund des in die Grube gerichteten hydraulischen Gradienten größer ausfallen. Mit demselben Modell wurde neben der vorgenannten +65 m-Option auch ein Wasseranstieg bis 0 mNN simuliert und ein Ergebnisvergleich für wesentliche Parameter durchgeführt. Im Gegensatz zum Wasseranstieg bis +63 mNN müsste das Wasser dann mittels Pumpe in den o.g. Stollen gehoben werden.

5.1 Wasseranstiegsprognose

Aufgrund der beschriebenen Zusammenhänge ist eine Wasseranstiegsprognose auch immer eine Wassermengenprognose, da die mit ansteigendem Wasserspiegel im Bergwerk veränderlichen Zuflussmengen auch die Anstiegsgeschwindigkeit beeinflussen. Die dem Ostfeld zufließenden Wassermengen sind vergleichsweise hoch und nur mit wenigen Bergwerken im südlichen Ruhrgebiet ohne Überdeckung der Karbonoberfläche vergleichbar. Der mittlere geogene Gesamtzufluss wurde mit 22,8 m³/min ermittelt (Abbildung 53). Der Auslauf der Klärteiche Püßelbüren wird durch zusätzliche Kraftwerks- und Oberflächenwässer des Betriebsgeländes sowie durch Niederschläge und Verdunstung auf der Teichfläche beeinflusst.

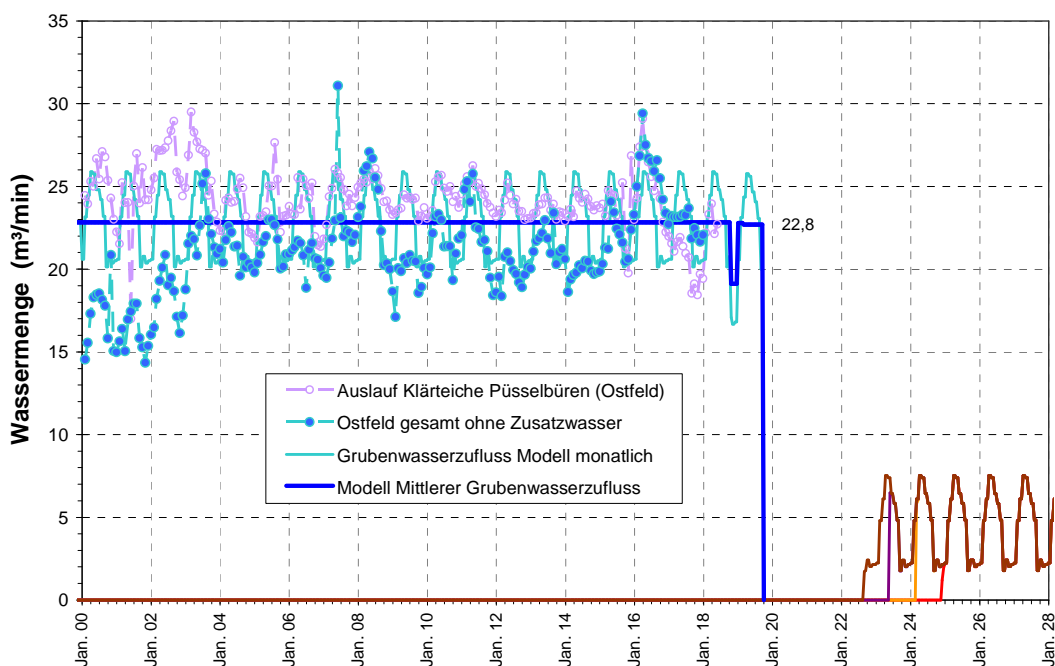


Abbildung 53: Wassermengen für das Ibbenbürener Ostfeld (Prognose s. Abbildung 54).

Auffällig sind die jahreszeitlich schwankenden Grubenwassermengen, wobei diese Schwankungsbereite geringer ausfällt als vormals im Westfeld (vgl. Abbildung 40; S. 65). Betriebliche Beeinflussungen der gehobenen Wassermengen sind zwar auch wahrscheinlich, jedoch dominieren aufgrund der Zyklizität eindeutig die Niederschlagseffekte.

Die im Westfeld höhere Schwankungsbreite von ca. 11 m³/min gegenüber ca. 5-6 m³/min im Ostfeld (19 – 25 m³/min) korreliert mit der insgesamt größeren Menge an Oberflächensickerwasser (Westfeld 8,1 m³/min, Ostfeld prognostiziert 4,5 m³/min). Da die jahreszeitliche Variabilität auf die künftig verbleibenden Zuflüsse beschränkt ist, teilt sich dies auch den künftig anzunehmenden Wässern mit (diese instationären Verhältnisse werden nicht vom Modell berechnet sondern über eine Abflussstatistik nachträglich zugeordnet). Der mittlere Abfluss bei +63 mNN wird vom Modell mit 4,46 m³/min bestimmt (Abbildung 54, Vorgaben s.o.).

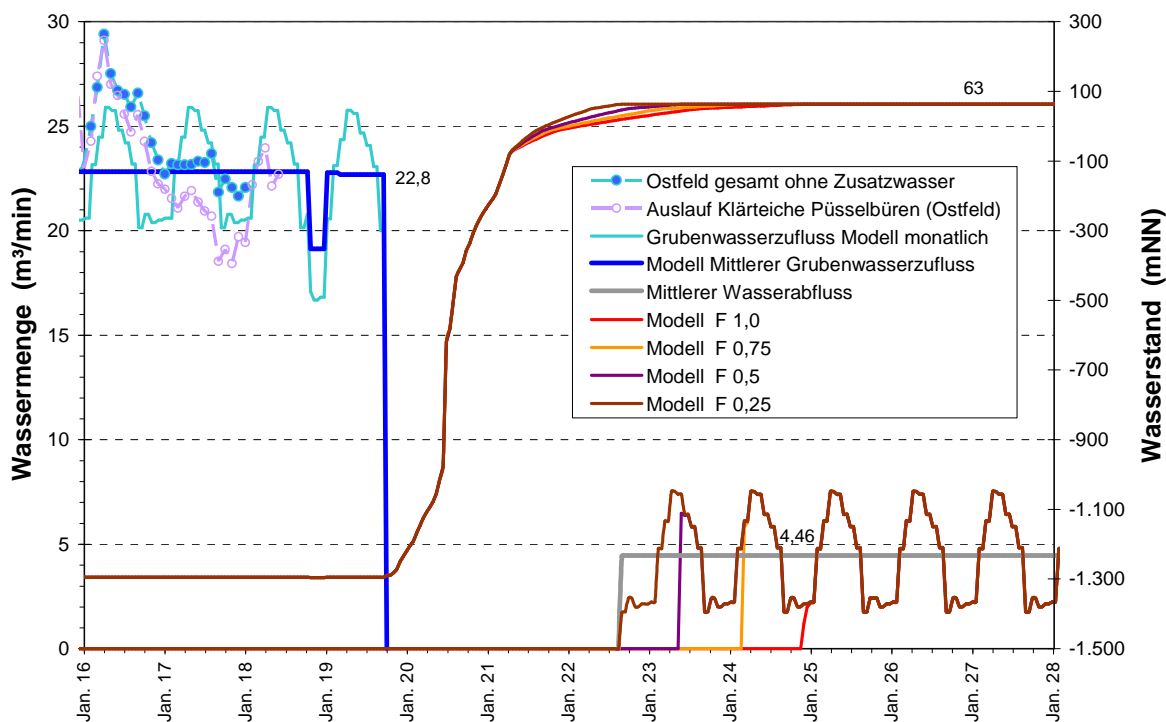


Abbildung 54: Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel +63 mNN.

Zu erwähnen ist bezüglich der Ausgangsmengen noch, dass im Zeitraum 2018/2019 die Auffüllung des Südöstlichen Mittelfelds nach dessen Abdämmung berücksichtigt wird, was zu einer zeitweiligen Verminderung der zu hebenden Grubenwassermengen führt. Außerdem sind die Verhältnisse im Ostfeld insofern ungewöhnlich, als das Bergwerk kaum Fremdwasser als

Brauchwasser bezieht, sondern die gering mineralisierten Zuflüsse aufbereitet und entsprechend verwendet. Hierdurch führt das Zurückfahren der bergbaulichen Aktivitäten in der Rückzugsphase (seit Mitte 2018) eher zu einer Erhöhung der Ableitmengen als zu einer Minderung, da die Wasserabfuhr mit Wettern und der geförderten Kohle zurückgeht bzw. dann ganz entfällt.

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, verbleiben Unsicherheiten bezüglich der Ausprägung des Wasseranstiegs bzw. des auffüllbaren Hohlraumvolumens im höheren Bereich des Bergwerkes. Daher wurden 4 Varianten berechnet, die die wahrscheinliche Spannbreite wiedergeben sollen, wobei Faktor 1 Analogie zum Westfeldwasseranstieg bezeichnet. Da der Wasseranstieg im Ostfeld aufgrund der großen Wassermengen relativ schnell erfolgt (der hohlraumarme Teufenbereich des Flözsprunges (vgl. Abbildung 33, S. 53) ist durch einen nochmals beschleunigten Wasseranstieg gekennzeichnet), beeinflusst der Oberflächeneffekt den Zeitpunkt der künftigen Wasserannahme signifikant. Die Modellerwartung für Erreichen des Überlaufniveaus liegt dadurch zwischen Mitte 2022 und Ende 2024.

Aufgrund der geringen Zuflüsse in die tiefe Grube wird es erst ab Überstau von Flöz 2 zu einer relevanten Minderung der Zuflussmengen kommen. Der Endzustand bei +63 mNN wird aber von dem Wasseranstiegsverlauf nicht beeinflusst und so bedeuten 4,46 m³/min gegenüber zuvor 22,8 m³/min eine Minderung um 80 %.

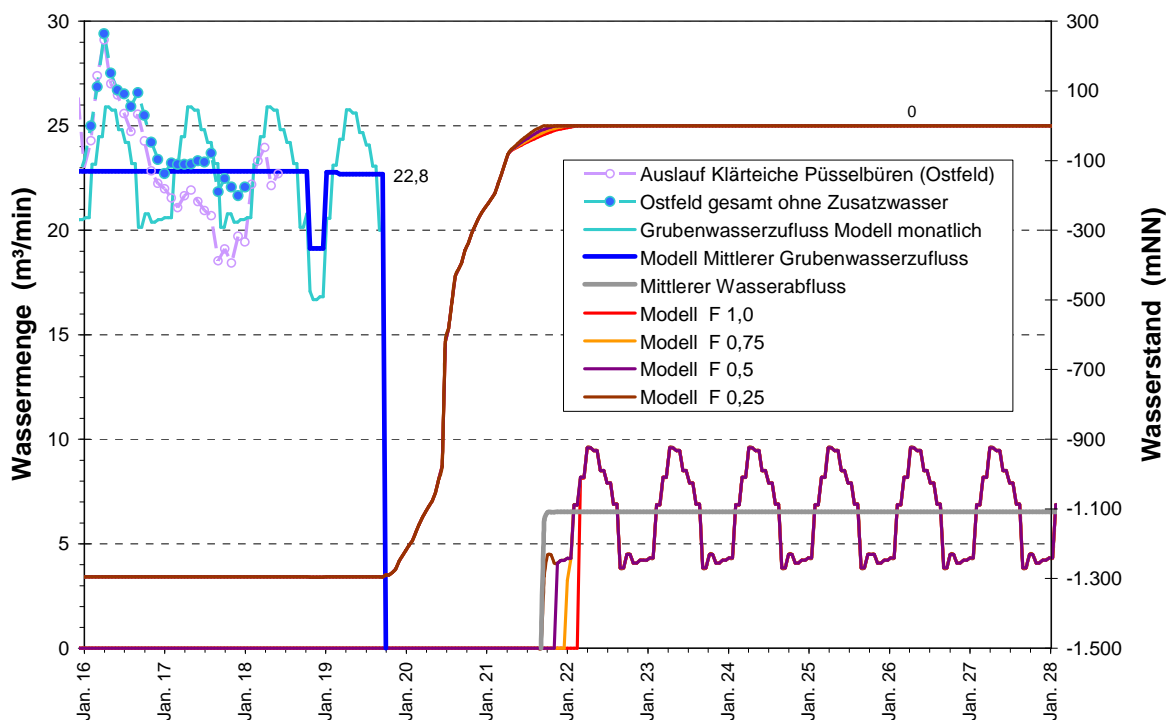


Abbildung 55: Wasseranstiegs- und Mengenprognose für Endwasserspiegel 0 mNN.

Wird hingegen der Wasseranstieg bereits bei 0 mNN gestoppt, so vermindern sich die Zuflussmengen nur auf 6,5 m³/min und somit um 70 % (Abbildung 55). Außerdem verkürzt sich der Wasseranstiegszeitraum unter weitgehendem Wegfall der oberflächennahen Effekte auf einen Zeitraum von ca. 2,5 Jahren mit Pumpbeginn etwa Ende 2021.

Die so berechneten Wassermengen bilden zusammen mit den Konzentrationen die Grundlage für die Frachtberechnungen.

5.2 Prognose Grubenwasserqualität

Mit dem im Boxmodell integrierten reaktiven Stofftransportmodell wurde die Entwicklung der makrochemischen Komponenten und Spurenmetalle für den Wasseranstieg bzw. die Wasserannahme danach berechnet. Für diese Qualitätsprognose wird nach dem Wasseranstieg, welcher auch instationär für den Stofftransport während des Anstieges gerechnet wird, ein stationärer Volumenstrom nach Überlauf angenommen. Die Grubenwasserzusammensetzung wird von mehreren Faktoren beeinflusst:

1. Den Inhaltsstoffen der dem Grubensystem zufließenden Wässer
2. Den Stoffen, die bei und nach Wasseranstieg in Folge von Pyritoxidation, Salzzakkumulation und Baustoffeinbringung gelöst werden
3. Fällungsreaktionen, die bei Mischung unterschiedlicher Wässer stattfinden
4. Mikrobielle Prozesse wie Sulfatreduktion

Durch Bestandsaufnahme der Wasserzutritte ist Punkt 1 gut bekannt und kalibriert. Die Fällungsprozesse (Pkt. 3) sind thermodynamisch eindeutig und auch zu Punkt 2 liegen Erfahrungen aus dem Westfeld und Untersuchungen im Ostfeld vor (vgl. Kap. 4.5). Die Wasserqualität beeinflussende mikrobielle Prozesse (Pkt. 4) sind in diesem Bereich bislang nicht bekannt und wurden daher auch nicht für die künftige Entwicklung berücksichtigt.

Die Darstellung und die Signaturen der folgenden Abbildungen sind an die Darstellungen für das Westfeld in Kapitel 4.6 angelehnt. Der Situation im aktiven Bergwerk wird dem Zustand nach Wasseranstieg gegenüber gestellt. Während allerdings im Westfeld die Monitoringdaten für den Ablauf bei +65 mNN vorliegen, ist dies im Ostfeld für den heutigen Zustand (seit 2009) der Fall und die Wasserannahme bei +63 mNN ist berechnet.

Wichtigster Kontrollpunkt für die Mischqualität des bislang gehobenen Grubenwassers ist die Probenahmestelle auf der Stollensohle. Auch die Grubenwasserableitung aus dem Ostfeld über die Püßelbürener Teiche erfährt

eine, wenn auch passive, Aufbereitung (Luftzufuhr, Eisenoxidation und Ausfällung, Sedimentation von Feststoffen). Da im Ablauf der Püßelbürener Teiche das offizielle Monitoring zur Grubenwasserableitung erfolgt und insbesondere für die geringer konzentrierten und in ihren Gehalten oft schwankenden Wasserinhaltsstoffe so noch ein Referenzdatensatz zur Verfügung steht, werden auch diese Daten mit dargestellt und ausgewertet. Die Farbgebung (Magenta: Originalgrubenwasser, Grün: Ablauf Klärteiche = Einleitung in die Ibbenbürener Aa) wurde analog zum Westfeld gewählt.

Im Modell berücksichtigt werden alle Parameter, die in den Tabellen in Kapitel 6 aufgeführt sind. Hinzu kommen Grubenwasserinhaltsstoffe, die überwiegend an Partikel gebunden transportiert werden (also Partikel selbst, PCB und PCDM). Diese werden in einem separaten Bericht beschrieben, da die mobilisations- und transportrelevanten Prozesse sich grundlegend unterscheiden.

Entsprechend den betrachteten vier Varianten zu auffüllbarem Resthohlraum im oberflächennahen Bereich und den entsprechenden Wasseranstiegskurven existieren für jeden Parameter auch vier Konzentrationskurven. Die Entwicklungen werden beeinflusst durch Stoffmobilisation in die unterschiedlichen sich mit Wasser füllenden Volumina und das folgende Auswaschen dieser Stoffe. Im größeren Volumen sind die Ausgangskonzentrationen im Allgemeinen geringer, aber die Ausspülung dauert bei den gleichbleibenden Zulaufmengen länger. Um diese und weitere Modellunsicherheiten zusammenfassend zu beschreiben, wurden jeweils Maximum- und Minimumkurven abgeleitet.

5.2.1 Salze

Chlorid ist der wichtigste Vertreter aus der Gruppe der sehr gut löslichen Salze im Grubenwasser, die kaum chemischen Fällungsreaktionen unterworfen sind und sich demnach wie ein Tracer verhalten. Es gibt keine Anhaltspunkte für eine relevante Mobilisation von Chlorid beim Wasseranstieg, weshalb dies im Modell auch nicht betrachtet wird und somit das gesamte ausgetragene Chlorid aus den Zuflüssen mit den verschiedenen Grubenwässern stammt.

Die Konzentrationen von Chlorid werden nach dem Wasseranstieg deutlich gegenüber den heutigen Verhältnissen (ca. 21.000 mg/L) verringert sein (Abbildung 56). Zwar sinken zunächst die Gehalte mit 5.000 mg/L nur auf ein Viertel der Ausgangskonzentrationen ab, mittelfristig ist jedoch mit weniger als 300 mg/L zu rechnen.

Solche zunächst höheren Konzentrationen bei Wasserannahme wurden im Westfeld nicht beobachtet (vgl. Kap. 4.6; Abbildung 41 S. 67). Wie eingangs beschrieben, kennen beide Modellteile keine Chloridmobilisation, weshalb andere Prozesse hier eine Rolle spielen müssen. Chlorid bietet sich zur Analyse dieser Fragestellung an, da das Konzentrationsspektrum innerhalb des Bergwerkes groß ist und keine Wechselwirkungen mit anderen Stoffen auftreten. Dies gilt auch für zahlreiche andere Salze wie Ammonium, Bor, Natrium, Kalium, etc., deren Gehalt meist auch mit Chlorid eng korreliert ist.

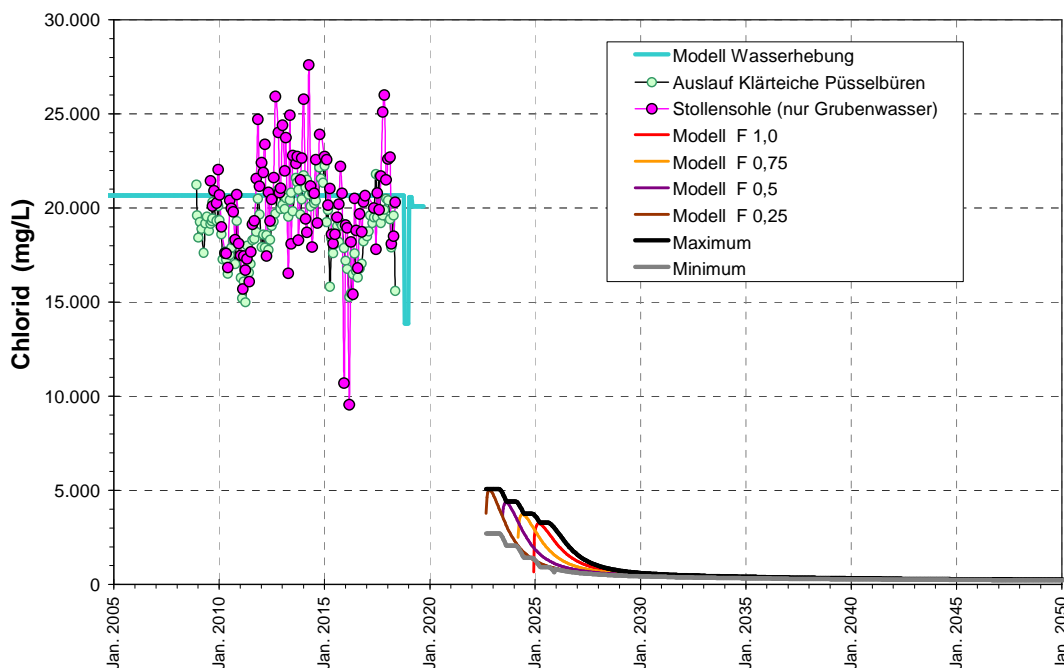


Abbildung 56: Konzentrationsentwicklung von Chlorid im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Zu Verständnis und Überprüfung der im Boxmodell abgebildeten Abläufe wurde die Modellberechnung - kurz vor Erreichen des Wasserannahmeniveaus von +63 mNN - bei +50 mNN angehalten, um für diesen Zeitpunkt Chloridverteilungen in den Modellscheiben zu erhalten. Dieser Wasserstand wurde gewählt, um den durch den Wasseranstieg erzeugten Momentanzustand vor Beginn einer Ausspülung zu erhalten. Diese Daten werden mit dem Zustand 2050 (Ende der Modellrechnung) verglichen (Abbildung 57).

Nach diesen Konzentrationsverteilungen füllt sich die tiefe Grube unterhalb des Flözsprunges (das Modell ist zwischen Scheibe 13 und 14 innerhalb einer Box wasserundurchlässig) mit Mischwasser aller Zuflüsse. Die vertikalen Wasserbewegungen erfolgen entlang der festgelegten Verbindungen durch den Flözsprung wie z.B. dem Nordschacht (vgl. Kap. 3.2.3 und 4.4).



Über die Schächte strömt das bei diesen schon hohen Wasserständen zu-
 sitzende Wasser erkennbar an der geringen Mineralisation in die jeweils
 tieferen Grubenbereiche (Abbildung 57 oben). Boxen mit hohen Zufluss-
 mengen leiten Wasser in trockenere Bereiche über. Solche lateralen Was-
 serbewegungen zwischen den Boxen sind anhand der jeweiligen
 Verbindungen und Zuflussverteilungen gut nachvollziehbar. Bei größeren
 Zulaufmengen dominiert die Zusammensetzung des zulaufenden Wassers
 die jeweilige Modellscheibe.

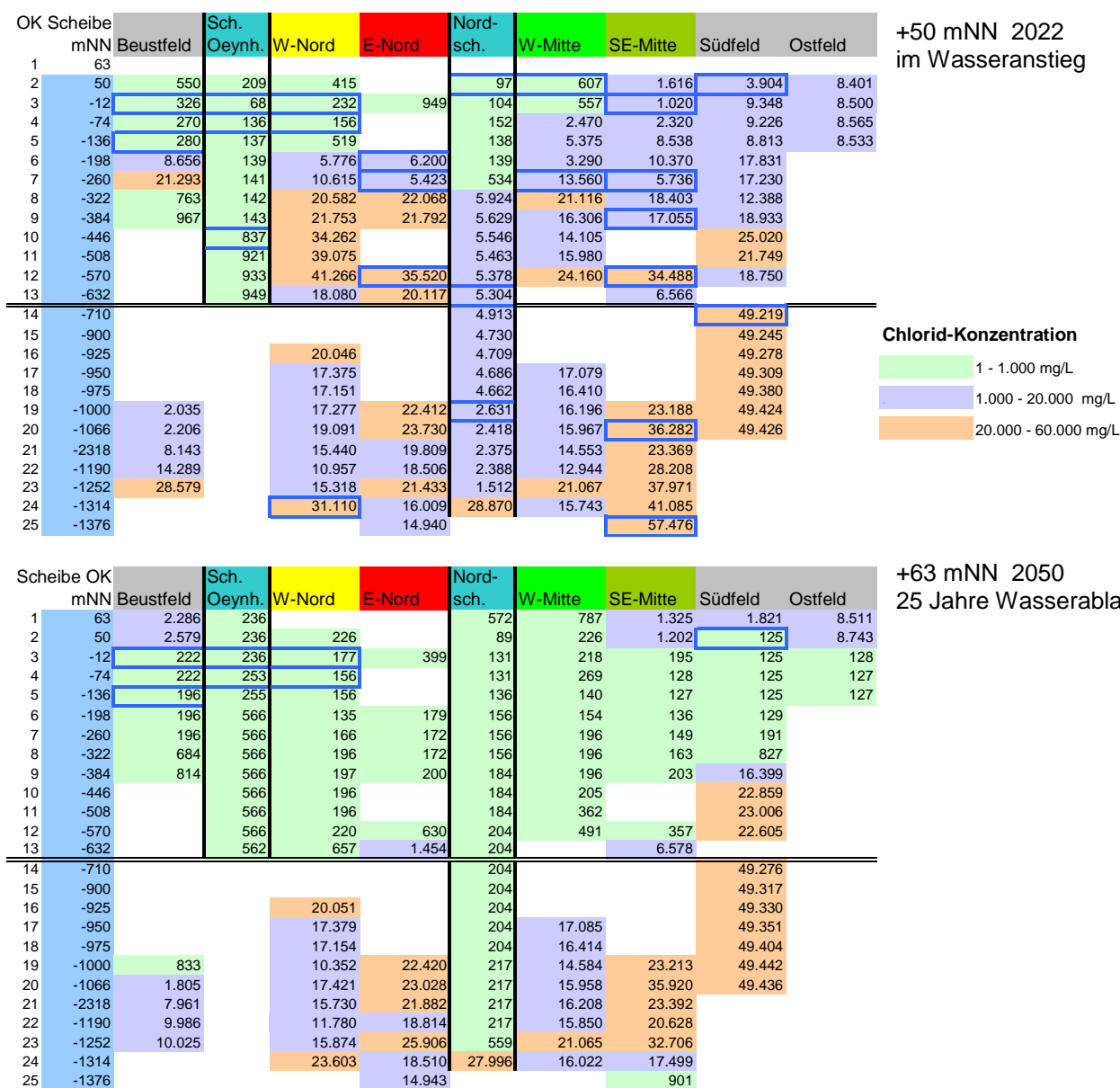


Abbildung 57: Chloridkonzentrationsverteilungen (Variante F 0,25) in den Modellscheiben mit RHV bei den Zeitschnitten: Wasserstand +50 mNN (oben), +63 mNN 2050 (unten). Blaue Rahmen: Modellscheibe mit Wasserzufluss.

Die Chloridgehalte betragen in großen Teilen des Modellkörpers (des Grubengebäudes) zwischen 5.000 und 30.000 mg/L – auch oberhalb des Flözsprungs, weil hier ja auch entsprechende Zuflüsse (z.B. zum Nordschacht 4. Sohle Flöz 2, Theodorsohle, Bentingsbank, vgl. Abbildung 26, S. 41) existieren, die zu diesem Zeitpunkt auch noch, wenn auch vermindert, aktiv sind. In der höheren Grube sammeln sich salzhaltige Wässer vor allem in den südöstlichen Grubenteilen, da die Zuflüsse bis zur Überstauung ihres jeweiligen Niveaus mit voller Rate schütten und erst dann sukzessive vermindert werden.

Mehr als 25 Jahre später (Abbildung 57 unten) enthalten große Teile des Grubengebäudes oberhalb des Flözsprunges nur noch Wasser mit sehr geringen Chloridgehalten. Aktiv sind nur noch die höher gelegenen Zuflüsse von der Oberfläche, was offensichtlich bedingt durch Verteilung der Zuflüsse und Verbindungsstruktur zu einer weitgehenden Ausspülung der zuvor vorhandenen Salzwässer in Richtung des Entlastungspunktes in den Oeynhausen-Schächten führt. Dieser Vorgang ist auch verantwortlich für die im Grubenwasserablauf (Abbildung 56) ermittelten Auswaschkurve. Es werden somit keine gelösten Stoffe ausgespült sondern die zuvor im Auffüllprozess gespeicherten Salze aus den Zuflüssen oberhalb des Flözsprunges. Zudem ist erkennbar, dass die Hohlräume unterhalb des Flözsprunges kaum in ihrer Konzentration verändert werden. Zuflüsse sind hier nicht mehr aktiv und es wirken nur noch sehr geringe Potenzialunterschiede, die zu sehr geringen Fließbewegungen führen. Die dort nach Auffüllung gespeicherten Chloridgehalte verbleiben dort auch und tragen nur sehr gering zu den Salzgehalten in der Wasserableitung bei.

Diese sehr unterschiedlichen Verhältnisse ober- und unterhalb des Flözsprunges entsprechen dem strukturellen Aufbau des Bergwerkes bezüglich Wasserzuflüssen und Streckennetz. Sie sind auch von Bedeutung für die beim Wasseranstieg mobilisierten Stoffe (Sulfat, Eisen, PCB). Das Modell berücksichtigt in dieser Volumenbilanz das gesamte Resthohlraumvolumen und unterscheidet nicht zwischen Bereichen unterschiedlichen Wasseraustausches. Andererseits ist festzustellen, dass der Abbau in den hohen Flözen überwiegend flächig vernetzt erfolgt ist und dementsprechend der Wasseraustausch ebenfalls in der Fläche ohne ausgeprägte Totwasserbereiche erfolgen dürfte. Insgesamt ist somit festzustellen, dass das Modell den Prozess plausibel beschreibt, aber möglicherweise bezüglich der Auswaschung von Chlorid und den anderen mit den Wasserzuläufen in die Hohlräume eingetragenen Primärsalzen zu intensiv einschätzt (worst-case Szenario).

Die hier verwendeten Modelleigenschaften haben auch den Berechnungen für das Westfeld zugrunde gelegen, in dem ein Chlorid-Konzentrationspeak zu Beginn der Wasserannahme nicht aufgetreten ist und auch vom Modell nicht erwartet wird (vgl. Abbildung 41, S. 67). Dies ist nachvollziehbar aufgrund der strukturellen und hydraulischen Gegebenheiten.

Im Westfeld ist der Anteil der gering mineralisierten Wässer am Gesamtzufluss deutlich höher gewesen als im Ostfeld. Dementsprechend muss sich schon im Auffüllprozess im Mischwasser ein sehr viel geringerer Chloridgehalt eingestellt haben. Entsprechend geringer können Auswascheffekte im Vergleich zum Ostfeld ausfallen.

Zudem erfolgte tieferer Abbau im Westfeld (bis -500 mNN) nur in zwei isolierten Baufeldern, in denen sich das zunächst dem Bergwerk noch zufließende höher salzhaltige Wasser gesammelt hat. Eine Ausspülung dieses Wassers aus diesen Taschen hat dann nicht mehr stattgefunden, da sich im Westfeld eine die Boxen horizontal verbindende Struktur erst im Niveau der 2. Sohle (Flöz Glückburg) auf -80 mNN befindet. Ab diesem Niveau dürfte der Anteil der Salzwasserzuflüsse sehr gering gewesen sein, so dass die in und oberhalb der 2. Sohle gespeicherten und in der Folge austauschten Wässer den heutigen Zulaufzusammensetzungen entsprochen haben.

Im Ostfeld hat das Flöz Glückburg zwar auch eine flächendeckende Vernetzungsfunktion, befindet sich aber mit -250 mNN deutlich tiefer. Das diese Abbaubereiche füllende Wasser ist dementsprechend deutlich salzhaltiger. Darüber hinaus wurde auch in den unterhalb Glücksburg liegenden Flözen (Reden/Theodor, Flöz 2) bis zum Flözsprung großflächig Abbau betrieben, so dass sich Bereiche ohne Wasseraustausch bis -650 mNN nicht herausbilden. Dies ist im Ostfeld erst unterhalb des Flözsprungs der Fall. Somit besteht in beiden Teilmodellen eine Übereinstimmung zwischen prinzipieller Erwartung, Modellberechnung und Messwerten.

Bei der Berechnung von Frachten addieren sich die Veränderungen bezüglich Wasserableitung und den darin enthaltenen Stoffkonzentrationen:

$$\text{Wassermenge} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) * \text{Konzentration} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \text{Fracht} \left(\frac{\text{g}}{\text{min}} \right)$$

Entsprechend der bei +63 mNN stark verminderten Wassermengen (4,5 m³/min vgl. Abbildung 54) und der beschriebenen Konzentrationsentwicklung werden sich so die Chloridfrachten im Restgrubenwasser des Ostfeldes auch bereits bei Beginn der Wasserannahme auf ca. 10 % des derzeitigen Wertes vermindern (Abbildung 58). Da die Frachten auch für die Ableitung in den Vorfluter den relevanten Stoffparameter darstellen und nur so ein tatsächlicher Vergleich zwischen den verschiedenen Wasserständen

möglich ist, sind auch die bei einem Wasserspiegel von 0 mNN erwarteten Chloridfrachten dargestellt.

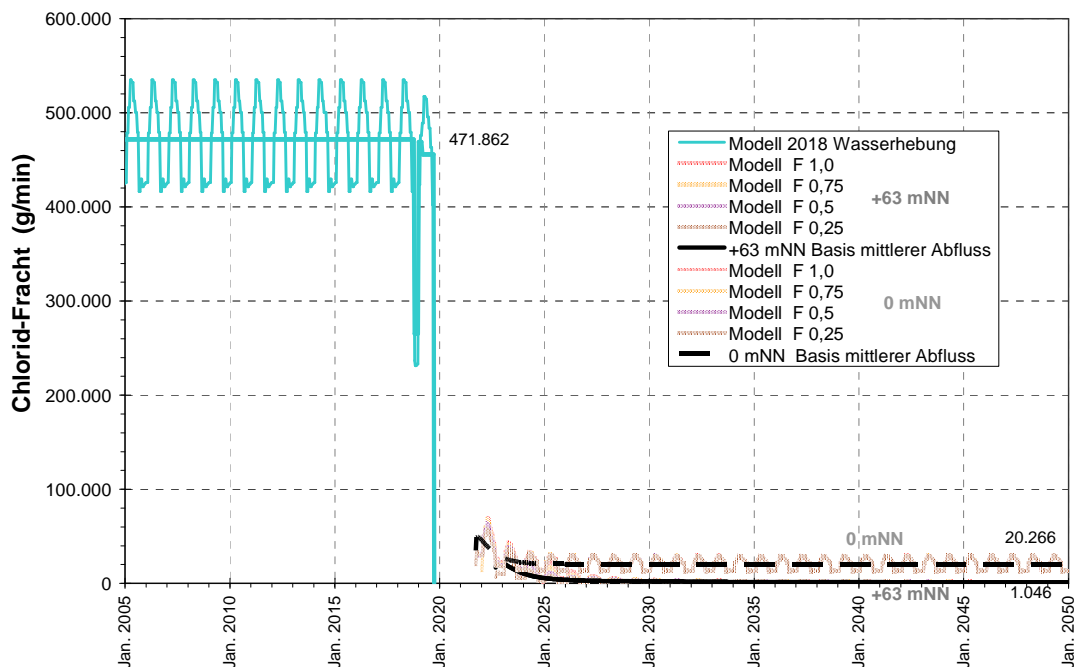


Abbildung 58: Frachtentwicklung für Chlorid im Ostfeld linear (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).

Um die unterschiedlichen Entwicklungen zwischen den beiden Wasserannahmeniveaus auch im Vergleich zum Ausgangszustand aufzuzeigen ist allerdings eine logarithmische Skalierung erforderlich (Abbildung 59). Zur Verdeutlichung des Einflusses jahreszeitlich veränderter Zuflussmengen sind neben den Frachten im mittleren Abfluss auch die Frachten auf Basis der o.g. Schwankungsbreite dargestellt. Im Laufe der Zeit wird im Niveau +63 mNN eine Verminderung der mittleren Chloridfrachten in Richtung auf 1.000 g/min erwartet, was dann eine Reduzierung auf nur noch 0,2 % des Ausgangswertes bedeuten würde.

Sowohl bei höheren als auch bei niedrigeren Wasserständen erfolgt zunächst eine Ausspülung des bis dahin den Hohlräumen zugeflossenen Chloridwassers, so dass in der Initialphase der Wasserannahme nur geringe Konzentrationsunterschiede auftreten (s. Tabelle 7; S. 100). Da erst im folgenden Anstiegsabschnitt zwischen 0 mNN und +63 mNN die Druckwasserspiegel vieler chloridhaltiger Zuflüsse vollständig überstaut werden und diese somit bei 0 mNN den Gruben Hohlräumen nach wie vor, wenn auch vermindert, zufließen, sind sowohl die Konzentrationen im zu hebenden Grubenwasser (keine Abbildung) wie auch die Wassermengen (vgl. Abbildung 55) gegenüber +63 mNN erhöht. In der Summe bzw. im Produkt

dieser Effekte verbleiben im Mittel ca. 20.000 g Chlorid/min – dies ist die zwanzigfache Menge gegenüber höheren Wasserständen (Minderung nur auf 4 % der Ausgangsmenge).

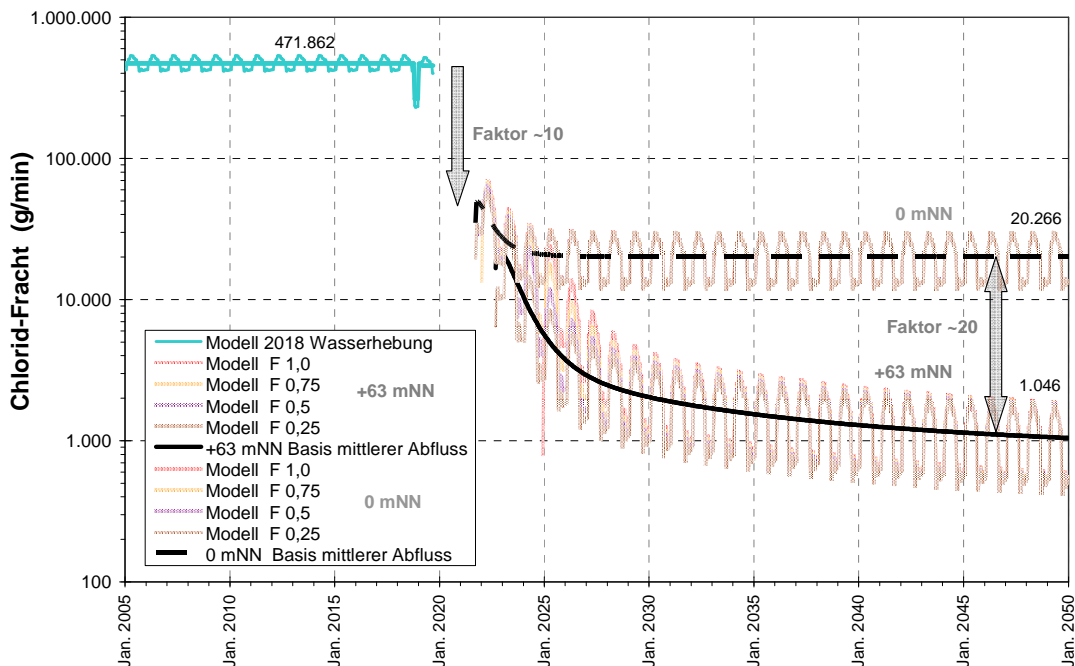


Abbildung 59: Frachtentwicklung für Chlorid im Ostfeld logarithmisch (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).

Zu beachten ist, dass dieser Zustand stationär ist, d.h. dauerhaft erhalten bleibt. Über jahreszeitlich bedingte Zuflusseffekte hinaus ist keine weitere Veränderung nach dem erfolgten Wasseraustausch zu erwarten. Diese Auswirkungen des Wasseranstiegsniveaus betreffen nicht nur Chlorid, sondern auch weitere Grubenwasserinhaltsstoffe, die, wie eingangs bereits erwähnt, eng korreliert mit den Chloridkonzentrationen bzw. der Gesamtsalzfracht sind und sich auch ähnlich verhalten.

Auch Ammonium (Abbildung 60), Bor, Brom und Hauptkomponenten wie Natrium und Kalium werden weder beim Grubenwasseranstieg mobilisiert noch sind konzentrationsmindernde Fällungsreaktionen zu erwarten. Somit entsprechen die für diese Stoffe zu erwartenden Veränderungen (Minderung der Konzentration durch Wasseranstieg) und damit auch die durch unterschiedliche Wasserstände bewirkten Fracht-Effekte für die Einleitung in den Vorfluter dem für Chlorid beschriebenen Verhalten. Im Detail hängen die Minderungseffekte durch den Wasseranstieg von den Gehalten in den einzelnen Zuflüssen ab.

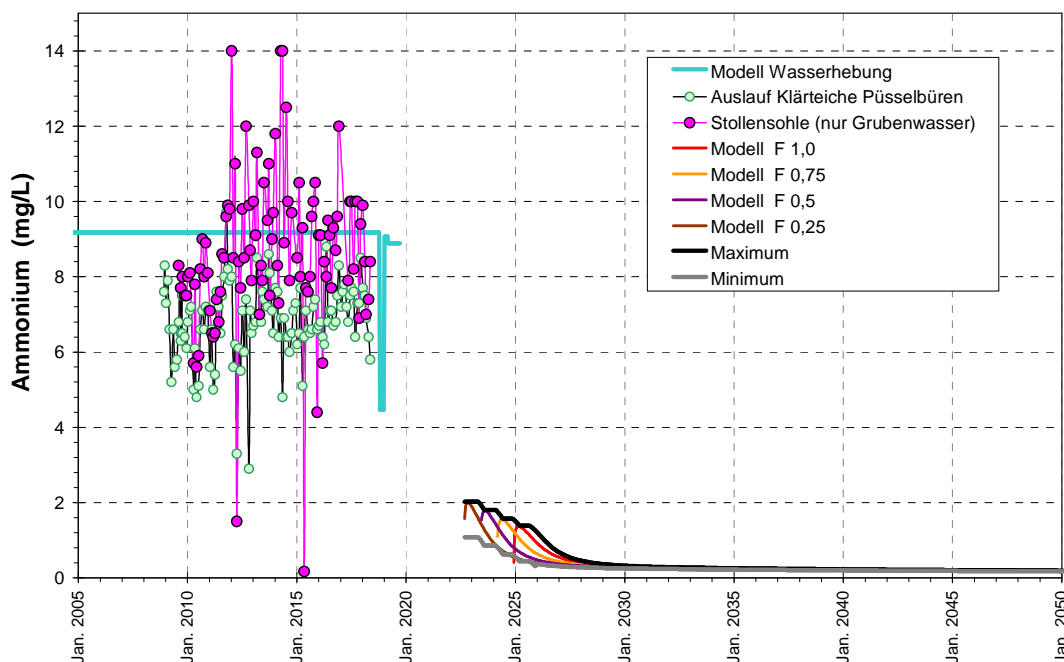


Abbildung 60: Konzentrationsentwicklung von Ammonium im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

In Tabelle 6 werden die anteiligen Restfrachten nach Wasseranstieg im Vergleich zur heutigen Wasserhebung bzw. zwischen den beiden Wasseranstiegsvarianten +63 mNN und 0 mNN verglichen. Deutlich erkennbar sind die stärksten Auswirkungen auf die Salinarkomponenten Natrium und Chlorid. Neben den vorgenannten Ammonium, Kalium, Bor und Brom sind auch Calcium und Magnesium sowie, in geringeren Konzentrationen, Nitrit, Barium und Strontium zu den Stoffen zu zählen, deren Stoffaustrag von höheren Wasserständen deutlich profitiert.

Tabelle 6: Vergleich der verbleibenden Restfrachten nach Wasseranstieg auf +63 mNN und 0 mNN.

	Aktuell / +63mNN	Aktuell / 0mNN	+63mNN / 0mNN
Natrium	0,2%	4,2%	5,0%
Kalium	1,3%	6,1%	21,0%
Calcium	4,3%	11,7%	37,3%
Magnesium	4,2%	10,4%	40,6%
Barium	1,0%	3,8%	26,1%
Strontium	1,8%	6,5%	26,9%
Bor	2,8%	9,9%	28,2%
Ammonium	0,4%	3,9%	10,2%
Chlorid	0,2%	4,3%	5,2%
Bromid	0,9%	4,9%	17,7%
Nitrit	0,6%	4,5%	13,5%

Relevant bariumhaltige Zuflüsse treten jedoch im Ostfeld nicht auf, obgleich Barium oftmals ein Inhaltsstoff salinärer Wässer ist. Auch Strontium, das das Barium immer begleitet, und dieses auch nach dessen Reaktion mit Sulfat im Mischwässern noch indirekt nachweisen kann, ist auf wenige tiefe Zuflüsse mit geringen Gehalten beschränkt. Ganz offensichtlich besitzen somit Barium, das Barium begleitende Radium und auch Fällungsreaktionen aus Bariumsulfat keine Relevanz für den Standort Ibbenbüren.

5.2.2 Oxidationsprodukte

Stoffe wie Eisen und Sulfat aber auch Spurenmetalle sind natürlicherweise auch in den zufließenden Wässern vorhanden und erscheinen im Grubenwasser nicht nur aufgrund oxidativer Umwandlung von mineralischen Gesteinsbestandteilen. Dies führt dazu, dass sich diese beiden Quellen in unterschiedlichem Umfang überlagern. Jedoch dominiert hier die sekundäre Mobilisation fast immer gegenüber der Basiskonzentration. Dies führt oft dazu, dass nach dem Wasseranstieg diese Stoffe im Grubenwasser auffällig werden, obgleich sie zuvor während des Betriebs des Bergwerkes im gehobenen Grubenwasser nur wenig in Erscheinung getreten sind.

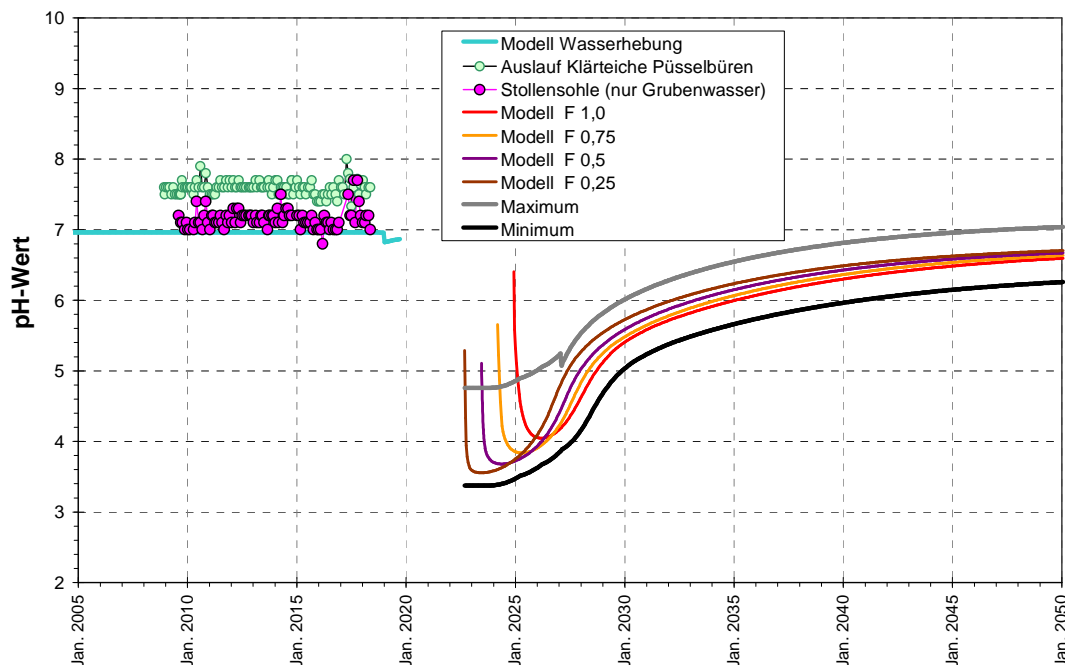


Abbildung 61: Entwicklung des pH-Wertes im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

So liegen auch die heutigen pH-Werte im neutralen Bereich und werden durch die Belüftung (CO₂-Strippung) bei der Ableitung im pH-Wert sogar noch angehoben (Abbildung 61). Dies ist ein natürlicher Prozess in solchen

an CO₂ übersättigten Wässern und nicht auf die Zugabe einer puffernden Substanz zurückzuführen. Für das Grubenwasser nach Wasseranstieg wird ebenso wie im Westfeld aber eine signifikante Versauerung erwartet und erst nach 10 bis 15 Jahren ist wieder mit stabil neutralem Milieu zu rechnen.

Wie aus den theoretischen Überlegungen zu erwarten und auch im Westfeld beobachtet, geht dieser Säureeintrag in das Grubenwasser einher mit einer Mobilisation von Sulfat (Abbildung 62) und Eisen (Abbildung 64). Für die Anfangskonzentrationen nach Erreichen des Überlaufniveaus werden ähnliche Konzentrationen wie im Westfeld erwartet. Dies beruht zum einen natürlich darauf, dass für die Prognose dieselben mobilisierbaren Stoffpools wie für das Westfeld angesetzt wurden. Dennoch spricht die Ähnlichkeit der Entwicklungen trotz der unterschiedlichen Modellstruktur in den beiden Bergwerksteilen und auch der für Chlorid erwarteten Unterschiede dafür, dass die grundlegenden Auswaschprozesse davon nicht beeinflusst werden. Für diese Mobilisationsprozesse spielt es keine Rolle, ob die Salze durch mehr oder weniger salzhaltiges Wasser gelöst werden.

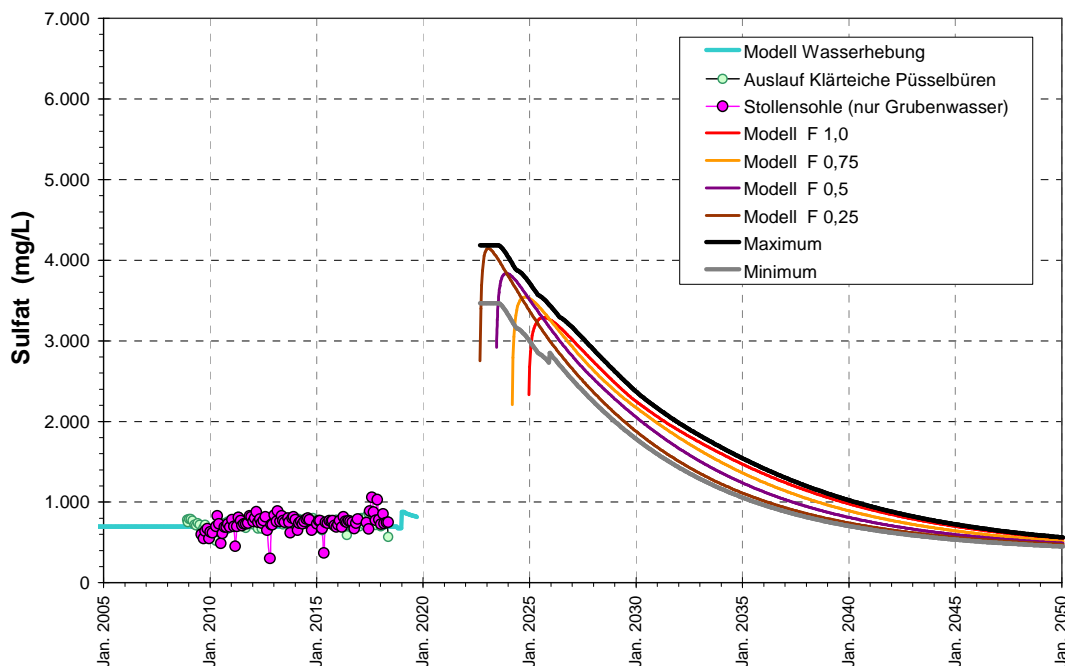


Abbildung 62: Konzentrationsentwicklung von Sulfat im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Die Sulfatgehalte der heute zulaufenden Grubenwässer sind niedriger als im Westfeld und nach Auswaschung der mobilisierten Oxidationsprodukte wird erwartet, dass sie sich im Bereich von 500 mg/L stabilisieren. Dies ist deutlich weniger als im Westfeld, wo die heute stabilen 1.800 mg/L wieder-

rum auf die intensive kontinuierliche Oxidation bei der Sickerwasserpas-
sage zurückzuführen sind. Für entsprechende Stoffumsätze liefern die heu-
tigen Sickerwässer im Ostfeld keine Anhaltspunkte, wo der Wasseranstieg
die Oxidationszone ja zudem weiter verkleinern wird.

Nach den Prognoseberechnungen heben sich bezüglich der Sulfatfrachten
die Effekte aus nach Wasseranstieg verminderten Wassermengen und er-
höhten Konzentrationen auf (Abbildung 63). Bereits relativ schnell etablieren
sich jedoch die erwarteten verminderten Frachten, so dass schließlich
ca. 10 % der Ausgangsmengen als Austrag verbleiben.

Im Gegensatz zu Chlorid sind die Unterschiede zwischen den beiden be-
trachteten Wasseranstiegsniveaus +63 mNN und 0 mNN nur gering. Es
wird zwar weniger bergbaulich überprägter Bereich eingestaut und so we-
niger Sulfat mobilisiert, jedoch sind die Abflussmengen größer. Tendenziell
sind so die Anfangsfrachten bei 0 mNN größer und auch nach Einstellung
von Gleichgewichtsbedingungen verbleibt bei geringeren Wasserständen
ein etwas höherer Sulfataustrag. Diese für Sulfat beschriebenen Effekte
sind für die gesamte Gruppe der mobilisierten Oxidationsprodukte bezüglich
dieses Wasseranstiegsvergleiches repräsentativ.

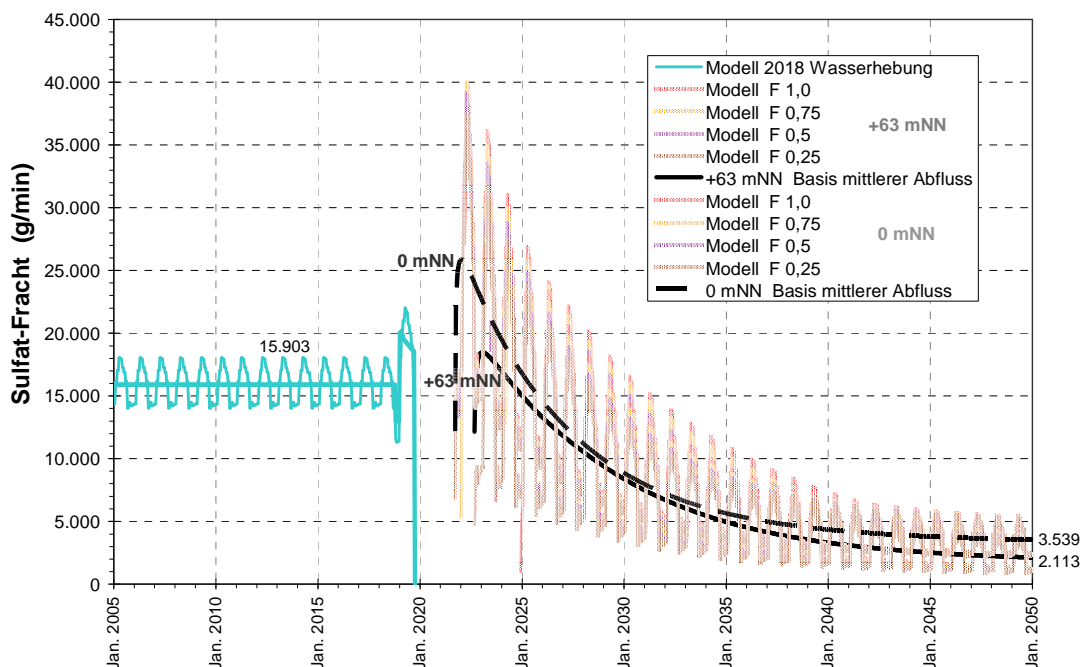


Abbildung 63: Frachtenentwicklung für Sulfat im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).

Ebenso wie Sulfat ist auch Eisen zum Teil in den Primärzuflüssen enthalten, wird aber vor allem als zweiter Hauptbestandteil von Pyrit beim Wasseranstieg mobilisiert und in der Folge aus den wassergefüllten Hohlräumen ausgewaschen. Die heute im Bergwerk angenommenen Wässer stellen ein Gemenge von echten Tiefenzuflüssen aus dem Gebirge, Abfluss aus Standwasserbereichen und Sickerwasser aus dem oberhalb gelegenen Gebirge dar. Wie auch für Sulfat darf so für Eisen angenommen werden, dass der heutige Zustand in den von der Karbonoberfläche zufließenden Wässern - d.h. in dem langfristig verbleibenden Zufluss - einen Maximalzustand darstellt. Hier werden auf der 3. Sohle ca. 40 mg/L als höchste Konzentrationen bestimmt. Die meisten anderen derartigen Zuflüsse enthalten überwiegend um 10 mg/L Eisen. Daraus darf gefolgert werden, dass auch die künftigen Gleichgewichtskonzentrationen im Ablauf aus dem Ostfeld in diesem Konzentrationsbereich liegen werden, was deutlich weniger ist als im Westfeld (180 mg/L). Demzufolge würden die zum Ende der Modellrechnungen dargestellten Konzentrationen, und dies ist an den noch abfallenden Kurven in Abbildung 64 auch erkennbar, noch keine Gleichgewichtsbedingungen widerspiegeln.

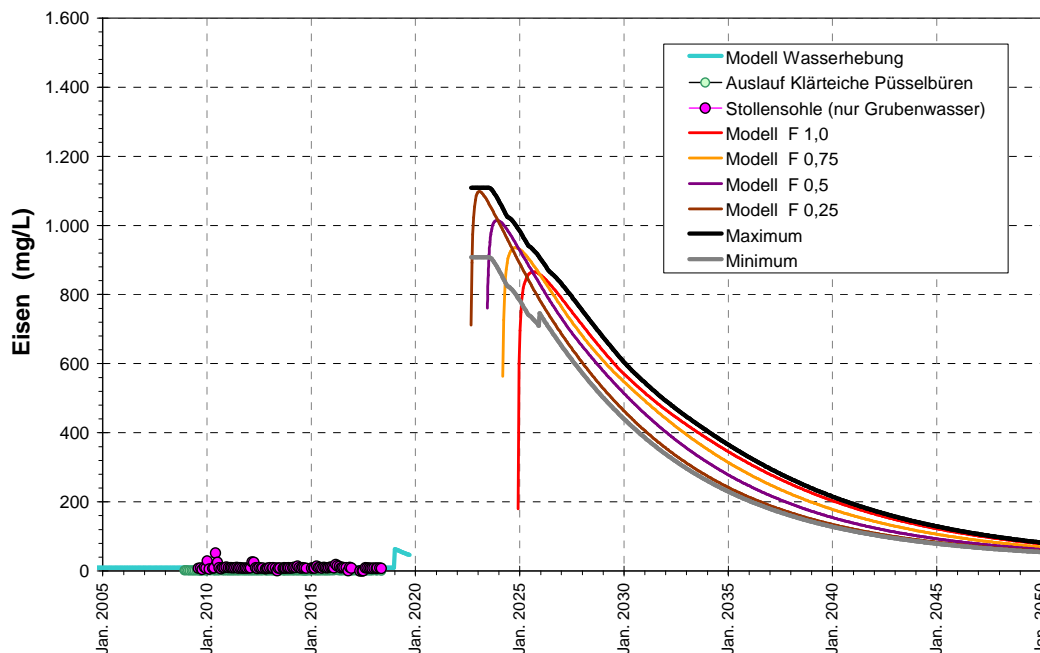


Abbildung 64: Konzentrationsentwicklung von Eisen im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Die Frachtentwicklungen für Eisen (Abbildung 65) sind typisch für solche Stoffe, die beim Wasseranstieg mobilisiert werden und heute in vergleichsweise geringen Konzentrationen im Grubenwasser enthalten sind (Sulfat

hat eine höhere Grundlast). Die meisten Spurenmetalle bewegen sich zwischen diesen Beispielen, weshalb auf weitere derartige Darstellungen verzichtet wird. Die Eisenfrachten werden sich zunächst deutlich erhöhen und auch langfristig im Niveau heutiger Frachten bleiben. Wie bereits bei Sulfat angeführt, modifizieren die Wasserstände 0 mNN und +63 mNN diesen Austrag nur unwesentlich.

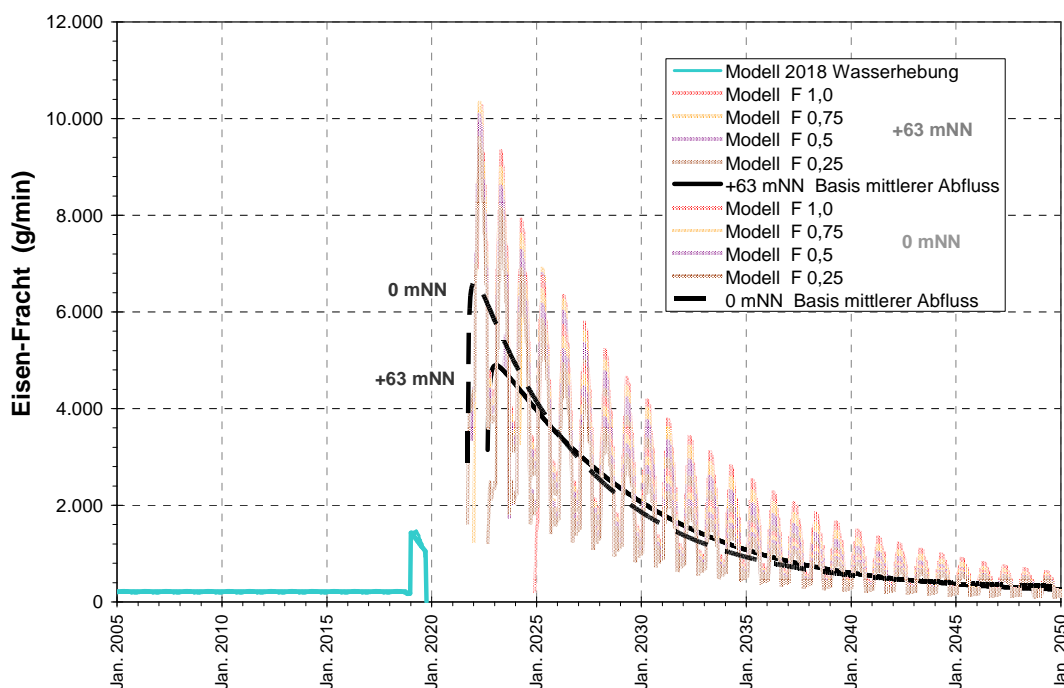


Abbildung 65: Frachtenentwicklung für Eisen im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen für +63 mNN und 0 mNN).

Bei den Eisen begleitenden Metallen entsprechen die Konzentrationsentwicklungen den für Eisen beschriebenen Rahmenbedingungen. Neben Mangan (Maximalkonzentration 28 mg/L), Zink (Abbildung 66: 3,1 mg/L) und Nickel (1,2 mg/L) sind dies in deutlich geringeren Konzentrationen auch Kupfer (Abbildung 67: 0,043 mg/L), Blei (0,013 mg/L) und Cadmium (0,002 mg/L). Hinsichtlich der erwarteten Mobilisation bereits in Folge früherer Pyritoxidation vorhandener leichtlöslicher Salze ist es unwesentlich, ob die Metalle primär aus Pyrit oder ähnlichen Sulfiden stammen oder sekundär aus Lösungsprozessen bei der Säurepufferung. Letzteres trifft neben Mangan auch auf die Hauptkomponenten Calcium und Magnesium zu, für die dementsprechend auch eine initiale Mobilisation während des Wasseranstiegs im Modell berücksichtigt wird. Calcium und Magnesium nehmen aufgrund ihrer auch in den Zuläufen vorhandenen Gehalte somit eine Zwischenstellung zwischen Primärsalzen (wie z.B. Chlorid) und den Oxidationsprodukten ein.

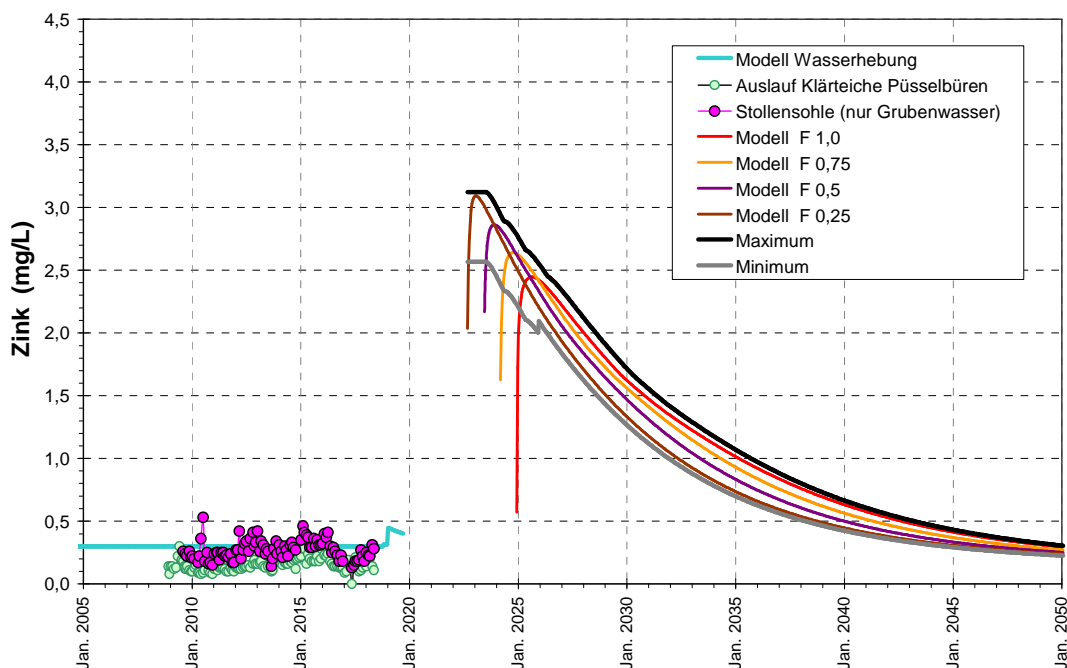


Abbildung 66: Konzentrationsentwicklung von Zink im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

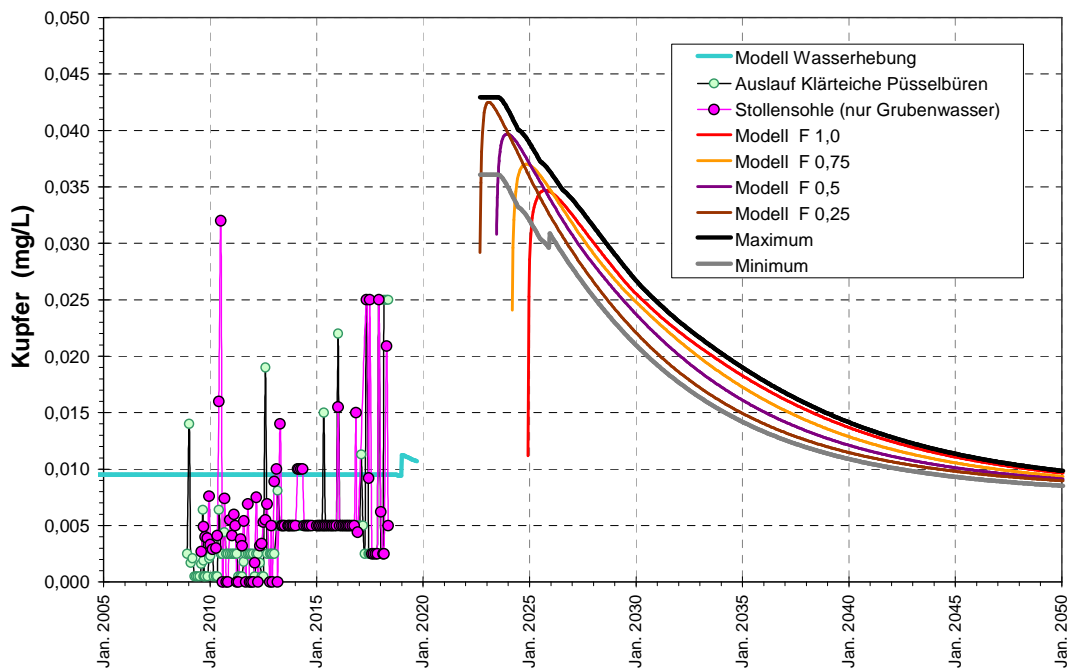


Abbildung 67: Konzentrationsentwicklung von Kupfer im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Die meisten der hier betrachteten Metalle werden, wie auch bei der Aufbereitung des Westfeld-Wassers festgestellt wurde, bei der Ausfällung von Eisenhydroxiden mit fixiert. Dies ist auch in den Monitoringdaten des

Ostfeldes zu beobachten, wo die Eisengehalte in den Püsselbürener Teichen passiv von ca. 10 mg/L auf weniger als 2 mg vermindert werden. Eine Konzentrationsminderung auf die Hälfte ist auch bei Zink zu beobachten. Daher waren für die Kalibrierung des heutigen Ostfeld-Wasserstammbaums auch die Beprobungen auf der Stollensohle ausschlaggebend.

Die in den Grafiken dargestellten Min-Max-Kurven stellen Modellunsicherheiten dar, nicht analytisch bedingte Schwankungen in den Monitoringdaten, wie sie insbesondere bei den gering konzentrierten Spurenkomponenten immer erkennbar auftreten. Dies wurde in den letzten Jahren verstärkt durch Änderungen in der Analytik, was zum Teil zu höheren Bestimmungsgrenzen aber auch zu einigen deutlich höheren Befunden geführt hat, was für die Kalibrierung des Ausgangszustandes eine Priorisierung von Datengruppen erfordert hat.

Für das in höheren Konzentrationen vorhandene Mangan und Zink (Abbildung 66) trifft dies weniger zu als z.B. für Kupfer (Abbildung 67). Blei und Cadmium erheben sich nach dem Wasseranstieg nur wenig über das heutige Konzentrationsniveau.

Es ist nochmal zu betonen, dass die hier erwartete Metallmobilisation untypisch für andere Reviere ist und in Zusammenhang mit den niedrigen pH-Werte als Resultat des Verhältnisses von Säureproduktionspotenzial und Pufferkapazität steht. Diese Versauerung ist für das Westfeld belegt und stellt einen wichtigen Faktor für die damit in Zusammenhang stehenden aber weniger gut dokumentierten Parameter dar.

5.2.3 Sonstige Parameter

Fast alle Stoffe im Grubenwasser lassen sich den beiden zuvor beschriebenen Gruppen zuordnen. Anders verhalten sich Grubenwasserinhaltsstoffe, die überwiegend an Partikel gebunden transportiert werden (also Partikel selbst, PCB und PCDM), die aber in einem separaten Bericht betrachtet werden.

Zu erwähnen wäre noch die Temperatur, die auch für die Ableitung in einen Vorfluter zu berücksichtigen ist. Zwar liegen keine Messungen für Temperaturen des aus dem Ostfeld gehobenen Grubenwassers vor und die Ableitung nach den Püsselbürener Teichen ist naturgemäß geringer (Abbildung 68, jahreszeitliche Einflüsse auf die gemessenen Temperaturen sind deutlich zu erkennen). Dennoch wurden anhand der Tiefenverhältnisse den jeweiligen Zuflüssen Temperaturen zugeordnet und die berechnete Mischtemperatur erscheint für das heutige Grubenwasser mit 25°C plausibel.

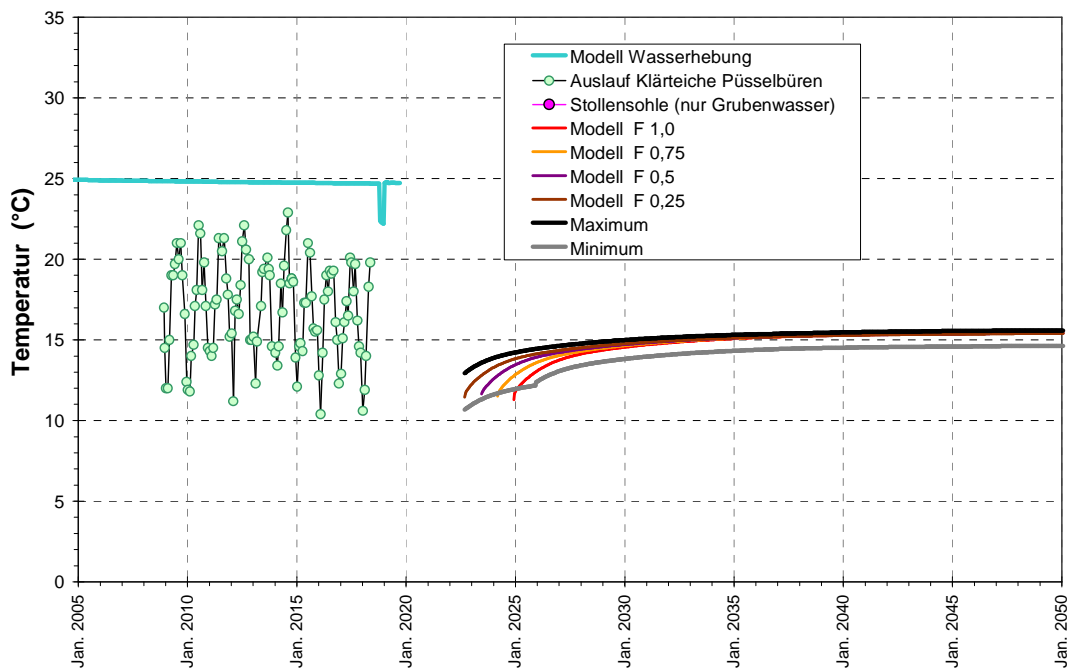


Abbildung 68: Temperaturentwicklung im Ostfeld (Monitoringdaten und Modellberechnungen).

Mit diesen Eingangsdaten errechnet sich nach dem Wasseranstieg eine Temperatur von ca. 15°C. Auch dies erscheint angemessen in Anbetracht der gegenüber dem Westfeld geringen Wassermengen und etwas höheren Flurabständen, wo im Ablauf des Dickenberger Stollens um die 13°C gemessen werden.

6 Zusammenfassung

Nach der Beendigung des Bergbaus im Ibbenbürener Ostfeld soll die Wasserhaltung eingestellt werden und das Grubenwasser ansteigen. Ziel ist es, zusammen mit den hochsalinaren Tiefenwässern auch grundwasserbürtige Zuläufe aus dem Umland in das Grubengebäude möglichst weitgehend zu reduzieren, um so über Abflussmengen und Konzentrationen die dauerhaften Auswirkungen der Grubenwasserableitung auf die Vorflut zu minimieren. Dazu ist ein Gleichgewicht des Wasserspiegels im Bergwerk mit den Speisungsgebieten der Zuflüsse erforderlich. Dass dieses hydraulische Konzept der Reduktion von Wasserzuflüssen durch Anheben des Wasserspiegels in der Grube wirkt, zeigt das Westfeld, in dem heute der Wasserspiegel bei ca. +65 mNN steht und sich die abgeleiteten Wassermengen im Zuge dieses Wasseranstiegs deutlich vermindert haben (von 15 auf 8 m³/min).

Es ist somit ein Zustand anzustreben, in dem die hydraulischen Gradienten des derzeit wasserhaltungsbedingt erzeugten Absenkungstrichters um das Bergwerk künftig möglichst gering sind, ohne dass die Höhenlagen der vorhandenen Stollen im Randbereich des Ostfeldes erreicht werden. Es galt daher ein Optimum bei der Planung eines künftigen Wasserstandes zu ermitteln.

Die Stilllegung des Bergbaus im Westfeld mit nachfolgendem Wasseranstieg und anschließender langjähriger Wasserannahme ab Ende 1982 auf einem konstanten Niveau stellt eine wichtige Erkenntnisgrundlage für die Planungen des Wasseranstiegs und der künftigen Wasserannahme im Ostfeld dar. So liegen nicht nur Daten zur Verminderung der Wassermengen sondern auch zur Entwicklung von Salzgehalten und zur Mobilisation von Oxidationsprodukten vor.

West- und Ostfeld weisen zwar viele Gemeinsamkeiten aber auch viele Unterschiede auf. Um in solchen bergbaulich geprägten Strukturen Prognosen für die Entwicklung der Grubenwasserspiegel und der -qualität zu erstellen, ist es erforderlich, die übertragbaren Einflussfaktoren zu identifizieren und vom Kalibrierbeispiel Westfeld auf das Ostfeld zu übertragen und gleichzeitig strukturelle und chemische Andersartigkeiten herauszustellen und deren Wirkungsweise zu bestimmen. Derart komplexe ineinander wirkende Zusammenhänge lassen sich nur mittels Modellen quantifizieren.

Daher wurde für die Ibbenbürener Karbonscholle ein Boxmodell erstellt, bei dem die Gruben-/Grundwasserströmung auf bergbaulichen Elementen wie

Strecken, Schächten, Bohrlöchern und Stollen abgebildet wird und die Wässer innerhalb von Grubenfeldern oder anderer homogener Einheiten als hydraulisch kurzgeschlossen betrachtet werden. Das Modell bildet mittels Eingangsdaten zahlreiche hydraulische, chemische und bergbauliche Parameter ab, für die umfangreiche Auswertungen zu Lagerstätte, Bergbau und Grubenwasser durchgeführt wurden. Besondere Bedeutung haben:

- Resthohlraumvolumen und dessen Verteilung
- Hydraulische Verbindungen
- Wasserzuflüsse mit Mengen, chemischer Zusammensetzung und Herkunft (Druckpotential)
- Stoffpool zur Mobilisation beim Wasseranstieg

Da bezüglich des auffüllbaren Hohlraumvolumens Unsicherheiten in der direkten Übertragbarkeit der Verhältnisse im Westfeld auf das Ostfeld existierten, wurden vier Varianten berechnet, die diese Hohlraumerweiterung oberhalb -74 mNN abgestuft übernehmen.

Die Bestandsaufnahme der Zuflüsse in das Ostfeld hatte ergeben, dass offensichtliche Abhängigkeiten zwischen Mineralisation, Herkunft und damit auch der Reaktion der Zuflussmengen auf einen Wasseranstieg bestehen. Gering salinare Wässer stammen überwiegend von der Karbonoberfläche, während Wasserzuflüsse aus dem Umland durch mit der Tiefe zunehmende Salzgehalte gekennzeichnet sind. Letztere Zuflüsse reagieren sensibel auf einen hydraulischen Gegendruck, der bei Auffüllung des Absenkungstrichters im Bergwerk erzeugt wird.

Erste Modellrechnungen mit dementsprechend parametrisierten Zuflusseigenschaften hatten ergeben, dass davon auszugehen ist, dass bei einem Wasserstand von 0 mNN das angestrebte hydraulische Gleichgewicht noch nicht erreicht ist und weiterhin tiefes, salzhaltiges Grundwasser dem Bergwerk zufließt. Dies ist in Anbetracht der Grundwasserstände im Umfeld auch plausibel und führt zu der Erfordernis, im Hinblick auf eine Optimierung der Wasserannahme, die mit einer Minimierung der dauerhaft abzuleitenden Stofffrachten gleichzusetzen ist, höhere Zielwasserstände im ehemaligen Bergwerk zu betrachten.

Aufgrund dessen wurden parallel auch Untersuchungen des oberflächennahen Grundwassers /8/ und des umgebenden Erzbergbaus /2/ durchgeführt. Nach diesen hydraulischen Untersuchungen werden mit Niveau +63 mNN die bekannten bergbaulichen Verbindungen in das Umland nicht überstaut und das Bergwerk im Ostfeld behält seine Drainagefunktion für das auf der Karbonscholle versickernde Wasser. Das Grundwasser zeigt darüber hinaus keine zusätzlichen Versinkungen von Grundwasser im

Randbereich des Karbonhorstes, so dass die Annahme von Druckwasserspiegeln unterhalb +63 mNN, was den Grundwasserständen im Umland entspricht, realistisch erscheint. Berechnungen für einen tiefen Wasserstand von 0 mNN wurde daher ein Wasseranstieg bis +63 mNN gegenüber gestellt.

Nach den durchgeführten Analysen, Bestandsaufnahmen und Modellrechnungen lässt sich der Wasserzufluss im Ostfeld so auf bis zu 4,5 m³/min verringern. Bei 0 mNN wird jedoch noch zusätzliches laterales fließendes Wasser in die dann erforderliche Pumpen-Wasserhaltung gezogen, so dass sich die Menge auf 6,5 m³/min erhöht.

Diese Wasserzuflüsse bringen Inhaltsstoffe mit sich und mobilisieren zusätzlich Stoffe aus dem eingestauten bergbaulich überprägten Gebirge. Die Ausspülung dieser Stoffe aus den wassererfüllten Hohlräumen bis zur Gleichgewichtseinstellung ist ein dynamischer, lang anhaltender Prozess, der stoffspezifisch unterschiedlich verläuft. Während die an den Wasseraustausch gekoppelte Ausspülung von Salzen nur ca. 10 Jahren dauert, dürfte der auch diffusionskontrollierte Austrag von Oxidationsprodukten erst nach 25 Jahren größtenteils abgeschlossen sein.

Die Modellberechnungen haben gezeigt, dass der nicht durchbaute und nur von wenigen Strecken bzw. Schächten durchfahrene Flözsprung ein wichtiges Merkmal des Ibbenbürener Ostfeldes darstellt. Zusammen mit den geringen Zuflüssen im tiefen Teil dieses Bergwerkes führen diese räumlichen Verhältnisse dazu, dass nach erfolgtem Wasseranstieg Wasserbewegungen dort kaum stattfinden und sich die beschriebene Auswaschung von gelösten Stoffen auf die oberen Grubenbaue und Flöze konzentriert.

Die zeitabhängige Entwicklung ist in diesem Bericht für wichtige Stoffgruppen und Parameter grafisch dargestellt worden. Tabelle 7 zeigt auf Basis dieser zeitlichen Entwicklungen abgeleitete Kennwerte für die künftig in einer Wasserentnahme aus dem Ostfeld erwarteten Grubenwassereigenschaften. Diese Werte sind statistisch auf Basis der Maxima (geringer pH-Wert ist mit hohem Säuregehalt gleichzusetzen) aus den vier Berechnungsvarianten abgeleitete Werte und sollten daher nicht ohne die Kommentare zu den jeweiligen Rahmenbedingungen und Stoffeigenschaften der vorhergehenden Kapitel bewertet werden.

Bedingt durch Zuflussverhältnisse und den Auffüllprozess der Hohlräume oberhalb des Flözsprunges zeigen sowohl die mit den Zuflüssen in die Hohlräume eingetragenen Salze als auch die dort mobilisierten Stoffe eine Auswaschung mit maximalen Konzentrationen kurz nach Beginn der

Wasserannahme. Daher ist bei allen Stoffen hier eine deutliche Abnahme der Konzentrationen mit der Zeit zu beobachten.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Modellergebnisse maximale erwartete Konzentrationen bei Wasserniveau +63 mNN und 0 mNN - Beginn Wasserannahme und 2050.

		BW aktiv	+ 63 mNN		0 m NN	
		Wasserhalt.	Annahme- beginn	2050	Pumpbeginn	2050
Zeitpunkt	von		Sept. 2022	-	Sept. 2021	-
Wasserannahme	bis		Dez. 2024	-	März 2022	-
Wassermenge	m ³ /min	22,83	4,46		6,53	
Temperatur	°C	24,7	14,2	15,6	15,5	16,3
pH		7,0	3,4	6,3	4,3	6,4
Natrium	mg/L	12.687	3.213	148	4.559	1.864
Kalium	mg/L	72	20	4,9	29	15,7
Calcium	mg/L	655	629	155	736	271
Magnesium	mg/L	187	195	44	219	69
Eisen	mg/L	9,3	1.109	82	1.102	55
Mangan	mg/L	1,2	28,0	3,4	27,9	2,8
Zink	mg/L	0,3	3,1	0,3	3,2	0,3
Blei	mg/L	0,015	0,013	0,002	0,014	0,003
Nickel	mg/L	0,040	1,216	0,113	1,212	0,086
Cadmium	mg/L	0,0010	0,0020	0,0002	0,0023	0,0004
Kupfer	mg/L	0,010	0,043	0,010	0,042	0,009
Chrom	mg/L	0,010	0,015	0,001	0,015	0,002
Barium	mg/L	0,615	0,149	0,032	0,190	0,083
Strontium	mg/L	13,0	3,7	1,2	5,3	3,0
Bor	mg/L	0,63	0,19	0,09	0,31	0,22
Ammonium	mg/L	9,2	2,0	0,19	2,9	1,25
Chlorid	mg/L	20.671	5.065	252	7.338	3.134
Sulfat	mg/L	697	4.186	561	4.255	565
Hydrogenkarbonat	mg/L	347	217	187	231	204
Bromid	mg/L	10,5	2,8	0,48	3,9	1,84
Nitrat	mg/L	2,9	1,8	0,94	1,8	1,03
Nitrit	mg/L	0,362	0,091	0,011	0,132	0,057
Phosphat	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Relevante Bezugsgröße zur Einstufung dieser Veränderungen sind die heute im Grubenwasser des aktiven Bergwerkes enthaltenen Konzentrationen. Hier ist zwischen zwei Parametergruppen zu unterscheiden. Stoffe die ausschließlich oder überwiegend mit dem Grubenwasser in die Bergwerkshohlräume gelangt sind (Na, K, (Ca, Mg), B, NH₄, Sr, Cl, Br), werden bereits zu Beginn der Wasserannahme deutlich gegenüber heute verminderte Konzentrationen aufweisen. In den Folgejahren nehmend die Gehalte nochmals

ab. Für Stoffe die - überwiegend in Folge der Pyritoxidation - durch das Grubenwasser aus dem Gebirge mobilisiert werden (Eisen, Sulfat, sonstige Spurenmetalle wie z.B. Mn, Zn, Ni), werden zunächst zum Teil deutlich gegenüber heute erhöhte Konzentrationen erwartet, die dann vergleichsweise langsam abnehmen aber schließlich ebenfalls Werte unterhalb der heute gemessenen erreichen.

In der Zusammenstellung der verschiedenen Parameter wird zudem deutlich, dass insbesondere bei den o.g. Salzen sowohl die erwarteten Maximalgehalte aber vor allem die Konzentrationen nach ca. 25 Jahren Wasserentnahme bei einem Wasserstand von 0 mNN deutlich größer sind als bei einem höheren Wasserstand (+63 mNN). Dieser Effekt verstärkt sich nochmals bedingt durch die bei tiefer Wasserhaltung größeren Wassermengen bei Betrachtung der Frachten (Tabelle 8).

Tabelle 8: Zusammenstellung der Modellergebnisse maximale erwartete Frachten bei Wasserniveau +63 mNN und 0 mNN - Beginn Wasserannahme und 2050.

		BW aktiv Wasserhalt.	+ 63 mNN		0 m NN	
			Annahme- beginn	2050	Pumpbeginn	2050
Zeitpunkt	von		Sept. 2022	-	Sept. 2021	-
Wasserannahme	bis		Dez. 2024	-	März 2022	
Wassermenge	m³/min	22,83	4,46		6,53	
Natrium	g/min	289.606	14.189	599	19.696	12.046
Kalium	g/min	1.655	90	21	137	101
Calcium	g/min	14.962	2.779	650	4.079	1.744
Magnesium	g/min	4.259	861	180	1.210	444
Eisen	g/min	212	4.895	256	6.154	320
Mangan	g/min	28	123	13	158	17
Zink	g/min	7	14	1,1	18	1,9
Blei	g/min	0,344	0,058	0,006	0,075	0,019
Nickel	g/min	0,91	5,37	0,38	6,81	0,52
Cadmium	g/min	0,022	0,009	0,001	0,013	0,003
Kupfer	g/min	0,217	0,190	0,040	0,243	0,054
Chrom	g/min	0,226	0,065	0,005	0,081	0,013
Barium	g/min	14,04	0,66	0,14	0,76	0,54
Strontium	g/min	296	16	5,2	25	19,3
Bor	g/min	14,37	0,82	0,40	1,62	1,42
Ammonium	g/min	209,4	8,9	0,8	11,6	8,1
Chlorid	g/min	471.863	22.368	1.046	31.652	20.266
Sulfat	g/min	15.903	18.484	2.111	23.994	3.538
Hydrogenkarbonat	g/min	7.920	958	798	1.373	1.305
Bromid	g/min	240,7	12,5	2,1	17,4	11,9
Nitrat	g/min	65,9	7,8	4,2	8,7	6,7
Nitrit	g/min	8,26	0,40	0,05	0,56	0,37
Phosphat	g/min	1,23	0,23	0,22	0,34	0,34

Abbildung 69 veranschaulicht diesen Vergleich zwischen den beiden betrachteten Wasserständen als künftig verbleibenden Stofffrachtenanteil der heute noch abgeleiteten Mengen. Für alle Wasserinhaltsstoffe stellen sich die höheren Wasserstände als langfristig günstiger dar. Deutlich grenzen sich die Primärsalze (Natrium bis Nitrit) mit deutlich geringeren Restgehalten von den mobilisierten Pyritbestandteilen (rechts im Diagramm) ab.

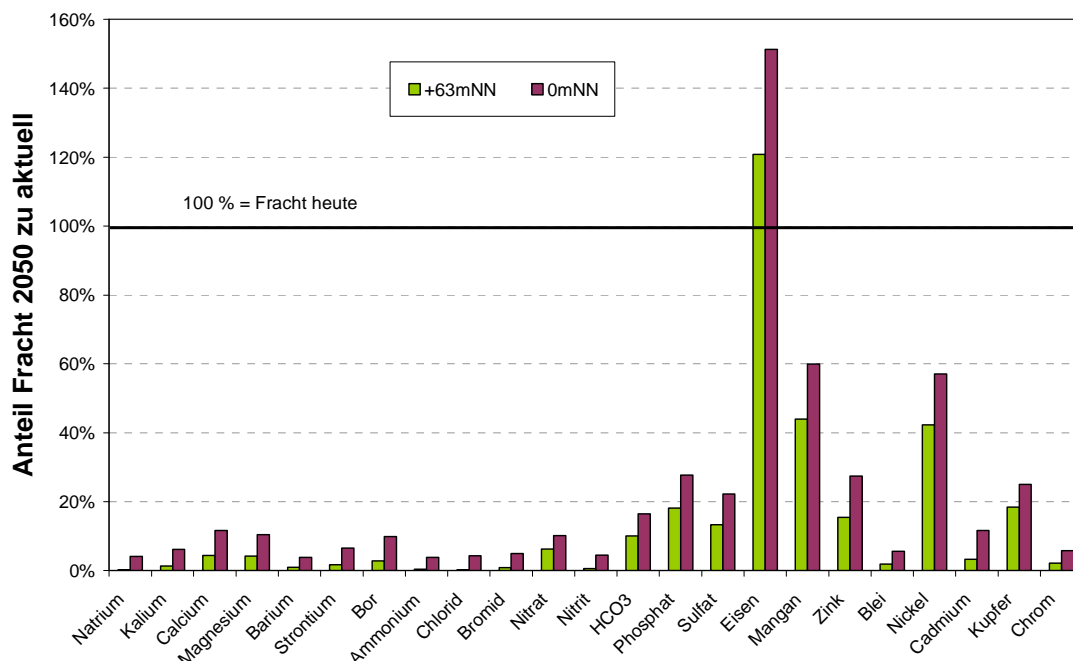


Abbildung 69: Vergleich der nach Wasseranstieg (Zeitpunkt Ende Modellrechnung 2050) in verschiedenen Niveaus im Grubenwasserabstrom verbleibenden Frachten.

Dass das Modell die Auswaschung auch 2050 noch nicht ganz abgeschlossen berechnet, ist an immer noch erhöhten Eisenfrachten zu erkennen, auch wenn die intensive Auswaschung auf die ersten Jahre nach Wasserannahme beschränkt ist. Bei der Bewertung solcher Gehalte ist zu berücksichtigen, dass hier die aus der Grube abfließende Wasserzusammensetzung dargestellt ist. Für die Metalle sowie Sulfat ist allerdings vor der Ableitung in die Vorflut eine entsprechende Aufbereitung und somit Minderung von Konzentrationen und Frachten vorgesehen. Von daher tritt deren Bedeutung hinsichtlich der Relevanz für die Vorflutbelastung in den Hintergrund.

Im direkten Vergleich der wasserstandabhängig verbleibenden Frachten existieren deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Stoffen (Abbildung 69). Ausschlaggebend für die grundsätzlich bei höheren Wasserständen geringen Salzfrachten sind die geringeren die Grube durchströmenden Wassermengen. Die stoffspezifischen Unterschiede basieren auf

ihrer Verteilung auf die Zuflüsse sowie der Dynamik der Auswaschung. Besonders effektiv stellt sich der höhere Wasserstand für Natriumchlorid dar. Aber auch die anderen gut löslichen Wasserinhaltsstoffe, die durch eine Wasseraufbereitung nicht beeinflusst werden, werden so langfristig einem Eintrag in die Umwelt entzogen.

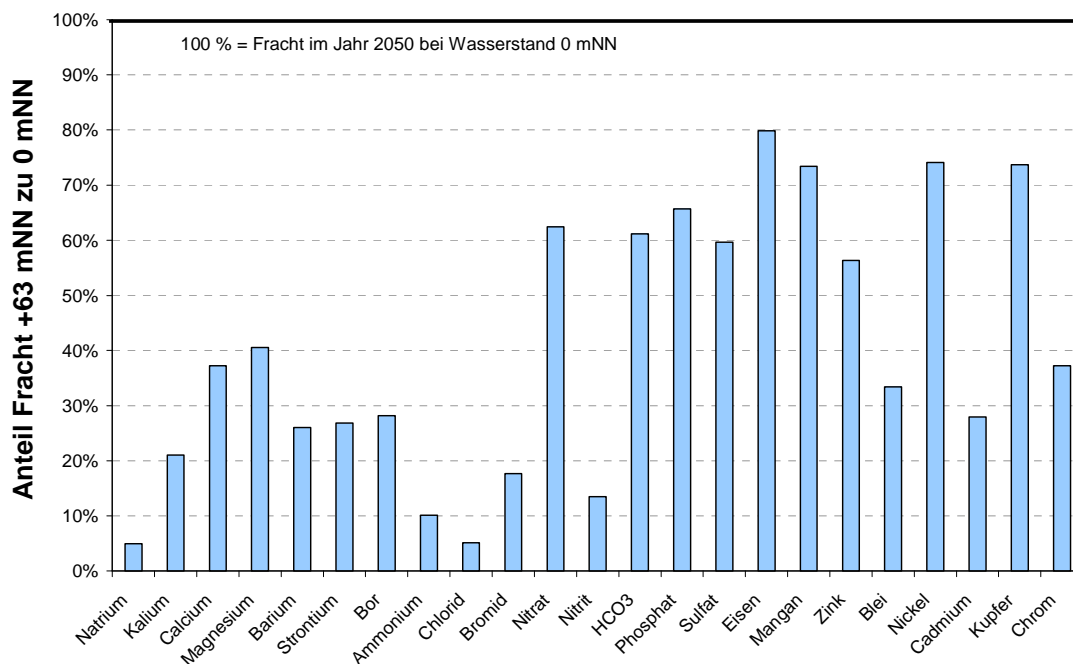


Abbildung 70: Anteil der bei Wasseranstieg auf +63 mNN gegenüber 0 mNN verbleibenden Frachten (Zeitpunkt Ende Modellrechnung 2050).

Unter qualitativen Gesichtspunkten ist ein möglichst hoher Wasserstand deshalb als günstig hinsichtlich des Stoffaustrages zu bewerten. Hierdurch wird die Oxidationszone (wasserungesättigte Zone) verkleinert und so die permanente Eisenmobilisation mit dem Sickerwasser vermindert. Eine sukzessive Anhebung der Wasserstände führt zu einem vermehrten Zustrom von salzhaltigerem Wasser in die Hohlräume, das dann im Zuge der Auswaschung auch wieder in die Grubenwasserableitung gelangt. Zur Minimierung von Salz aus dem der Ausspülung ausgesetzten Grubengebäude oberhalb des Flözsprunges würde sich ein schneller Anstieg am günstigsten für die Wasserannahme auswirken.

7 Fazit

Offensichtlich ist nach anderweitigen Untersuchungen ein Wasseranstieg bis auf +63 mNN möglich, ohne dass, außer der Wasserannahme über die Oeynhausens-Schächte, sonstige Austritte von Grubenwasser, sei es über Stollen oder diffus über das Grundwasser, zu erwarten sind.

Der Grubenwasseranstieg bis in dieses Niveau erfolgt aufgrund großer Zuflussmengen innerhalb weniger Jahre. Die im Wasseranstieg verminderten hydraulischen Gradienten in das ehemalige Bergwerk führen zu einer Verminderung der zufließenden Wassermengen. In Analogie zum Westfeld ist der Gradient von Grund- und Tiefenwasser in Richtung Grube bei +63 mNN vollständig aufgehoben und es fließt nur noch Sickerwasser von der Oberfläche der Karbonscholle in das als Drainage wirkende Grubengebäude. Bei tieferen Wasserständen (z.B. 0 mNN) ist dies noch nicht der Fall und es verbleiben tiefere salzhaltige Zuflüsse in das Ostfeld.

Die Stoffkonzentrationen im Grubenwasser werden innerhalb der ersten Jahre nach Beginn der Wasserhebung ein Maximum aufweisen. Unter Berücksichtigung der räumlichen Rahmenbedingungen, der Wasseranstiegs-historie und der Stoffeigenschaften kann dies zwei Ursachen haben:

- Bei dem Wasseranstieg haben sich salzhaltige Wässer aus tieferen Zuflüssen in Bereichen gesammelt, die anschließend durch andere Wässer ausgetauscht werden.

Die Gehalte dieser Stoffgruppe sind schon zu Beginn der Wasserannahme deutlich reduziert und werden sich in der Folge überproportional vermindern.

- Bei dem Wasseranstieg werden Produkte der Pyritoxidation bzw. Stoffe, die bei der Abpufferung der dabei gebildeten Schwefelsäure mobilisiert werden, freigesetzt.

Hier werden die Konzentrationen auf Gehalte ähnlich der heute gemessenen absinken, wobei dieser Prozess vermutlich mehrere Jahrzehnte anhalten wird. Allerdings unterschreiten die ausgetragenen Frachten aufgrund der verringerten Grubenwassermengen z.T. schon deutlich früher das heutige Emissionsniveau. Die Sulfatausträge werden trotz der erhöhten Konzentrationen auch zu Beginn der Wasserannahme im Bereich der heutigen Mengen liegen.

Metalle wie auch Sulfat sind Gegenstand der Wasseraufbereitung, weshalb den dort nicht ausfällten leicht löslichen Salzen eine besondere Bedeutung am Ort der Freisetzung zukommt. Der Wasseranstieg im Ostfeld hat daher grundsätzlich einen positiven und dauerhaft vermindern Einfluss auf die zu hebenden Wassermengen und die ausgetragenen Stofffrachten.

