

**Ergebniskurzbericht
zur Grubenwasserentwicklung Walsum nach
Einstellung der Wasserhaltung Concordia
- Datenstand März 2021 -**

Auftraggeber: RAG Aktiengesellschaft
Im Welterbe 10
45141 Essen

Bestellung:

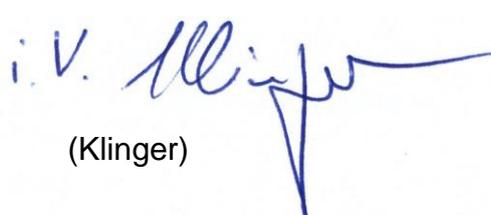
Sachverständiger: Dr. C. Klinger
P. Rüterkamp
T. Steinmetz

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

DMT-Bearbeitungs-Nr.: GEE5-2017-00801 (8115371288)

Essen, den 30.06.2021

DMT GmbH & Co. KG



(Klinger)



(Rüterkamp)

Dieser Bericht besteht aus 49 Seiten.



DIN EN ISO
9001
zertifiziert

DIN EN ISO
14001
zertifiziert

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
1 Einleitung	5
2 Beschreibung des Untersuchungsraumes	6
3 Prognose Wasserhaltung Walsum	8
3.1 Hydraulische Verhältnisse	8
3.1.1 Wasseranstieg	9
3.1.2 Wassermengen.....	10
3.1.3 Einfluss des Wasserstandes auf die Wasserzusammensetzung	12
3.2 Modellprognose Grubenwasserqualität	16
3.2.1 Salze	17
3.2.2 Barium und Sulfat	20
3.2.3 Sonstige von Pyritoxidation beeinflusste Stoffe	25
3.2.4 Sonstige Parameter	32
3.3 Modellprognose PCB-Austrag	33
3.3.1 PCB-Abbau.....	34
3.3.2 Schwebstoffgehalte	36
3.3.3 PCB.....	38
4 Zusammenfassung.....	44

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abbildung 1:	Darstellung des Betrachtungsraumes als Boxmodell mit den hydraulisch wirksamen Verbindungen.	6
Abbildung 2:	Wasserstände und Fließrichtungen heute (oben) und nach Einstellung der Wasserhaltung Concordia (unten).	7
Abbildung 3:	Lotungswerte und Modellanstiegskurven für den gesamten Untersuchungsbereich.	9
Abbildung 4:	Lotungswerte und Modellanstiegskurven für die Wasserhaltungen Walsum und Concordia sowie das ehem. BW West zwischen -800 und -700 mNHN.....	10
Abbildung 5:	Gehobene Wassermengen an den Standorten West, Walsum und Concordia während des aktiven Bergbaus und nach Stilllegung.	11
Abbildung 6:	Schematischer Schnitt der Schachtanlage Walsum 1/2 mit 4. und 5. Sohle.....	12
Abbildung 7:	Konzentrationsentwicklungen für Chlorid (Modell und Monitoring) in Korrelation mit den Wasserständen in Schacht Walsum 2.	13
Abbildung 8:	Konzentrationen und Wasserstände von typischen Salzkomponenten in Proben aus Schacht Walsum 2.....	14
Abbildung 9:	Konzentrationen und Wasserstände von typischen mit der Pyritoxidation korrelierten Stoffen in Proben aus Schacht Walsum 2.	15
Abbildung 10:	Konzentrationsentwicklungen für Chlorid (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	18
Abbildung 11:	Konzentrationsentwicklungen für Kalium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	19
Abbildung 12:	Konzentrationsentwicklungen für Ammonium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	19
Abbildung 13:	Konzentrationsentwicklungen für Sulfat (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	21
Abbildung 14:	Konzentrationsentwicklungen für Barium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	21
Abbildung 15:	Konzentrationsentwicklungen für Strontium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	22
Abbildung 16:	Konzentrationsentwicklungen für Barium und Sulfat in der Wasserhebung Walsum für verschiedene Reaktions- und Ausfällungsvarianten.....	23
Abbildung 17:	pH-Entwicklungen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	26
Abbildung 18:	Konzentrationsentwicklungen für Eisen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	27
Abbildung 19:	Konzentrationsentwicklungen für Mangan (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	28

Abbildung 20:	Konzentrationsentwicklungen für Zink (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	29
Abbildung 21:	Konzentrationsentwicklungen für Kupfer (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	30
Abbildung 22:	Konzentrationsentwicklungen für Calcium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	31
Abbildung 23:	Konzentrationsentwicklungen für Hydrogenkarbonat (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	32
Abbildung 24:	Temperaturentwicklungen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	33
Abbildung 25:	Verteilung der 1964-1984 mit PCB-Einsatz betriebenen Bauhöhen im Untersuchungsraum.	35
Abbildung 26:	Verteilung der 1964-1984 mit PCB-Einsatz betriebenen Bauhöhen in der Wasserprovinz Concordia mit dem vom Wasseranstieg betroffenen Zentralbereich.	36
Abbildung 27:	Konzentrationsentwicklungen für partikuläre Feststoffe (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.	37
Abbildung 28:	Entwicklungen für PCB-Gehalte am Feststoff (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum. ...	39
Abbildung 29:	Konzentrationsentwicklungen für PCB (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum.	41
Abbildung 30:	Konzentrationsentwicklungen für PCB-52 (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum (logarithmische Skala entspr. Abbildung 29.	43
Abbildung 31:	Konzentrationsentwicklungen für PCB-52 (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum (lineare Skala).	43

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1:	Konzentrationen in der Wasserhebung Walsum im Hinblick auf die Auswirkungen eines Wasserübertrittes aus der Wasserprovinz Concordia.	46
Tabelle 2:	Konzentrationen des aus der Wasserprovinz Concordia abfließenden Wassers im Vergleich von heutiger Wasserhebung und künftigem Wasserübertritt nach Wehofen/Walsum.	48

1 Einleitung

Nachdem die Grubenwasserhaltung Walsum in 2016 zunächst nur mit Zuflüssen aus dem ehemaligen BW Walsum ihren Betrieb aufgenommen hatte, werden seit 2019 mit dem Erreichen des Wasserübertrittsniveaus von ca. -700 mNHN auch die Grubenwässer aus dem ehemaligen BW West an diesem Standort gehoben. Das Wasser fließt somit wie geplant unter dem Rhein durch das Binsheimer Feld der Wasserhaltung zu.

Für die Flutung der Bergwerke West und Walsum wurde 2006, vor Einstellung der Wasserhaltungen, eine erste Bestandsaufnahme der Grubenwassersituation vorgenommen. Prognostiziert wurden die Zuflussmengen sowie die künftige Entwicklung der Grubenwasserqualität für verschiedene Szenarien. Auf Basis von Messungen zum Verlauf des Wasseranstiegs Walsum bis -770 mNHN, mehrerer Schöpfproben aus dem Schacht sowie eines überarbeiteten Wasserstammbaums für das BW West erfolgte 2014 eine Aktualisierung der Flutungsprognose.

Mit der Dokumentation des Wasseranstiegsverlaufes und nach einjährigem Monitoring des gehobenen Mischwassers lag eine gegenüber früheren Prognosen deutlich verbesserte Datenbasis vor, um eine Einschätzung von Wirkfaktoren der Ist-Situation sowie der weiteren Entwicklung an diesem Standort im Rahmen einer Modellkalibrierung vorzunehmen. Diese schließt den geplanten Übertritt des bislang am Standort Concordia gehobenen Grubenwasser ein, wo die Wasserhaltung zum Ende des Jahres 2021 eingestellt werden soll.

Während die hydraulischen Bedingungen der gemeinsamen Wasserhaltung Walsum – West bereits stationär erscheinen, weist die hydrochemische Entwicklung einiger Parameter noch eine sehr dynamische Entwicklung auf. Dies betrifft vor allem das aus der Pyritoxidation stammende und im Wasseranstieg mobilisierte Sulfat und das in reaktiver Wechselwirkung dazu stehende Barium. Diese Ergebnisdokumentation beschreibt die auf Basis der bis März 2021 vorliegenden Daten angepassten Modellprognosen. Dies beinhaltet die weitere Entwicklung im Mischwasser Walsum – West sowie den nach 2021 erwarteten Übertritt der aus dem Einzugsbereich Concordia stammenden Grubenwässer in eine gemeinsame Wasserhaltung Walsum – West – Concordia.

Ein ausführlicher Bericht mit detaillierter Beschreibung des Modells, der Modellkalibrierung sowie ggf. aktualisierter Datengrundlage wird zu einem späteren Zeitpunkt erstellt.

eich (Abbildung 2). Den randlich angeschlossenen Baufeldern werden aufgrund der jeweiligen Verbindungen bereits heute höhere Wasserstände zugeordnet, als dem künftigen Wasserübertritt nach Norden. Sie bleiben von der geplanten Maßnahme daher genauso unbeeinflusst, wie die heute schon nach Walsum entwässernde Restprovinz West – Walsum.

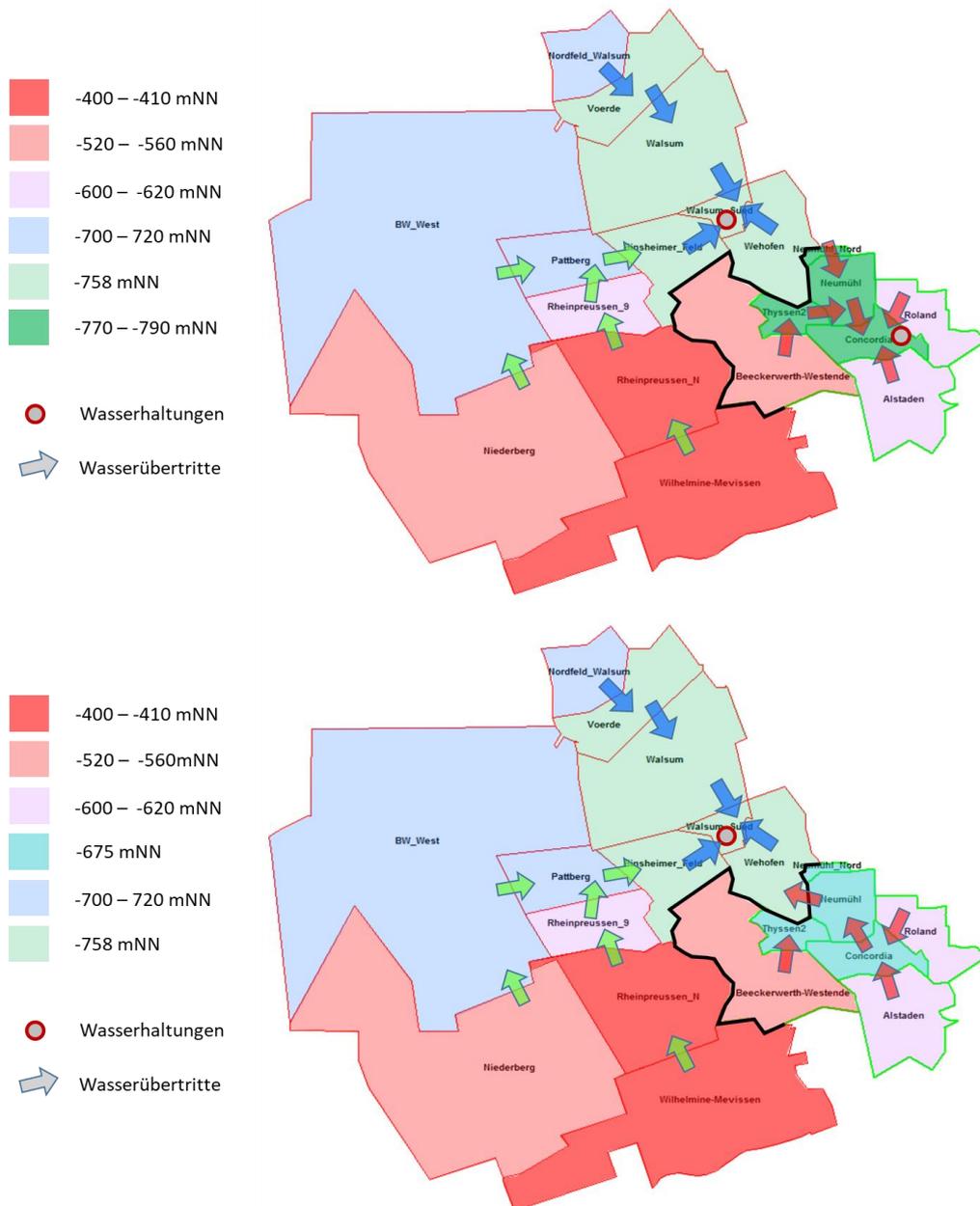


Abbildung 2: Wasserstände und Fließrichtungen heute (oben) und nach Einstellung der Wasserhaltung Concordia (unten).

Diese Rahmenbedingungen sind insofern von Bedeutung, als daraus bereits ersichtlich wird, dass sich die künftig nach Walsum abfließenden Grubenwässer in Menge und Zusammensetzung (abgesehen von der zeitlich

befristeten Überprägung durch mobilisierte Oxidationsprodukte) nicht grundlegend von dem heutigen Zustand unterscheiden werden.

3 Prognose Wasserhaltung Walsum

Die aktuellen Prognosen zur künftigen Entwicklung des am Standort Walsum gehobenen Grubenwasser umfassen die Trends für die aktuelle Situation und die Beeinflussung durch einen künftigen Wasserzufluss aus dem Einzugsbereich Concordia. Gegenüber früheren Prognosen können sich diese Untersuchungen auf eine deutlich verbesserte Datenbasis insbesondere für die Einzugsbereiche Walsum und West stützen:

Walsum Monitoring Grubenwasserhebung in der Betriebsphase, Bestandsaufnahme Hauptzuflüsse vor Schließung, Wasseranstieg bis -740 mNHN mit Schöpfproben, Qualitätsmonitoring während Hebung erst nur der Walsum-Zuflüsse und dann des Mischwassers mit West

West Monitoring Grubenwasserhebung in der Betriebsphase, Bestandsaufnahme Hauptzuflüsse vor Schließung, Wasseranstieg Niederberg, Wasseranstieg West bis -700 mNHN, Qualitätsmonitoring in Mischung mit Walsum-Wasser

Concordia: Analysen aus dem Betriebszeitraum der Einzelbergwerke bis zur Schließung, Monitoringdaten Wasserhaltung -805 mNHN bis 2006, Monitoring Wasserhaltung nach Wasseranstiegsversuch 2006 im Niveau -790 mNN (ausgewählte Parameter), Monitoring gemäß WRRL ab 2008

Während Concordia seit mehreren Jahrzehnten ± konstante Wasserstände mit stationären Zuflussbedingungen zur Verfügung stellt, lagen für Walsum und West zuvor vor allem Daten aus dem Betriebszeitraum der Bergwerke vor, die immer durch untertägliches Wassermanagement und Betriebswasseranteile beeinflusst und schwierig zu interpretieren sind.

3.1 Hydraulische Verhältnisse

Die Wasserprovinz weist eine komplexe bis in die 60er Jahre zurückreichende Stilllegungshistorie auf, deren Anfänge durch die 1988 startende Modellierung nicht vollständig nachgebildet werden. Die aktuelleren und in die Kalibrierung bereits einfließenden Wasseranstiege fanden in Wehofen (ab 2000) und Niederberg (ab 2002) statt. Im Fokus der Untersuchungen standen jedoch die Prozesse, die dem endgültigen Rückzug Walsum 2009 und West 2012 folgten.

3.1.1 Wasseranstieg

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die vorliegenden Messwerte und die diesen folgenden Modellkurven. Der in Abbildung 4 gezeigte Ausschnitt für die zentralen Kontrollpunkte West, Walsum und Concordia belegt, wie sich die Wasserstände in den Lotungspunkten Friedrich Heinrich, Rossenray und Pattberg mit Beginn des Jahres 2020 stabilisiert haben. Auf -707 mNHN befindet sich der Hauptübertritt, während eine tiefere Verbindung (Abbauannäherungen zwischen -735 und -697 mNHN, vgl. Abbildung 1) bereits seit 2018 einen geringfügigen Abfluss nach Walsum ermöglichen sollte. Dass dieser Durchlass tatsächlich existiert, deuten die Auswertungen zu den auf Walsum gehobenen Wassermengen an (s.u. und Abbildung 5).

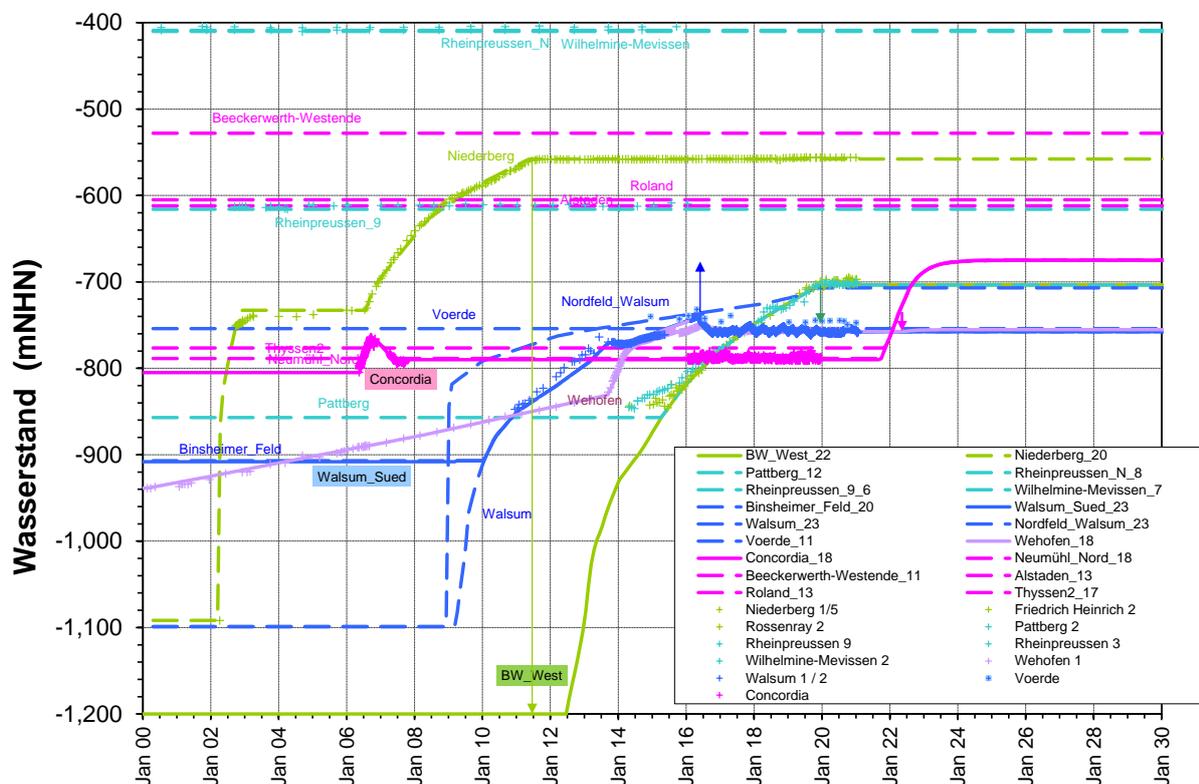


Abbildung 3: Lotungswerte und Modellanstiegskurven für den gesamten Untersuchungs-bereich.

Hervorzuheben ist noch, dass die Modellprognose für Concordia einen Wasseranstieg bis auf -675 mNHN und damit über das Niveau des aus Abbauannäherungen bestehenden Wasserübertritts (zwischen -742 und -706 mNHN) und auch der auf Walsum gehaltenen Wasserstände ausweist. Der Abfluss des Concordia-Wassers über diese Verbindung erfordert einen Überstau, der von der Zuweisung der Durchleitfähigkeit für diese Verbindung abhängt. Dieser Leitwert basiert auf an anderer Stelle abgeleiteten

empirischen Annahmen und kann durch Überwachung des Grubenwasseranstiegs im Modell angepasst werden. Im Niveau -675 mNHN wird zudem eine weitere Verbindung erreicht, die eine zusätzliche Abflussoption bietet.

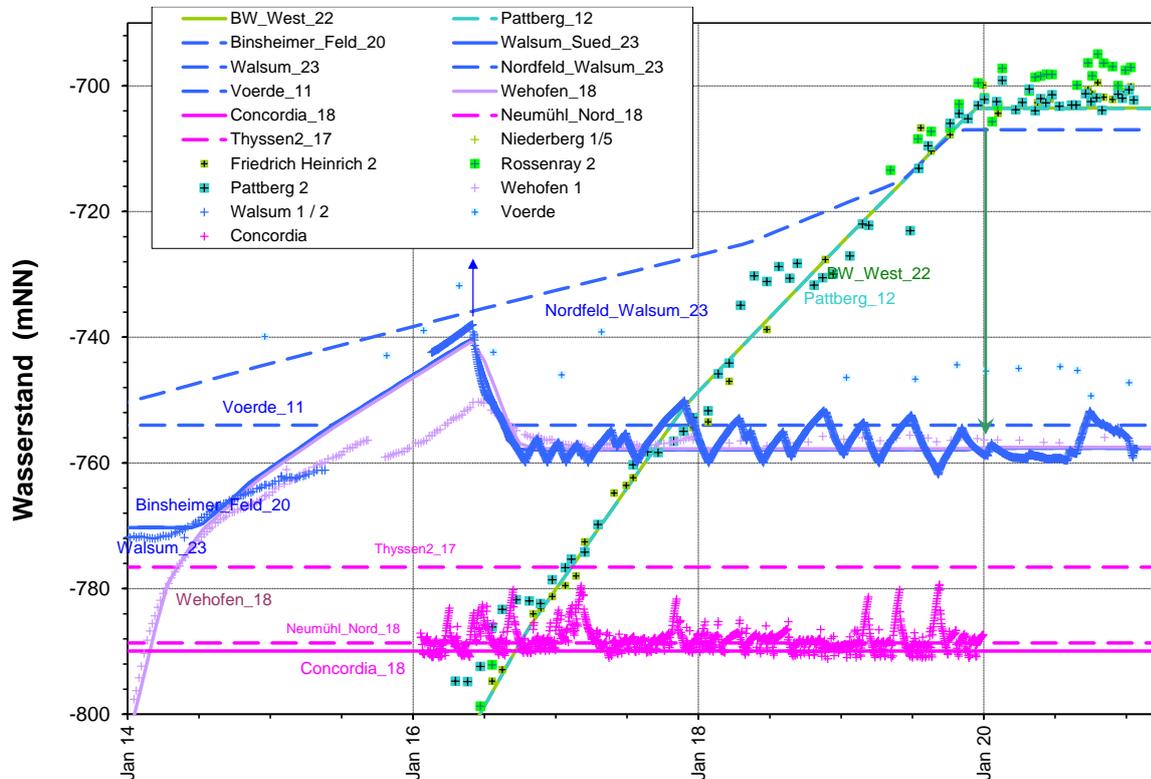


Abbildung 4: Lotungswerte und Modellanstiegskurven für die Wasserhaltungen Walsum und Concordia sowie das ehem. BW West zwischen -800 und -700 mNHN.

3.1.2 Wassermengen

Während der nunmehr 5-jährigen Wasserhebung konnten insbesondere verlässliche Daten zu den Wassermengen gewonnen werden, was aufgrund der zunächst erfolgten Überstauung des Zielniveaus und der zyklischen Wasserhebung eine längere Beobachtungsperiode erforderte. Diese Wassermengen bilden zudem einen Fixpunkt für die Überprüfung der dem Wasseranstiegsbereich zugeordneten Resthohlraumvolumina.

Für das aus dem ehem. BW Walsum stammende Grubenwasser konnten die ca. 3 m³/min, die im Rückzug als geogenes Grubenwasser identifiziert wurden, sehr präzise bestätigt werden (Abbildung 5). Nach 2018 nehmen die Mengen leicht zu, was auf den tiefen Wasserübertritt von West (s.o.) zurückgeführt werden kann.

Die Diskrepanz zwischen gehobenen Wassermengen während der Betriebsphase und nach Rückzug aus dem Grubengebäude wird besonders aufgrund der Daten für das BW West im Zeitraum 2000 – 2012 erkennbar. Die aus der Wasserhebung Walsum seit 2020 abgeleiteten Mengen von

5,8 m³/min für den Zufluss von West liegen deutlich unter dem seinerzeit gehobenen Grubenwasser (bis 14 m³/min). Die früheren Prognosen waren hier noch von einer größeren Menge (7,4 m³/min) ausgegangen. Unter Berücksichtigung von Abdrückeffekten im Wasseranstieg werden aus dem aktuellen Abfluss (5,8 m³/min) aus dem westlichen Einzugsbereich in das Binsheimer Feld (vgl. Abbildung 2 oben) geogene Zuflüsse vor dem Wasseranstieg von 9 m³/min abgeleitet.

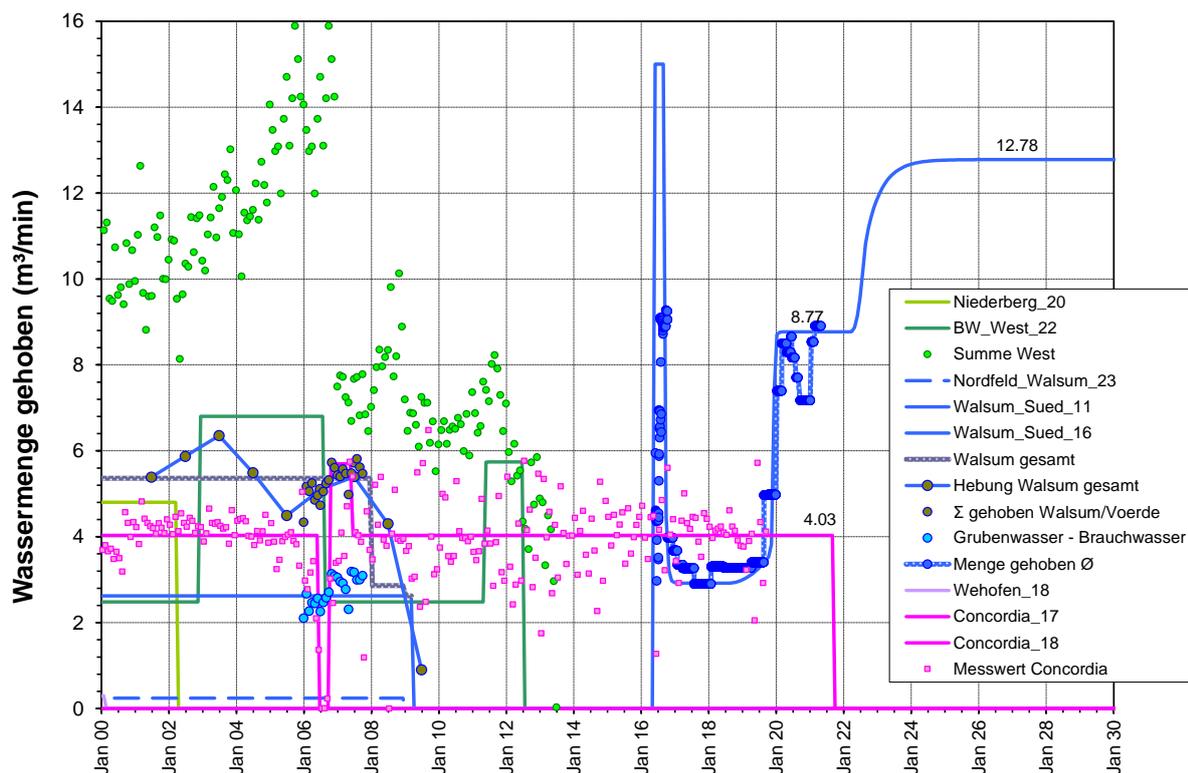


Abbildung 5: Gehobene Wassermengen an den Standorten West, Walsum und Concordia während des aktiven Bergbaus und nach Stilllegung.

Die auf Concordia gehobenen Wassermengen belaufen sich im Mittel der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte sehr stabil auf 4 m³/min. Schwankungen der Monatswerte basieren weniger auf variierende Zuflussmengen als auf dem Pumpmanagement im Zusammenwirken mit den Wasserständen (vgl. Abbildung 3). Aufgrund der zuvor beschriebenen geringen Wasserstandsänderungen (ca. +120 m nur im Zentralbereich Concordia) wird davon ausgegangen, dass sich diese Mengen auch im Abfluss Neumühl – Wehofen – Walsum (vgl. Abbildung 2 unten) nur unwesentlich verändern werden. Das Modell weist daher eine künftige Gesamtwasserhebung von 8,8 + 4,0 = 12,8 m³/min aus.

3.1.3 Einfluss des Wasserstandes auf die Wasserzusammensetzung

Wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, bleibt aufgrund der in der Regel nicht übereinstimmenden Mengen von Wasserzulauf und Pumpenleistung der Wasserstand im Umfeld von Schacht 2 nicht konstant, sondern pendelt zwischen -760 und -750 mNHN. Bei den aktuellen Zuflussmengen von ca. 8,8 m³/min steigt der Wasserspiegel bei Betrieb einer Pumpe langsam an und wird dann bei Zuschaltung einer zweiten Pumpe relativ rasch abgesenkt. Für die Modellrechnungen wurde ein konstanter Wasserstand von -757,6 mNHN eigestellt, was intermediären Verhältnissen entspricht.

Damit wird der Wasserspiegel ca. 10 m oberhalb der Basis der 4. Sohle (-770 bis -768 mNHN) gehalten, so dass eine Wasserfüllung der zum Schacht führenden Strecken gewährleistet ist. Die Pumpen hängen unter der Sohlbasis um eine ausreichende Überstauung zu gewährleisten. Wasser strömt zu den Pumpen über die 4. Sohle und von der 5. Sohle von unten durch den Schacht.

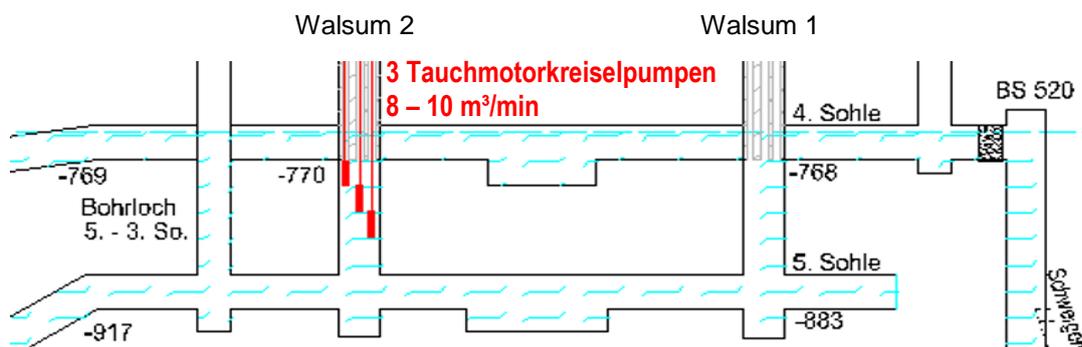


Abbildung 6: Schematischer Schnitt der Schachanlage Walsum 1/2 mit 4. und 5. Sohle.

Da sich im Rahmen dieser um 10 m variierenden Wasserstände oberhalb der Firste der 4. Sohle damit an den Anstromverhältnissen zu den Pumpen nichts ändert und auch keine zusätzliche Horizontalverbindung angebunden oder getrennt oder auch in seinem Fließquerschnitt verändert wird, sollte dieses Pumpenspiel eigentlich keine Auswirkungen auf die zu den Pumpen strömende und gehobene Wasserqualität haben.

Zu Überprüfung dieser Annahme wurde eine Auswertung der bis jetzt verfügbaren Daten vorgenommen. Dies ist möglich, da die Wasserproben zum regulären Monitoring unabhängig von den jeweiligen Wasserständen während laufender Wasserhebung genommen wurden. Nach dem Zufallsprinzip wurde dabei das gesamte Wasserstandsspektrum -760 bis -750 mNHN abgedeckt. Abbildung 7 zeigt diese Verhältnisse am Beispiel der Chloridkonzentrationen.

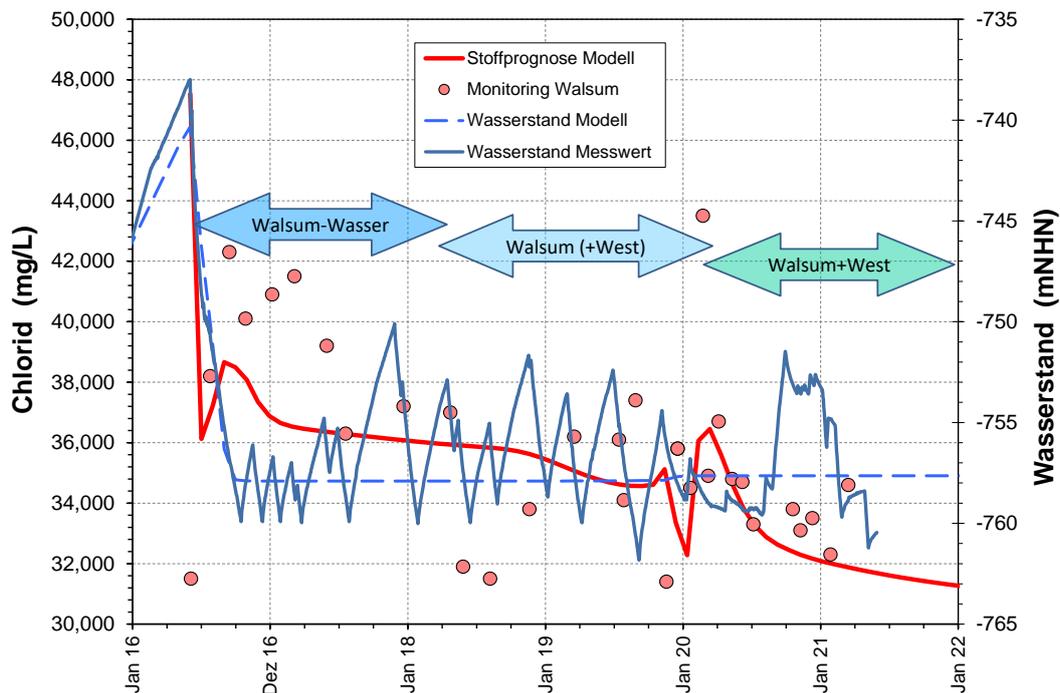


Abbildung 7: Konzentrationsentwicklungen für Chlorid (Modell und Monitoring) in Korrelation mit den Wasserständen in Schacht Walsum 2.

Für eine solche wasserstandsabhängige Auswertung von Stoffgehalten ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Wasserannahme und damit auch die Inhaltsstoffe mehrere von außen bedingte Phasen durchlaufen haben. Grundsätzlich sind 3 Phasen bezüglich der zufließenden Wässer zu unterscheiden, die sich jedoch aufgrund fließender Übergänge nicht exakt voneinander abgrenzen lassen:

1. Juni 2016 – April 2018: nur Walsum-Wasser
2. Mai 2018 – Februar 2020 Übergangsphase mit ersten Wasserzutritten aus dem West-Bereich
3. seit März 2020: Mischwasser aus dem ehemaligen Bergwerken Walsum und West

Darüber hinaus ist zu beachten, dass innerhalb dieser Zeitabschnitte nicht konstant zusammengesetzte Wässer zugeflossen sind, sondern jeweils Wasser nach einem Wasseranstieg gehoben wurde, das Veränderungen durch dabei gelöste Stoffe und deren anschließende Auswaschung aus den durchströmten Hohlräumen unterworfen war. Diese Veränderungen betreffen nicht nur die typischen Produkte der Pyritoxidation und die damit sekundär assoziierten Stoffe (vgl. Kap. 3.2.3) sondern auch auf Salzkomponenten wie Chlorid (Abbildung 7; vgl. auch Kap. 3.2.1).

Für die folgenden Auswertungen (Abbildung 8 und Abbildung 9) wurden im Vorgriff auf die Beschreibungen in Kapitel 3.2 einige wichtige Hauptkomponenten sowie Stoffe, deren Gehalte sensibel für die Einleitung des Gruben-

wassers in den Rhein sind, ausgewählt. Gezeigt wird jeweils eine zeitliche Darstellung analog Abbildung 7 sowie eine Korrelation zwischen Wasserständen und ermittelten Konzentrationen bei den einzelnen Probenahmen.

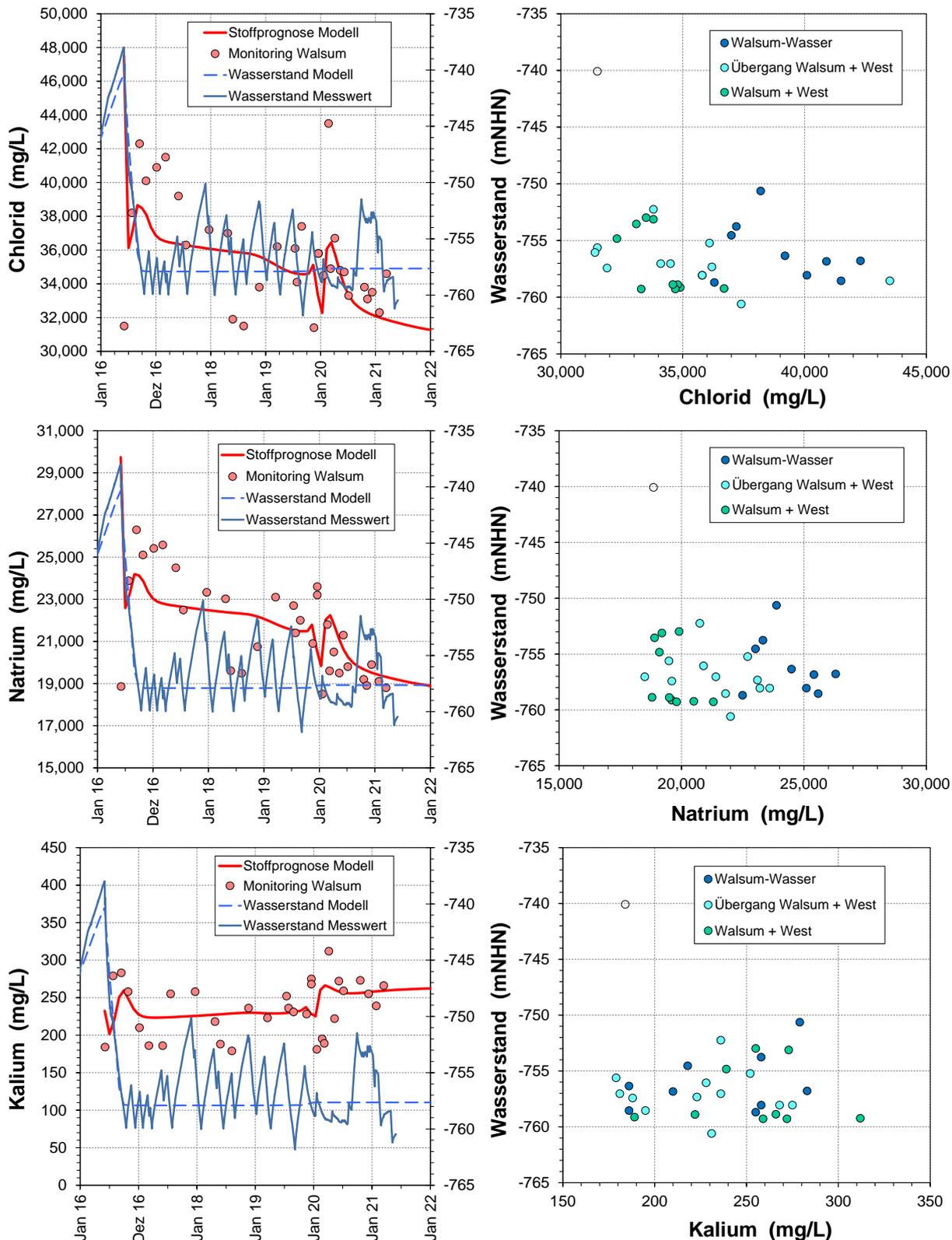


Abbildung 8: Konzentrationen und Wasserstände von typischen Salzkomponenten in Proben aus Schacht Walsum 2.

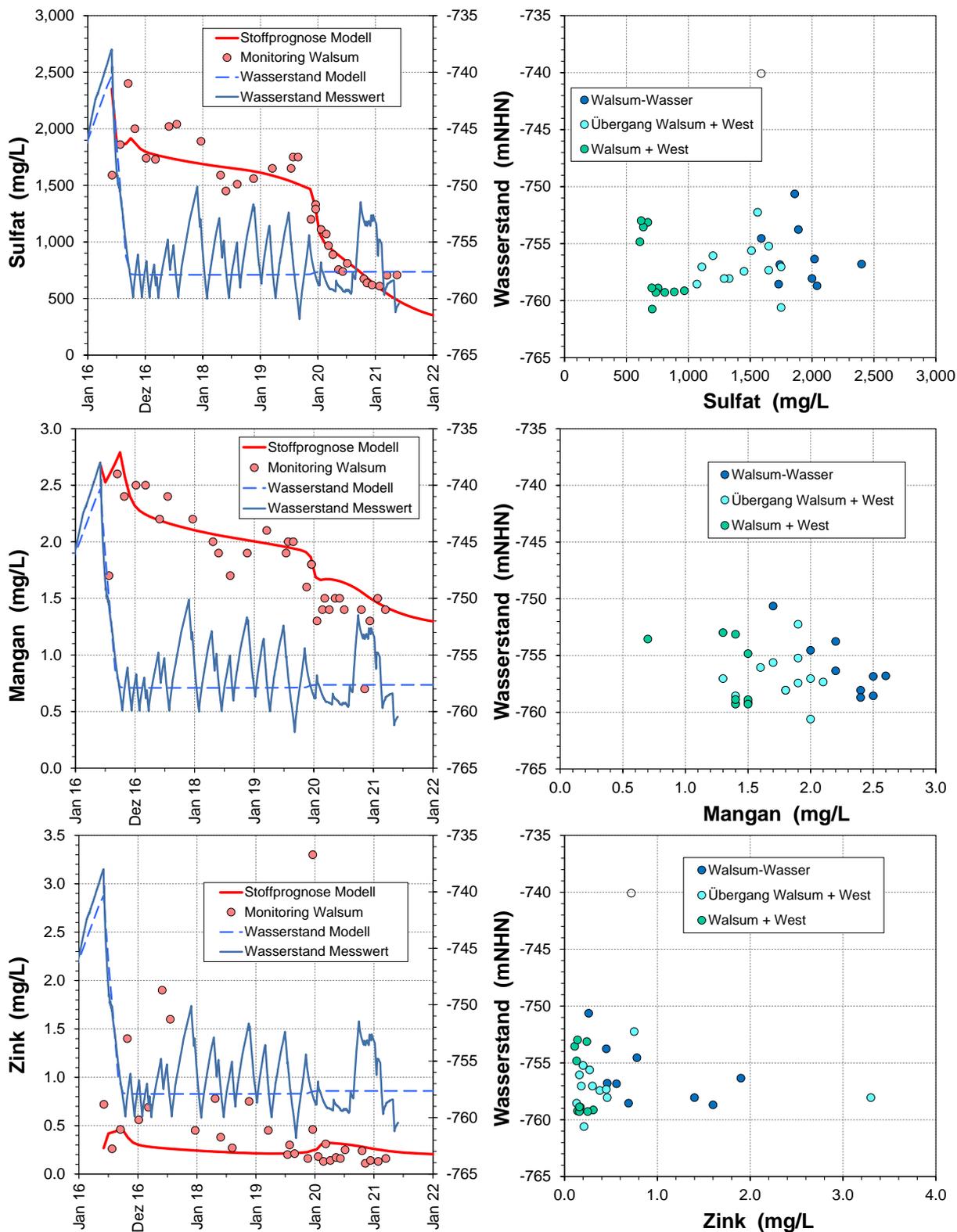


Abbildung 9: Konzentrationen und Wasserstände von typischen mit der Pyritoxidation korrelierten Stoffen in Proben aus Schacht Walsum 2.

Dabei wird farblich zwischen den vorgenannten Zuflusssituationen zur Wasserhaltung unterschieden. Der linken Darstellung sind jeweils Konzentrationsdynamik bzw. Trend zu entnehmen. Eine erste Wasserprobe wurde am

04.06.2016 direkt nach Beginn des Pumpbetriebs entnommen, die aber nicht für die Auswertung berücksichtigt wurde, da sie eher das im Nahbereich der Schächte gesammelte Wasser als eine Zuflusssituation repräsentiert.

Zwar könnte man aus diesen Daten für einzelne Betriebsphasen und Stoffe (z.B. Chlorid, nur Walsum-Wasser) einen Trend zu ableiten (höhere Konzentrationen bei niedrigen Wasserständen), den man dann aber bei damit chemisch korrelierten Stoffen (Na, K, Bor (ohne Abb.)) dann nicht bestätigt findet. In der Zusammenschau findet man solche Trends auch für Sulfat und die gezeigten Metalle nicht.

Insgesamt ist somit keine belastbare Abhängigkeit der stofflichen Zusammensetzung von den pumpzyklusgesteuerten Wasserständen zwischen -750 und -760 mNHN festzustellen. Da auch das Wasser aus Concordia über die 4. Sohle vom Blindschacht 520 (vgl. Abbildung 6) zufließen wird und somit für auch diesen Teilstrom die Zuflussbedingungen durch die Wasserspiegelschwankungen am Schacht nicht beeinflusst werden, sind diese Rahmenbedingungen auch für die Zukunft anzusetzen.

Unabhängig von solchen Wasserspiegeleffekten weisen die Messwerte gewisse Streubreiten auf. Die für diese Datenverteilungen interpretierten Trends werden durch die Modellkurven abgebildet. Um diesen Trend und auch bei während längerer Beobachtung stabilen Verhältnissen variieren die Analysewerte. Dies kann auf analytische Effekte, unabhängig von den Wasserständen veränderliche Zuflüsse zum Schacht oder Probenahmeeffekte zurückzuführen sein. Auch in der Zukunft sind solche Streubreiten zu erwarten. Dies ist auch bei der Bewertung der abschließend erstellten Prognosen zu den künftig bei Zufluss von Concordia-Wasser erwarteten Konzentrationen (vgl. Kap. 4) zu berücksichtigen.

3.2 Modellprognose Grubenwasserqualität

Wie schon aus den vorhergehenden Beschreibungen deutlich wurde, bezieht die künftige Wasserhaltung Walsum Wasser aus drei ehemals durch Schwellen getrennten Einzugsbereichen. Ebenso wie bezüglich der Wassermengen wurden auch für die chemische Zusammensetzung der Wässer zahlreiche Informationen (s. Kap. 3 Seite 8) ausgewertet und sind in die Modelleingangsdaten sowie die Kalibrierung des Ausgangszustandes eingeflossen. An dieser Stelle sollen diese Eingangsdaten nicht dargestellt und diskutiert werden (s. dazu separaten Bericht), um die Darstellungen übersichtlich zu halten und weil hier die Prognose im Zusammenwirken der heute auf Walsum gehobenen Wässer mit einem künftigen Zufluss aus dem Einzugsbereich der heutigen Wasserhebung Concordia im Vordergrund

steht. Die folgenden Darstellungen zeigen daher die folgenden Messwerte bzw. Modellkurven für die einzelnen chemischen Parameter:

- Modellkurven für die ehemaligen Wasserhaltungen Walsum (Vorderde) und West
- Messwerte und Modellkurven für die Wasserhaltung Concordia
- Messwerte und Modellkurven für die Wasserhaltung Walsum
- Modellkurven für die Wasserübertritte aus den Einzugsbereichen Walsum, West und Concordia zur Wasserhaltung Walsum (Modellbox Walsum_Süd)

Der Abgleich von Messwerten und Modellkurven für die Wasserhaltungen Walsum und Concordia soll die Nachvollziehbarkeit der Prognosen ermöglichen. Aus den Kurven für die Wasserübertritte lassen sich die jeweiligen Beiträge für das Mischwasser Walsum ableiten. Für die bisherige Wasserhaltung Walsum sind die folgenden Phasen zu unterscheiden:

- Juni 2016 – Dezember 2018: Ausschließlich Zuflüsse aus dem ehemaligen BW Walsum (incl. Binsheimer Feld und Wehofen)
- Januar 2019 – November 2019: beginnender Zufluss aus dem Bereich West
- Dezember 2019 bis heute: Mischwasser Walsum und West

3.2.1 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, wie man dies aus der Auflösung von den in Strecken manchmal zu beobachtenden Salzablagerungen annehmen könnte. Wahrscheinlich sind diese Mengen im Vergleich zu den Gesamtmengen im Grubenwasser zu gering. Daher wird eine Chloridmobilisation im Modell auch nicht betrachtet, weshalb somit das gesamte ausgetragene Chlorid aus den diversen Zuflüssen des Grubenwassers stammt. Dies gilt auch für zahlreiche andere Salze wie Ammonium, Bor, Natrium, Kalium, etc., deren Gehalt meist auch mit Chlorid eng korreliert ist.

Die künftigen Salzgehalte in der Wasserhebung lassen sich recht gut anhand der Beiträge der jeweiligen Einzugsbereiche an der gehobenen Wassermenge ableiten. Die Verteilung (Walsum 3 m³/min, West 5,7 m³/min,

Concordia 4 m³/min) zeigt auf, dass kein stark dominanter Teilstrom existiert. Auch die Salzgehalte weisen keine gravierenden Unterschiede auf und bewegen sich zwischen 20.000 und 40.000 mg/L (Abbildung 10). Die höchsten Salinitäten treten in der Teilprovinz Walsum auf, was mit Anteilen von Zechsteinwasser im Zufluss erklärt wird.

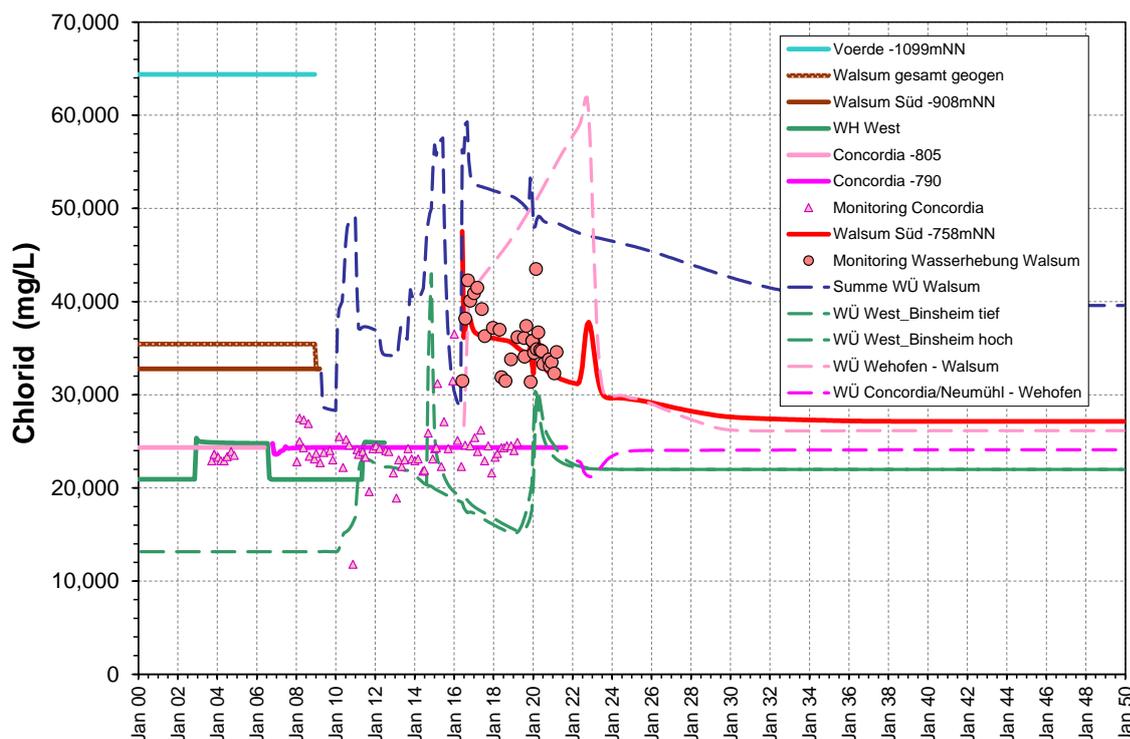


Abbildung 10: Konzentrationsentwicklungen für Chlorid (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Dementsprechend wurden die höchsten Chloridkonzentrationen in der ersten Pumpphase der Wasserhaltung Walsum beobachtet (nur Walsum-Wasser). Der Zufluss aus West führt zu einem abnehmenden Trend, der auch für die Zumischung von Concordia-Wasser erwartet wird. Sondereffekte sowohl in den Messwerten als auch den Modellkurven resultieren z.B. aus der initialen und heterogenen Stoffverteilung innerhalb der Einzugsbereiche (Boxen) und dem erforderlichen Zeitraum, bis ein stationärer Zustand im gesamten Strömungsfeld etabliert ist.

Während diese Entwicklung sich für Natrium, Bor und Brom ganz analog zu Chlorid darstellt, gibt es für Kalium und Ammonium abweichende Trends. Hier sind ganz offensichtlich die Stoffgehalte im aus West stammenden Wasser größer als in Walsum, denn den Konzentrationen in der Wasserhebung sind seit Dezember 2019 deutlich angestiegen. Die deutlichen Konzentrationsunterschiede für Ammonium können als Anzeiger für den Beginn eines verstärkten Wasserübertrittes dienen, der damit auf Dezember 2019 datiert werden kann.

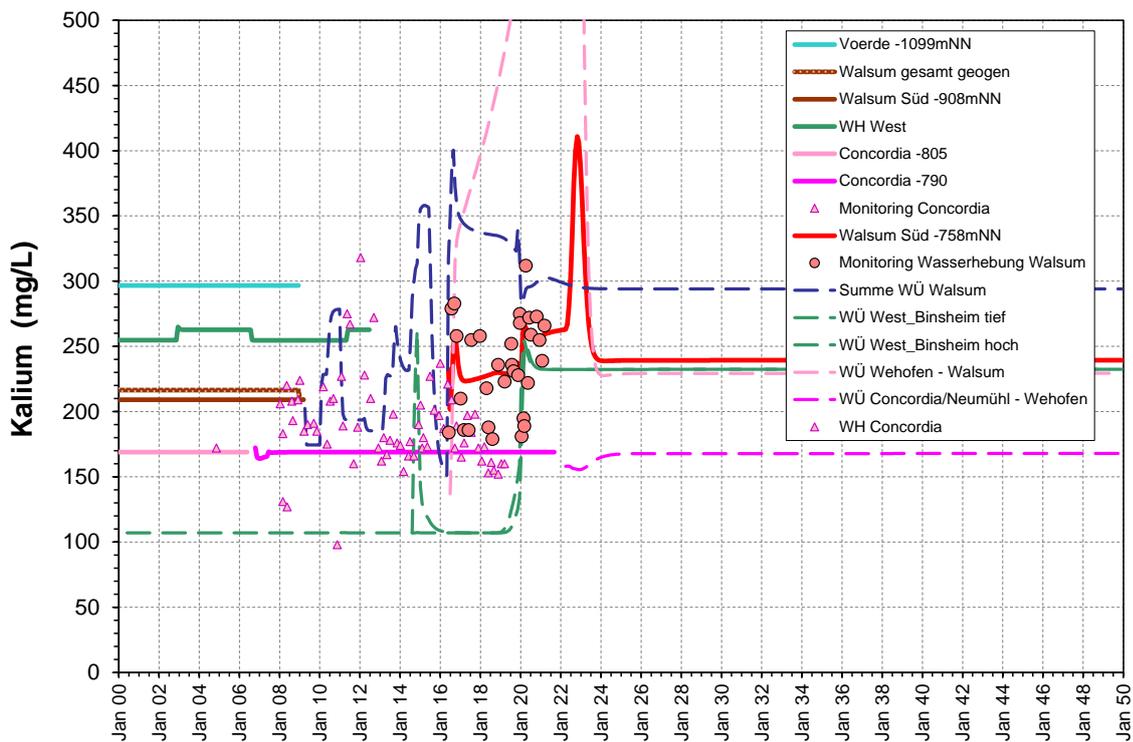


Abbildung 11: Konzentrationsentwicklungen für Kalium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

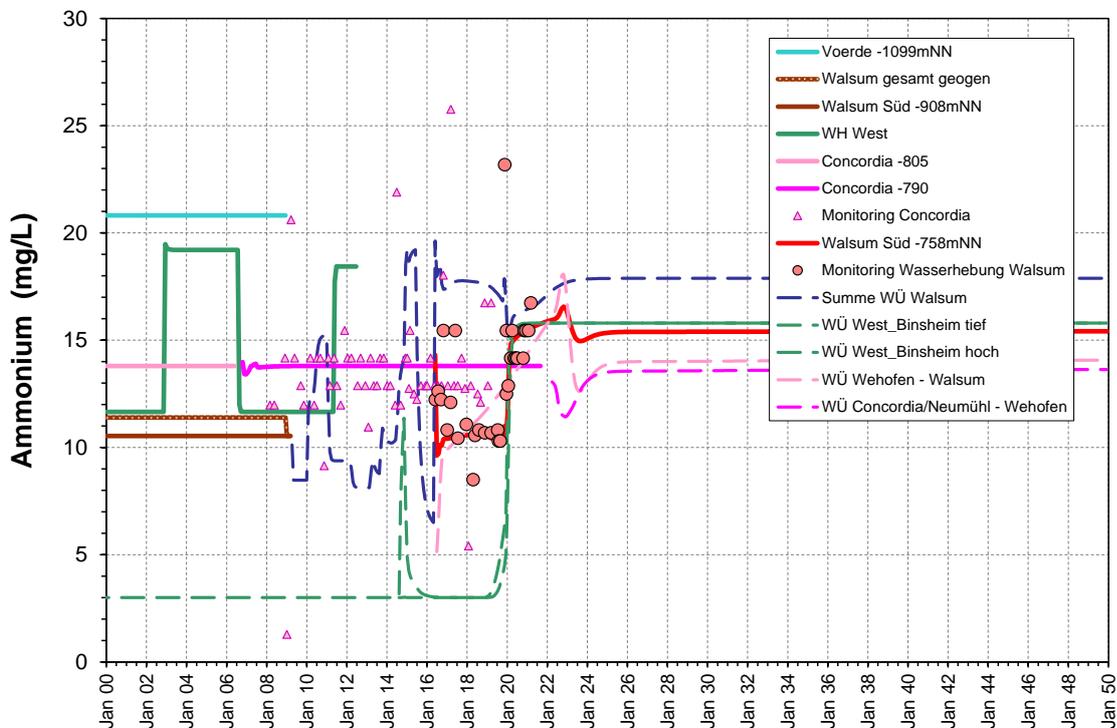


Abbildung 12: Konzentrationsentwicklungen für Ammonium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Die bei einigen Stoffen in den Modellkurven Mitte 2022, also nach Beginn des Concordia-Übertrittes, auftretenden Konzentrationspeaks sind nicht

dem Concordia-Wasser und dort evtl. aufgetretenen Mobilisationen zuzuordnen, sondern einer verstärkten Ausspülung von Wasser aus Wehofen, das z.B. durch ausgesprochen hohe Kaliumkonzentrationen gekennzeichnet ist.

Die Nitrat-, Nitrit- und Phosphat-Gehalte sind durchweg gering und wenig signifikant zumal überwiegend bei Analyse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen, so dass Unterschiede zwischen den Wasserprovinzen und spezifische Trends kaum ausgemacht werden konnten. Eine Übersicht zu den berechneten Konzentrationsniveaus aller hier nicht dargestellten Stoffe wie auch der grafisch hier dokumentierten ist Tabelle 1 (Seite 46) in Kapitel 4 zu entnehmen.

3.2.2 Barium und Sulfat

Barium ist ein typischer Inhaltsstoff salinärer Wässer (s. Kap. 3.2.1) während Sulfat der dominierende Bestandteil der aus der Pyritoxidation hervorgehenden Stoffe (vgl. Kap. 3.2.3) ist. Sulfat ist aber im Einzugsbereich Walsum und auch in einigen Zuflüssen in das BW West Bestandteil hochsalinärer Tiefenwässer, was mit einer Herkunft aus der Zechsteinsalzlaugung erklärt wird. Zudem bilden Barium und Sulfat ein Reaktions- und Fällungssystem, weshalb sich diese Stoffe in ihren resultierenden Konzentrationen beeinflussen und eine gemeinsame Betrachtung erfordern. Strontium und Radium treten zudem mit Barium korreliert auf und werden daher in diesem Abschnitt ebenfalls behandelt.

Dieses Stoffsystem ist insbesondere im Nahbereich von Wasserhaltungen von Bedeutung, weil bei Mischung der beiden Wassertypen recht rasch Bariumsulfat ausfällt. Barium kann zudem als Anzeiger für eine radioaktive Belastung durch Radium-226 und Radium-228 dienen, die auch in dem ausgefällten Bariumsulfat aufgrund korrelierter Mitfällung des Radiums zu beachten ist.

Das Barium-Sulfat-Stoffsystem stand auch im Fokus der Modellaktualisierungen und –kalibrierungen nach dem Vorliegen von Monitoringdaten für das Walsum-West-Mischwasser. Während aufgrund der Bestandsdaten aus dem noch betriebenen Bergwerk West das Mischwasser aller geogenen Zuflüsse als sulfatdominiert eingeschätzt worden war, zeigte das Mischwasser Walsum+West nach dem Wasserübertritt 2019/2020 eine signifikante Abnahme der Sulfatkonzentrationen (Abbildung 13), die in Anbetracht der nachgewiesenermaßen hohen Sulfatgehalte im Walsum-Wasser nur durch stark verminderte Sulfatgehalte bzw. im weiteren Verlauf sogar nur durch Bariumgehalte im aus West zuströmenden Wasser abgebildet und erklärt werden konnten.

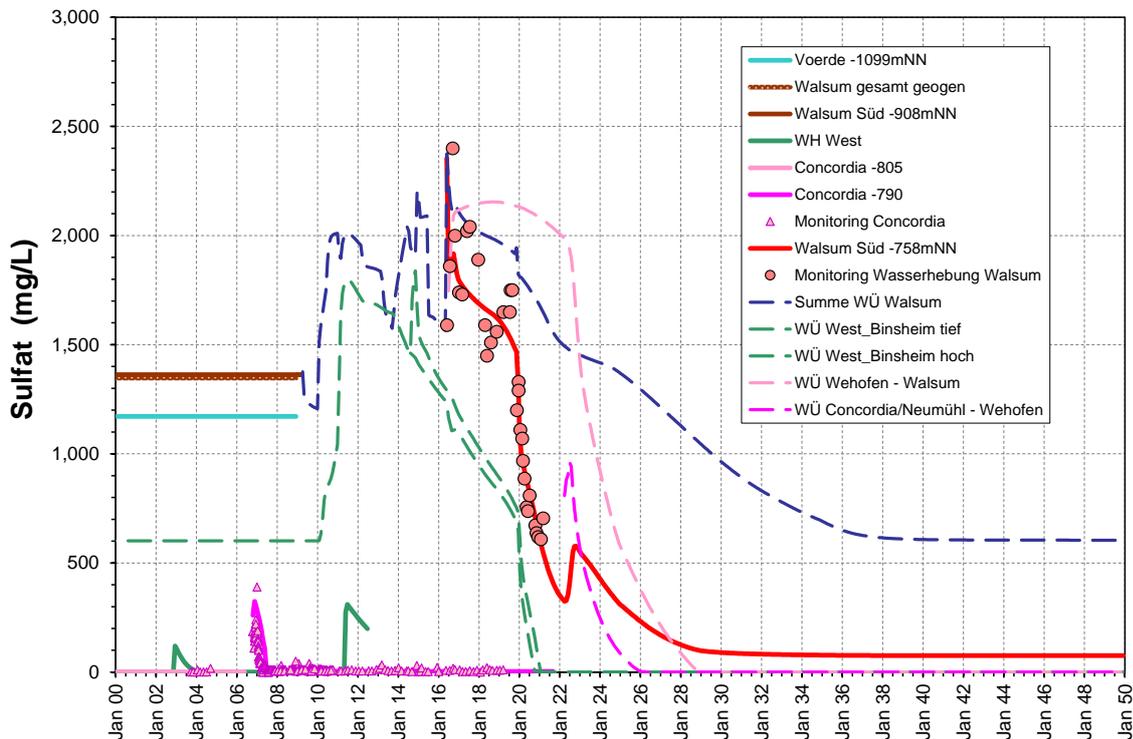


Abbildung 13: Konzentrationsentwicklungen für Sulfat (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

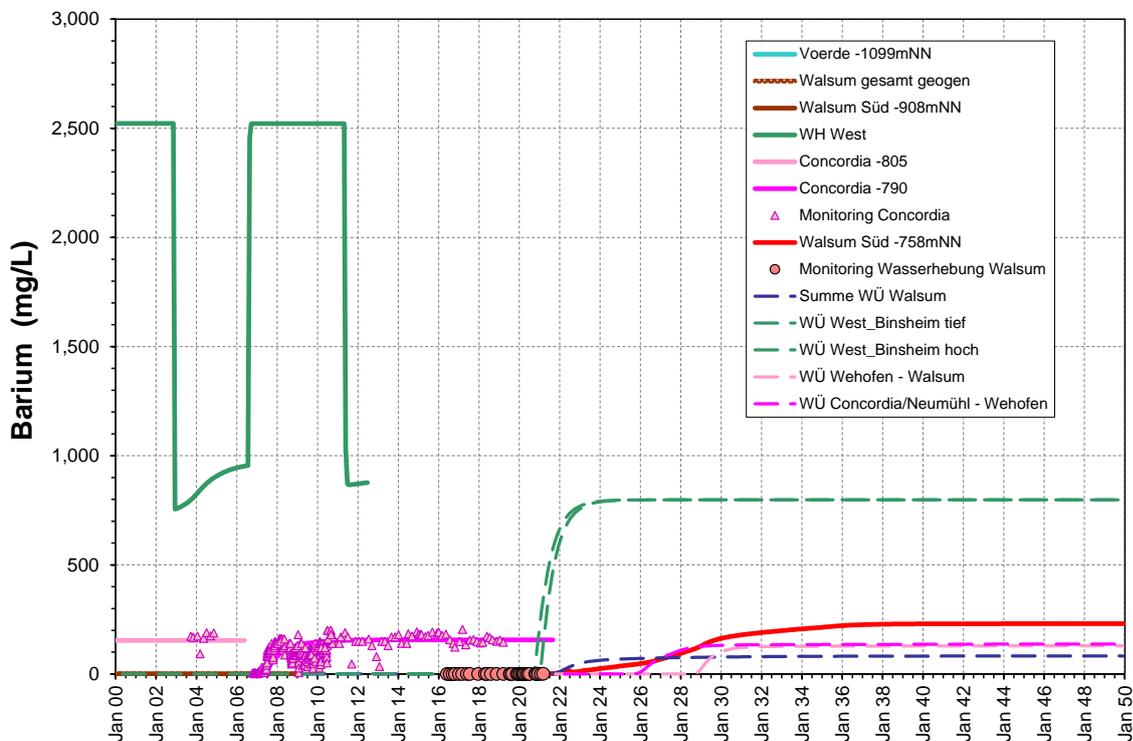


Abbildung 14: Konzentrationsentwicklungen für Barium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Diese durch die Sulfatentwicklung im Mischwasser Walsum erzwungene Zuordnung wird besonders deutlich in der Darstellung für Barium (Abbildung

14), wo in den Phasen des Wasseranstiegs im Baufeld Niederberg den nur dem Kernbereich des BW West zufließenden Wässern nunmehr Bariumgehalte von 2.500 mg/L zugewiesen werden. Dies wurde in den Wasserhaltungen des Bergwerks so nicht beobachtet, kann aber durch internes Wassermanagement und den hohen Anteil an sulfathaltigem Betriebswasser bewirkt worden sein.

Im Widerspruch zu diesem Szenario, das durch die stark abfallenden Sulfatgehalte erzwungen wird, steht allerdings auch die Entwicklung der Strontiumkonzentrationen (Abbildung 15). Hier wäre, da Strontium Barium in salinaren Grubenwässern begleitet (in unvermischten Zuflüssen Ba:Sr ~ 2:1), bei Bariumsulfat-Bildung aber nur anteilig mitfällt (ca. 10%) und der Rest in Lösung verbleibt, eigentlich mit dem Zutritt der West-Wässer ein deutlicher Strontiumanstieg im Mischwasser Walsum zu erwarten gewesen. Dieser war aber nicht zu beobachten; die Konzentrationen bleiben in etwa gleich und entsprechend damit vielmehr der ursprünglichen Erwartung zur Zusammensetzung der West-Wässer.

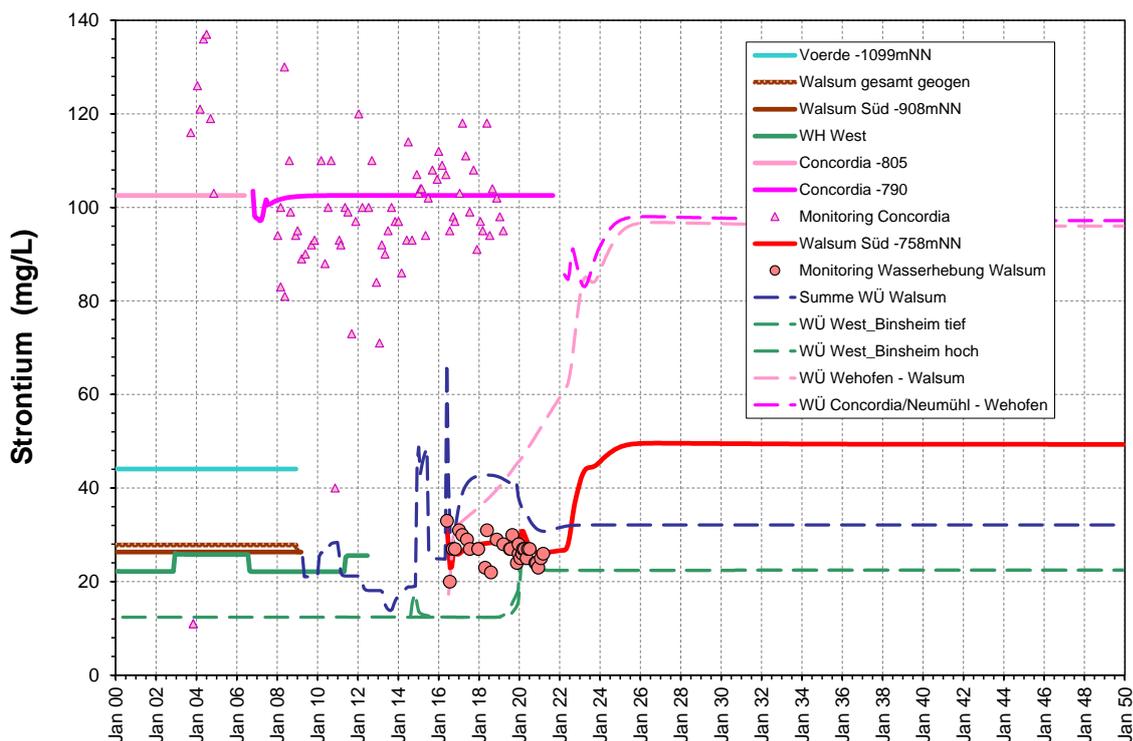


Abbildung 15: Konzentrationsentwicklungen für Strontium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Damit existieren im bislang vorliegenden Datenbestand Unsicherheiten vor allem bezüglich der künftigen Bariumkonzentrationsentwicklungen. Die aktuelle Modellkalibrierung auf den bisherige Trend vor allem der Sulfatkonzentrationen (nur dieses ist aufgrund der aktuellen Konzentrationsverhält-

nisse beobachtbar) führt dazu, dass im Zuge der fortschreitenden Auswaschung von Sulfat im Anstiegsraum West sich der chemische Charakter der Zuflüsse aus dem Binsheimer Feld (ehemaliger Zufluss in das BW Walsum) in Mischung mit dem West-Wasser von sulfat- zu bariumdominiert verändern müsste (gestrichelte grüne Kurven in Abbildung 13 und Abbildung 14).

Zusammen mit dem Umstand, dass Concordia stabil Bariumgehalte von 160 mg/L enthält, führt dies mittelfristig dazu, dass das Modell auch für die Wasserhaltung Walsum einen Überschuss von Barium erwartet. Die beiden vorgenannten Abbildungen weisen dennoch sowohl Barium- als auch Sulfatkonzentrationen aus, was aber dem Umstand geschuldet ist, dass die Reaktionskinetik im Modell relativ träge eingestellt ist, so dass die Verweilzeit in der Modellzelle des Zusammenflusses nicht für eine vollständige Reaktion und Ausfällung ausreicht. Dies ist insofern korrekt, als solche unvollständigen Reaktionen auch in einer Wasserhaltungssituation wie auf der 4. Sohle Walsum um die Schächte 1 und 2 zu erwarten ist.

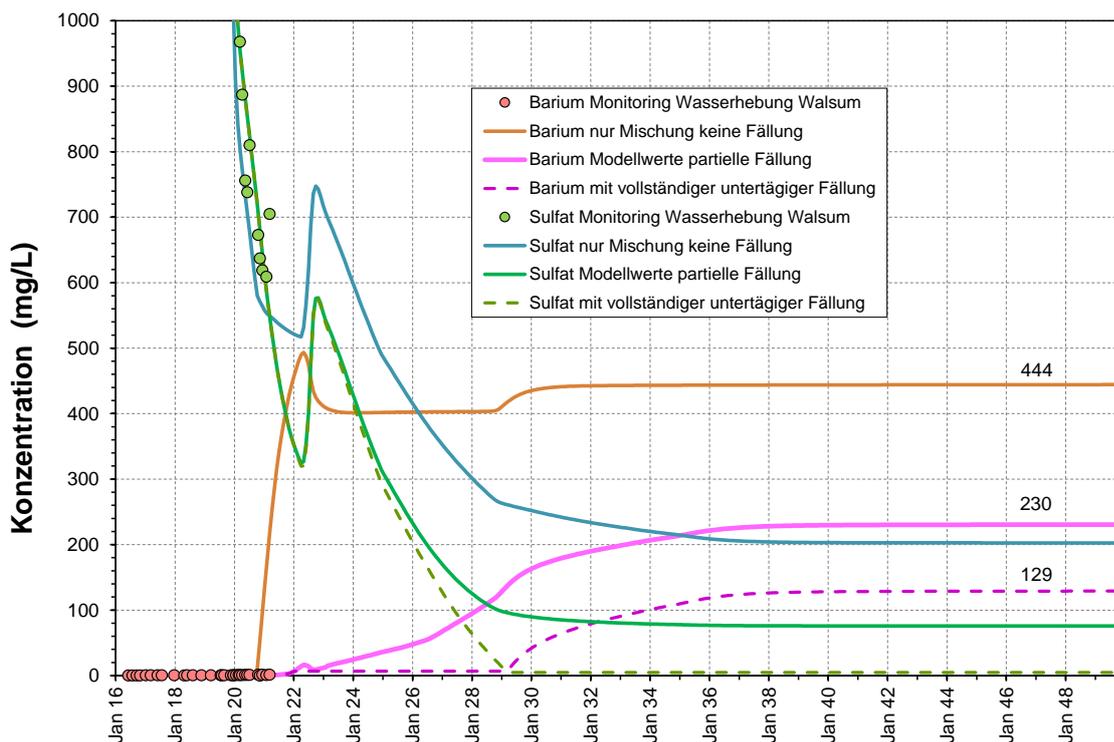


Abbildung 16: Konzentrationsentwicklungen für Barium und Sulfat in der Wasserhebung Walsum für verschiedene Reaktions- und Ausfällungsvarianten.

Im Bereich der Wasserhaltung Walsum treffen mehrere barium- und sulfathaltige Teilströme (Walsum, West, Concordia) zusammen. Da auf dem Fließweg bis zum Hebungsschacht Walsum 2 eine vollständige Mischung nicht anzunehmen ist, dürfte es erst in der Pumpe zur vollständigen Durchmischung und Reaktion mit Ausfällung von Bariumsulfat kommen. Die In-

tensität dieser Prozesse mag der Umstand verdeutlichen, dass ein Mischwasser ohne Reaktionen bei der aktuellen Modellkalibrierung mehrere hundert mg/L Barium und Sulfat enthalten dürfte. Die Prozesse in der Realität werden somit signifikant von der Reaktions- und Fällungskinetik beeinflusst.

Es muss daher davon ausgegangen werden, dass sich die der Wasserhaltung aus den verschiedenen Provinzen zufließenden Bariumgehalte auf verschiedene Fraktionen verteilen:

- Ein Teil des Bariums wird untertätig ausfallen und als Bariumsulfat an Stoß und Sohle sowie an den Pumpen und Rohrleitungen anhaften und so untertage verbleiben.
- Ein Teil des ausgefällten Bariumsulfates bildet mobile Partikel, die mit dem Grubenwasserstrom ausgetragen werden. Diese werden in Abhängigkeit von den Strömungsbedingungen im Rhein absinken und sich dort schließlich ablagern.
- Ein Teil des Bariums verbleibt gelöst und wird ebenfalls in den Rhein transportiert. Hier wird es dann bei Vermischung mit dem Rheinwasser aufgrund der großen Sulfatverfügbarkeit zur Ausfällung auch dieser Fraktion kommen. Die vom Modell ausgewiesenen Konzentrationen an Barium können daher nicht wie andere Salze im Zuge einer Mischungsrechnung für den Rhein verarbeitet werden, da sie durch Ausfällungen nahezu vollständig dem System gelöster Stoffe entzogen werden.

Die jeweiligen Anteile sind derzeit nicht abzuschätzen. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich in den nächsten Jahren die Mischungsverhältnisse bis zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes im Abfluss aller drei Provinzen kontinuierlich verändern werden. Abbildung 16 zeigt neben der eine partielle Fällung berücksichtigenden Modellvariante auch die unwahrscheinlichen Extremszenarien ohne jede Ausfällung (nur Mischung der Teilströme) und mit vollständiger untertätiger Fällung. Dies zeigt jedoch die Konzentrationsbandbreite auf, die aus der schachtnahen Mischungssituation resultieren. Hinzu kommen die zuvor beschriebenen Unsicherheiten aufgrund der nach wie vor noch sehr dynamischen Entwicklung der Sulfatkonzentrationen nach dem Wasseranstieg West.

Da die Modellrechnungen auf bereits aktuell erfolgende Veränderungen von Barium- und Sulfatgehalten in dem Mischwasser vor der Pumpe hinweisen, sind zeitnah Untersuchungen geplant, um diese Prozesse zu verifizieren und die Datengrundlagen zu verbessern. Der Gehalt an Bariumsulfatpartikeln kann dabei als Anhaltspunkt für pumpennahe Mischungs- und Fällungsprozesse dienen. Es ist davon auszugehen, dass diese Parameter in den nächsten Jahren eine regelmäßige Überprüfung und ggf. Anpassung der Modelle erfordern werden.

Im Kontext mit Barium ist auch das Verhalten des damit eng korreliert auftretenden Radiums zu betrachten. Auch hier ist somit von einer Fraktionierung in einen gelösten und einen an Bariumsulfatpartikel gebundenen Anteil auszugehen. Radium tritt nicht nur gelöst in einem weitgehend konstanten Verhältnis mit Barium in den Grubenwässern auf, sondern wird auch proportional mit der Bariumausfällung in diese Partikel eingebaut. Der Bariumgehalt ist daher ein geeigneter Anhaltspunkt zur Einschätzung der jeweiligen Radiumaktivitäten.

Eine Abschätzung des künftigen Radiumaustrags kann erfolgen, indem Radiumaktivitäten anhand einer linearen Regression (basierend auf Messwerten für die Wasserhaltungen Walsum und Concordia) aus den modellierten Bariumkonzentrationen abgeleitet werden. Aktuell werden Radiumaktivitäten in der Größenordnung von 300 mBq/L gemessen. Auch hier gilt es die weitere Entwicklung mit ihren komplexen Einflussfaktoren zu beobachten.

Barium bzw. Bariumsulfat führen daher in verschiedener Hinsicht zu zusätzlichen Anforderungen bei der Wasserhebung:

- Gelöstes Barium impliziert einen Radiumaustrag ebenfalls in gelöster Form und erfordert ggf. eine entsprechende Wasseraufbereitung.
- Mischen sich barium- und sulfathaltige Wässer in der Wasserhebung, ist auch von Inkrustationsbildungen in Pumpen und Steigleitungen auszugehen.
- Auch hohe Gehalte an Bariumsulfat-Partikeln im gehobenen Grubenwasser, die sich durch Reaktion im Nahbereich der Wasserhaltung gebildet haben, können zu verstärkten Ablagerungen in den Anlagen führen. Zudem sind damit auch Austräge von jetzt partikulär gebundenem Radium verbunden.

3.2.3 Sonstige von Pyritoxidation beeinflusste Stoffe

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. Teilweise dominiert die sekundäre Mobilisation gegenüber der Basiskonzentration. Dies führt dann dazu, dass nach dem Wasseranstieg diese Stoffe im Grubenwasser auffällig werden, obgleich sie zuvor im gehobenen Grubenwasser nur wenig in Erscheinung getreten sind.

Schwefel ist als Hauptbestandteil von Pyrit (FeS_2) besonders von dem Oxidationsprozess und der anschließender Auflösung der dabei entstehenden Salze betroffen und erscheint als Sulfat im Grubenwasser (s. Kap. 3.2.2). In

der Primärreaktion von Pyrit wird zusätzlich auch Eisen in mobilisierbare Salze überführt und zudem Säure gebildet.

Trotz dieser Reaktionen wurden im Rahmen des Monitorings innerhalb des Modellgebietes bislang keine Anhaltspunkte für eine Versauerung der Grubenwässer beobachtet. Dementsprechend fällt auch die Modellprognose für diesen Parameter aus (Abbildung 17), der insbesondere bezüglich Mobilisation und Transport von Spurenmetallen aber auch von Eisen relevant ist und bei Absenkung immer konzentrationserhöhend auf die genannten Stoffe wirkt. Die gemessenen und für die Zukunft erwarteten pH-Werte um 6,5 sind typisch für Grubenwässer des deutschen Steinkohlenbergbaus an der Ruhr und spiegeln das nach Karbonatpufferung an CO₂ übersättigte Milieu wider. Die beobachteten Messwertschwankungen bzw. Abweichungen zwischen Messwert und Modellkurve sind für diese Prozesse nicht ausschlaggebend und sind häufig auch auf die Messung (Elektrode, Messung Labor – vor Ort) sowie sekundäre Reaktionen (Eisenausfällung, CO₂-Entgasung) zurückzuführen.

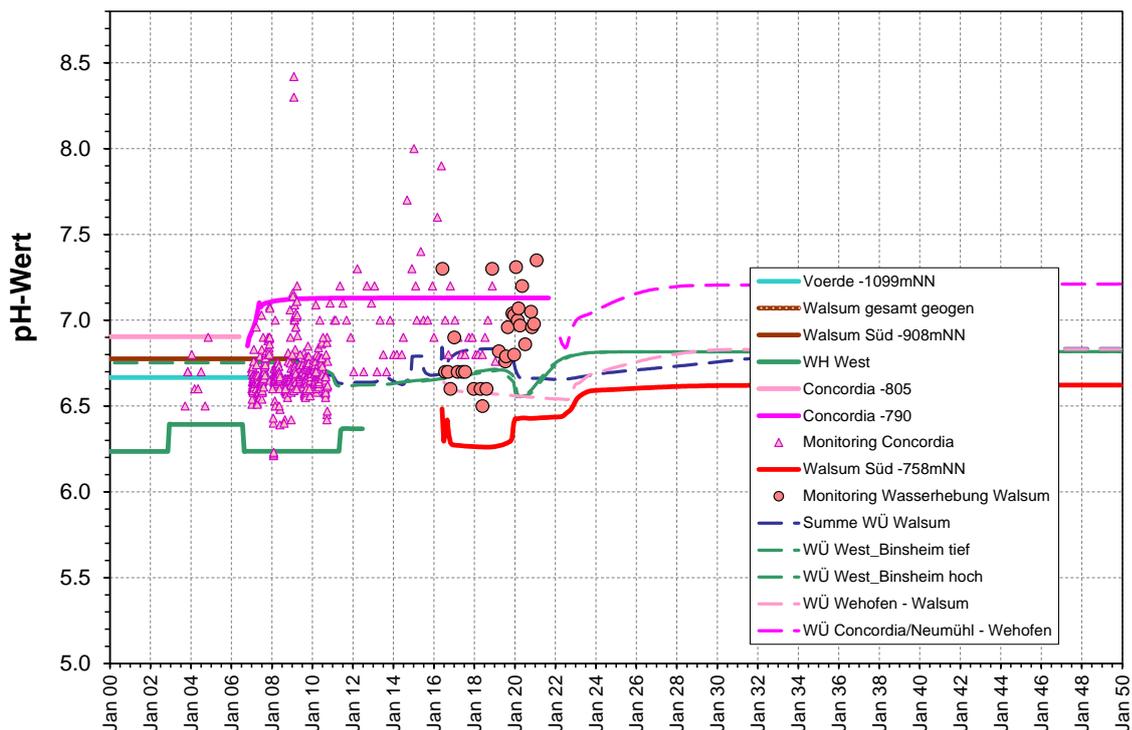


Abbildung 17: pH-Entwicklungen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Trotz des an anderen Standorten nach Wasseranstieg belegten Eisenausgangs zu Beginn der Wasserannahme wurde dies am Standort Walsum bislang weder im Walsum-Wasser noch nach Zutritt des West-Wassers beobachtet (Abbildung 18). Dementsprechend wurde das Modell auf diesen Datenbestand angepasst. Gleichwohl spricht die Sulfatentwicklung in Walsum für eine dort erfolgte Pyritoxidation, allerdings ist die Interpretation aufgrund

der hohen primären Sulfatgehalte schwierig. Auch Mangan (Abbildung 19) belegt durch signifikant erhöhte und dann abnehmende Konzentrationen zu Beginn der Wasserannahme Walsum diesen Prozess.

Eisen könnte aufgrund seiner gegenüber den anderen Metallen höheren Neigung zur Ausfällung als Eisenhydroxid selektiv ausgefällt werden (schon im Bergwerk vor Wasseranstieg oder im Anstrom zur Wasserhaltung, jedoch liegen keine Hinweise auf solche standortspezifischen Besonderheiten vor. Das gehobene Grubenwasser ist sauerstofffrei und liefert keine Hinweise auf hebungsnah Oxidation.

Die Prognose für einen verstärkten Eisenausstrag aus der Wasserprovinz Concordia wurde daher beibehalten, da die Daten bereits nach dem geringen Wasseranstieg 2006 um 40 m (s. Abbildung 3 Seite 9) einen deutlichen Anstieg der Eisenkonzentrationen auf bis zu 50 mg/L belegen (Abbildung 18). Entsprechend größer wird der Effekt bei dem künftigen Wasseranstieg um 115 m bewertet. Dies gilt analog auch für Mangan (Abbildung 19, zur Manganmobilisation s.u.).

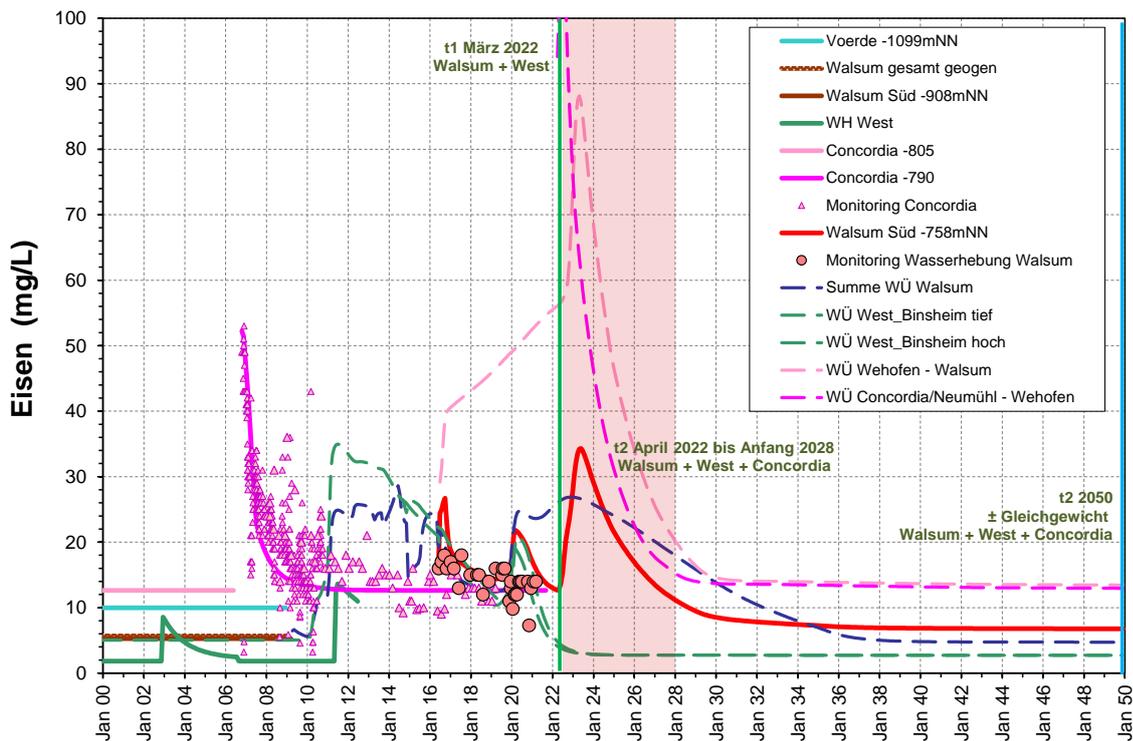


Abbildung 18: Konzentrationsentwicklungen für Eisen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

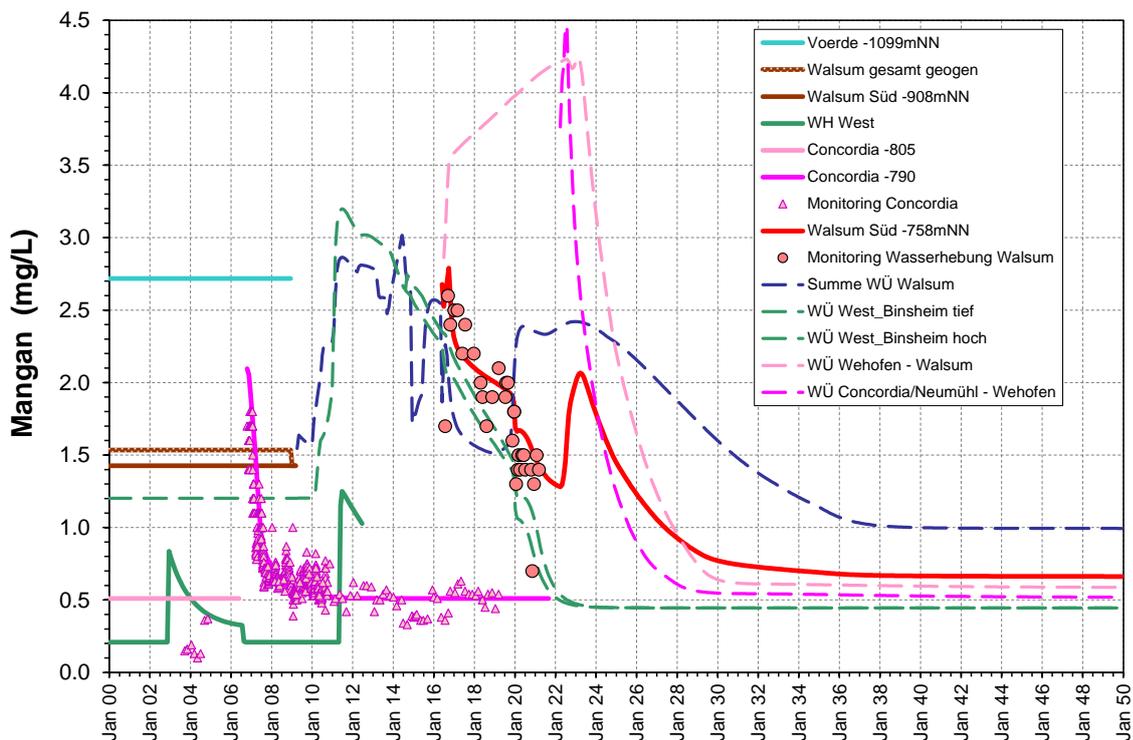


Abbildung 19: Konzentrationsentwicklungen für Mangan (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Abbildung 18 zeigt am Beispiel Eisen auch die Ableitung und Zeitmarker für die in Tabelle 1 (Seite 46; Kap. 4) aufgeführten Referenzkonzentrationen. Ausgewiesen werden dort die Modellwerte für das Mischwasser Walsum – West vor Zutritt von Concordia-Wasser (März 2022), mittlere und maximale Konzentrationen im Zeitraum der Auswaschung von Oxidationsprodukten (April 2022 – Januar 2028) sowie den annähernden Gleichgewichtszustand (keine Oxidationsprodukte, Mischung und Wasseraustausch) zum Ende der Modellberechnung (Dezember 2049).

Während die im Monitoring ermittelten Eisen- und Mangankonzentrationen vergleichsweise geringe Streubreiten zeigen, erhöht sich dieser Effekt bei den in geringeren Konzentrationen im Grubenwasser enthaltenen Spurenelementen. Hier wurde zudem der Auswascheffekt am Standort Concordia nicht durch ein entsprechendes Monitoring begleitet, so dass hier plausible Annahmen getroffen werden mussten. Es wird angenommen, dass Zink, Kupfer, Nickel, Blei und Cadmium solche Mobilisationseffekte zeigen, Chrom hingegen nicht.

Die Zinkwerte streuen insbesondere in Phase 1 mit Walsum-Wasser sehr stark (Abbildung 20). Das Modell versucht hier einen Kompromiss, um die mit Zutritt von West-Wasser verminderten Konzentrationen abbilden zu kön-

nen. Auch diese Gehalte sind mit ca. 0,15 mg/L unerwartet gering, da während der Grubenwasserhebung auf West Zinkgehalte von ca. 1 mg/L ermittelt worden waren.

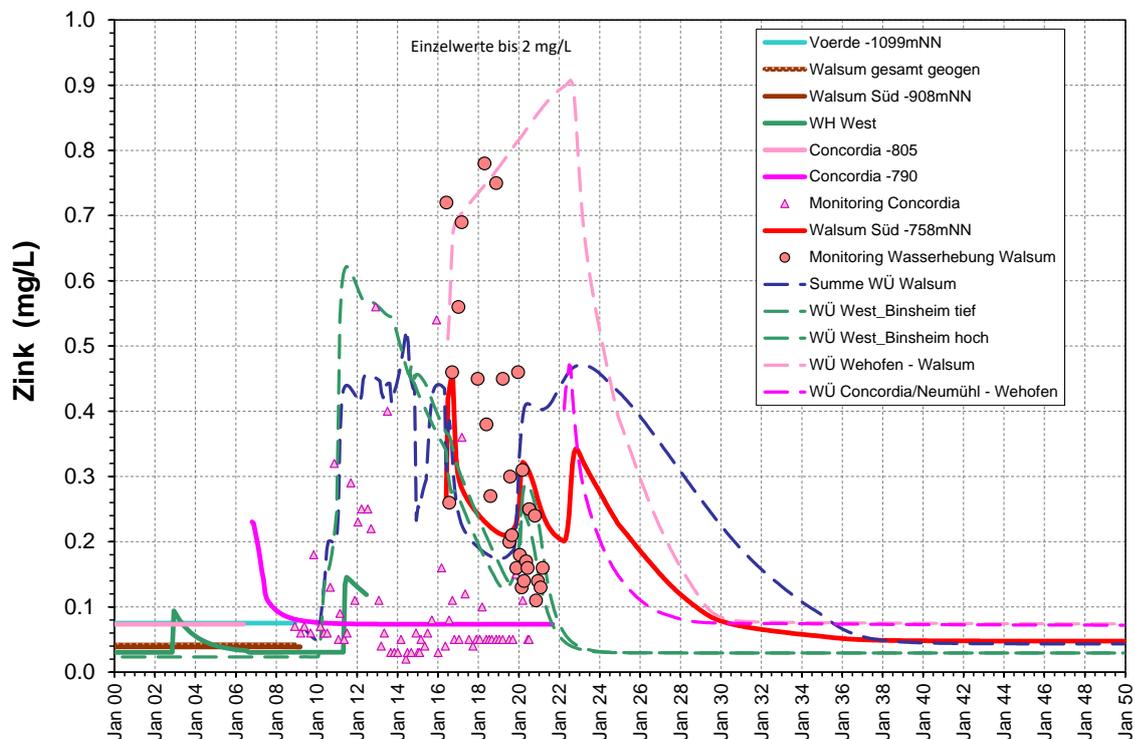


Abbildung 20: Konzentrationsentwicklungen für Zink (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Die Situation für die übrigen, nochmals in geringen Konzentrationen im Grubenwasser enthaltenen, Spurenmetalle zeigt Abbildung 21 stellvertretend für Kupfer. Die Monitoringdaten weisen in dem stark salzhaltigen Grubenwasser, bedingt durch Matrixeffekte in dem in den letzten Jahren angewendeten Analyseverfahren, hohe Bestimmungsgrenzen auf. Einige bestimmte Gehalte liegen darüber, einige Analysen mit geringer Bestimmungsgrenze weisen auf niedrigere Gehalte hin, was mit älteren Daten aus dem Betriebszeitraum der Bergwerke korreliert. Die Modellkalibrierung stellt daher auch hier einen Kompromiss innerhalb der verfügbaren Datenlage dar. Die Modellprognosen bewegen sich so bei allen Spurenmetallen unterhalb der jeweiligen halben Bestimmungsgrenze (für Kupfer 0,05 mg/L bei Bestimmungsgrenze <0,1 mg/L).

Wie schon zuvor beschrieben, finden sich die Referenzkonzentrationen für alle übrigen Spurenmetalle in Tabelle 1 (Seite 46; Kap. 4).

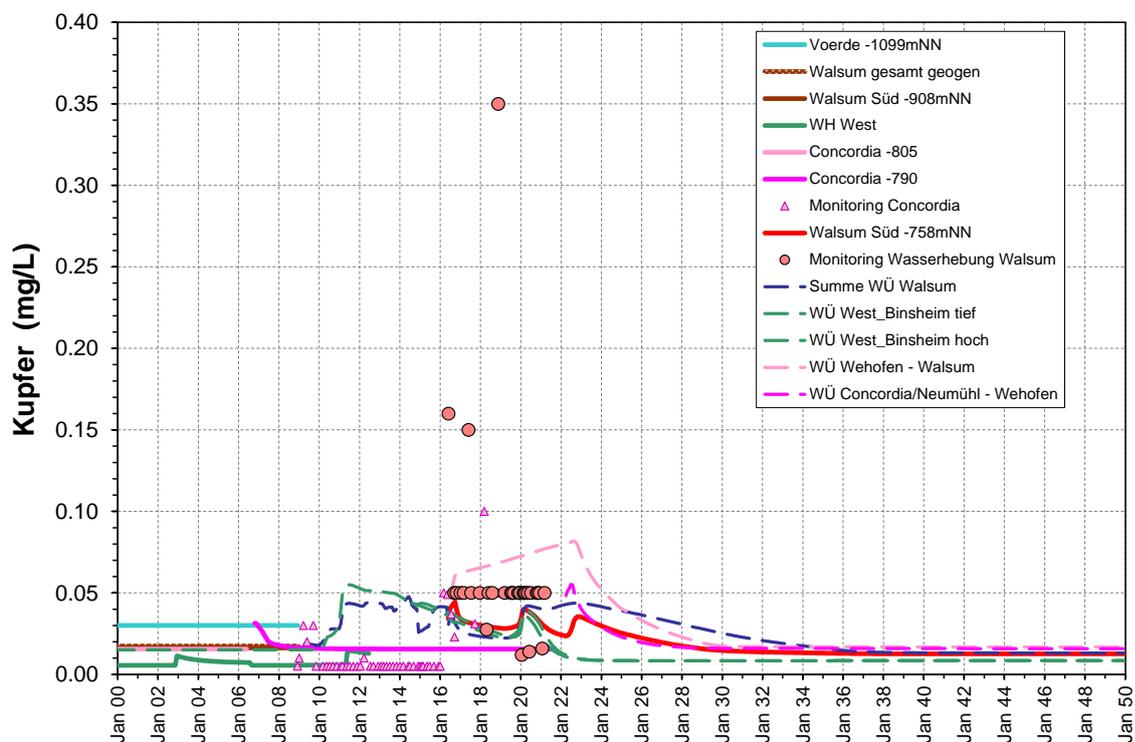


Abbildung 21: Konzentrationsentwicklungen für Kupfer (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Die nach dem Wasseranstieg erhöhten Gehalte der zuvor beschriebenen Spurenmetalle sind vor allem einer Herkunft als akzessorische Bestandteile des Pyrits zuzuordnen. Darüber hinaus sind auch sekundäre Effekte aus Lösungsprozessen bei der Säurepufferung möglich. Beide Prozesse führen aufgrund der langanhaltenden Prozesse innerhalb des bewetterten Bergwerkes zu beim Wasseranstieg leichtlöslichen Salzen oder Porenlösungen. Die Säurepufferung durch Karbonate wirkt sich abgesehen vom bereits beschriebenen pH-Wert auch auf die Hauptkomponenten Calcium und Magnesium sowie Mangan (häufiger Bestandteil in Calcit CaCO_3 , Siderit FeCO_3 , und Ankerit $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$) aus. Auch für diese Stoffe wird dementsprechend eine initiale Mobilisation während des Wasseranstiegs im Modell berücksichtigt. Calcium und Magnesium nehmen aufgrund ihrer auch in den Zulaufen vorhandenen Gehalte somit eine Zwischenstellung zwischen Primärsalzen (wie z.B. Chlorid) und den Oxidationsprodukten ein.

Diese Mobilisationseffekte sind dementsprechend auch in den Konzentrationsentwicklungen für Calcium insbesondere in den Wasserübertritten aus den verschiedenen Wasseranstiegsbereichen erkennbar (Abbildung 22).

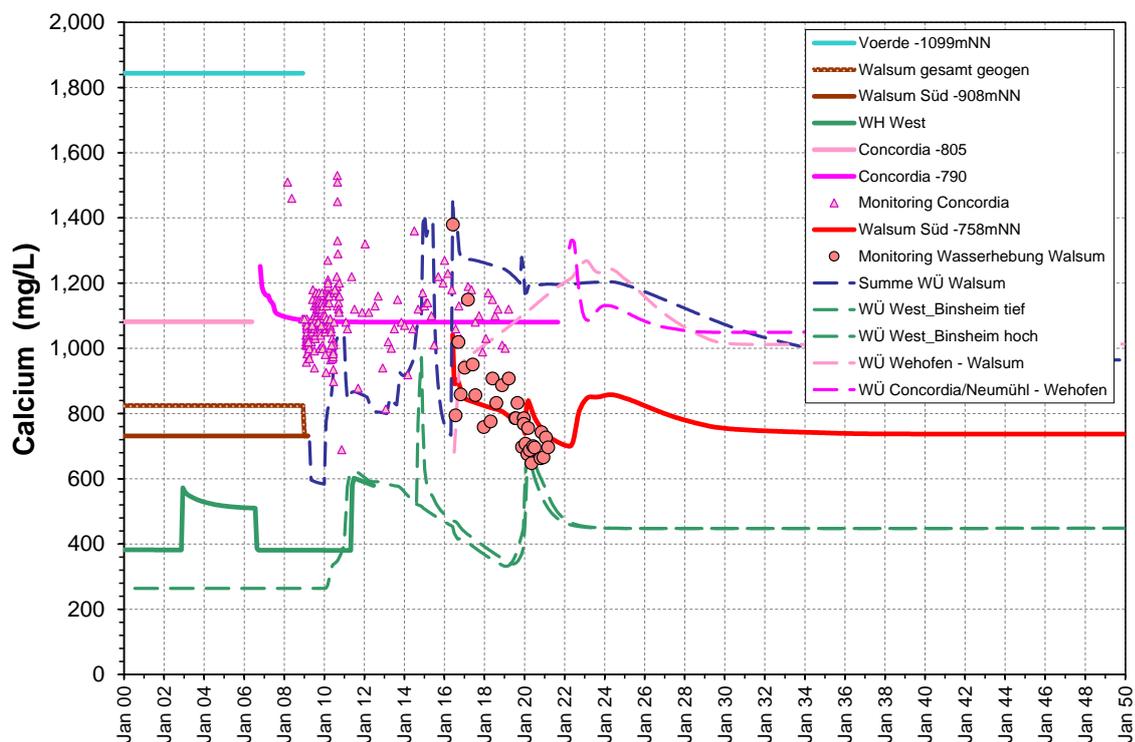


Abbildung 22: Konzentrationsentwicklungen für Calcium (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Die durch die Pyritoxidation erzeugte Säure führt bei der Pufferung durch karbonatische Minerale im Gestein abgesehen von der Freisetzung der zuvor beschriebenen Kationen (Ca, Mg, Fe, Mn) auch zu einem Eintrag von CO_3 , der sich entsprechend des Hydrogenkarbonat-Gleichgewichtes auf pH-Wert, Hydrogenkarbonatgehalt und CO_2 -Partialdruck auswirkt. Direkt der Messung erschließt sich der Hydrogenkarbonatgehalt, obgleich auch hier aufgrund des aus einem geschlossenen CO_2 -reichen System stammenden Grubenwassers sekundäre Wechselwirkungen mit der Atmosphäre bis zur Messung möglich sind.

So sind die hohen gemessenen pH-Werte (s. Abbildung 17; Seite 26) thermodynamisch kaum mit den geringen Analysewerten von Hydrogenkarbonat im Walsum-Wasser (Abbildung 23) in Einklang zu bringen. Festzustellen und für die weiteren Entwicklungen ausschlaggebend ist jedoch, dass sich die Monitoring-Werte der Modellkurve sukzessive annähern und dass zusammen mit den hohen Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grubenwasser Concordia ein gepuffertes, nicht versauerndes System mit entsprechend geringer Metallmobilität auch langfristig gewährleistet scheint.

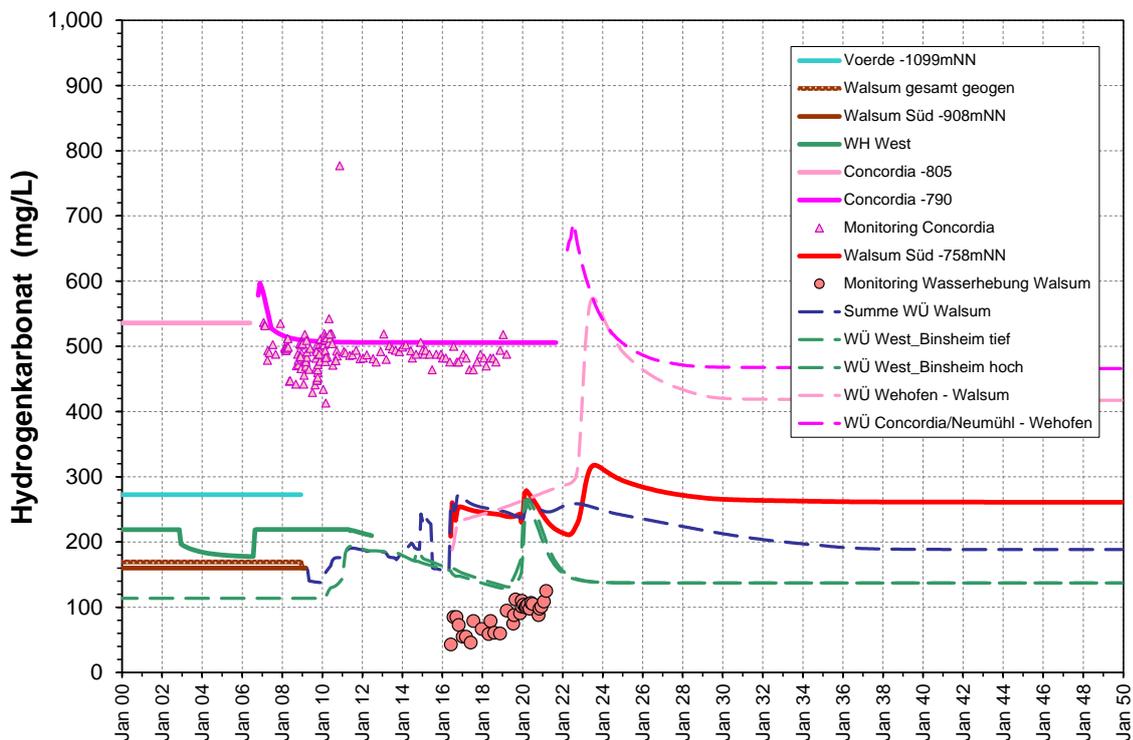


Abbildung 23: Konzentrationsentwicklungen für Hydrogenkarbonat (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

3.2.4 Sonstige Parameter

Fast alle Stoffe im Grubenwasser lassen sich den drei zuvor beschriebenen Gruppen zuordnen. Anders verhalten sich Grubenwasserinhaltsstoffe, die überwiegend an Partikel gebunden transportiert werden (also Partikel selbst, PCB, vgl. Kap. 3.3). Zu erwähnen wäre noch die Temperatur, die auch für die Ableitung in einen Vorfluter zu berücksichtigen ist. Für die Berechnung wurden den einzelnen Zuflüssen entweder verwertbare Messwerte (untertage durchgeführt) oder anhand der Tiefenverhältnisse abgeleitete Temperaturen zugeordnet. Darüber hinaus berechnet das Modell einen Wärmeübergang vom Gebirge in das Wasser bzw. umgekehrt.

Die Temperaturen sind innerhalb der Wasserprovinz gemäß des ähnlichen chemischen Charakters (Salzgehalte) und der diesem entsprechenden Herkunft (Teufe) sehr ausgeglichen und bewegen sich zwischen 30°C und 35°C. Auch durch den Zustrom des Concordia-Wassers sind langfristig keine relevanten Veränderungen zu erwarten.

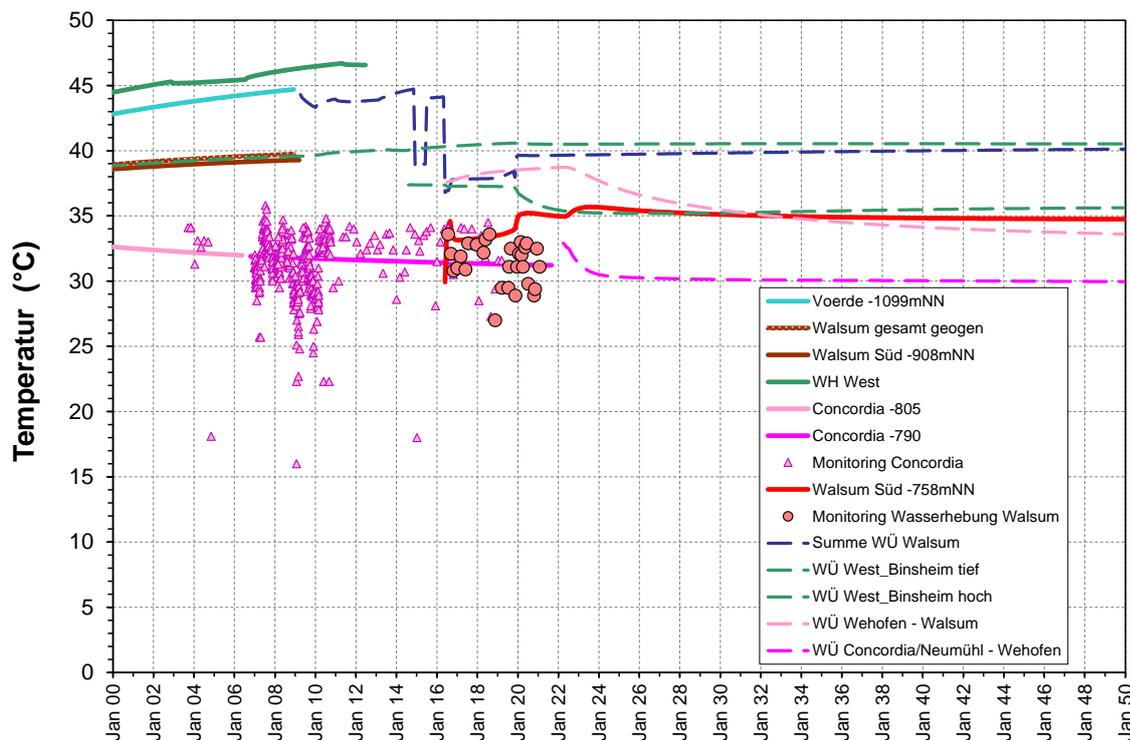


Abbildung 24: Temperaturentwicklungen (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

3.3 Modellprognose PCB-Austrag

Ziel der hier durchgeführten Modellrechnungen ist es – neben quantitativen Aussagen zum künftigen Stoffverhalten für PCB – auch ein verbessertes Verständnis zu Zusammenhängen und Abläufen der durch Abdämmung und Wasseranstieg in Gang gesetzten Veränderungen zu erhalten. Insbesondere für die auf komplexen Wechselwirkungen zwischen PCB-Gehalt an den Schwebstoffen, dem Gehalt an Schwebstoffen im Wasser sowie Wassermengen und -Mischungen basierenden heutigen und künftigen Messwerte ermöglicht ein Modell eine Erkennung von Zusammenhängen und Einflussfaktoren. Zudem zwingt ein Modell durch die erforderlichen Terme und Eingangsdaten den Nutzer zur strukturierten und quantitativen Prozessbeschreibung. Die Eigenschaften von PCB sowie die Umsetzung des PCB-Transportes im Modell werden in einem weiteren Bericht ausführlicher erläutert. Eine PCB-Modellprognose war zuvor für die Teilprovinzen Walsum und West nicht erstellt worden, so dass dies nunmehr als Bestandsaufnahme und Grundlage zur Quantifizierung der Einflüsse durch den Wasseranstieg Concordia erfolgt.

Der aktuelle Grundansatz des Modells betrachtet vereinfacht eine nicht reversible Bindung an die Feststoffpartikel. Dadurch genügt es, den Transport dieser Feststoffpartikel incl. der daran gebundenen Stoffe zu beschreiben.

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

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

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

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

Den Gehalten von PCB am Feststoff sollte daher gegenüber den Konzentrationen nur eine untergeordnete Bedeutung bei der Bewertung der Emission aus einem Bergwerk beigemessen werden. Die berechneten Konzentrationen sind die wichtigste Grundlage für die Bewertung der Grubenwassereigenschaften als auch für die Modellergebnisse und Kalibrierung. Die aus den Konzentrationen und den Grubenwasserabflussmengen direkt ableitbare Masse/Fracht bildet wiederum den wichtigsten Parameter zur Einschätzung der zeitlichen Veränderungen im Stilllegungsprozess.

3.3.1 PCB-Abbau

Die Modelleingangsdaten zu PCB, die insbesondere die zeit- und teufenabhängige Verteilung des Abbaus und die daraus resultierende Verteilung der PCB-haltigen Betriebsstoffe berücksichtigen, werden ausführlich in dem schon zuvor benannten ausführlichen Bericht beschrieben.

An dieser Stelle sei daher nur kurz die räumliche Verteilung des Abbaus unter Einsatz von PCB-haltigen Betriebsstoffen im Zeitraum 1964 und 1984 beschrieben. Die für diesen Zeitraum identifizierten Abbauflächen konzentrieren sich in den ehemaligen Bergwerken West und Walsum (Abbildung 25). In den nördlichen Walsum-Boxen Voerde und Nordfeld ist der Abbau

jünger, in Reinpreußen und großen Teilen der Wasserprovinz Concordia älter.

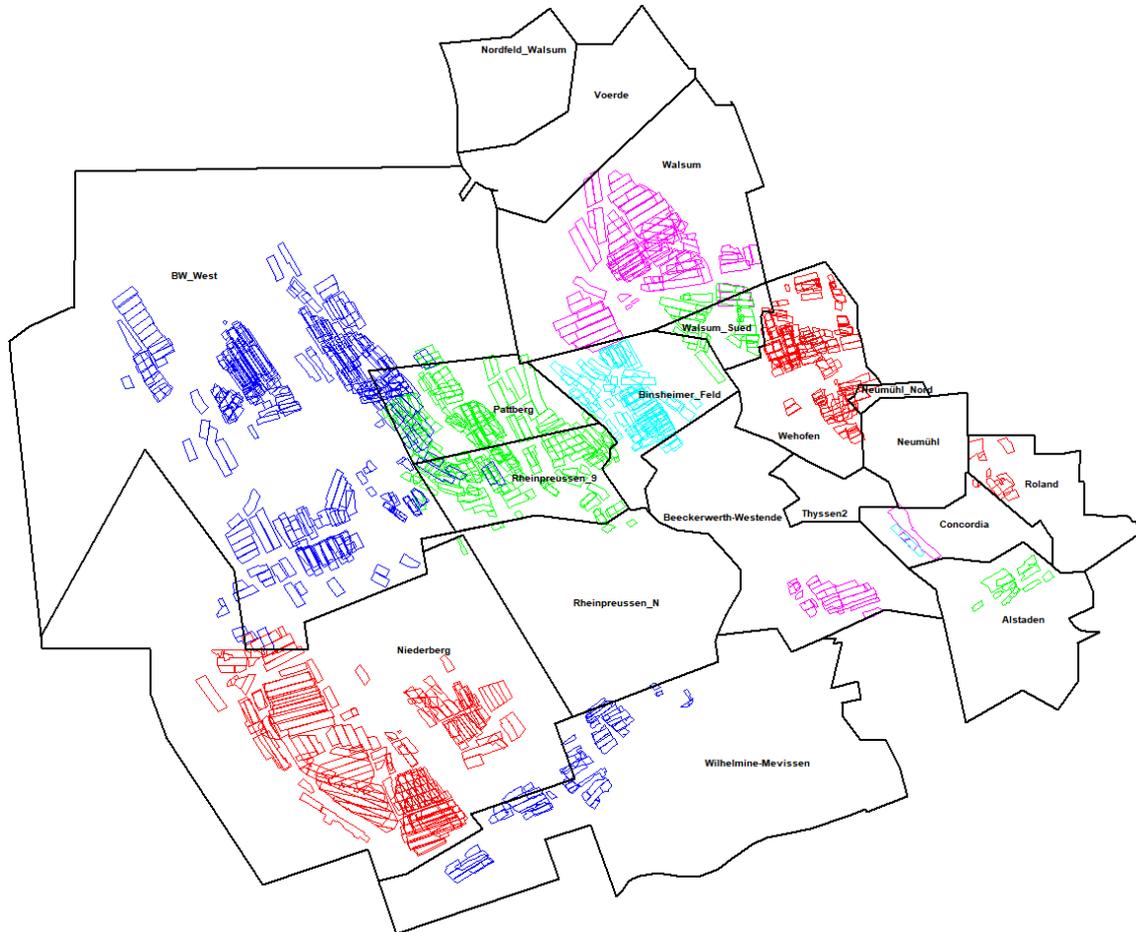


Abbildung 25: Verteilung der 1964-1984 mit PCB-Einsatz betriebenen Bauhöhen im Untersuchungsraum.

In der nun vom geplanten Wasseranstieg betroffenen zentralen Bereich der Wasserprovinz Concordia (vgl. Abbildung 2; Seite 7) befinden sich potenzielle PCB-Belastungsbereiche nur in der Box Concordia. Aufgrund des dort bereits 1966 eingestellten Abbaus wurden dort nur wenige Bauhöhen mit in Summe 59.167 m³ Resthohlraumvolumen mit Einsatz PCB-haltiger Betriebsstoffe aufgefahren, die sich oberhalb des heutigen Wasserstandes (-780 bis -790 mNHN) befinden (Abbildung 26). Dementsprechend gering ist die potenzielle Betroffenheit dieses Raumes durch den künftigen Wasseranstieg. In den übrigen Boxen mit PCB-Abbauaktivität in der Wasserprovinz Concordia (bis 1978) verändern sich die Wasserstände nicht. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich an den langjährig stationär stabilisierten Verhältnissen wenig verändern wird.

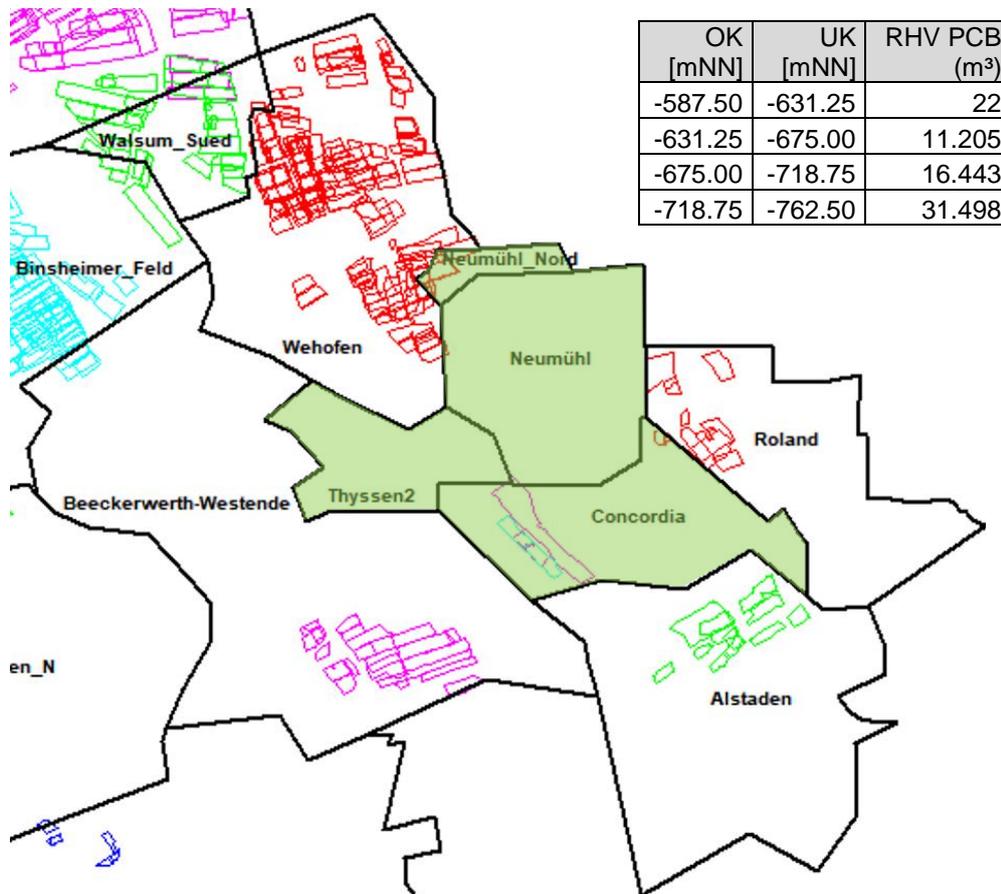


Abbildung 26: Verteilung der 1964-1984 mit PCB-Einsatz betriebenen Bauhöhen in der Wasserprovinz Concordia mit dem vom Wasseranstieg betroffenen Zentralbereich.

Gleichwohl liegt insbesondere der Wasseranstieg im Bereich West noch nicht lange zurück, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich hier noch keine stationären Verhältnisse eingestellt haben.

3.3.2 Schwebstoffgehalte

Eine Modellierung bzw. Modellkalibrierung für partikulär gebundene PCB ist ohne besondere Berücksichtigung der Feststoffgehalte im Grubenwasser nicht möglich. Diese werden standardmäßig im Grubenwasser als Abfiltrierbare Stoffe im Labor bestimmt. Die übliche Probenahmemethodik hat in Hinblick auf die Erfassung des Zustandes, in dem das Wasser durch die ehemaligen Bergwerke fließt, den Nachteil, dass bis zur Bestimmung im Labor bedingt durch Sauerstoffzutritt Eisen als Eisenhydroxid ausfällt. Dies führt zu Messwerten an Abfiltrierbaren Stoffen, die mit bis zu 100 mg/L sehr hoch im Niveau der Gehalte sind, wie sie auch in aktiven Bergwerken bedingt durch den Abbaubetrieb anfallen.

Bei der Ausfällung des im Grubenwasser enthaltenen Eisens entstehen so aus 1 mg/L Fe 1,91 mg/L Fe(OH)₃, das dann oft die Hauptmasse der gemessenen Abfiltrierbaren Stoffe ausmacht. Rechnet man die den Messwerten angepassten Modellwerte für Eisen im Grubenwasser Walsum (s. Abbildung 18; Seite 27) in Eisenhydroxid-Feststoff um, bildet man recht genau die als Abfiltrierbare Stoffe bestimmten Gehalte ab.

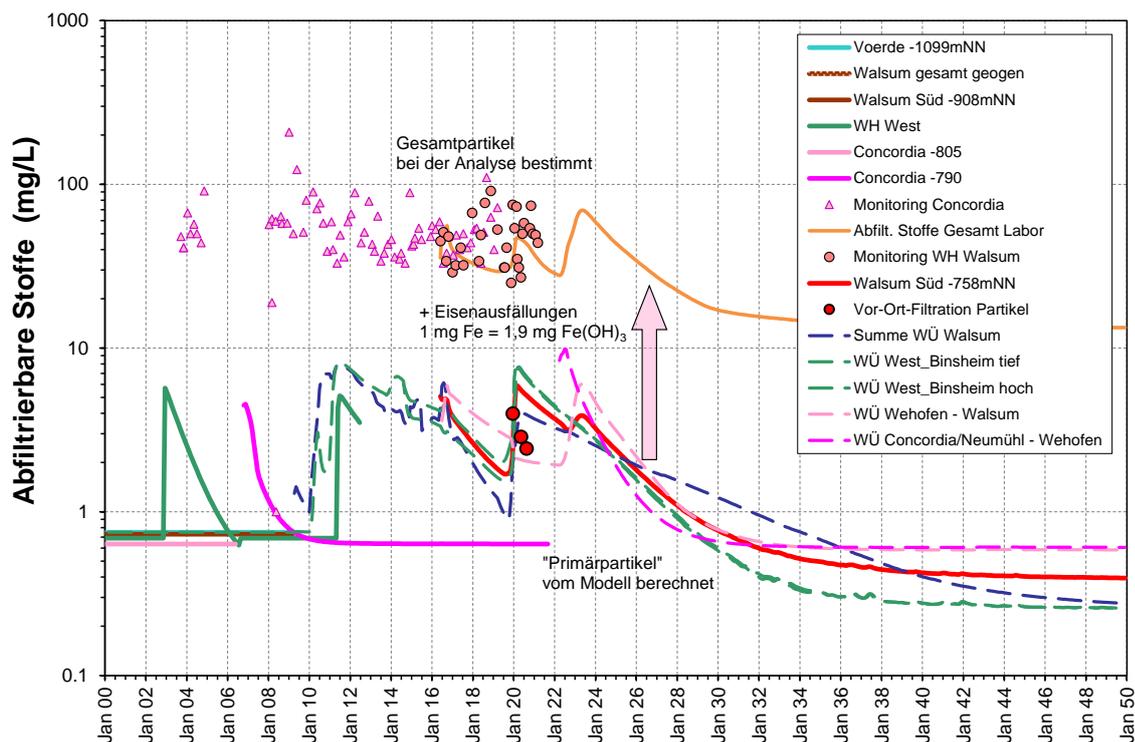


Abbildung 27: Konzentrationsentwicklungen für partikuläre Feststoffe (Modell und Monitoring) in der Wasserprovinz Walsum.

Daraus ist zu folgern, dass die primären Gehalte an partikulären Feststoffen (die dann auch PCB mitführen können) deutlich geringer sein müssen, als üblicherweise analytisch bestimmt wird. Zur Überprüfung dieser Verhältnisse wurden am Standort Walsum vor-Ort-Filtrationen des Grubenwassers durchgeführt, bei denen kein Sauerstoff hinzutreten konnte. Statt 50 mg/L wie in den Laborproben wurden nur 2 – 4 mg/L ermittelt (Abbildung 27). Solche Größenordnungen entsprechen derartigen Messungen an anderen Standorten. Die Grundlast an solchen Primärpartikeln kann am besten an Standorten mit stationären Verhältnissen mit möglichst geringe Eisengehalten bestimmt werden. Hier ergeben sich meist 1 – 2 mg/L. Die für Walsum ermittelten Werte bis 4 mg/L entsprechen so einem Wasser, das im Wasseranstieg mobilisierte primäre Feststoffe mitführt, was im Modell auch entsprechend abgebildet wird. Auch die vor-Ort filtrierten Proben enthalten Eisenhydroxide, die als sekundär im Sinne des Modells zu betrachten sind und für die Bestimmung des PCB-Gehaltes am Feststoff herausgerechnet wurden (s. Kap. 3.3.3).

Da das Modell einen Bezug zur PCB-Belastung in den Strecken hat und die sekundären Feststoffe wie Eisenhydroxid zu einer Verdünnung des PCB-Feststoffgehaltes führen, betrachtet das Modell ausschließlich die primären Feststoffpartikel. Abbildung 27 zeigt für die Wasserhaltung Walsum sowohl die Modellkurve für die primären Feststoffe (vor-Ort-Filtration und Modell) als auch die Stoffmenge, die sich aus diesen Werten + sekundären Eisenhydroxidpartikeln (berechnet aus Modell-Fe) ergibt. Diese Summe entspricht den Laborwerten. Aus den Übereinstimmung dieser beiden Datensätze leitet sich die Plausibilität dieser Vorgehensweise ab.

Aufgrund des nur geringen Concordia-Einstaus mit nur geringem Feststoffmobilisationseffektes wird in der Folge wird erwartet, dass die Feststoffgehalte im Grubenwasser in Kombination von verminderter Erosion, Wasseraustausch und Sedimentation mehr oder minder kontinuierlich abnehmen. Nach weniger als 10 Jahren Wasserhaltung dürften 1 mg/L unterschritten werden, was die Bestimmungsgrenze in der üblichen Laboranalytik darstellt. An dieser Stelle ist jedoch nochmals darauf hinzuweisen, dass die Messungen in einem solchen Wasser durch Sekundärfällungen auch in der Zukunft höhere Werte als die der hier ausgewiesenen Primärpartikel ergeben werden.

3.3.3 PCB

Entsprechend den im Vorfeld beschriebenen Zusammenhängen sind PCB-Gehalte im Grubenwasser im Wesentlichen ein Resultat aus der Konzentration von Schwebstoffen im Wasser (s. Kap. 3.3.2) und dem PCB-Gehalt dieser Schwebstoffe. Die sich daraus berechnenden Konzentrationen in Zuflüssen, Teilströmen und schließlich dem gehobenen Grubenwasser sind beeinflusst durch die bergbaulichen Rahmenbedingungen und die dementsprechenden Einträge der verschiedenen Partikeltypen:

- PCB-haltige Partikel, die in ihrem Mobilisations- und Transportverhalten im Modell in drei Kornfraktionen betrachtet werden.
- PCB-freie Partikel, die ebenfalls mit drei Kornfraktionen im Modell berücksichtigt werden.
- Das Verhältnis zwischen den beiden Partikeltypen resultiert aus dem Flächenverhältnis der jeweiligen Bauhöhen in den verschiedenen hydraulisch angeschlossenen Niveaus.

Für die grafischen Auswertungen wird die Summe der 7 PCB-Kongeneren für die Summe der 3 Kornfraktionen dargestellt, um die Ergebnisse übersichtlich zu gestalten. Auch hier werden die zukünftigen Entwicklungen im Grubenwasserabfluss sowie den Wasserübertrittsstellen in den Zusam-

menhang mit den Modellberechnungen des heute gehobenen Grubenwassers gestellt, um so die aktuelle Situation nachvollziehen zu können und die erwarteten Veränderungen direkt aufzeigen zu können.

Das Modell berechnet eine Mischung der während des Wasseranstiegs mit den Zuflüssen eingetragenen und durch zusätzliche Erosion mobilisierten Partikelgehalte. Für die PCB an den zuvor beschriebenen Primärpartikeln ergeben sich so Gehalte um 1.000 µg/kg (Abbildung 28).

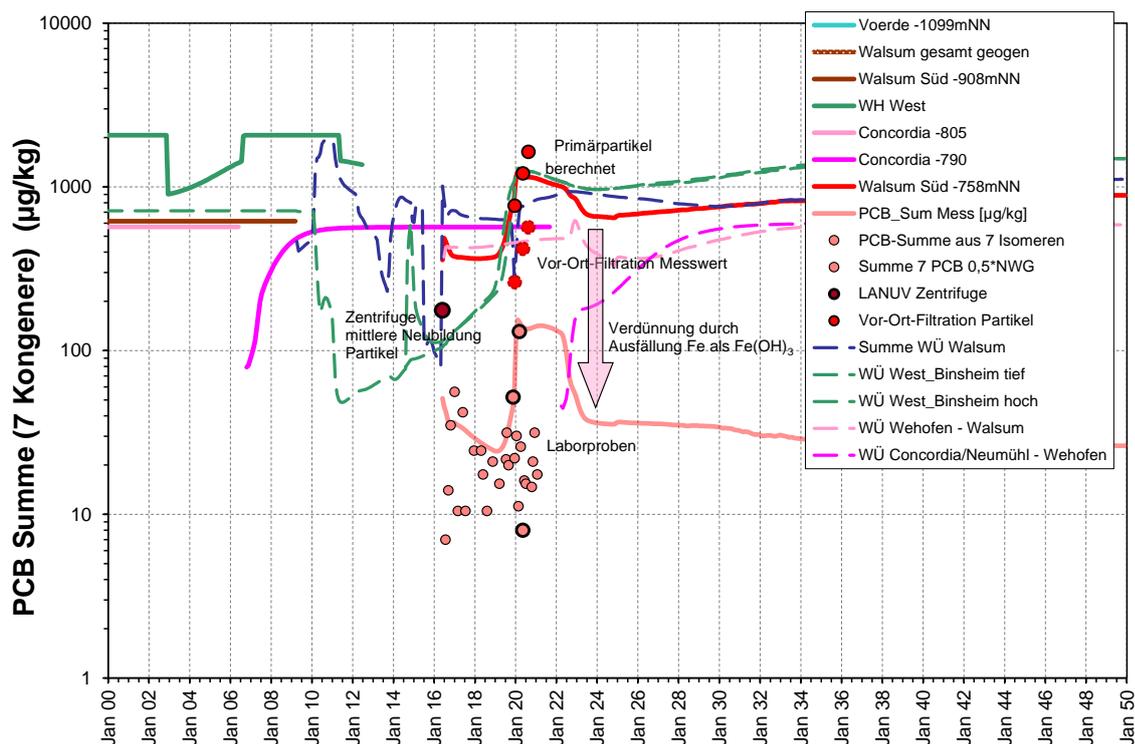


Abbildung 28: Entwicklungen für PCB-Gehalte am Feststoff (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum.

Zur Einordnung dieser Werte liegen Messwerte mit verschiedenen Verfahren vor, die in unterschiedlichem Maße durch sekundäre Feststoffe beeinflusst sind. Der Realität am nächsten kommen die Proben aus der vor-Ort-Filtration (Proben aus den Sedimentkästen des LANUV lagen zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht vor). Hier wurden Gehalte von 300 – 600 µg/kg bestimmt. Diese Werte liegen bereits in der Größenordnung der Modellkurve. Rechnet man zudem die in dem Material enthaltenen Stoffe heraus, von denen anzunehmen ist, dass sie auf dem Transportweg gebildet worden sind bzw. aus anderen Quellen stammen, ergeben sich Gehalte um 800 – 1.600 µg/kg. Diese Betrachtungen belegen die vom Modell angenommene Größenordnung zur PCB-Belastung von Primärpartikeln (Tonminerale, Silikate, Kohle).

Standardproben (aus 10 Litern Wasser im Labor abfiltrierte Feststoffe), die dann auch das inzwischen ausgefallene Eisen beinhalten, zeigen deutlich

geringere Werte. Meistens wird der primäre Feststoff so stark verdünnt, dass die mit den verfügbaren Probenmengen realisierbaren Bestimmungsgrenzen meist unterschritten werden. Abbildung 28 weist hier die Werte der halben Bestimmungsgrenze aus. In nur drei derartigen Proben wurden belastbare Gehalte ermittelt, die sehr gut in den Trend fallen, der sich bei Einrechnung der Modellwerte zu Eisen für einen Gesamtfeststoff ergibt. Für die Zentrifugenprobe den LANUV ist bekannt, dass auch hier durch Luftzutritt Eisenausfällungen bei der Probengewinnung auftreten, was den hier bestimmten intermediären PCB-Gehalt und auch das Gesamtkonzept des PCB-Modells plausibel erscheinen lässt.

Eine direkte Quantifizierung des PCB-Gehaltes im Grubenwasser unter Vermeidung dieser komplexen Wechselwirkungen mit Feststoffen wird durch eine Analyse des in der Gesamtprobe (Wasser incl. Feststoff) enthaltenen PCB ermöglicht. Diese Vorgehensweise umgeht die Fragestellung einer partikulär-gelöst-Fraktionierung der PCB-Gehalte und auch die Schwierigkeiten diese zu bestimmen. Auch die Diskussion, ob der mobile Anteil gelöst oder feinstpartikulär vorliegt und ob Filterproben auch von Sorptionseffekten am Filter begleitet werden, wird damit obsolet. Solcherart werden Grubenwasserproben (1 Liter Gesamtextraktion) von RAG schon seit vielen Jahrzehnten untersucht. Während jedoch zu Zeiten den PCB-Einsatzes die Stoffgehalte noch ausreichend hoch für eine Bestimmung mit den üblichen Verfahren waren, ergeben die seitdem deutlich geringen Gehalte nur noch Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze. In den letzten Jahren wurde daher ein Verfahren getestet, das zwar auch auf einer 1 Liter-Probe mit Gesamtextraktion basiert, durch ein hochauflösendes Analyseverfahren jedoch deutlich geringe Bestimmungsgrenzen (1 ng/L) erreicht, so dass zumindest die in höheren gehalten vorhandenen bergwerkstypischen PCB-Kongenere eindeutig detektiert werden können.

Mit diesem Verfahren werden in der Grubenwasserhebung Walsum seit Dezember 2019 Proben untersucht. Darüber hinaus lassen sich die an der Feststofffraktion ermittelten PCB-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$) mit den Gehalten an den Abfiltrierbaren Stoffen (mg/L) in einen Konzentrationswert (ng/L) umrechnen und mit den Gesamtextraktionswerten vergleichen (Abbildung 29). Dies funktioniert für vor-Ort und im Labor abgetrennte Feststoffe gleichermaßen. Sekundäreffekte müssen nicht berücksichtigt werden. Ganz analog können die entsprechenden Modellwerte in eine Konzentration umgerechnet werden. Als Konzentrationswert lasen sich somit alle vorhandenen Untersuchungen zusammenführen.

Gleichwohl sind bei der Interpretation die Datenherkunft und die Herangehensweise zu berücksichtigen:

- Die Gesamtextraktion sollte die höchsten Werte ergeben, da hier definitiv der PCB-Gesamtgehalt ermittelt wird.
- Das Modell basiert auf einem feststoffbasierten Transport, berücksichtigt aber auch eine mobile Feinstfraktion, die mit einem gelösten Anteil vergleichbar ist.
- Filterproben enthalten die Feststofffraktion $>0,45 \mu\text{m}$ und wohl auch am Filtermaterial sorbierte gelöste Anteile.
- Für im Labor aus Wasserproben abgetrennte Feststoffe gilt im Prinzip dasselbe mit dem Nachteil der geringen Bestimmungsgenauigkeit.

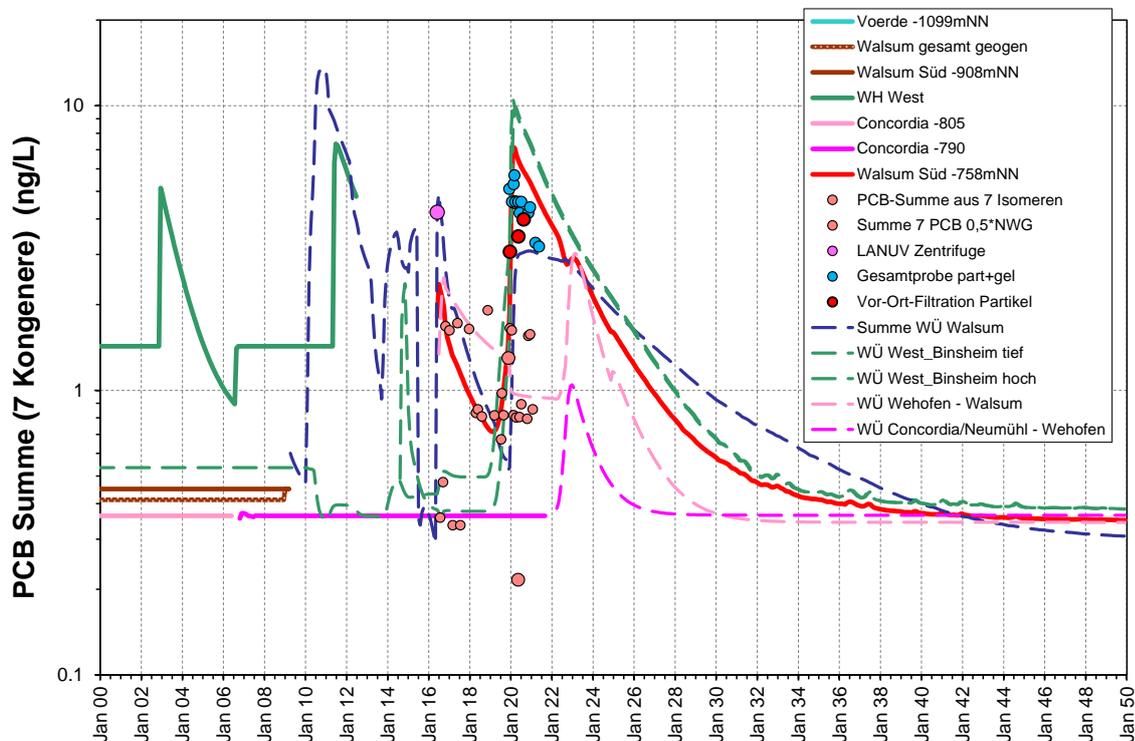


Abbildung 29: Konzentrationsentwicklungen für PCB (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum.

Fixpunkte für die Modellkalibrierung waren somit die Gesamtextraktionsproben sowie die vor-Ort-Filterproben, da hier auch ausreichende Feststoffmengen zur Verfügung standen. Die Modellkurve beschreibt die vorliegenden Messwerte recht genau. Die genannten Daten liegen vor allem für die Phase vor, in der der Zulauf aus West bereits aktiv war (seit Dezember 2019). Das Modell schätzt die Summe der betrachteten 7 PCB-Kongenere noch etwas höher ein als es den Werten der Gesamtextraktion entspricht, was auch dem Umstand geschuldet ist, dass in den Analysen die Gehalte der höherchlorierten Kongenere fast immer unter der Bestimmungsgrenze

liegen, so dass nur PCB-28 und PCB-52 in den Summenwert einfließen – das Modell berechnet hingegen Werte für alle 7 Einzelverbindungen.

Der Verlauf der Modellkurve basiert vor allem auf der Entwicklung der Feststoffgehalte und geht davon aus, dass aus dem Wasseranstieg West eine deutliche Erhöhung der PCB-Gehalte in der Wasserhaltung Walsum erfolgt ist. Allerdings ist dies mit der heterogenen Datenbasis nicht eindeutig belegbar. Die Zentrifugenprobe kurz nach Aufnahme der Wasserhaltung Walsum deutet auch auf einen entsprechenden Initialpeak beim PCB-Austrag hin.

Für die weitere Entwicklung erwartet das Modell eine Abnahme auch der PCB-Konzentrationen, was ebenfalls vor allem aus abnehmenden Partikelgehalten resultiert. Der Wasseranstieg Concordia wirkt sich kaum aus erkennbar an den Kurven für die Wasserübertrittsstellen. Größere Bedeutung als dem Ablauf aus den heutigen Wasserprovinz Concordia selbst weist das Modell dem Bereich Wehofen zu, wo die veränderten Fließbedingungen als Sekundäreffekt des Wasseranstiegs einen erhöhten PCB-Austrag induzieren, der dann erst zu Auswirkungen in der Wasserhaltung Walsum führt.

Bezüglich der Wassereinleitung in den Vorfluter sind allerdings nicht die Summe der sieben analysierten PCB-Kongenere, sondern Einzelkongenere von Bedeutung. Die häufigsten Kongenere in den im Ruhrbergbau verwendeten Produkten sind PCB-28 und PCB-52 in zum Teil wechselnden Anteilen. Die aktuellen Proben im Mischwasser enthalten PCB-52 als die dominierende PCB-Verbindung, weshalb Abbildung 30 (logarithmische Skala) und Abbildung 31 (Zeitausschnitt seit Aufnahme der Wasserhaltung Walsum und lineare Skala) die Datenlage und Modellbeschreibungen nochmals für diesen Parameter gesondert darstellen.

Die lineare Darstellung weist die einzelnen Beiträge der Teilströme Walsum, West und Concordia deutlich erkennbar aus. Auf die Anpassung des Modells für diesen PCB-Leitparameter wurde besonderer Wert gelegt. Die Modellkurve für die feststoffgebundenen PCB bleibt leicht unterhalb der Gesamtextraktionsproben (partikulär + gelöst) und oberhalb der Feststoffproben. Inwiefern weitere Proben den sich andeutenden Trend abnehmender Konzentrationen im Sinne des Modells bestätigen bleibt abzuwarten.

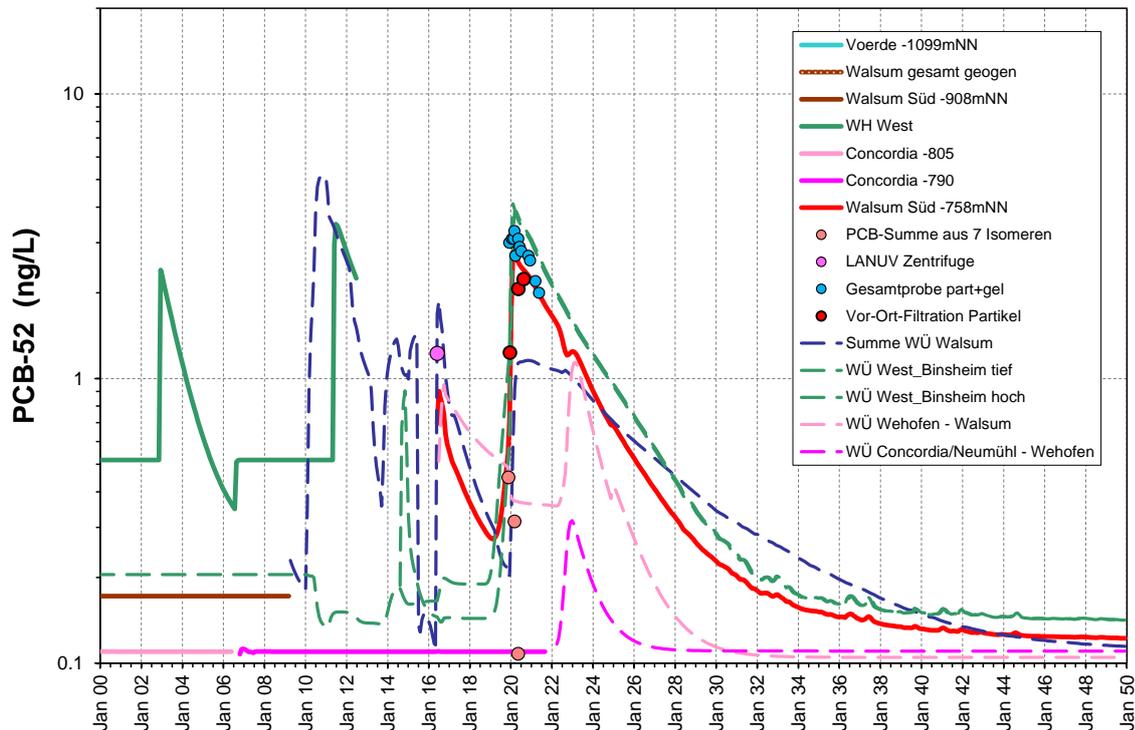


Abbildung 30: Konzentrationsentwicklungen für PCB-52 (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum (logarithmische Skala entspr. Abbildung 29).

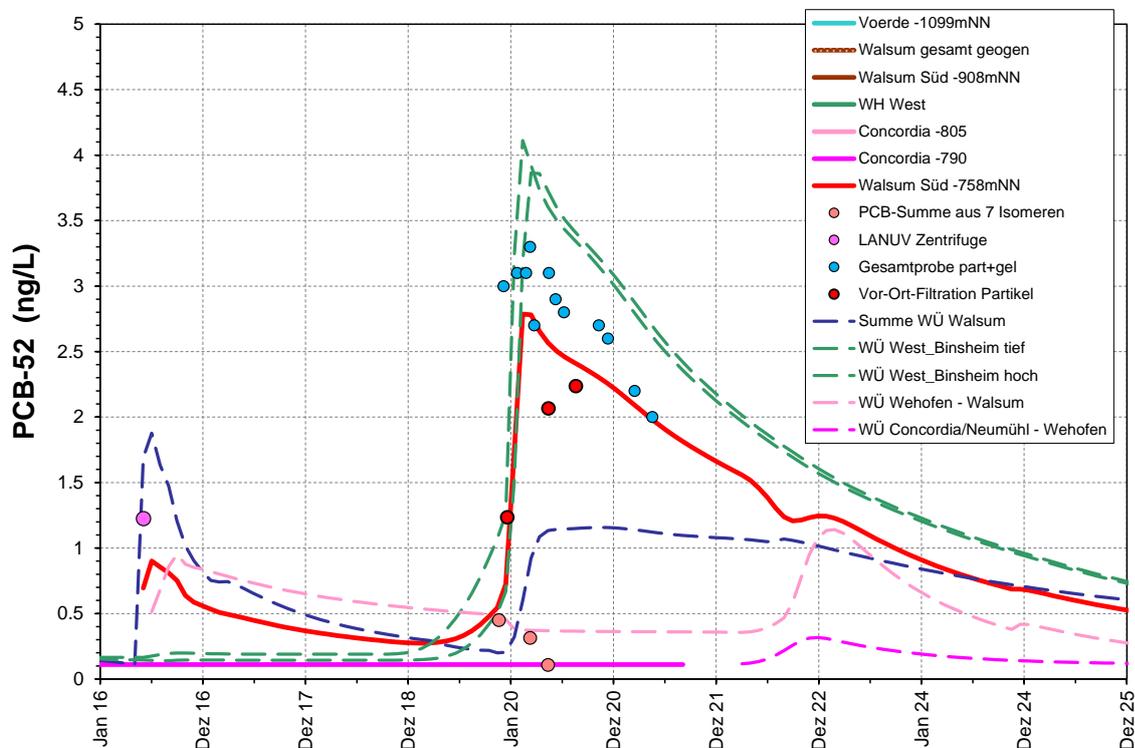


Abbildung 31: Konzentrationsentwicklungen für PCB-52 (Modell, Monitoring, berechnete Werte) in der Wasserprovinz Walsum (lineare Skala).

Das Modell ist wie gezeigt in der Lage, PCB-Gehalte plausibel zu erklären und abzubilden und so auch Voraussagen für die künftigen Entwicklungen

zu treffen. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Modell Primärpartikel und die daran gebundenen PCB berücksichtigt. Diese Feststoffwerte sind geringer und die PCB-Gehalte daran höher als später voraussichtlich gemessen wird, da sie fast immer durch Gehalte an Eisenhydroxiden beeinflusst sind, die aus einem solchen Flutungswasser aufgrund der darin enthaltenen Eisenkonzentrationen bis zur analytischen Bestimmung im Labor ausfallen. Die berechneten Konzentrationswerte stellen somit eine neutrale Bezugsgröße unabhängig von solchen Effekten dar.

Die während und nach dem Wasseranstieg erwarteten Veränderungen befinden sich in Übereinstimmung mit den im ahu-Gutachten ("Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen" - Endbericht, Abgabe April 2017) allgemein beschriebenen und im Model umgesetzten Prozessen. Wesentlich für die Gesamtaussage sind nicht die absoluten Konzentrationsniveaus, die, wie für die Kalibrierung beschrieben, verschiedentlich Variationsoptionen aufweisen. Auch die PCB-Gehalte am Feststoff sind zwar Berechnungsgrundlage aber ansonsten von untergeordnetem Gewicht. Für die Bewertung des Grubenwasserkonzeptes ist vor allem von Bedeutung, dass durch den geplanten Wasseranstieg nach anfänglichen Maximalwerten die PCB-Austräge mittel- und langfristig abnehmen werden.

4 Zusammenfassung

Die Planungen der RAG sehen vor, am Standort Walsum künftig das Grubenwasser aus drei zuvor durch Schwellen voneinander getrennten Wasserhebungsbereichen zu Tage zu fördern. Nachdem zunächst das Bergwerk Walsum seinen Betrieb eingestellt hatte, das Grubenwasser dort anstieg und schließlich 2016 der Pumpbetrieb mit ca. 3 m³/min aufgenommen wurde, strömt seit 2019/2020 auch das Wasser (5,8 m³/min) aus dem ehem. Bergwerk West (Betriebsende 2012) in die Wasserhaltung Walsum, so dass seitdem dort ein Mischwasser (8,8 m³/min) gehoben wird.

Die heutige Wasserhaltung Concordia ist seit der Einstellung des Bergbaus den siebziger Jahren in der heutigen Form in Betrieb, so dass hier präzisere Erfahrungen zu Menge und Zusammensetzung der zulaufenden Grubenwässer ohne Überprägung durch aktiven Bergbau vorliegen. Die Wasserprovinz ist nach Norden durch Abbauannäherungen über Wehofen an Walsum angeschlossen, so dass nach der für Ende 2021 geplanten Einstellung dieses Pumpbetriebs von einem Wasserübertritt nach Norden ausgegangen werden kann. Da die randlichen Bergwerke bereits hohe Wasserstände aufweisen, ist der vom Wasseranstieg betroffene Bereich gering, jedoch ist

aufgrund des Charakters der hydraulischen Verbindung davon auszugehen, dass ein erhöhter Vordruck zum Abfluss der 4 m³/min erforderlich sein wird.

Der Wasserzutritt des West-Wassers erfolgte zu einem Zeitpunkt, zu dem sich in der Wasserhaltung Walsum noch keine Gleichgewichtsbedingungen eingestellt hatten. Diese Veränderungen der Konzentrationen im zur Wasserhaltung strömenden Grubenwasser sind vor allem durch die Mobilisation und Auswaschung von Produkten der Pyritoxidation im Wasseranstieg aber auch durch einen Austausch des Grubenwassers in Anpassung an die neuen Strömungsverhältnisse bedingt. In diese noch instationäre Phase fiel die Ankunft des Wassers aus dem Bereich West, das mit den verbindenden Bergwerken unter dem Rein ebenfalls in sich selbst nicht ausgeglichen ist und zudem in Mischung mit dem Walsum-Wasser sehr dynamische Bedingungen im gehobenen Grubenwasser erzeugt.

Diese Situation spiegelt sich insbesondere in den Sulfatgehalten des gehobenen Grubenwassers wider, die seit dem Wasserzutritt West 2019/2020 deutlich abgenommen haben und auch offensichtlich noch weiter abnehmen. Dies steht nicht im Einklang mit den hydrochemischen Verhältnissen, die aus den Wasserdaten des noch betriebenen Bergwerks abgeleitet und in die vorherigen Modellkalibrierungen und Prognosen übernommen wurden. Die aktualisierte Modellkalibrierung war nur zu realisieren, indem dem BW West deutlich erhöhte Bariumgehalte zugeordnet wurden. Auch die Wassermengen fielen gegenüber der seinerzeitigen Bestandsaufnahme geringer aus. Solche Anpassungen sind zum Teil durch Effekte der bergwerksinternen Wasserhaltung zu erklären (Umleitung von Wasserströmen, drei bzw. zwei Wasserhaltungen, hohe Betriebswassermengen), aber insbesondere bezüglich der Barium-Sulfat-Situation ungewöhnlich. Hinzu kommt, dass diesbezüglich im hydrochemischen Bestand bislang noch nicht eindeutig interpretierbare Verhältnisse vorliegen.

Dennoch bildet die aktuelle Modellkalibrierung die bisherige Konzentrationsentwicklung sehr genau ab und erlaubt auf dieser Basis auch eine Vorausschau auf die künftige Entwicklung unter Zutritt des Wassers aus der Wasserhaltung Concordia. Für dieses wird erwartet, dass es sich aufgrund des geringen Wasseranstiegs aus heute bereits stationären Stillstandbedingungen in Menge und Zusammensetzung, abgesehen von den anfänglich ausgewaschenen Pyritoxidationsprodukten, nur wenig vom heutigen Zustand unterscheidet. Insofern erscheint eine diesbezügliche Einschätzung deutlich besser möglich, als dies seinerzeit für das komplexe aus vielen Einzelaufzügen bestehende West-Wasser möglich war. Bei einer gemeinsamen Wasserhaltung Walsum – West – Concordia ist von einem Gesamtzufluss von ca. 12,8 m³/min auszugehen.

Tabelle 1: Konzentrationen in der Wasserhebung Walsum im Hinblick auf die Auswirkungen eines Wasserübertrittes aus der Wasserprovinz Concordia.

		Walsum + West vor Übertritt Concordia Wert	Anfangsphase nach Übertritt Concordia (Beeinflussung durch Mobilisations- effekte im Wasseranstieg)		Ende Berechnung ± Gleichgewicht Wert
			Mittel	Max	
Auswertezeitraum	von bis	Mrz. 2022 Mrz. 2022	Apr. 2022 Jan. 2028		Dez. 2049 Dez. 2049
Wassermenge	m ³ /min	8.77	12.37	12.78	12.78
Temperatur	°C	35.0	35.4	35.7	34.7
pH		6.44	6.58	6.61	6.62
Natrium	mg/L	18,833	18,098	23,054	16,048
Kalium	mg/L	263	259	411	239.4
Calcium	mg/L	700	820	858	737
Magnesium	mg/L	327	299	326	301
Eisen	mg/L	12.8	20.4	34	7
Mangan	mg/L	1.28	1.44	2.07	0.66
Zink	mg/L	0.20	0.22	0.34	0.05
Blei	mg/L	0.010	0.013	0.016	0.009
Nickel	mg/L	0.014	0.018	0.029	0.008
Cadmium	mg/L	0.0019	0.0019	0.0025	0.0011
Kupfer	mg/L	0.024	0.025	0.035	0.013
Chrom	mg/L	0.004	0.005	0.005	0.005
Barium	mg/L	11.3	41.3	94.6	230.6
Strontium	mg/L	26.7	46.0	49.6	49.3
Bor	mg/L	2.63	2.43	2.69	2.40
Ammonium	mg/L	15.9	15.5	16.6	15.41
Chlorid	mg/L	31,191	30,197	37,797	27,143
Sulfat	mg/L	333	318	577	76
Hydrogenkarbonat	mg/L	212	281	318	261
Bromid	mg/L	47.8	44.4	51.6	43.46
Nitrat	mg/L	1.7	1.5	1.7	1.40
Nitrit	mg/L	0.024	0.028	0.058	0.024
Phosphat	mg/L	0.04	0.04	0.04	0.04
Abfilt. Stoffe	mg/L	3.58	2.40	3.87	0.39
PCB Summe	ng/L	3.628	1.755	3.544	0.350
PCB-28	ng/L	1.187	0.581	1.154	0.131
PCB-52	ng/L	1.591	0.750	1.558	0.122
PCB101	ng/L	0.327	0.163	0.320	0.037
PCB-118	ng/L	0.224	0.110	0.220	0.024
PCB-138	ng/L	0.124	0.063	0.121	0.016
PCB-153	ng/L	0.131	0.066	0.128	0.016
PCB-180	ng/L	0.044	0.021	0.043	0.004

Während die drei Teilströme bezüglich ihrer Salzgehalte (z.B. Chlorid, Natrium, Bor, Bromid) zwar spezifische Muster aufweisen aber insgesamt recht

ähnlich sind, gibt es deutliche Unterschiede in ihrer Verteilung bezüglich der Barium- und Sulfat-Gehalte innerhalb der Wasserprovinz Walsum. Diese beiden Stoffe stammen aus unterschiedlichen Quellen und stehen aufgrund ihrer geringen gleichzeitigen Löslichkeit und der daraus resultierenden Ausfällung von Bariumsulfat in gegenseitiger Wechselwirkung. Die Grubenwässer aus Walsum (Sulfat) und Concordia (Barium) weisen jeweils unterschiedliche geogen stabile Grundlasten an diesen Stoffen auf. Das Bergwerk West durchläuft die Phase der Sulfatauswaschung und die Trends in der Mischwasserzusammensetzung (ein anderer Beobachtungspunkt existiert nicht) deuten an, der hier ebenfalls künftig bariumhaltiges Grubenwasser zufließt.

Bei dieser heterogenen Zuflusssituation zu den im Bereich der 4. Sohle Walsum positionierten Pumpen (die Teilprovinzen weisen z.T. mehrere Anschlüsse an die Schachtumtriebe auf) ist von Mischungen und Ausfällungen von Bariumsulfat im Nahbereich und in der Wasserhaltung selbst auszugehen. Aktuell existiert noch eine Sulfatdominanz, die derartige Prozesse überdeckt. Im Falle einer solchen Mischung, wie sie spätestens durch den Wasserzutritt Concordia auftreten wird, ist von Bariumsulfatausfällungen in den Strecken, Pumpen und Rohrleitungen auszugehen. Für den Gleichgewichtszustand ist ein Bariumüberschuss nicht auszuschließen. Tabelle 1 zeigt für diese Situation ein gleichzeitiges Auftreten von Barium- und Sulfat, das eine unvollständige Reaktion anzeigt und die Ungleichgewichtsbedingungen in einer solchen Hebungssituation charakterisiert.

Tabelle 1 enthält die auf dem aktuellen Modell basierenden Referenzkonzentrationen für relevante Zeitpunkte innerhalb des künftigen Wasserhebungsablaufes. Ausgewiesen werden dort (grafische Darstellung s. Abbildung 18;Seite 27):

- die Modellwerte für das Mischwasser Walsum – West vor Zutritt von Concordia-Wasser (März 2022),
- mittlere und maximale Konzentrationen in der durch im Wasseranstieg mobilisierte Oxidationsprodukte beeinflussten Anfangsphase nach Zutritt des Concordia-Wassers (April 2022 – Januar 2028)
- sowie den annähernden Gleichgewichtszustand (keine Oxidationsprodukte, Mischung und Wasseraustausch) zum Ende der Modellberechnung (Dezember 2049).

Die einzelnen Konzentrationsveränderungen können sehr unterschiedliche Ursachen und Quellen haben und sind nur im Kontext der jeweiligen Zuflusssituation zu erklären, weshalb diesbezüglich auf die vorherigen Kapitel verwiesen sei. Insgesamt dokumentiert diese Zusammenstellung die chemisch bis auf Barium und Sulfat recht ausgeglichenen chemischen Zusammensetzungen der Grubenwässer innerhalb der Wasserprovinz.

Tabelle 2: Konzentrationen des aus der Wasserprovinz Concordia abfließenden Wassers im Vergleich von heutiger Wasserhebung und künftigem Wasserübertritt nach Wehofen/Walsum.

		Wasserhebung Concordia -790mNN Wert	Übertritt Concordia nach Wehofen (Beeinflussung durch Mobilisations- effekte im Wasseranstieg)		Übertritt Concordia nach Wehofen Ende Berechnung ± Gleichgewicht Wert
Auswertezeitraum	von bis	Sep. 2021 Sep. 2021	Mittel	Max	Dez. 2049 Dez. 2049
Wassermenge	m³/min	4.03	3.63	4.01	4.01
Temperatur	°C	31.2	30.6	32.9	30.0
pH		7.13	7.09	7.20	7.21
Natrium	mg/L	13,989	13,515	13,839	13,866
Kalium	mg/L	169.0	164.7	167.8	167.8
Calcium	mg/L	1,080	1,111	1,331	1,050
Magnesium	mg/L	275	258	289	270
Eisen	mg/L	12.6	40.7	112	13.0
Mangan	mg/L	0.51	1.62	4.46	0.52
Zink	mg/L	0.07	0.18	0.47	0.07
Blei	mg/L	0.014	0.019	0.033	0.014
Nickel	mg/L	0.008	0.030	0.087	0.008
Cadmium	mg/L	0.0009	0.0021	0.0049	0.0009
Kupfer	mg/L	0.016	0.027	0.055	0.016
Chrom	mg/L	0.005	0.005	0.005	0.005
Barium	mg/L	156.2	24.0	108.5	137.5
Strontium	mg/L	102.6	94.0	98.0	97.2
Bor	mg/L	1.92	1.87	1.91	1.91
Ammonium	mg/L	13.8	13.1	13.6	13.63
Chlorid	mg/L	24,344	23,413	24,039	24,094
Sulfat	mg/L	3	210	962	0.1
Hydrogenkarbonat	mg/L	506	530	689	466
Bromid	mg/L	34.4	33.2	34.0	34.10
Nitrat	mg/L	0.81	0.83	0.88	0.82
Nitrit	mg/L	0.020	0.020	0.021	0.020
Phosphat	mg/L	0.06	0.06	0.06	0.06
Abfilt. Stoffe	mg/L	0.64	2.95	9.88	0.61
PCB Summe	ng/L	0.362	0.526	1.045	0.364
PCB-28	ng/L	0.132	0.191	0.380	0.132
PCB-52	ng/L	0.110	0.160	0.317	0.110
PCB101	ng/L	0.044	0.064	0.127	0.044
PCB-118	ng/L	0.027	0.040	0.079	0.028
PCB-138	ng/L	0.022	0.032	0.063	0.022
PCB-153	ng/L	0.022	0.032	0.063	0.022
PCB-180	ng/L	0.005	0.008	0.016	0.006

Die Prüfung der Korrelation von Wasserstand und Konzentrationen ergab, dass sich keine belastbare Abhängigkeit der stofflichen Zusammensetzung im Grubenwasser von den pumpzyklusgesteuerten Wasserständen zwischen -750 und -760 mNHN erkennen lässt. Auf Grundlage der vorliegenden Messwerte kann davon ausgegangen werden, dass sich dies auch zukünftig, nach Zutritt der Concordia-Wässer, für die Annahme des Grubenwassers am Standort Walsum so darstellt.

Mit dem Grubenwasser Concordia ist mit einem zusätzlichen Eiseneintrag in die Wasserhaltung Walsum zu rechnen. Für die heutigen PCB-Gehalte, denen überwiegend eine Herkunft aus dem BW-West zugeordnet wird, wird mittelfristig eine kontinuierliche Minderung erwartet. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass die Wasserprovinz Concordia aufgrund des geringen durch den Wasseranstieg beeinflussten PCB-Abbaus, auch nur sehr geringe Auswirkungen auf die PCB-Gehalte hat.

Tabelle 2 dokumentiert die Veränderungen aus dem heute stationären Wasserhebungs-Zustand in den Wasserübertritt nach Norden zur Wasserprovinz Walsum. Hier ist zu erkennen, dass die erwarteten Verhältnisse bei Gleichgewichtsbedingungen und Wasserübertritt nach Walsum nahezu vollständig der heutigen Situation entsprechen – unterbrochen von der Phase nach dem Wasseranstieg, wenn die dabei mobilisierten Stoffe sukzessive wieder ausgewaschen werden.

Die künftigen Verhältnisse in der Wasserhaltung Walsum entwickeln sich daher in Kombination von den Trends in dem Zustrom von West in Mischung mit dem Grubenwasser Walsum unter künftiger Beimischung des Concordia-Wassers. Die heutige dynamische Entwicklung bei z.T. auch noch nicht eindeutiger Datengrundlage erfordert eine weitere intensive Beobachtung des gehobenen Grubenwassers vor allem bezüglich der Barium-Sulfat-Situation.

