

GUTACHTEN

Titel: **Hydrogeologisches Gutachten zu Fragen des Grubenwasseranstiegs, betroffenen Grundwasserkörpern und der Positionierung neuer Grundwassermessstellen**

Datum: 27.06.2024

Auftraggeber: RAG

Auftrag vom: 03.03.2022

Ansprechpartner: Herr Roth

Auftragnehmer: ahu GmbH Wasser · Boden · Geomatik, Aachen

Projektbearbeitung: Herr Dr. M. Denneborg (Projektleitung)
Herr Dr. U. Boester (Projektbearbeitung)

Aktenzeichen: RAGTIEF / 22351

Ausfertigung Nr.: PDF

INHALT

1	ZIELSETZUNG UND KURZFASSUNG DES GUTACHTENS	1
1.1	Kenntnis- und Datenbestand der tiefen Grundwasserleiter und des Grubengebäudes	3
1.2	Monitoring des Grubenwasseranstiegs	4
1.3	Tiefe Grundwasserkörper (tGWK)	4
1.4	Numerisches Konzeptmodell	5
2	ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG	7
2.1	Verwendete Unterlagen	9
2.2	Definitionen und Abkürzungen	13
3	GRUBENWASSERKONZEPT DER RAG	15
3.1	Grundlagen und Überblick	15
3.2	Fließwege in den Wasserprovinzen	17
3.3	Umsetzung des Grubenwasserkonzepts	22
3.3.1	Wasserhaltungsstandort Walsum (Westliches Ruhrrevier)	22
3.3.2	Wasserhaltungsstandort Lohberg (Wasserprovinz Mitte)	22
3.3.3	Wasserhaltungsstandort Haus Aden (Wasserprovinz Haus Aden)	23
3.3.4	Wasserhaltungsstandorte südliches Ruhrrevier	23
3.4	Überwachung des Grubenwasseranstiegs	24
3.4.1	Stand	24
3.4.2	Lotungsstandorte	26
3.4.3	Tiefe Grundwassermessstellen im Deckgebirge	28
3.5	Prognostizierter Verlauf der Grubenwasseranstiege	32
4	INTEGRALES MONITORING	34
5	HYDROGEOLOGISCHER AUFBAU	36
5.1	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	36
5.2	Hydrogeologischer Aufbau des Münsterländer Kreidebeckens	37
5.3	Homogenbereiche	39
5.4	Hydrochemie des hydrogeologischen Systems	42
5.4.1	Hydrochemische Tracer im hydrogeologischen System	42
5.4.2	Jahresberichte „Tiefe Pegel“	44
5.4.3	Zukünftige Möglichkeiten im Monitoring	46

6	BESCHREIBUNG DER OBERFLÄCHENNAHEN UND TIEFEN GRUNDWASSERKÖRPER	47
6.1	Definition und Kenntnisstand	47
6.2	Tiefe Grundwasserkörper in den Bundesländern	48
6.3	Berücksichtigung der Grundwasserkörper in der EU-WRRL für die Bewirtschaftungsplanung	50
6.4	Betroffenheit/Relevanz/Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	50
6.5	Flözführendes Oberkarbon	51
6.5.1	Aufbau und Eigenschaften	51
6.5.2	Wasserwirtschaftliche Nutzungen/Grubenwasserhaltungen/ Grundwasserfließsystem	51
6.5.3	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im Oberkarbon (tGWK)	52
6.5.4	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	53
6.6	Buntsandstein	53
6.6.1	Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften	53
6.6.2	Grundwasserfließsystem	54
6.6.3	Wasserwirtschaftliche Nutzungen	54
6.6.4	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	54
6.7	Cenoman/Turon	54
6.7.1	Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften	54
6.7.2	Wasserwirtschaftlichen Nutzungen im C/T	62
6.7.3	Bedeutung des C/T im Grundwasserfließsystem	66
6.7.4	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	66
6.7.5	Offene Fragen	66
6.8	Emscher-Formation	67
6.8.1	Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften	67
6.8.2	Wasserwirtschaftliche Nutzungen	67
6.8.3	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	67
6.9	Haltern- und Recklinghausen-Formation	67
6.9.1	Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften der Haltern- und Recklinghausen-Formation	67
6.9.2	Aufbau und Verbreitung der Osterfeld-Subformation	70
6.9.3	Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der Haltern-Formation	71
6.9.4	Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der Recklinghausen-Formation (tGWK)	73
6.9.5	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	73
6.9.6	Grundwassermessstellen tiefe Haltern- bzw. Recklinghausen-Formation	74

6.9.7	Vertikale Grundwasserströmungen in der Haltern-Formation	75
6.10	Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften der Walsum-Subformation	75
6.10.1	Wasserwirtschaftliche Nutzungen	77
6.10.2	Grundwasserfließsystem	78
6.10.3	Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg	78
6.11	Fazit	79
7	GRUNDWASSERFLIEßVERHÄLTNISSSE VOR BEGINN DES BERGBAUS	81
7.1	Hypothese und Kenntnisstand	81
7.2	Auswertung historischer Wassereinbrüche	87
8	ERKENNTNISSE AUS DEN BISHERIGEN GRUNDWASSERSTANDSMESSUNGEN FÜR DAS GROßRÄUMIGE GRUNDWASSERFLIEßSYSTEM	90
8.1	Heutige Potenzialverteilung im C/T	90
8.2	Grundwasserfließsystem Profil Ost	91
8.2.1	Höhe der Potenzialfläche in der Emscher-Formation	93
8.2.2	Potenzialverteilung im C/T	94
8.3	Grundwasserfließsystem Profil Mitte	97
9	ZUSAMMENFASSENDER BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERFLIEßSYSTEMS	99
9.1	Bergbaulicher Voreingriffszustand	99
9.1.1	Haltern-Formation	99
9.1.2	Emscher-Formation	99
9.1.3	C/T	100
9.1.4	Oberkarbon	104
9.2	Bergbauphase (1800 bis 2020)	104
9.2.1	Haltern-Formation	104
9.2.2	Emscher-Formation	104
9.2.3	C/T	105
9.2.4	Oberkarbon	105
9.3	Grubenwasseranstieg gemäß Grubenwasserkonzept	105
9.3.1	Haltern-Formation	105
9.3.2	Emscher-Formation	106
9.3.3	C/T	106
9.3.4	Oberkarbon	106
9.4	Grubenwasseranstieg bis zu einem hydraulischen Ausgleich	106
9.4.1	Haltern-Formation	106

9.4.2	Emscher-Formation	107
9.4.3	C/T	107
9.4.4	Oberkarbon	108
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN ZUR ERRICHTUNG NEUER GRUNDWASSERMESSSTELLEN	109
10.1	Vorschläge für neue Grundwassermessstellen	109
10.2	Untersuchungsparameter tiefe Grundwassermessstellen	111
10.3	Vorschlag zum Aufbau eines numerischen Grundwassermodells	111
11	AUSBLICK	113
12	LITERATUR	114

ABBILDUNGEN:

Abb. 1:	Grubenwasserkonzept mit den zentralen Wasserhaltungen, den Sicherungs-standorten und wichtigen untertägigen Fließwegen	16
Abb. 2:	Übersicht der Wasserprovinzen (WP) und Wasserteilprovinzen (WTP) mit Übertrittsstellen und erforderlichen Höhen für einen Wasserübertritt	18
Abb. 3:	Ausschnitt aus der Darstellung des Wasserhebungsbereichs Zollverein mit Abbaufeldern, Strecken etc. und Markierung der Übertrittsbereiche in andere Wasserprovinzen	19
Abb. 4:	Beispiel für ein Wasserstrombild der Wasserprovinz Zollverein	20
Abb. 5:	Untersuchungsraum zum Einfluss der Einstellung der Wasserhaltung der markierten Wasserhaltungen mit Abgrenzung der heutigen Wasserprovinzen, und Hauptströmungsrichtungen zu den Wasserhaltungen, Stand 2019	21
Abb. 6:	Lotungsstandorte mit Wasserständen und Abgrenzung der vier Wasserprovinzen	25
Abb. 7:	Vergleich der Grundwasserstandsentwicklung Herne-Baukau 1.3 mit der Niederschlagsentwicklung	30
Abb. 8:	Zeit-Absenkungsverhalten der Grundwassermessstellen Landwehr	31
Abb. 9:	Grundwasserstandsentwicklung Pferdekamp1 und 2	31
Abb. 10:	Bisherige Wasseranstiegsentwicklungen für ausgewählte Messpunkte im Einzugsbereich der Wasserhaltung Lohberg	33
Abb. 11:	Wasseranstiegsprognose Lohberg	33
Abb. 12:	Projektorganisation des Monitorings	34
Abb. 13:	Schematischer Nord-Süd-Schnitt durch das Münsterländer Kreidebecken, unverändert entnommen aus (Coldewey und Wesche 2017)	36
Abb. 14:	Verbreitung der Kreideablagerungen im Münsterland inklusive der dort ausgewerteten Profile (Durchlässigkeitsbeiwerte)	38

Abb. 15:	Stratigraphische Einheiten des Deckgebirges	39
Abb. 16:	Homogenbereiche im Schemaschnitt am Südrand des Münsterländer Kreidebeckens	40
Abb. 17:	Homogenbereiche nach IHS (2007)	41
Abb. 18:	Tiefenprofil elektr. Leitfähigkeit Pferdekamp 1	45
Abb. 19:	Überblick über die tGWK im Ruhrrevier	49
Abb. 20:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im tGWK Oberkarbon und Referenzpunkte mit GW-Analysen zur Hydrochemie des Karbons	52
Abb. 21:	Verbreitung des tGWK Buntsandstein	53
Abb. 22:	Stratigraphie und Schichtenfolge der Münsterländer Kreide mit den relevanten Einheiten	55
Abb. 23:	Verbreitung des tGWK C/T	56
Abb. 24:	Hydrogeologische Systemvorstellung Münsterländer Becken	58
Abb. 25:	Durchlässigkeitsverteilung im zentralen Münsterländer Kreidebecken	60
Abb. 26:	Hydrogeologische Systemvorstellung südliches randliches Münsterländer Becken	61
Abb. 27:	Schematischer Profilschnitt durch das östliche Ruhrgebiet zwischen Fröndenberg und Unna-Mühlhausen	61
Abb. 28:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im C/T	62
Abb. 29:	Salinen in Westfalen	65
Abb. 30:	Verbreitungsgebiete der Haltern und Recklinghausen	68
Abb. 31:	Tiefenlage der Haltern-Formation	69
Abb. 32:	Mächtigkeit der Haltern-Formation	70
Abb. 33:	Geologischer Schnitt der Osterfeld-Subformation im Bereich der Kirchheller Heide, GK 25, Blatt Bottrop	71
Abb. 34:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen zur öffentlichen Trinkwasserversorgung in der Haltern-Formation	72
Abb. 35:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im tGWK der Haltern-/Recklinghausen-Formation	73
Abb. 36:	Schichtenverzeichnis und Ausbauplan der Grundwassermessstelle 283 Sythen	75
Abb. 37:	Verbreitung des tGWK Walsum-Subformation	76
Abb. 38:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der tGWK Walsum	77
Abb. 39:	Auswertung der historischen Wasserstände und Bereiche mit artesischen Verhältnissen	87
Abb. 40:	Ausschnitt Maximiliangraben mit artesischen Bohrungen und BW	88
Abb. 41:	Hydrogeologischer Schnitt Nord – Süd im Bereich des Maximilianparks in Hamm	89
Abb. 42:	Lage der vorhandenen und geplanten tiefen Grundwassermessstellen, Potenzialverteilung und Lage der Profile Ost und Mitte	92

Abb. 43:	Profil Ost mit der Annahme einer vermeintlichen/möglichen Grundwasserführung im Emscher-Formation	93
Abb. 44:	Hydrogeologisches Profil Schacht Grillo 4 bei Kamen mit einer „trockenen“ Emscher-Formation	94
Abb. 45:	Angepasstes und erweitertes Profil Ost auf Grundlage von ten Thoren (2023), erweitert um die Grundwassermessstellen Waltrop 2, Ost 5.1 und Ost 5.2	95
Abb. 46:	Profil Mitte verändert und erweitert auf Grundlage von ten Thoren (2023 und 2022)	97

TABELLEN:

Tab. 1:	Überblick über die Wasserprovinzen und zum aktuellen Zeitpunkt genehmigte Zielwasserstände der Wasserhaltungen	26
Tab. 2:	Überblick über die Wasserhaltung im Bereich West	27
Tab. 3:	Stammdaten der Lotungsstandorte und Funktionen im Monitoring im westlichen Ruhrgebiet	29
Tab. 4:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im Oberkarbon	52
Tab. 5:	Wasserwirtschaftliche Nutzungen im C/T	63
Tab. 6:	Brunnenrecherche und Auswertung nach Durchteufung der Emscher-Formation	64
Tab. 7:	Überblick über die Grundwasserwerke der öffentlichen Trinkwasserversorgung in der Haltern-Formation	72
Tab. 8:	Historische Wassereinbrüche und Grubenwasserstände in BW	83
Tab. 9:	Überblick über die vorgeschlagenen Grundwassermessstellen und die jeweiligen Zielformationen	110

DOKUMENTATION:

Dok. 1:	Vorschlag zur Zuordnung der Lotungsstandorte zu den Wasserprovinzen (1 Seite)
Dok. 2:	Formular zur Steckbriefkonkretisierung (5 Seiten)
Dok. 3:	Beispiel für Fließverbindungen im Wasserhebungsbereich Zollverein

1 ZIELSETZUNG UND KURZFASSUNG DES GUTACHTENS

Mit Schreiben vom 03.03.2022 wurde die ahu GmbH von der RAG beauftragt, ein hydrogeologisches Gutachten zur Positionierung von tiefen Grundwassermessstellen im Ruhrrevier zu erstellen, um potenzielle Auswirkungen des Anstiegs des Grubenwassers in ehemaligen Steinkohlenbergwerken auf benachbarte Grundwasservorkommen zu überwachen. Zu diesem Zweck betreibt die RAG bereits Messstellen. Das Gutachten überprüft die Erfordernis zur Einrichtung weiterer Messstellen.

Bisher ist der Anstieg überwiegend auf das Karbon beschränkt, sodass die Erstellung der tiefen Grundwassermessstellen der Aufnahme des Ausgangszustands und der Verifizierung des hydrogeologischen Systemverständnisses des Münsterländer Beckens dient.

Das Ziel des Gutachtens ist die Ermittlung von Standorten für weitere tiefe Grundwassermessstellen zur Schließung von Wissenslücken zu Hydrogeologie in und um die Bergbauzone und die geregelte Überwachung möglicher Einflüsse des Grubenwasseranstiegs im Steinkohlengebirge, insbesondere auf den Cenoman-Turon-Aquifer. Die Erstellung weiterer, tiefer Grundwassermessstellen (GWM) wird mehrere Jahre dauern. Parallel zur Begutachtung beginnt die RAG bereits mit der Erstellung weiterer tiefer Grundwassermessstellen an einem der vorgeschlagenen Standorte.

Grundlage für die Vorschläge zu weiteren tiefen Grundwassermessstellen sind die im vorliegenden Gutachten diskutierte hydrogeologische Systemvorstellung des Münsterländer Kreidebeckens auf Basis der bereits vorhandenen Grundwassermessstellen und v. a. die Auswertung von Aufzeichnungen aus der Anfangszeit des Bergbaus.

Hintergrund ist der genehmigte Anstieg des Grubenwassers bis auf ca. -600 m NHN¹. Bislang wurden durch die RAG AG 19 tiefe Grundwassermessstellen im Deckgebirge errichtet, die die Emscher-Formation und das C/T² entlang von zwei Transekten erfassen.

Bei einem Anstieg **bis** -600 m NHN sind in den Wasserprovinzen (WP) West und Mitte **keine** hydraulischen oder hydrochemischen Beeinflussungen im C/T möglich, da die Potenzialdifferenzen zwischen dem C/T und dem Grubenwasser nach Erreichen eines Niveaus von -600 m NHN immer weiterhin ins Grundgebirge, abwärts, gerichtet sind. Das gilt umso mehr für die noch höher liegenden Grundwasserleiter bzw. „tiefen“ Grundwasserkörper (tGWK) wie Walsum, Osterfeld und Haltern-Formation.

¹ Für einzelne zentrale Wasserhaltungen (ZWH), Wasserprovinzen und Bereiche innerhalb der Wasserprovinzen sind auch abweichende und ggf. höhere Grubenwasserstände erforderlich, um das Gefälle auf die ZWH aufrechtzuerhalten. Aus Gründen der Verständlichkeit wird im Gutachten für größere Regionen häufig die Formulierung „ca. -600 m NHN“ verwendet, wenn keine konkreten Angaben gemacht werden können.

² Unter C/T werden im Rahmen des Gutachtens die karbonatischen und potenziell verkantungsfähigen Gesteine (Kluft/Karstwasserleiter) des mittleren Cenomans, des mittleren und oberen Turons und des unteren Coniacs verstanden (i. W. Plänerkalke, s. Abb. 22).

Bei einem flächigen Grubenwasseranstieg **höher** als -600 m NHN in den WP West und Mitte ist das C/T die erste Schichtenfolge, der die Eigenschaften eines Grundwasserleiters zugeordnet werden können. Die darüber folgende Emscher-Formation wird als Grundwassergeringleiter eingeordnet und ist in großen Bereichen grundwasserfrei.

In der WP Ost, in der Wasserteilprovinz Königsborn, wurden schon deutlich höhere Grubenwasserstände als -600 m NHN erreicht (ca. 40 bis 57 m NHN).

Aufgrund der besonderen Stellung der Schichtenfolge des C/T sollen die noch neu zu bauenden Messstellen im C/T dessen Monitoring verbessern. Es wird v. a. das Ziel verfolgt, die Kenntnisse über die großräumige hydraulische Funktion des C/T zu verbessern, um so auch Aussagen über die wahrscheinliche hydraulische Entwicklung, die Risikoabschätzungen und eine Optimierung im Monitoring treffen zu können.

Hierzu gehören Fragen wie:

- Wie kann das Grundwasser im C/T hydrochemisch charakterisiert werden? Lassen sich daraus hydrochemische Tracer für Grubenwasser und für das durch Grubenwasser unbeeinflusste Grundwasser/Formationswasser ableiten?
- Wie hoch waren die Ausgangsgrundwasserstände im C/T vor Beginn des Bergbaus, wie wurden diese durch den Bergbau beeinflusst? Was ist bei einem Grubenwasseranstieg zu erwarten?
- Gibt es einen relevanten Grundwasserzustrom im C/T aus dem Norden oder aus dem Süden? Wie hoch ist die Zusickerung aus der Essen-Grünsand-Formation bzw. der Emscher-Formation?
- Ist das hydraulische System C/T derzeit in einem quasistationären Gleichgewicht (Zustrom = Absickerung in das Grubengebäude)?
- Ist es möglich zu prognostizieren, welche Wasserstände im C/T nach einem hydraulischen Ausgleich im Karbon wieder erreicht werden würden und in welchen Zeiträumen?
- Welche (alten und ggf. neuen) Fließpfade könnten dann aktiviert werden?
- Welche Risiken entstehen dadurch und wann würden diese entstehen?

Um diese Fragen neben der Frage nach weiteren Standorten für tiefe Grundwassermessstellen beantworten zu können, verknüpft das Gutachten verschiedene Themen auf unterschiedliche Weise miteinander und diskutiert sie in unterschiedlicher Tiefe auf Basis des zur Verfügung gestellten Datenbestands sowie eigener Recherchen³. Diese sind:

³ Die Recherchen betreffen jeweils eine konkrete Fragestellung, sind aber nicht als umfassende und abschließende Datenerhebung bspw. zur Grundwassernutzung im gesamten Ruhrrevier zu verstehen. Das würde den Rahmen des Gutachtens sowie des Auftrags übersteigen.

- 1) Kenntnisstand und Datenbestand der tiefen Grundwasserleiter und der Grubengebäude
- 2) Monitoring des Grubenwasseranstiegs
- 3) Nutzung und Überwachung der tiefen Grundwasserkörper (tGWK) oberhalb des C/T (Schutzziele)
- 4) Numerisches Konzeptmodell Grundwasser

1.1 Kenntnis- und Datenbestand der tiefen Grundwasserleiter und des Grubengebäudes

Den umfassendsten Datenbestand über die tGWK enthält die Landesdatenbank HYGRIS C. Für die Bearbeitung wurden von der ahu mehrfach die Inhalte von HYGRIS C hinsichtlich folgender Themen beim LANUV und dem GD NRW angefragt:

- Lage und Tiefe aller Grundwassermessstellen im C/T und in weiteren tGWK
- Grundwasserentnahmen im C/T und in weiteren tGWK (Lage, Tiefe, Menge)

Der ahu wurden vom LANUV und dem GD NRW folgende Daten übergeben:

- Daten aus 14 Grundwassermessstellen der RAG (Abstiche, Analysen, geologischer Ausbau)
- Daten aus 46 Lotungsstandorten der RAG (nur Lage und Tiefe, Abstiche)
- Zu den Grundwasserentnahmen wurden keine numerischen Daten geliefert, sondern lediglich:
 - Kartendarstellung tiefe Grundwasserentnahmen gemäß Wasserentnahmeentgelt (Weidner und Bergmann 2020)
 - Kartendarstellungen der tGWK mit Lage ausgewählter Grundwasserentnahmen (Wesche 01.07.2022)
- Informationen zu historischen Grundwasseraustritten beim Auffahren der Bergwerke (Auskunft des GD NRW (Wesche 2022))

Die RAG hat im Rahmen der Abschlussbetriebspläne für die Bergwerke Zollverein-Amalie (Coldewey und Wesche 2018), Concordia (Coldewey und Babilinski 2019), Carolinenglück (Coldewey 2021), Prosper-Haniel und Lohberg (Coldewey et al. 2018) die wasserwirtschaftlichen Nutzungen zusammengestellt (Lage, Tiefe, Verwendung). Angaben über Wasserrechte, aktuelle Entnahmemengen, Brunnenwasserstände liegen nicht vor.

Die eingegangenen Daten wurden bei der Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen berücksichtigt.

Durch die ahu wurde das LANUV über folgende, dem Gutachten zu Grunde liegende Daten informiert (08.12.2022), eine Übergabe von Daten fand jedoch nicht statt. Dazu stehen nach Information der ahu GmbH das LANUV und die RAG im Austausch:

- Stammdaten der Grundwassermessstellen/Lotungsstandorte, die im integralen Monitoring bereits als Messpunkte genutzt werden: zugehörige Abstich- bzw. Wasserstandsmessungen
- Daten zur Hydrochemie der Messpunkte aus dem integralen Monitoring

Im Rahmen des Gutachtens wurde die Landesdatenbank HYGRIS C nicht auf Vollständigkeit überprüft.

1.2 Monitoring des Grubenwasseranstiegs

Die Konzeption und insbesondere die Ausgestaltung des Monitorings ist nicht Aufgabe des Gutachtens. Allerdings werden aus dem Kontext des Grubenwasseranstiegs heraus und auf Basis der oben genannten Fragen Anforderungen und Hinweise der ahu an das Monitoring gegeben. Die wichtigsten Fragen des Monitorings aus unserer Sicht sind:

- Funktioniert die Überleitung der Grubenwässer aus dem Norden nach Lohberg wie erwartet?
- Wo und wie kann die Überleitung überwacht werden, so dass rechtzeitig Steuerungsmaßnahmen ergriffen werden können?

Hierzu werden von der ahu Vorschläge gemacht, vor allem für die Festlegung von repräsentativen Lotungsstandorten, die erforderlichen Messungen und die Ableitung von Indikatoren (Warn- und Alarmwerte).

Die zur Umsetzung erforderlichen Daten (z. B. die Zuordnung von Lotungsstandorten zu untertägigen Fließwegen, Vergleich Prognose und Messung des Grubenwasseranstiegs oder die Ableitung von Warn- und Alarmwerten) sind bei der ahu nicht vorhanden.

Die hierzu notwendigen Daten zusammenzutragen ist dann eine Aufgabe des Monitorings.

1.3 Tiefe Grundwasserkörper (tGWK)

Die Überwachung der tGWK ist grundsätzlich eine Landesaufgabe, die auch in den einzelnen Bundesländern mit tGWK unterschiedlich gehandhabt wird.

Es werden im Gutachten zunächst alle tGWK des Ruhrreviers beschrieben. Hier wird auf die Landesdaten zurückgegriffen (Hintergrundpapier Steinkohle, GD NRW). Im Gutachten werden die tGWK identifiziert und beschrieben, die in der

Vergangenheit vom Bergbau beeinflusst waren und v. a. vom jetzigen Grubenwasseranstieg bis -600 m NHN potenziell beeinflussbar sind. Diese sind dann auch entsprechend zu erkunden und zu überwachen.

Ein eindeutiges Ergebnis im Gutachten ist jedoch, dass bei einem Anstieg bis -600 m – bis auf den tGWK Karbon, in dem der Grubenwasseranstieg ja stattfindet – **keiner** der übrigen tGWK in dem Sinne beeinflusst wird, dass der Grubenwasserstand höher als die Grundwasserstände im tGWK liegt⁴. Deshalb ist für die Fragestellung des Gutachtens auch keine Aufnahme aller wasserwirtschaftlichen Nutzungen und des Messstelleninventars erforderlich, zumal nicht in vergleichsweise flachen tGWK wie der Walsum- und Osterfeld-Formation.

Auch besteht der Schutzgutcharakter der tGWK nach Auffassung des Landes NRW **unabhängig** davon, ob diese genutzt werden oder zukünftig genutzt werden können.

Nichtsdestotrotz ist es sinnvoll, die tGWK in einem gesamten hydrogeologischen Kontext zu sehen, also auch in der Vor-Bergbauphase und einer Nachbergbauphase bei Anstiegen über die geplanten -600 m NHN hinaus. Für diese möglichen höheren Grubenwasserstände in der Zukunft werden mögliche hydraulische Verbindungen abgeschätzt. Dies kann beim derzeitigen geringen Kenntnisstand zu einigen tGWK nur eingeschränkt bzw. qualitativ erfolgen.

Mittlerweile sind die widerspruchsfreie (bzw. widerspruchssarme) digitale Aufbereitung der geologischen Grundlagendaten und v. a. die dreidimensionalen Darstellungsmöglichkeiten durch den GD NRW so weit fortgeschritten⁵, dass hiermit Auswertungen zum Vorhandensein möglicher hydraulischer Verbindungen und deren Aktivierung bei unterschiedlichen Grubenwasserständen erfolgen könnten.

1.4 Numerisches Konzeptmodell

Da es leider wenige bis keine Daten aus der Vor-Bergbauphase, (noch) zu wenige Daten aus der jetzigen Anstiegsphase und keine aus den zukünftigen, stationären Zwischenphasen gibt, werden im Gutachten zunächst Hypothesen zum Grundwasserfließsystem und insbesondere der Rolle des C/T für die einzelnen Phasen aufgestellt. Hierbei werden auch (die wenigen) historischen Daten über die ursprünglichen Potenzialverhältnisse herangezogen. Bei einem regional durchlässigen C/T wären beim Auffahren der ersten Bergwerke artesische Grundwasserstände zu erwarten gewesen. Dies hätte auch Auswirkungen auf die Risikoanalysen für die tGWK und die oberflächennahen Grundwasserleiter wie die Haltern-Formation.

Die im Gutachten aufgestellten Hypothesen können nur mit einem numerischen Konzeptmodell überprüft werden. Ein solches numerisches Konzeptmodell wird aufgrund der Komplexität der Fragestellungen und wegen des vergleichweisen

⁴ Im nördlichen Ruhrgebiet wird bei einem Anstieg auf -600 m NHN der C/T eingestaut (Messstelle Pferdekamp).

⁵ Vortrag GD NRW am 19.02.2024: Kartierprogramm Ruhrgebiet Nord

geringen Umfangs verfügbarer Daten zunächst mit dieser begrenzten Datenmenge aufgebaut werden. Es kann dennoch wichtige Hinweise auf mögliche oder auch auszuschließende hydraulische Zusammenhänge sowie die Positionierung weiterer tiefer Messstellen liefern. Vor allem der zeitliche Aspekt, der bislang nur untergeordnet betrachtet wurde, kann mit einem numerischen Konzeptmodell in der Größenordnung eingeordnet werden.

Bei einem solchen Modell sollten – soweit vorhanden – die Möglichkeiten der digitalen Datenauswertung des GD NRW genutzt werden (s. a. Fußnote 5).

2 ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG

Mit Schreiben vom 03.03.2022 wurde die ahu GmbH von der RAG beauftragt, ein hydrogeologisches Gutachten zur Positionierung von tiefen Grundwassermessstellen im Ruhrrevier zu erstellen. Bisher ist der Anstieg überwiegend auf das Karbon beschränkt, sodass die Erstellung der tiefen Grundwassermessstellen der Aufnahme des Ausgangszustands und der Verifizierung des hydrogeologischen Systemverständnisses des Münsterländer Beckens dient.

Das Gutachten betrachtet das Ruhrrevier ohne die Wasserprovinzen an der Ruhr mit den Wasserhaltungsstandorten Robert Müser, Friedlicher Nachbar und Heinrich. Das Bergwerk (im Folgenden BW) Ibbenbüren gehört nicht zum Untersuchungsgebiet/Betrachtungsbereich.

Es besteht bereits ein Integrales Monitoring⁶, das sich mit den Umweltauswirkungen des ehemaligen⁷ Steinkohlenbergbaus befasst und diese langfristig überwacht. Das Monitoring betrachtet die Umweltbereiche Wasser, Grubengas und Bodenbewegungen. Das vorliegende Gutachten bezieht sich an verschiedenen Stellen auf dieses Monitoring und gibt Hinweise für dessen Konkretisierung und Weiterentwicklung.

In Folge der Umsetzung der EU-WRRL in Deutschland sind auch die tiefen Grundwasserkörper (tGWK), wie im Hintergrundpapier Steinkohle beschrieben (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021), zu überwachen (s. Kap. 6). Zwischen diesen beiden Aufgaben gibt es Überschneidungen und Synergien, falls durch den Grubenwasseranstieg Risiken für die tGWK entstehen.

Der Grubenwasseranstieg wird durch ein integrales Monitoring begleitet. Zu dessen Aufgaben gehören die Überwachung des Grubenwasseranstiegs und der tiefen Grundwasserleiter. Zur Überwachung des Grubenwasseranstiegs werden Lotungsstandorte beprobt, die Wasserhaltungsstandorte überwacht (Menge, Chemie) und Anstiegsprognosen zur Wasserführung in der Bergbauzone und dem Grundgebirge erstellt (siehe „1.2 Verwendete Unterlagen“).

Die Lotungsstandorte sind so gewählt, dass sie den Grubenwasseranstieg im **Grubengebäude** abbilden.

Im unverritzten **Karbon** sind keine Grundwassermessstellen bekannt.

Zur Überwachung des **Deckgebirges** wurden in den 1990er Jahren bereits tiefe Grundwassermessstellen bzw. Messstellenbündel erstellt, die oberflächennahe Grundwasserleiter (Quartär, Auflockerungszone Emscher-Formation), die Emscher-Formation und dem Cenoman/Turon-Grundwasserleiter (im Folgenden C/T) erschließen. Insgesamt wurden bis heute entlang zweier Profile in der Mitte und im Osten des Ruhrreviers ca. 20 tiefe Grundwassermessstellen erstellt. 2022 waren noch 14 tiefe Grundwassermessstellen im Messnetz enthalten (ten

⁶ [Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen \(grubenwasser-steinkohle-nrw.de\)](https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de)

⁷ Am 21.12.2018 wurde mit Schließung des Bergwerks Prosper-Haniel der Steinkohlenbergbau in Deutschland beendet.

Thoren 2022) und 4 weitere tiefe Grundwassermessstellen im Cenoman-Turon erstellt.

Das Messnetz besteht in seiner aktuellen Form mit einem auswertbaren Datenbestand seit 2003 (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022). Insgesamt wurden bisher 21 tiefe Grundwassermessstellen erstellt, die zum Teil allerdings trocken gefallen oder nicht mehr funktionsfähig sind.

Die neu errichtete Grundwassermessstelle Ost 5 wurde bereits im Jahr 2023 errichtet, kann aber aufgrund hoher Gasgehalte und Ausgasung von Methan (noch) nicht beprobt werden.

Die tiefen Grundwassermessstellen waren bereits Bestandteil der grundlegenden, wissenschaftlichen Begutachtung des wasserwirtschaftlichen Konfliktpotenzials des Grubenwasseranstiegs (Hewig et al. 2006).

Aufgabe dieses Gutachtens ist es, die bereits vorliegenden Vorschläge für weitere tiefe Grundwassermessstellen zu bewerten, für diese Standorte vorzuschlagen sowie zu priorisieren.

Für das Monitoring des Grubenwasseranstiegs sind folgende Punkte wichtig:

- eine Zuordnung der einzelnen Lotungsstandorte zu den Wasserprovinzen, Bergwerken bzw. Modellboxen des Boxmodells (DMT/RAG),
- die Festlegung der Funktion und Aussagekraft der Lotungsstandorte und Messergebnisse im Monitoring wie z. B. Funktionsfähigkeit der untertägigen Wegsamkeiten,
- eine Überprüfung Prognose/Ist-Vergleich der Grubenwasserstände,
- die Definition von Grenzwasserständen zur Verhinderung unerwünschter Wegsamkeiten zwischen Wasserprovinzen oder die Ableitung von Warn- und Alarmwerten, falls zuvor genannte Ziele nicht erreicht werden.

Für das Monitoring der tGWK sind wichtig folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Ermittlung der möglichen Einflüsse des Grubenwasseranstiegs auf das hydrogeologische Gesamtsystem (Münsterländer Kreidebecken),
- Beschreibung der durch den Grubenwasseranstieg betroffenen tGWK (Karbon und C/T) oder der potenziell durch den Grubenwasseranstieg betroffenen tGWK,
- Darstellung der Bedeutung der tGWK im hydrogeologischen Gesamtsystem (historische Entwicklung – Ist-Zustand – Prognose),
- Aufnahme des Ausgangszustands der relevanten tGWK im Deckgebirge (Referenzzustand),

- Möglichkeiten der Überwachung und Prognose potenzieller hydraulischer und hydrochemischer Veränderungen der tGWK und des hydrogeologischen Systems (Grundwassermessstellen, Grundwassermodell).

2.1 Verwendete Unterlagen

Neben der in Kapitel 12 aufgeführten Literatur wurden vom Auftraggeber – der RAG – umfangreiche Daten zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus lagen öffentlich zugängliche Unterlagen aus dem Prozess des integralen Monitorings und der Konzeptgruppe Wasser sowie den einzelnen regionalen Monitoringgruppen vor. Des Weiteren stellte das LANUV Daten zur Verfügung. Die Grundlegenden Daten für das vorliegende Gutachten sind: Lotleitungskataster der aktiven und inaktiven Bergbauschächte im Ruhrrevier, die gelotet (Wasserstandsbestimmung) werden können, inklusive aller Stammdaten (Endteufe etc.) (RAG 13.05.2022).

Berichte und Konzepte

- Ermittlung des wasserwirtschaftlichen Konfliktpotenzials und Entwicklung eines Monitoring-Systems für den Wiederanstieg von Grubenwässern (DMT 24.11.2006),
- Monitoringbericht zum Bergwerk Auguste Victoria von 2021 inklusive der Wasserstandsdaten aus dem Sonderbetriebsplan, den Rohdaten der Abbildungen aus dem Jahresbericht und Wasserstandsdarstellungen (RAG 13.05.2022),
- Monitoringbericht Bergwerk Caro Ost (Carolinenglück) 2021 (RAG 13.05.2022),
- Monitoringbericht Bergwerk Westfalen 2021 (RAG 13.05.2022),
- Monitoringbericht „Tiefe Pegel“ 2021 (RAG 13.01.2023),
- Grubenwasserkonzept der RAG vom 16.02.2021 (RAG 13.05.2022),
- Bericht zum Monitoring tiefer Grundwassermessstellen 2020 und 2021 (RAG 13.05.2022),
- Präsentation des LANUV zur Datenübernahme in ELWAS aus dem Entscheidungsgruppentreffen (Monitoring) (LANUV 27.05.2022),
- frei verfügbare Informationen aus dem Projekt Informationssystem des integralen Monitorings 2020 bis 2022 (online zuletzt abgerufen am 22.12.2022),

- Stand der Entwicklung der Parameterkataloge 25.02.2022 (Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen KG Wasser, 5. Sitzung am 01.07.2022, <https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/kg-wasser#gallery317-5>, zuletzt abgerufen am 17.04.2023),
- Sitzungsunterlagen KG Wasser vom 01.07.2022 (Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen KG Wasser, 5. Sitzung, <https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/kg-wasser>, zuletzt abgerufen am 17.04.2023),
- Grundwassermessstellen-Steckbriefe Stand 17.04.2023 (Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen KG Wasser, PIS, <https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/ergebnisse>, zuletzt abgerufen am 17.04.2023),
- Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in den Grubenwasserprovinzen Prosper-Haniel und Lohberg der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg; Coldewey, Wesche und Hollenbeck, 03.05.2018,
- Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in den Grubenwasserprovinzen Zollverein und Amalie der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg; Coldewey 28.09.2019,
- Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in der Grubenwasserprovinz Concordia der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg; Coldewey und Babilinski, 13.12.2019 und Nachtrag vom 20.01.2020,
- Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in der Grubenwasserprovinz Carolinenglück der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg; Coldewey 30.06.2021,
- Gutachten der DMT: Konzept zum PCB-Monitoring in Schächten des Ruhrreviers; Klingler und Pollmann, 27.04.2023.

Rohdaten

Das LANUV und die RAG stehen zum möglichen Austausch der im Folgenden genannten Rohdaten (Wasserstände, hydrochemische Daten) in Gesprächen. Die Daten sollen in ELWAS-web übernommen werden. Hierzu gehören möglicherweise:

- Flurabstandsdaten Auguste Victoria (RAG 13.05.2022),
- hydrochemische Analysen der Schächte im Bereich Auguste Victoria (RAG 13.05.2022),

- zwei Analyseberichte zur hydrochemischen Analytik der Labore SEWA Laborgesellschaft mbH und UCL Umwelt Control Labor mbH („Tiefe Pegel“) (RAG 13.05.2022),
- Daten der hydrochemischen Analysen (RAG 13.05.2022):
 - Auguste Victoria,
 - Westfalen,
 - Waltrop,
 - „Tiefe Pegel“ bis August 2019,
- Koordinaten der Lotungsstandorte im Ruhrgebiet und Ibbenbüren; teilweise mit Lotungswasserständen (RAG 13.05.2022),
- Wasserstände der Messstellen Landwehr 1 und 2 sowie Bohrung Schacht 7 von 2003 bis 2021 (RAG 13.05.2022),
- Stammdaten aller Messpunkte (Wasser) im Ruhrrevier (RAG 13.05.2022),
- gehobene Wassermengen der aktuell betriebenen Wasserhaltungen 2017 – Mai 2022 (RAG 13.05.2022),
- hydrochemische Analysen an den Wasserhaltungen ab 2015: Barium, Chlorid, Sulfat und Wassertemperatur (RAG 13.05.2022),
- Schließung von Datenlücken zu Lotungsstandorten und Wasserstandsinformationen (RAG 01.07.2022),
- Informationen zu tiefen GWM WASAG (RAG 27.04.2022),
- Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der GWM „Tiefe Pegel“ (RAG 13.05.2022),
- Auszug aus dem Wasserbuch zu den Brunnen Hövelmann (BR Düsseldorf 01.07.2022),
- Liste der Grundwassermessstellen im Zusammenhang mit dem Grubenwasseranstieg LANUV/ELWAS (LANUV 15.11.2022),
- Daten zu tiefen Grundwassermessstellen und Brunnen der Gelsenwasser (Gelsenwasser 17.05.2022),
- Daten zu tiefen Bohrungen und Grundwassermessstellen der Emscherge-nossenschaft (EG 28.07.2022),
- genehmigte Grubenwasseranstiege (RAG 12.01.2023),
- Zusammenstellung aktiver Grundwassermessstellen in der Datenbank der RAG (bis ca. 120 m Tiefe) (RAG 19.01.2023),

- Stammdaten und Wasserstandsentwicklung der im Bürgerinformationsdienst (BID) veröffentlichten Lotungsstandorte der RAG (RAG 14.02.2024),
- aktuelle Messwerte der tiefen Grundwassermessstellen (RAG 14.02.2024).

Kartendarstellungen

- Kartendarstellung des Grubenwasserkonzeptes 16.02.2021 (RAG 13.05.2022),
- Karte der Wasserprovinzen (RAG 13.05.2022),
- Übertrittsstellen zwischen den Wasserprovinzen und Wasserteilprovinzen (RAG 30.09.2022),
- Karte und Beschreibung des Wasserhebungsbereichs Zollverein und Wasserstrombild (RAG 16.12.2022),
- Übersicht zur Grubenwassersituation im Ruhrgebiet; Lotungsstandorte, Grubenwasserstände, Grubenwasserkonzept RAG (2014) und Monitoring (BR Arnsberg 11.08.2022).

Datenauswertungen

- Präsentation des LANUV zur Datenübernahme in ELWAS aus dem Entscheidungsgruppentreffen (Monitoring) (LANUV 27.05.2022),
- frei verfügbare Informationen aus dem Projekt Informationssystem des integralen Monitorings 2020 bis 2022 (online zuletzt abgerufen am 22.12.2022),
- Auswertungen zur Hydrochemie von Messstellen mit der Zuordnung „Tiefe Pegel“ (13) (RAG 13.05.2022),
- Darstellungen der Salinität und Temperaturänderungen mit der Tiefe an ausgewählten Messstellen („Tiefe Pegel“) 2020 und 2021 (RAG 13.05.2022),
- Hinweise auf artesische Soleausflüsse beim Bohren von Schächten und Explorationsbohrungen (GD NRW, E-Mail vom 30.06.2022: (Wesche 2022)),
- Lotungsprogramm RAG (RAG 07.09.2022),
- Daten zu tiefen Grundwassermessstellen der RWW (RWW 28.07.2022),
- Auswertung des Geologischen Dienstes NRW zu tiefen Grundwasserkörpern (tGWK) und der Mächtigkeit der Haltern-Formation sowie deren Verbreitung (GD NRW 19.05.2022).

Über diese Datenquellen hinaus fanden Treffen mit dem LANUV, dem GD NRW und Wasserversorgern (Gelsenwasser, RWW) statt. Zudem nahm die ahu GmbH an Treffen der Entscheidungsgruppe „Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen“ am 31.05.2022 und am 30.11.2022 sowie der Sitzung der Konzeptgruppe Wasser am 01.07.2022 teil:

- Abstimmung zum Projekt „Tiefe Pegel“ mit Hr. Peterwitz (Gelsenwasser) und Hr. Böddeker (WWI); 08.04.2022,
- Abstimmung zum Projekt „Tiefe Pegel“ mit dem GD NRW Hr. Dr. Wesche (GD NRW), Hr. Wissen (BR Arnsberg); 10.05.2022,
- Abstimmung zum Projekt „Tiefe Pegel“ mit Hr. Dietz (RWW); 02.06.2022,
- Präsentation des Projektstands und Ausblick auf der Entscheidungsgruppensitzung des Integralen Monitorings; 31.05.2022,
- Präsentation des Projektstands und Ausblick auf der Konzeptgruppensitzung (KG) der KG Wasser des Integralen Monitorings; 01.07.2022,
- Teilnahme mit Beitrag an der Tagung kassel22: Revierweites Monitoringkonzept der Grubenwasserflutung im Ruhrgebiet. Tiefe Grundwassermessstellen und Systemverständnis; 07.09.2022,
- Projektgespräch, Datenabgleich und Datenübergabe mit Hr. Dr. Weidner (LANUV); 14.11.2022,
- Fachlicher Austausch mit Herrn Jasnowski-Peters am THGA-Forschungszentrum Nachbergbau am 02.02.2023,
- Teilnahme mit Beitrag an der Tagung kassel23: Erweiterung der hydrogeologischen Systemvorstellung des Ruhrreviers um tiefe Grundwassermessstellen im Deckgebirge zum Baseline-Monitoring; 18.10.2023.

2.2 Definitionen und Abkürzungen

Bergwerk (BW): Unter Bergwerk (BW) wird immer ehemaliges Bergwerk verstanden.

Wasserprovinz (WP): Es gibt die Wasserprovinzen West, Mitte, Ost und Ruhr (Abb. 2).

Wasserteilprovinzen (WTP): Die einzelnen Wasserprovinzen werden in Wasserteilprovinzen unterteilt (Abb. 2). Innerhalb der Wasserteilprovinzen bestehen weitere Unterteilungen (teilweise ehemalige BW).

Zentrale Wasserhaltung (ZWH): Es gibt insgesamt sechs ZWH, siehe Abb. 1: Walsum (Einleitung Rhein), Lohberg (Einleitung Rhein) und Haus Aden (Einleitung Lippe) sowie drei an der Ruhr (Friedlicher Nachbar, Robert Müser, Heinrich).

Sicherungsstandorte: An den Sicherungsstandorten kann im Bedarfsfall Grundwasser gehoben werden.

Abkürzungsverzeichnis

ahu GmbH	ahu GmbH Wasser · Boden · Geomatik (urspr.: Arbeitsgemeinschaft Hydrogeologie und Umwelt)
BID	Bürger-Informationsdienst
C/T	Cenoman/Turon
BW	ehemaliges Bergwerk
ELWAS-web	elektronisches wasserwirtschaftliche Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW
GD NRW	Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
GWM	Grundwassermessstelle
IHS	Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
NRW	Nordrhein-Westfalen
RWW	Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft
RAG	Ruhrkohle AG
Scht.	Schacht
tGWK/oGWK	tiefer Grundwasserkörper/oberer Grundwasserkörper
WP	Wasserprovinz
WTP	Wasserteilprovinz
WASAG	Westfälisch-Anhaltische Sprengstoff-Actien-Gesellschaft
HygrisC	Zentrale Grundwasserdatenbank des Landes NRW
ZWH	Zentrale Wasserhaltung

3 GRUBENWASSERKONZEPT DER RAG

3.1 Grundlagen und Überblick

Nach Beendigung des Steinkohlenbergbaus in Deutschland zum Jahresende 2018 ergeben sich Tätigkeiten, die die RAG dauerhaft erfüllen wird („Ewigkeitsaufgaben“). Sie stehen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit der ehemaligen Bergbauaktivität der RAG und den damit verbundenen Umweltauswirkungen (Wasserhaltung, Bergsenkung, Ausgasung).

Ein zentraler Teil der Ewigkeitsaufgaben betrifft die Grubenwasserhaltung und die Grundwasserreinigung. Wie die weiteren Ewigkeitsaufgaben finanziert seit 2019 die RAG-Stiftung alle Maßnahmen zur Überwachung/Steuerung des Grubenwasseranstiegs.

Ein wichtiger Punkt im Erblastenvertrag in § 4, Abs. 1 ist die Verpflichtung der RAG, die Ewigkeitsaufgaben nach den Grundsätzen der gesetzlichen Erforderlichkeit, der Wirtschaftlichkeit, der Sparsamkeit und der Effizienz zu erfüllen. Daraus folgen eine regelmäßige Evaluierung und ggf. Anpassung der Maßnahmen. Auch das aktuell gültige Grubenwasserkonzept der RAG verpflichtet die RAG zu einer langfristigen Optimierung und fortlaufenden Aktualisierung (§ 4, Abs. 2) des Grubenwasserhaltungskonzeptes (RAG AG 2014; RAG AG 25.01.2021).

In Bezug auf die Errichtung weiterer tiefer Grundwassermessstellen bedeutet das angesichts der hohen Kosten je Messstelle (in einer Spanne zwischen ca. 1 bis 2 Mio. €), dass mit jeder neuen Messstelle ein substantieller Erkenntnisgewinn erfolgen sollte und die Messstelle eine notwendige Aufgabe im Monitoring übernimmt.

Während des aktiven Bergbaus dient die Grubenwasserhaltung der Trockenhaltung des Grubengebäudes. Unter Grubenwasser wird alles Wasser verstanden, das im BW auftritt. Dies setzt sich im Wesentlichen zusammen aus:

- Zutritt von Grundwasser aus dem Deckgebirge und dem Oberkarbon,
- nachsickerndem Grundwasser/Niederschlagswasser (GW-Neubildung),
- eingesetzten Betriebswässern, die nach Einstellung des Bergbaus entfallen.

Heute, nach Ende des Steinkohlenbergbaus, orientiert sich die Grubenwasserhaltung an den – basierend auf Risikoanalysen – vereinbarten (Schutz-)Zielen wie

- Schutz vor Bodenbewegungen,
- Schutz vor Ausgasung,

- Schutz von Grundwasservorkommen (Trinkwasserversorgung, Mineralwassergewinnung, etc.)⁸,
- Schutz von Oberflächengewässern.

Ob die angenommenen Risiken in Maß und Zahl so eintreten oder ob ggf. Ziele und Maßnahmen angepasst werden müssen, gehört zur Überwachungs- und Bewertungsaufgabe des Monitorings. Hierbei sind auch die obigen Schutzziele gemäß Erblastenvertrag § 4, Abs. 1 zu berücksichtigen.

Zu den für das Gutachten wichtigen Merkmalen des Grubenwasserkonzeptes gehören grundsätzlich Folgende:

- Die Wasserhaltungsmaßnahmen werden auf sechs Zentrale Wasserhaltungen (ZWH) konzentriert, um die Emscher von Grubenwassereinleitungen freizuziehen (Abb. 1). Drei Einleitungen erfolgen in die Ruhr (Heinrich, Friedlicher Nachbar, Robert Müser). Die ZWH Haus Aden wird nach erfolgreichem Anstieg auf -600 m NHN (ab ca. Ende 2025) in die Lippe und die ZWH Lohberg (nach 2030) in den Rhein einleiten.

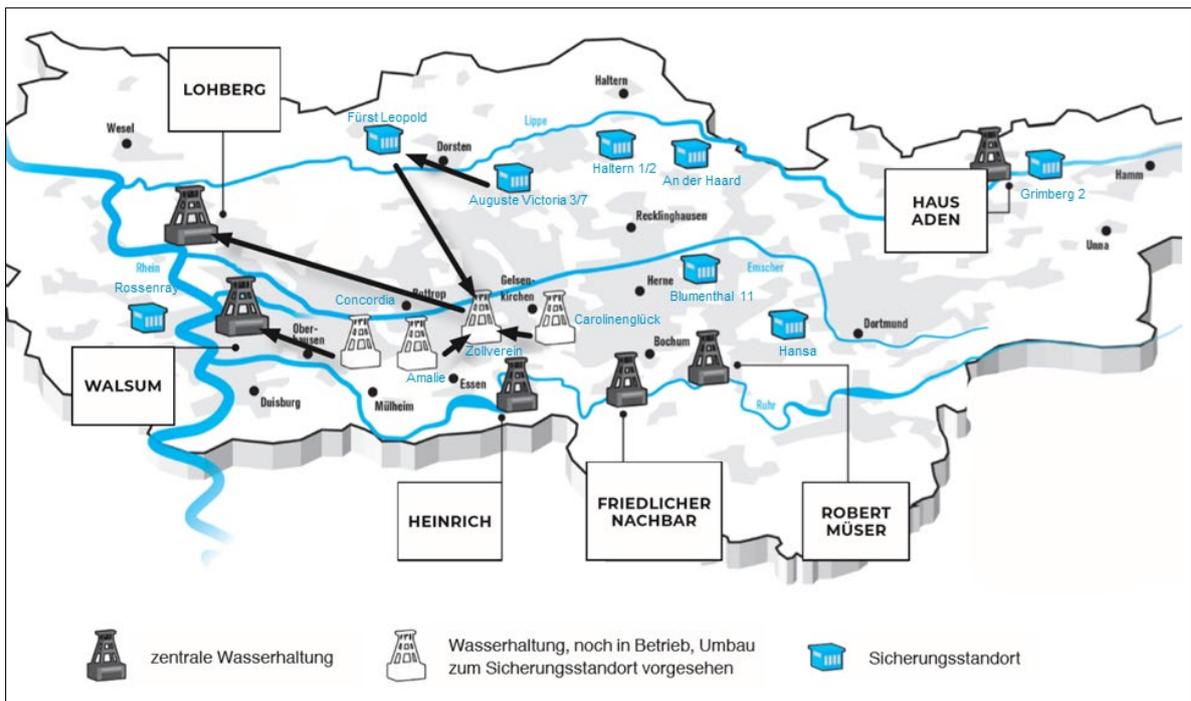


Abb. 1: Grubenwasserkonzept mit den zentralen Wasserhaltungen, den Sicherungsstandorten und wichtigen untertägigen Fließwegen (Quelle: RAG)

⁸ Es gibt unterschiedliche Auffassungen darüber, ob tiefe, hochsalinare Grundwasservorkommen (tGWK) die gleiche Bedeutung wie bereits genutzte (und potenziell nutzbare) Grundwasservorkommen haben (s. Abschn. 6.1).

- Damit dieses Konzept langfristig funktioniert, müssen v. a. in der Wasserprovinz Mitte die untertägigen Wegsamkeiten über die offenbleibenden Strecken und tektonische Elemente in den BW möglich sein (siehe schwarze Pfeile in Abb. 1).
- Hierzu müssen die Grubenwasserstände außerhalb der ZWH so weit ansteigen, dass ein ausreichendes Gefälle auf die ZWH hin (in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit) besteht.
- Falls diese untertägige Überleitung nicht den Erwartungen gemäß funktionieren sollte (Überprüfung im Monitoring), können Sicherungsstandorte aktiviert werden, an denen auch eine Grubenwasserhaltung möglich wäre.

Mit Anhebung des Grubenwasserniveaus auf ca. -600 m NHN⁹ an den Hebungsstandorten ist zu erwarten, dass sich die Qualität des gepumpten Wassers verbessert (geringere PCB-Gehalte und geringere Mineralisation (G.E.O:S. Ingenieurgesellschaft mbH 2017) und die Pumpmenge insgesamt abnimmt (ahu GmbH 2012). Die Überprüfung dieser Erwartungen ist eine Aufgabe des Monitorings.

Zudem muss weniger Energie für die Pumpen aufgewendet werden. Das resultiert in einem geringeren Stromverbrauch und damit verbunden geringeren CO₂-Emissionen.

3.2 Fließwege in den Wasserprovinzen

Die Abb. 2 gibt eine vereinfachte Übersicht der Wasser- und Wasserteilprovinzen mit einer Darstellung der Übertrittsstellen (blaue Pfeile) zwischen den Provinzen und Teilprovinzen sowie erforderlichen Höhen für einen Wasserübertritt.

Die Detailplanung der untertägigen Fließwege und Übertrittsstellen erfolgte auf Basis des Risswerks. Aus dem Risswerk wurden Wasserhebungskarten angefertigt. Diese Karten enthalten alle für die Wasserströmung im BW relevanten Bauwerke (Dämme etc.) und Wegsamkeiten, wie Abb. 3 verdeutlicht.

⁹ Für einzelne ZWH, Wasserprovinzen und Bereiche innerhalb der Wasserprovinzen sind auch abweichende und ggf. höhere Grubenwasserstände erforderlich, um das Gefälle auf die ZWH aufrechtzuerhalten. Aus Gründen der Verständlichkeit wird im Gutachten für größere Regionen häufig die Formulierung „ca. -600 m NHN“ verwendet, wenn keine konkreten Angaben gemacht werden können.

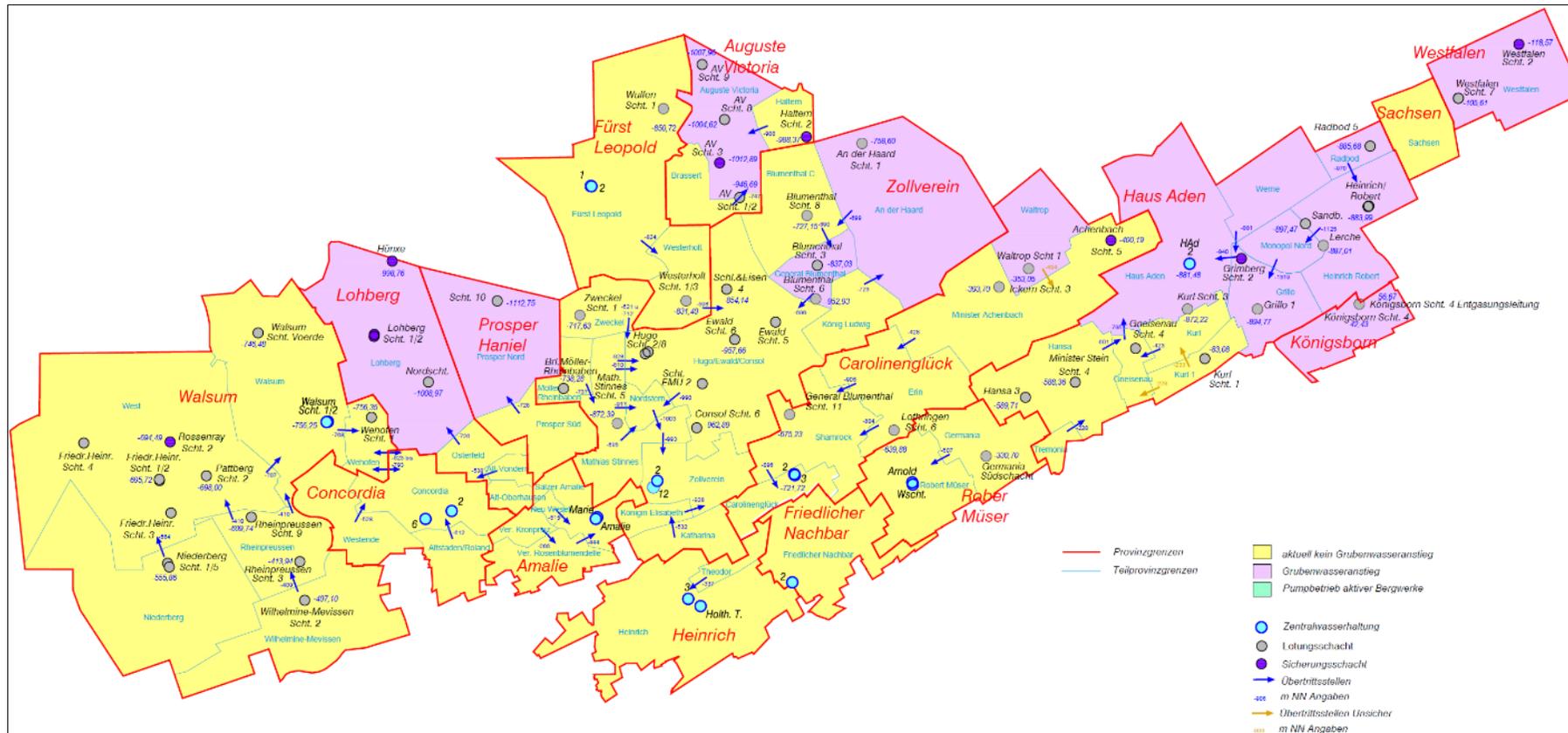


Abb. 2: Übersicht der Wasserprovinzen (WP) und Wasserteilprovinzen (WTP) mit Übertrittsstellen und erforderlichen Höhen für einen Wasserübertritt (Quelle: unverändert nach RAG, Übergabe am 05.04.2022)

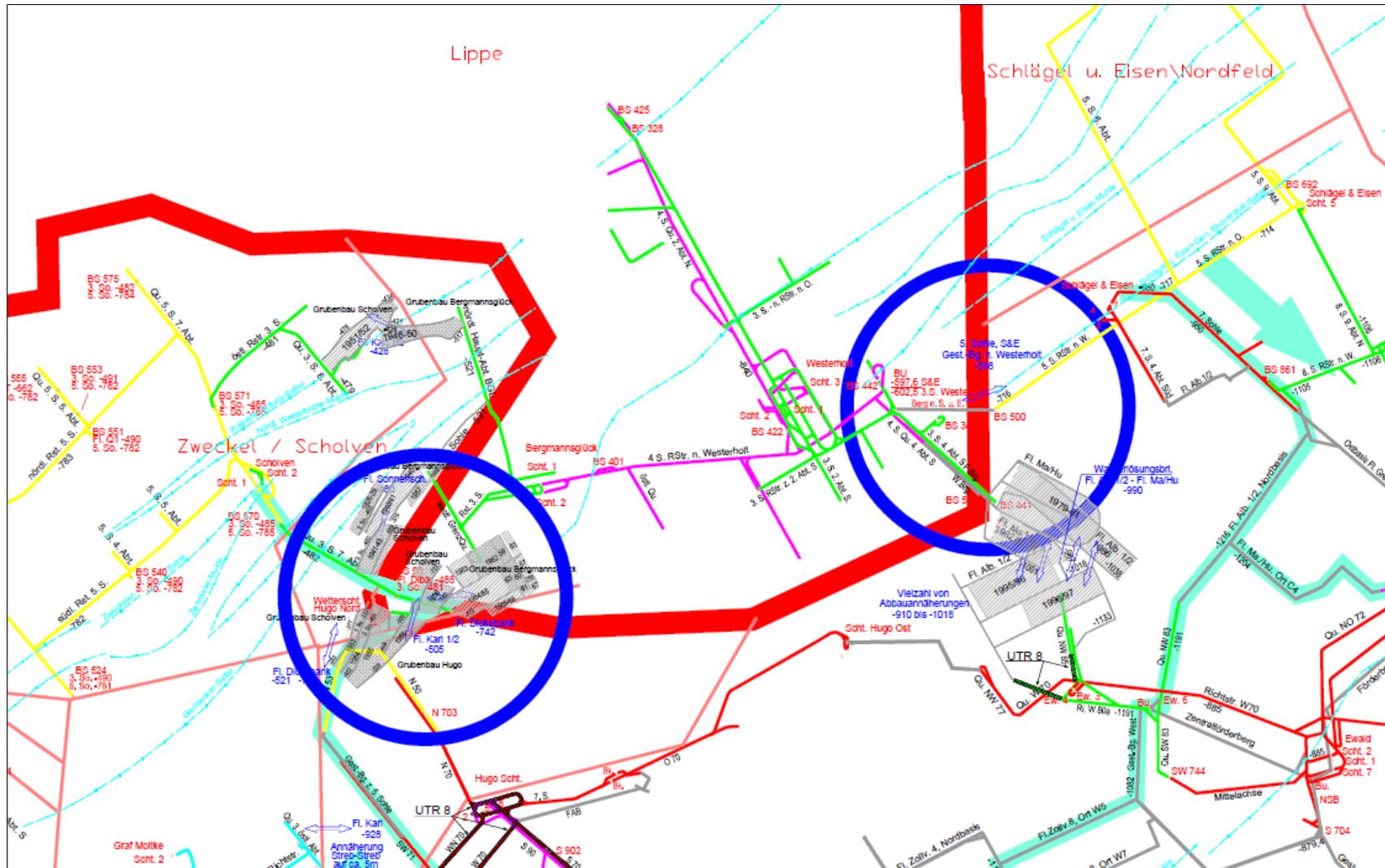


Abb. 3: Ausschnitt aus der Darstellung des Wasserhebungsbereichs Zollverein mit Abbaufeldern, Strecken etc. und Markierung der Übertrittsbereiche in andere Wasserprovinzen (blaue Markierung) (Quelle: RAG)

Es gibt zwischen den Wasserprovinzen Übertritte, d. h. definierte Bereiche, in denen hydraulische Verbindungen über die Grenzen der Provinzen hinweg bestehen. Diese hydraulischen Verbindungen über die Strecken wurden bereits aufgelistet, bewertet und sind im Box-Modell¹⁰ abgebildet.

Für jede Wasserprovinz gibt es sogenannte „Wasserstrombilder“ (Abb. 4), die die angenommene Wasserströmung unter Tage entlang der Strecken (größte Durchlässigkeit), die Lotungsstandorte und die Übertrittsniveaus zeigen. Es handelt sich dabei um vereinfachte Darstellungen der Fließwege in der Wasserprovinz. Die Wasserstrombilder zeigen sowohl die Stellung der Schächte im hydraulischen System als auch – über die Angaben zur Wasserführung – die hydraulische Bedeutung der Strecken, sodass eine einfache optische Beurteilung der Wasserführung möglich ist.

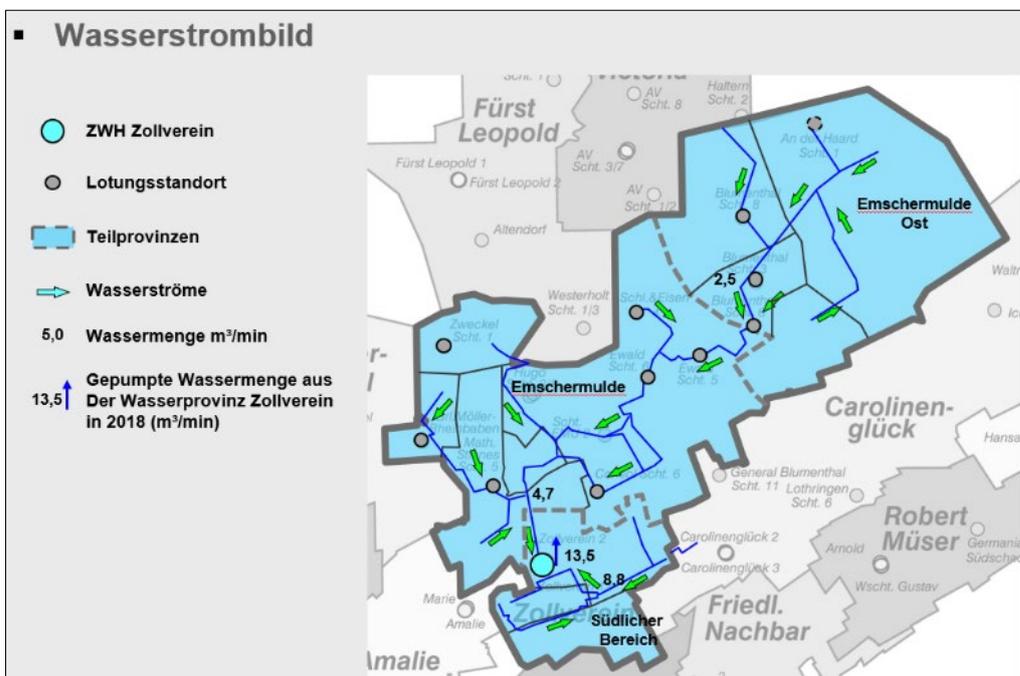


Abb. 4: Beispiel für ein Wasserstrombild der Wasserprovinz Zollverein (RAG 2019)

Im Boxmodell sind diese Informationen hinterlegt, sodass die GW-Strömung im Bereich der Bergbauzone je nach Grubenwasserstand modelliert und dargestellt werden kann. Diese Auswertungen sind Grundlage der Monitoringkonzepte „Hydrochemie Haus Aden“ (Klinger und Rüterkamp 2020), „PCB-Monitoring in Schächten des Ruhrreviers“ (Klinger und Pollmann 2023) und zum Einfluss des Grubenwasseranstiegs bei Einstellung von Wasserhaltungen sowie

¹⁰ Das Boxmodell ist ein 3-D-Finite-Volumen-Programm zur Modellierung der Richtung und Geschwindigkeit der Gruben- und Grundwasserströmung inklusive Temperatur, gelöster Stoffe und chemischer Reaktionen im Grubengebäude. Das Modell wurde von der Fa. DMT entwickelt und liegt flächendeckend für das gesamte Ruhrgebiet vor. Es wird von der RAG für vielfältige Fragestellungen eingesetzt.

Prognosen zu Einleitwerten (Klinger et al. 2019; Klinger et al. 2017; Klinger und Eckart 2015).

Abb. 5 zeigt beispielhaft, wie eine Abschätzung der Fließwege des Gruben- bzw. Grundwassers bei einem Grubenwasseranstieg aussehen kann. Im Box-Modell sind die Übertritte, hydraulischen Verbindungen zwischen den Bergwerken etc. hinterlegt (Klinger et al. 2019).

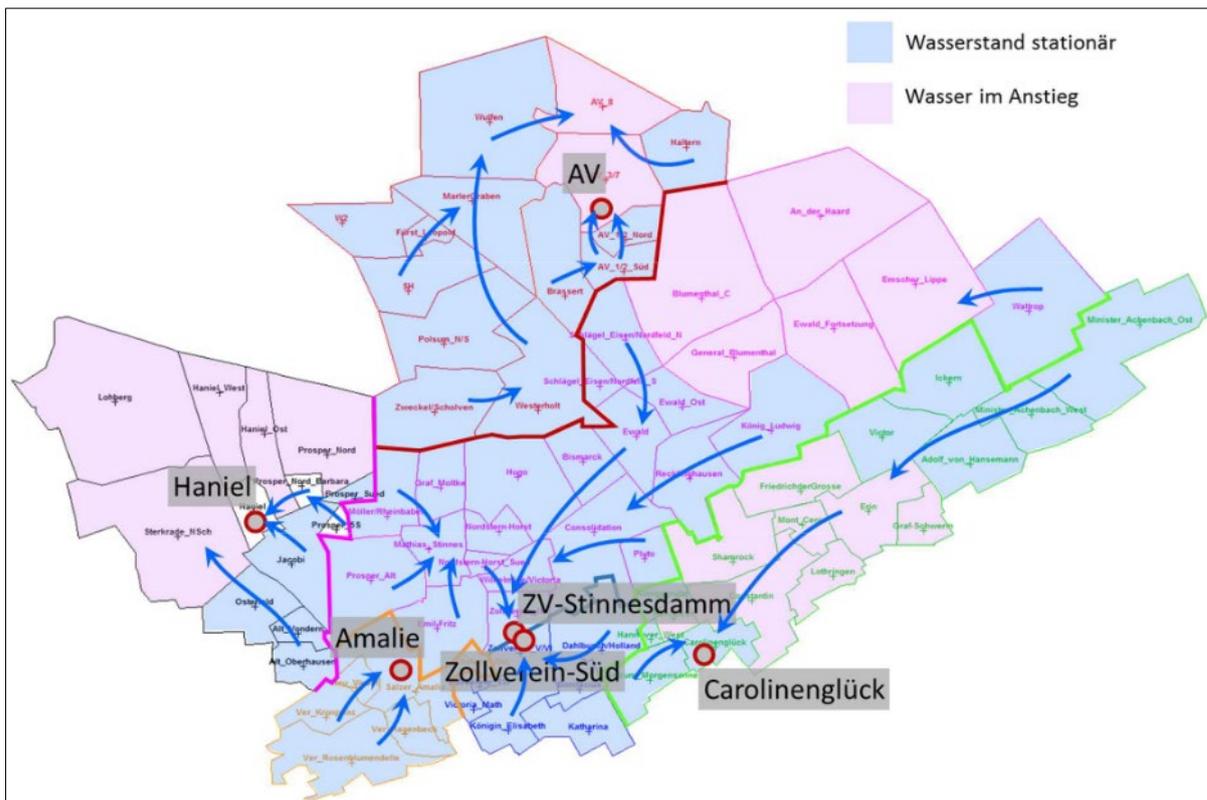


Abb. 5: Untersuchungsraum zum Einfluss der Einstellung der Wasserhaltung der markierten Wasserhaltungen mit Abgrenzung der heutigen Wasserprovinzen, und Hauptströmungsrichtungen zu den Wasserhaltungen, Stand 2019 (unverändert entnommen aus (Klinger et al. 2019))

Die Lotungsstandorte sind entsprechend Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5 in ihrer Aussagekraft zu charakterisieren (sofern nicht bereits bekannt) und sie sollten im Monitoring den relevanten Übertritten bzw. den hydraulischen Zuständen der Wasserprovinzen Lotungsstandorten zugeordnet werden (z. B. Referenzmessstellen, Vorwarnmessstellen). Für diese Lotungsstandorte sollten zur Steuerung des Prozesses im Monitoring Warn- bzw. Alarmwerte inklusive der daraus folgenden Handlungsoptionen festgelegt werden.

Eine Grundlage für die hydraulische Bewertung der Lotungsstandorte kann die umfangreiche Begutachtung der Lotungsstandorte für ein PCB-Monitoring sein (andere Fragestellung). Die betrachteten 78 Lotungsstandorte wurden umfassend bewertet, sodass nicht nur ihre Eignung zur Wasserprobenahme und

PCB-Analytik, sondern die Überwachungsfunktion im Grubenwasserkonzept bewertet werden kann (Klinger und Pollmann 2023).

3.3 Umsetzung des Grubenwasserkonzepts

Das Ruhrrevier wird aufgrund geologischer Randbedingungen und bergbaulich-wasserwirtschaftlicher Entwicklungen in vier Bereiche eingeteilt:

3.3.1 Wasserhaltungsstandort Walsum (Westliches Ruhrrevier)

Im westlichen Ruhrrevier ist der Standort Walsum bereits als ZWH ausgebaut, der im Jahr 2016 zum Schutz des BW Prosper-Haniel den Betrieb aufnahm. Seit 2020 kommt das Grubenwasser aus dem Bereich des BW West und den anderen linksrheinischen, stillgelegten Bergwerken hinzu. Die Grubenwassereinleitung erfolgt direkt in den Rhein.

Das Pumpniveau der ZWH Walsum beträgt derzeit ca. -754 m NHN. Das niedrige Pumpniveau war zum Schutz des bis Ende 2018 aktiven BW Prosper-Haniel erforderlich.

Nach der Beendigung der Grubenwassereinleitung in die Emscher am Standort Concordia Ende September 2022 fließen auch die Grubenwässer aus der Wasserprovinz Concordia untertägig der ZWH Walsum zu (Abb. 1).

3.3.2 Wasserhaltungsstandort Lohberg (Wasserprovinz Mitte)

In der Wasserprovinz Mitte wurden die Einleitungen von Grubenwasser in die Emscher Anfang 2023 beendet. Das Grubenwasser aus den Provinzen Carolinenglück, Zollverein und Amalie wird gemäß des Grubenwasserkonzeptes untertägig – u. a. durch die Grubenräume des BW Prosper-Haniel – zur ZWH Lohberg fließen. An der ZWH Lohberg ist die Aufnahme des Pumpbetriebs ab einem Wasserstand von -630 m NHN geplant. Nach Erreichen dieses Grubenwasserstands wird das Wasser dort gehoben und in den Rhein eingeleitet (Abb. 1). Hiermit wird nach 2030 gerechnet (Abb. 11). Die Einleitung ist noch nicht beantragt.

Zur ZWH Lohberg hin wird sich ein hydraulisches Gefälle ausbilden, so dass der Wasserspiegel in den einzelnen Teilprovinzen höher liegen wird. Die Schächte an den Standorten sind oder werden so verfüllt, dass ein Umbau zu Sicherungsbrunnen möglich ist. Der Standort Zollverein wird als prioritärer Sicherungsstandort komplett umgebaut.

Maßgeblich für die Aktivierung von Zollverein als Sicherungsstandort sind die Wirksamkeit mehrerer Übertrittsstellen zwischen den Wasserprovinzen Amalie und Carolinenglück und die entsprechenden Gefälle zwischen den Wasserteilprovinzen AV (-598 m NHN) → Zollverein (-600 m NHN beantragt) → Wasserhaltung Lohberg (<-600 m NHN; Gefälle nach Zollverein und nach Lohberg).

Die RAG geht davon aus, dass selbst bei Verschlechterung einzelner Wasserwegsamkeiten das Wasser aus den genannten Provinzen dem Standort Zollverein zufließen und dort im Bedarfsfall gehoben werden könnte.

Falls der Sicherungsstandort Zollverein aktiviert werden muss, wird das Grubenwasser hier gehoben, oberirdisch zur ZWH Lohberg geführt und letztlich in den Rhein abgeleitet (Machbarkeitsstudie zentrale Wasserhaltung Lohberg, (RAG AG 25.01.2021; RAG AG 2014).

3.3.3 Wasserhaltungsstandort Haus Aden (Wasserprovinz Haus Aden)

In der Wasserprovinz Ost wurde mit Stilllegung des Bergwerks Ost der Standort Haus Aden ab September 2019 zur ZWH umgebaut (Abb. 1). Der Pumpbetrieb soll ab einem Grubenwasserstand von -600 m NHN erfolgen. Hiermit wird für das Jahr 2025 gerechnet.

Das Grubenwasserkonzept der RAG sieht vor, dass die ZWH Haus Aden nach Umsetzung des Optimierungskonzeptes die einzige Wasserhaltung im östlichen Ruhrrevier ist/sein wird und die einzige Wasserhaltung, die in die Lippe einleiten wird (Beantragungsplanung; noch nicht beantragt). Die Standorte Grimberg 2 und Hansa dienen als Sicherungsstandort für die Wasserprovinz Ost (RAG AG 25.01.2021).

3.3.4 Wasserhaltungsstandorte südliches Ruhrrevier

Im südlichen Ruhrrevier wird das Grubenwasser aus den drei ZWH Heinrich, Friedlicher Nachbar, Robert Müser in die Ruhr eingeleitet (Abb. 1).

Aufgrund der geringmächtigen Überdeckung der Grubengebäude fällt hier etwa die Hälfte des im Ruhrgebiet anfallenden Grubenwassers an. Das heutige Wasserniveau liegt zwischen -480 m NHN und -165 m NHN. Das Grubenwasser wird gehoben und in die Ruhr geleitet (Tab. 1). Das geförderte Grubenwasser hat aufgrund des hohen Neubildungsanteils (Oberflächenwasser) in der Mischung mit dem mineralisierten/salinaren Tiefengrundwasser geringere Lösungsfrachten. Bei einem Abstrom dieses Grubenwassers nach Norden müsste es aus größerer Tiefe mit höherer Mineralisation gehoben werden (Klinger et al. 2017; Schöpel 2019).

Die drei Wasserhaltungen werden bereits seit Jahrzehnten betrieben. Aufgrund der Lösungsfracht des Grubenwassers werden, wenn nötig, vor Einleitung nur die organoleptischen Eigenschaften behandelt (bspw. Peroxidzugabe Robert Müser und Schwebstoffelimination Friedlicher Nachbar) (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021; Schöpel 2019).

3.4 Überwachung des Grubenwasseranstiegs

3.4.1 Stand

In den Wasserprovinzen Mitte und Ost steigt das Grubenwasser in einigen Wasserteilprovinzen an (Abb. 6).

In den weiteren Wasserteilprovinzen des Ruhrreviers steigt das Grubenwasser erst weiter an, wenn die entsprechenden Übertrittsstellen erreicht werden. Die Zielwasserstände zeigt Tab. 1. Darüber hinaus zeigt Abb. 6, wo das Grubenwasser aktuell ansteigt.

Die Wasserteilprovinzen/BW Westfalen, Sachsen und Königsborn liegen außerhalb der Beeinflussungsmöglichkeit der ZWH Haus Aden und stellen eigene, vergleichsweise abgeschlossene Grubenwasseranstiegsbereiche dar, die hier nur am Rand und im Zuge der generellen Systemvorstellung/-beschreibung aufgeführt werden.

Der Grubenwasseranstieg im BW Königsborn ist bereits bis zum hydraulischen Ausgleich (42,90 m NHN, Flurabstand: ca. 30 m) abgeschlossen. Von der Wasserprovinz Ost ist das BW Königsborn durch einen Hochdruckdamm (6. Sohle, -890 m NHN) abgetrennt (Überwachung Grubenwasserstand: Schacht Königsborn 4).

Das BW Westfalen liegt im Südosten der Stadt Ahlen. Seit 2000 (Stilllegung) steigt das Grubenwasser im BW an und dieser Anstieg setzt sich fort (Stand 2020: -220 m NHN). Der Anstieg entspricht den erwarteten Phasen und beschleunigte sich nach Einstau des Deckgebirges ab 2014. Die Prognose und der Vergleich zwischen Prognose und realem Anstieg werden wissenschaftlich begleitet (Westermann 2020).

In der Wasserprovinz West (West, Walsum, Concordia) ist der Grubenwasseranstieg weitgehend abgeschlossen (Abb. 6).

Für alle Wasserteilprovinzen werden Grubenwasseranstiegsprognosen erstellt, die auch Teil der jeweiligen ABPs sind. In den zugehörigen Gutachten sind Lo- tungsstandorte benannt, die der Kontrolle des Anstiegs und einem Soll-Ist-Vergleich dienen (siehe hierzu das integrale Monitoring).

Unter Bezugnahme auf das Grubenwasserkonzept beinhalten die Abschlussbetriebspläne der jeweiligen ZWH Grubenwasserstände, die einem mittleren Anstieg des Grubenwassers auf -600 m NHN im Ruhrrevier entsprechen. Da auf die Wasserhaltungsstandorte ein Gefälle im Grubenwasser bestehen muss, ergeben sich innerhalb der Wasserprovinzen höhere Grubenwasserstände.

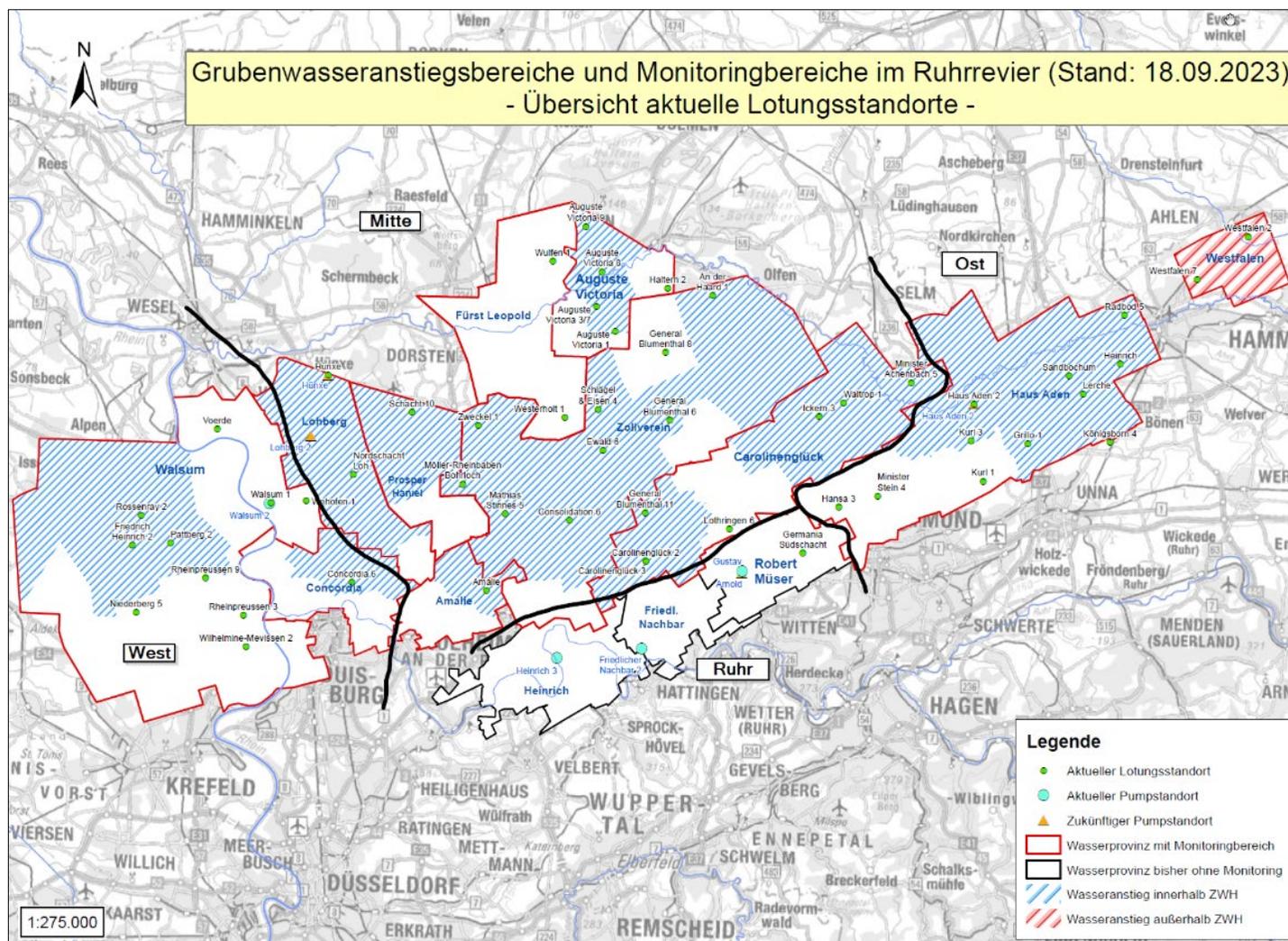


Abb. 6: Lotungsstandorte mit Wasserständen und Abgrenzung der vier Wasserprovinzen (Quelle: BR Arnsberg (https://www.bra.nrw.de/system/files/media/document/file/internetauftritt_grubenwassersituation-ruhrrevier_übersicht_lotungsstandorte_18_09_2023.pdf), Ergänzung der Wasserprovinzgrenzen durch die ahu GmbH)

Die aktuellen Zielwasserstände des Grubenwasseranstiegs in den einzelnen Wasserprovinzen und an den Wasserhaltungsstandorten zeigt die Tab. 1. Die in der Tabelle aufgelisteten Zielgrubenwasserstände entsprechen den jeweils im ABP festgelegten Wasserständen (Heinrich: zwei Teilbereiche). Die Überwachung und Dokumentation erfolgen im integralen Monitoring.

Tab. 1: Überblick über die Wasserprovinzen und zum aktuellen Zeitpunkt genehmigte Zielwasserstände der Wasserhaltungen (Quelle: RAG; BID)

Wasser-provinz	Wasserteilprovinzen	ZWH	Ziel Grubenwasseranstieg [m NHN]
West	West	Walsum	-707 (Übertrittsniveau)
	Walsum	Walsum	-746
	Concordia	Walsum	-675
Mitte	Amalie	Lohberg	-600
	Auguste Victoria	Lohberg	-598
	Carolinenglück	Lohberg	-550
	Lohberg	Lohberg	-630
	Prosper-Haniel	Lohberg	-626,5
	Fürst Leopold	Lohberg	-598
	Zollverein	Lohberg	-600
Ost	Haus Aden	Haus Aden	-600
Ruhr	Robert Müser	Robert Müser	-445 bis -435
	Friedlicher Nachbar	Friedlicher Nachbar	-175 bis -160
	Heinrich	Heinrich	-485 bis -475
	Heinrich	Heinrich	-337

3.4.2 Lotungsstandorte

In allen Wasserprovinzen befinden sich Lotungsstandorte, die zur Überwachung des Grubenwasseranstiegs regelmäßig gelotet werden. Sie sind den Wasserprovinzen und Wasserteilprovinzen zugeordnet. Was zurzeit noch fehlt, ist die Zuordnung der Repräsentativität eines Lotungsstandorts z. B. als Referenzmessstelle für den Grubenwasseranstieg in der jeweiligen Wasserprovinz oder Wasserteilprovinz oder zum Nachweis der Funktionsfähigkeit einer untertägigen Überleitung.

Das Lotungsprogramm der RAG in der Dokumentation umfasst eine Messungsplanung (monatlich, quartalsweise, jährlich oder keine) nach den Vorgaben aus den Abschlussbetriebsplänen. Aus dem Lotleitungskataster (Dok. 1) ist ersichtlich, welche Teufen ein Lotungsstandort erschließt.

Über die dargestellten Lotungsstandorte hinaus gibt es weitere, inaktive Lotungsstandorte. Insgesamt prüft die RAG derzeit alle Standorte auf Funktionsfähigkeit und potenzielle Nutzbarkeit im Monitoring (Dok. 1).

In ausgewählten Lotungsstandorten kann das Grubenwasser beprobt werden, eine Dokumentation/Zuordnung der Rolle der Lotungsstandorte im Monitoring ist erforderlich. Die Charakterisierung der generellen Eignung der Lotungsstandorte ist aktuell in Bearbeitung. Insgesamt gibt es eine Überschneidung der Lotungsstandorte in der Dokumentation, weiteren Gutachten (Klinger und Pollmann 2023) und der Veröffentlichung im Bürgerinformationsdienst (BID) bzw. der seitens RAG an das LANUV übergebenen Standorte an das LANUV (ELWAS-web).

Im integralen Monitoring ist vorgesehen, alle in das Monitoring aufgenommenen Lotungsstandorte und Grundwassermessstellen in ELWAS-WEB zu integrieren. Diese Lotungsstandorte und Grundwassermessstellen bekommen die entsprechenden Stammdatenblätter bzw. Steckbriefkonkretisierungen. Diese können mögliche Steckbriefe des integralen Monitorings ersetzen/ergänzen bekommen. Diese Steckbriefe umfassen die Stammdaten der jeweiligen Messstelle, die Analysedaten sowie deren zeitliche Entwicklung und eine erste Zuordnung (Entwurf) der Funktion der Lotungsstandorte im hydrogeologischen System.

Die so gewonnenen Daten werden bei der RAG in der internen Datenbank Duda vorgehalten.

Am Beispiel der Wasserprovinz West wird ein Vorschlag gemacht für

- einen Überblick über die Wasserhaltung in der Wasserprovinz (Tab. 2),
- Stammdaten der Lotungsstandorte und ihre Funktionen (Tab. 3).

Tab. 2: Überblick über die Wasserhaltung im Bereich West

Wasserteilprovinzen	Walsum, West, Concordia
Hebungsstandorte	ZWH Walsum
Lotungsstandorte davon mit Probenahme	bislang nicht bearbeitet
Zielwasserstände Wasserteilprovinzen	West: -707m NHN (Übertrittsniveau) Walsum: -746 m NHN Concordia: -675 m NHN
Wasserstand 2022	Walsum: -746 m NHN Concordia: -790 m NHN (ehemaliges Pumpniveau)
Wassermenge in 2021	4,8 Mio. m ³ Walsum 2,0 Mio. m ³ Concordia
Potenziell betroffene tGWK bei einem Grubenwasseranstieg bis -600 m NHN	Haltern-Formation/Recklinghausen-Formation Walsum-Subformation Buntsandstein
Tiefe Grundwassermessstellen	keine

3.4.3 Tiefe Grundwassermessstellen im Deckgebirge

Im Jahr 1993 begann die RAG damit, Grundwassermessstellen im Deckgebirge zu erstellen. Die bereits erstellten Grundwassermessstellen des Programms „Tiefe Pegel“, hier „Tiefe GWM“ sind auf Basis des Jahresberichts 2021 zusammengefasst (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022). Die Messstellen sind in der Emscher-Formation (grün) oder dem C/T verfiltert und beziehen sich teilweise auf den lokal obersten Grundwasserleiter. Jedes Jahr wird ein Monitoringbericht erstellt, der die Lotungsdaten (teilweise Loggerdaten) und die Grundwasserprobenahmen (ca. halbjährlich; Hydrochemie) auswertet (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022). Die Details sind in den Jahresberichten enthalten.

Tab. 3: Stammdaten der Lotungsstandorte und Funktionen im Monitoring im westlichen Ruhrgebiet (Stand 22.06.2022)

Lotungsstandort	TöB-Nr.	Wasser- teilprovinz	GOK [mNN]	Deckge- birge (Un- terkante) [mNN]	End- tiefe [mNN]	Ge- sam- länge [m]	Bezug Lotung [mNN]	aktiv	Wasser- stand 22.06.22	Ziel [m NHN]	Funktion	Warn- wert	Alarm- wert	Bemer- kung
Concordia 2	2558 5704 002	Concordia	33,8		-921,2	955		nein			z. B. Übertritt xyz			z. B. Refe- renz
Concordia 6	2556 5704 001	Concordia	33,3		-921,7	955		nein						
Friedrich Heinrich 2	2538 5706 002	Walsum	27,7		-601,3	629	27,85	ja						z. B. Probe- nahme
Friedrich Heinrich 3	2538 5704 001	Walsum	30	-212	-993	1.023	29,18	nein						
Niederberg 1	2538 5700 001	Walsum	31	-198	-1132,9	1.163,9	30,59	nein						
Niederberg 5	2538 5701 001	Walsum	32		-791,5	823,5	32,34	ja						
Pattberg 2	2541 5707 002	Walsum	27,9	-294	-897,1	925	27,73	ja						
Rheinpreussen Scht. 3	2547 5701 001	Walsum	32	-71	-510,1	542,1	33,91	ja						
Rheinpreussen Scht. 9	2544 5704 001	Walsum	30,22	-128	-696,68	726,9	29,78	ja						
Rossenray 1	2538 5709 001	Walsum	28	-394,2	-979	1.007		nein						
Rossenray 2	2538 5709 002	Walsum	28,2	-388,8	-979,5	1.007,7	23,31	ja						
Voerde	2544 5716 001	Walsum	28	-611	-1.037	1.065	23,54	ja						
Walsum 1	2549 5710 001	Walsum	30		-921,9	951,9	28,85	ja						
Wehofen 1	2552 5711 001	Walsum	30,2	-354	-990,8	1.021	28,84	ja						
Wilhelmine-Mevisen Scht. 2	2548 5698 002	Walsum	26,65	-70	-497,65	524,3	27,39	ja						

Insgesamt ist festzustellen, dass die tiefen Grundwassermessstellen oberflächennahes Grundwasser, die Emscher-Formation und den C/T erfassen. Die oberflächennahen Grundwassermessstellen zeigen deutliche Niederschlags-einflüsse im Jahrgang (Abb. 7; Beispiel Herne-Baukau 1.3).

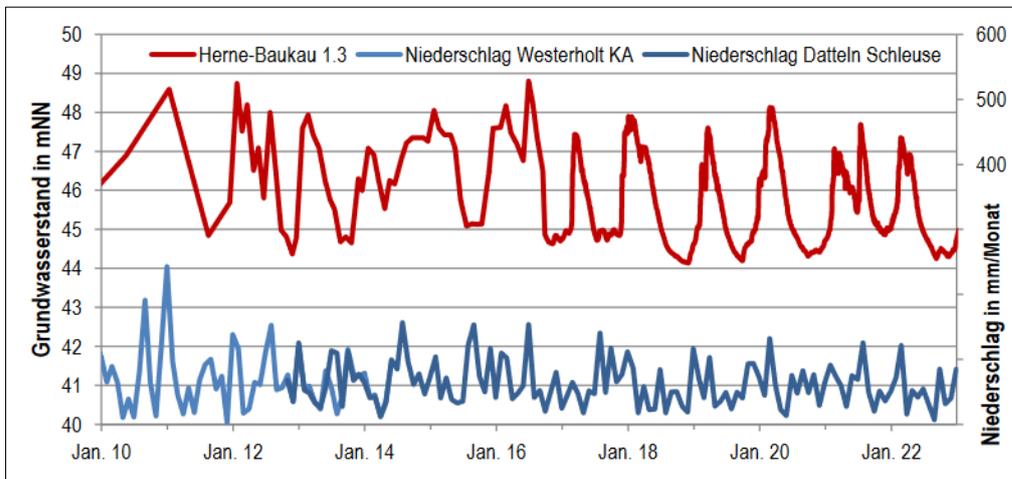


Abb. 7: Vergleich der Grundwasserstandsentwicklung Herne-Baukau 1.3 mit der Niederschlagsentwicklung (unverändert aus: (ten Thoren 2023))

Am Beispiel der Grundwassermessstellen Landwehr 1 und 2 stellt Abb. 8 dar, dass in der Emscher-Formation und dem C/T an manchen Grundwassermessstellen eine kontinuierliche Abnahme der GW-Stände feststellbar ist. Hydrochemisch sind die beiden Formationen zu unterscheiden (vgl. gering mineralisiertes Wasser in der Emscher-Formation und hoch salinares Wasser im C/T). Sie haben trotz der ähnlichen GW-Standsentwicklung hydraulisch keine Verbindung untereinander oder mit dem oberflächennahen Grundwasser (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022).

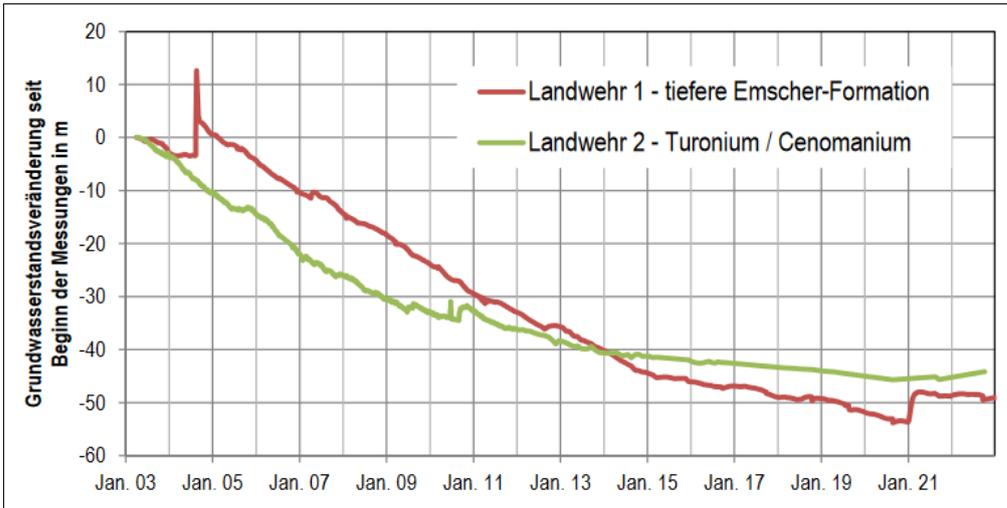


Abb. 8: Zeit-Absenkungsverhalten der Grundwassermessstellen Landwehr (Änderung GW-Stand). Die beiden GW-Stände liegen ca. 200 m auseinander (ten Thoren 2023).

Die 2022 neu erstellten Grundwassermessstellen Pferdekamp zeigen zwischen den Einzelmessstellen 1 (C/T) und 2 (Emscher-Formation), dass sich der Grundwasserstand nach Erstellung der Grundwassermessstellen und Pumpversuch nicht mehr verändert hat. Die Messstelle Pferdekamp 2 ist mit ca. 30 m NN niveaugleich mit dem Vorfluter (Lippe). Nur die Messstelle Pferdekamp 1 weist hohe Leitfähigkeiten und eine Tiefenzonierung in elektrischer Leitfähigkeit und Mineralisierung auf (ten Thoren 2023).

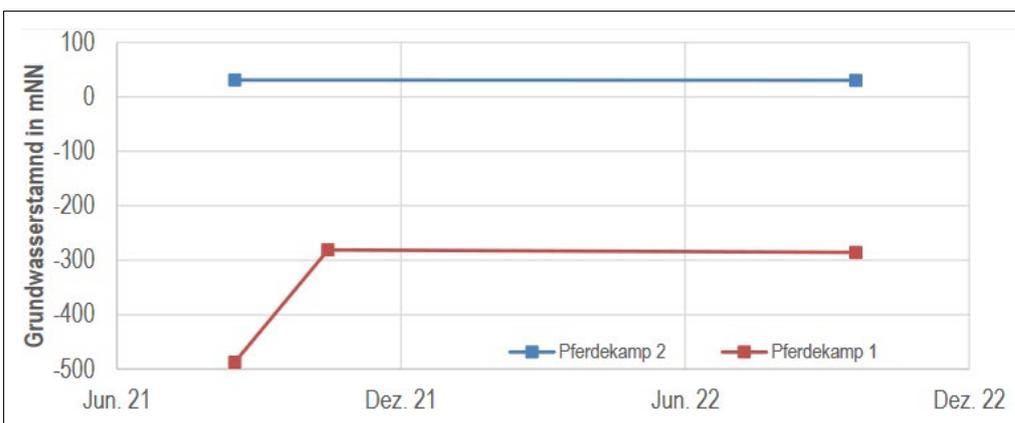


Abb. 9: Grundwasserstandsentwicklung Pferdekamp 1 und 2 (ten Thoren 2023)

Diese Datenlage weist darauf hin, dass die drei erschlossenen Formationen an dieser Stelle hydraulisch nicht verbunden sind.

3.5 Prognostizierter Verlauf der Grubenwasseranstiege

Für die BW und Wasserprovinzen wurde in mehreren Gutachten mittels Boxmodell der DMT der Grubenwasseranstieg prognostiziert und mit Anstiegskurven konkret dargestellt (Klinger et al. 2019; Klinger und Eckart 2015; Klinger und Rüterkamp 2020). Grundlage sind jeweils das abgeschätzte Resthohlraumvolumen der BW, die Zusickerungsmenge und die offenen Verbindungen und Übertritte zwischen den einzelnen BW. Für ausgewählte BW/Wasserhaltungen in den einzelnen Wasserprovinzen werden die Anstiegskurven dargestellt. Der Anstiegsverlauf wird im Monitoring beschrieben, mit der Prognose verglichen, ausgewertet und dokumentiert. Bei erheblichen Abweichungen können zusätzliche Wasserhaltungsmaßnahmen veranlasst werden. Kenndaten zum Stand des jeweiligen Grubenwasseranstiegs sind:

- der Zeitraum,
- die Dauer,
- die Grubenwasserdruckfläche zu Beginn,
- die aktuelle Grubenwasserdruckfläche,
- die dokumentierte initiale Zuflussrate,
- das Resthohlraumvolumen.

Die Abb. 10 und Abb. 11 stellen dar, wie die bisherige Wasserstandsentwicklung im Bereich des BW Lohberg ausgesehen hat und bis 2060 prognostiziert wird.

In Abb. 11 sind zusätzlich die kritischen Anstiegshöhen (Risiko des Übertritts in andere Wasserprovinzen) für die jeweiligen Messstellen an den Wasserstandsganglinien angegeben (bspw. -715 m NHN, Carolinenglück).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für alle BW bzw. Wasserprovinzen/Wasserteilprovinzen, wo ein Anstieg stattfindet, bereits Anstiegsmessungen und Anstiegsprognosen für das Grubenwasser vorliegen und im Monitoring überwacht werden könnten. Neben der bereits zitierten Begutachtung zeigen auch wissenschaftliche Arbeiten bspw. für das BW Westfalen, dass mit den bestehenden Datenquellen und dem vorhandenen Systemverständnis der Grubenwasseranstieg gut prognostiziert werden kann (Westermann 2020). Insbesondere ist mit dem integralen Monitoring ein regelmäßiger Soll-Ist-Abgleich möglich.

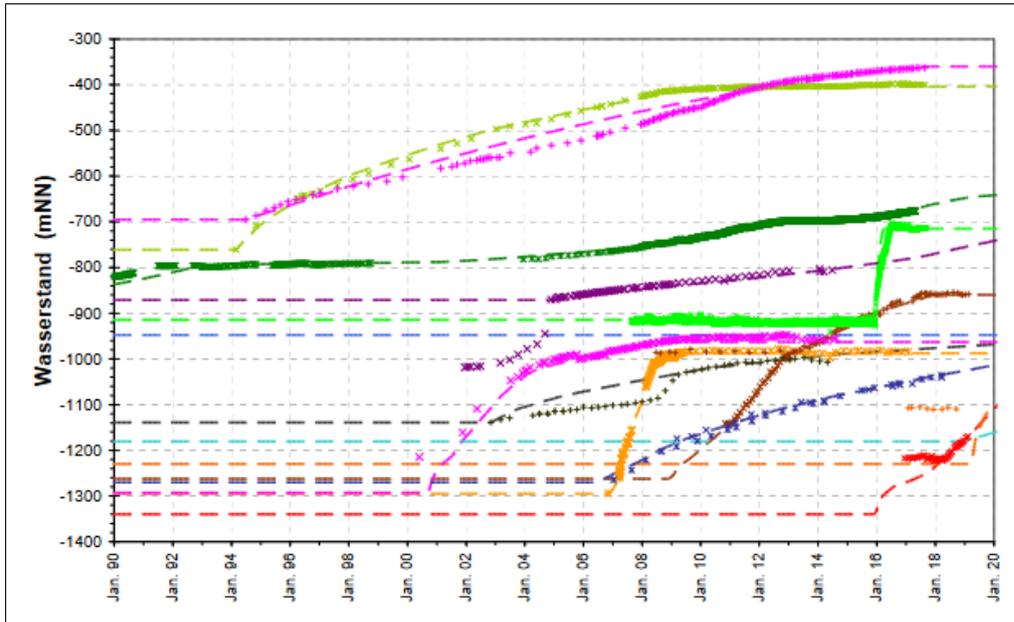


Abb. 10: Bisherige Wasseranstiegsentwicklungen für ausgewählte Messpunkte im Einzugsbereich der Wasserhaltung Lohberg (unverändert entnommen aus (Klinger et al. 2019); Legende siehe Abb. 11

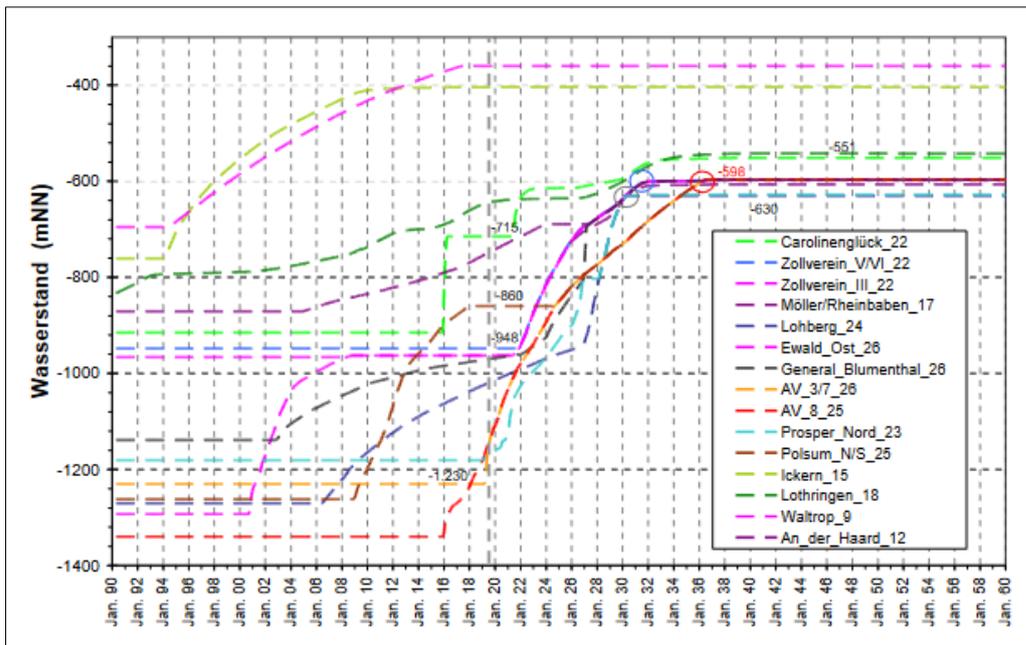


Abb. 11: Wasseranstiegsprognose Lohberg (unverändert entnommen aus (Klinger et al. 2019)

4 INTEGRALES MONITORING

Die Einhaltung der Schutzziele begleitet und überwacht unter Beteiligung der RAG seit 2020 das „Integrale Monitoring“ unter der Leitung des MWIKE, des MUNV und der Bezirksregierung Arnsberg.

Die Abb. 12 zeigt die Projektorganisation (Konzeptbeschreibung, Stand 09.08.2020). Der inhaltliche Schwerpunkt liegt auf den Themenfeldern Ausgasung, Wasser und Bodenbewegungen, die in 5 Regionalgruppen bearbeitet werden (West, Mitte, Ost, Ruhr und Ibbenbüren). In den regionalen Arbeitsgruppen erfolgt die operative Umsetzung der Konzepte unter der Leitung der Bezirksregierung Arnsberg, die durch IHS unterstützt wird. Für das Jahr 2020 wurde ein erster Statusbericht vorgelegt sowie für das Jahr 2021 der erste Monitoring-Jahresbericht (Bezirksregierung Arnsberg und Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH 2022).

Die Projekthomepage informiert über den Stand der Arbeiten und Ergebnisse (<https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/startseite>).

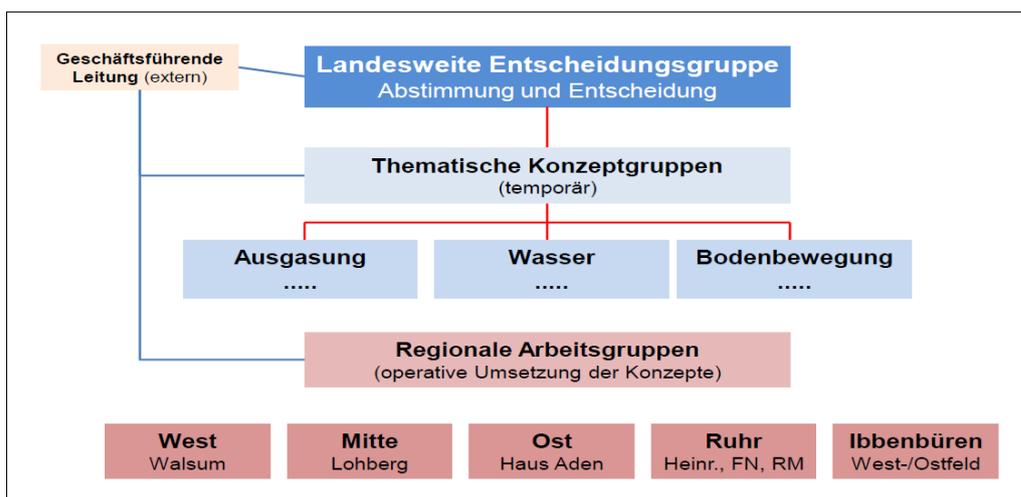


Abb. 12: Projektorganisation des Monitorings (Statusbericht 2020, Projekt-homepage)

Die Ziele und Aufgaben des Monitorings sind:

- die Quantifizierung bzw. Konkretisierung der in den einzelnen Genehmigungen enthaltenen Ziele in Maß und Zahl (Indikatoren),
- die Prüfung der Einhaltung der (quantifizierten bzw. konkretisierten) Ziele,
- Bewertung der Zieleinhaltung (Ampelsystem),
- die frühzeitige Erkennung bzw. kurzfristige Prognose gegebenenfalls auftretender Zielabweichungen: „Verlaufen der Grubenwasseranstieg und seine Auswirkungen plan- und erwartungsgemäß?“,

- die Erstellung zeitnaher und nachvollziehbarer Informationen über die aktuelle Entwicklung im Einzelnen und im Gesamtzusammenhang und
- die Veranlassung von (Gegen-)Maßnahmen (Handlungsoptionen) bei Zielabweichungen.

Damit bildet es die Grundlage für eine transparente Kommunikation mit der Öffentlichkeit und den Entscheidungsträgern.

5 HYDROGEOLOGISCHER AUFBAU

5.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Die Abb. 1 zeigt das Untersuchungsgebiet im Rahmen der Erweiterung des Messstellennetzes der tiefen Grundwassermessstellen. Darüber hinaus ist für die Priorisierung der zur erstellenden neuen Grundwassermessstellen das übergeordnete, hydrogeologische Systemverständnis entscheidend. Deshalb werden zur Diskussion der Rolle des C/T im hydrogeologischen System das Münsterländer Kreidebecken zwischen den Ausstrichsbereichen des C/T, der Teutoburger Wald im Norden und der Haarstrang mit der Paderborner Hochfläche im Süden mit einbezogen (Abb. 13).

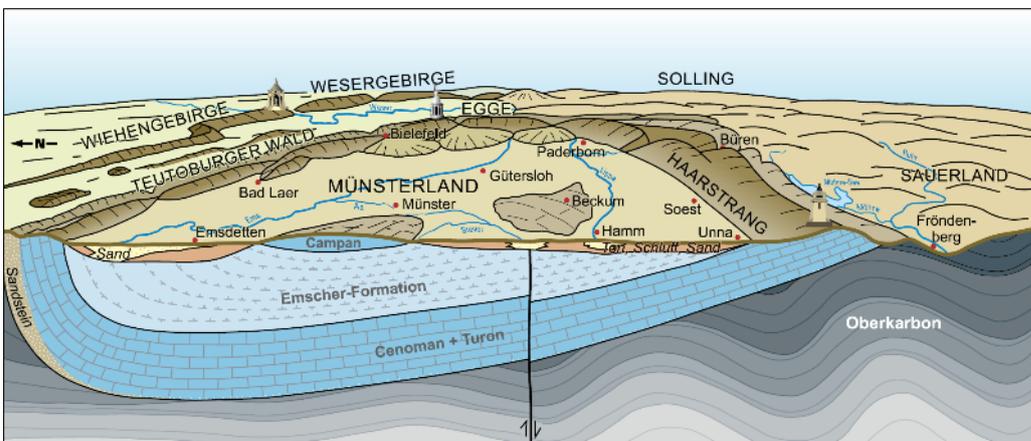


Abb. 13: Schematischer Nord-Süd-Schnitt durch das Münsterländer Kreidebecken ((GD NRW 2016), unverändert entnommen aus (Coldevey und Wesche 2017)). Die Emscher-Formation trennt die oberen Grundwasserleiter vom unteren Grundwasserleiter.

Die beiden wichtigsten Großstrukturen sind das flözführende Oberkarbon, in dem Steinkohlenbergbau umging (Bergbauzone), und das Münsterländer Kreidebecken.

In der Bergbauzone erfolgte eine weitreichende Durchbauung des Untergrundes. Das Untersuchungsgebiet bezeichnet zunächst den Raum, der durch die Wasserhaltung des Steinkohlenbergbaus beeinflusst wurde bzw. beeinflusst wird. In den entwässerten und durch den Bergbau aufgelockerten Bereichen könnten durch den Grubenwasseranstieg Veränderungen auftreten. Das umfasst die Abbaufelder der ehemaligen BW und eine darüber hinausgehende, ggf. ebenfalls bergbaubeeinflusste Zone. Da hierzu (noch) keine Daten vorliegen, wird das Untersuchungsgebiet im Norden um einen 5 km breiten Saum auf

das unverritzte Gebirge erweitert. Diese Vorgehensweise orientiert sich am Vorgehen des GD NRW bei der Abgrenzung der tGWK¹¹ (Abb. 19).

5.2 Hydrogeologischer Aufbau des Münsterländer Kreidebeckens

Das Münsterländer Kreidebecken ist für die Fragestellung der Errichtung weiterer tiefer Grundwassermessstellen die maßgebliche Struktur. Eine schematische Darstellung des geologischen Untergrunds im Münsterländer Kreidebecken zeigt Abb. 13.

Das Münsterländer Kreidebecken besteht aus hydrogeologischer Sicht im Wesentlichen aus vier Teilen (Michel et al. 1998; Ottenjann et al. 2022; Wisotzky et al. 2021):

1. Oberflächennahe Grundwasservorkommen (Poren-Grundwasserleiter) liegen oberhalb der Emscher-Formation – lokal begrenzt – in quartären Ablagerungen. Das überregional bedeutendste Grundwasservorkommen liegt in der Haltern-Formation.
2. In der Auflockerungszone der Emscher-Formation (Kluft-Grundwasserleiter) bis in mehrere 10er Meter Tiefe tritt Grundwasser auf. Die Ergiebigkeit ist jedoch oft beschränkt (Hauswasserversorgung). Ab ca. 100 Meter Tiefe ist das Grundwasser zu hoch mineralisiert.
3. Die Emscher-Formation nimmt nach Norden deutlich in der Mächtigkeit zu und ist unterhalb der Auflockerungszone ein regional bedeutsamer Grundwasserstauer ($k_f \leq 10^{-9}$ m/s), er trennt die oberen und den unteren Grundwasserleiter im C/T. In Bereichen ist er grundwasserfrei.
4. Die Kalke des Cenoman/Turon gelten in ihren verkarsteten und gut geklüfteten Partien als tw. ergiebiger Grundwasserleiter. Dies ist vor allem in den Ausstrichsbereichen (z. B. Haarstrang, Paderborner Hochfläche) und im Norden (Teutoburger Wald) der Fall. Von Süden (Ruhr) nach Norden tauchen die Kalke in annähernd gleicher Mächtigkeit tief unter die Emscher-Formation ab und werden zunehmend salinärer. Das Einfallen der Schichten im Norden ist steiler als im Süden. Sie haben oft einen direkten hydraulischen Kontakt mit der unterlagernden Essen-Grünsand-Formation.

Ob das C/T auch einen regionalen Grundwasserleiter im gesamten Münsterländer Kreidebecken darstellt, wird in Abschnitt 6.7 diskutiert.

¹¹ Neben den bislang in der EU-WRRL eingeführten oberflächennahen GWK (oGWK) werden vom GD NRW zusätzlich fünf tiefe GWK (tGWK) vorgeschlagen (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021). Dies sind stratigrafisch abgrenzbare Grundwasserleiter, unabhängig von einer Nutzung des tiefen Grundwassers, die im Detail in Kapitel 6 beschrieben werden.

Die Abb. 14 zeigt die Mächtigkeitsverteilung der kreidezeitlichen Ablagerungen im Becken und, dass die geologischen Einheiten des Deckgebirges vor allem im Westen des Beckens tektonisch stark beansprucht wurden. Die Zahlen 1 bis 3 bezeichnen die stratigraphischen Profile in der Abb. 15.

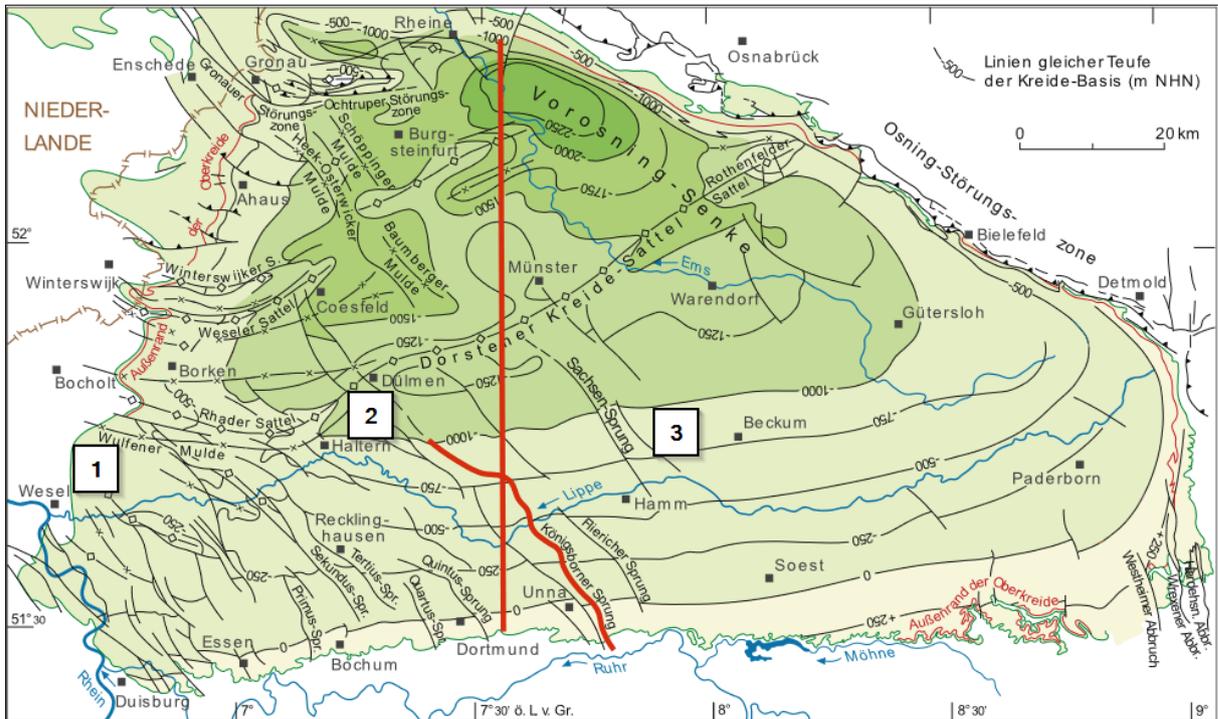


Abb. 14: Verbreitung der Kreideablagerungen im Münsterland (Wrede 2016); entnommen aus (Coldewey und Wesche 2017) inklusive der dort ausgewerteten Profile (Durchlässigkeitsbeiwerte). Ergänzung der numerierten Zuordnung der stratigraphischen Einheiten des Deckgebirges (vgl. Abb. 15).

Abb. 15 visualisiert in drei Teilen das stratigraphische Normalprofil des Deckgebirges im Münsterländer Kreidebecken (Abb. 14: 1 und Abb. 15: 1). Der geologische Aufbau des Deckgebirges variiert an den drei markierten Stellen deutlich (1-3 in Abb. 14). Bildet die Kreide in der Stratigraphie 1 eine mit ca. 40 m nur sehr geringmächtige Deckgebirgseinheit, so weist das Deckgebirge in der Mitte des Beckens (2) und am östlichen Rand des Ruhrreviers (3) Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern auf (Abb. 15).

Die Abb. 14 und Abb. 15 zeigen die unterschiedlichen Mächtigkeiten des Deckgebirges. Der Grundwasserleiter des C/T sowie die Emscher-Formation als wichtiger Grundwassergeringleiter im Kreidebecken sind in Abb. 15 aufgeführt. Mit blau sind alle bekannten, größeren sowie bedeutenden Grundwasserleiter in der Deckgebirgsabfolge von der Haltern-Formation bis zum Cenoman-Turon markiert. Insbesondere die Haltern-Formation besitzt hohe Bedeutung für die Wasserversorgung.

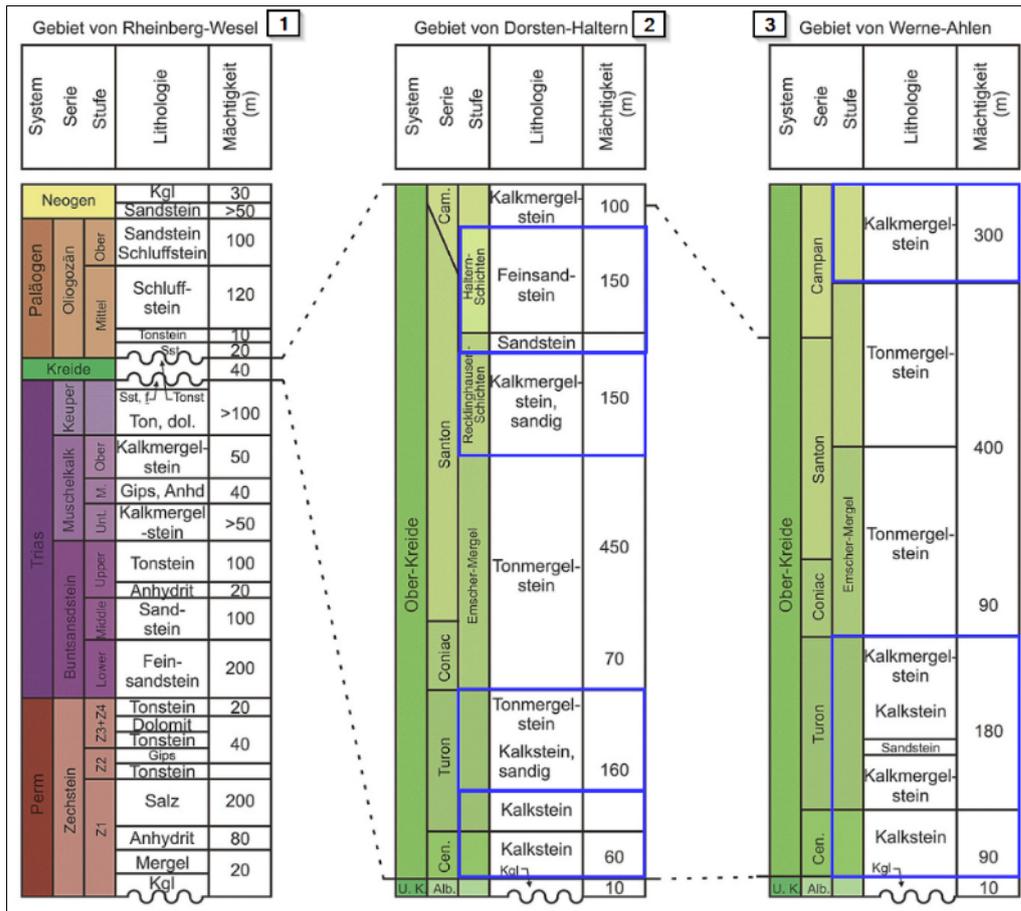


Abb. 15: Stratigraphische Einheiten des Deckgebirges; entnommen aus (Coldewey und Wesche 2017), dort verändert nach (Hahne et al. 1982) und hier um die Markierung der Stratigraphiebereiche der Grundwasserleiter ergänzt (blaue Markierung).

5.3 Homogenbereiche

Für risikobasierte Fragestellungen wie das Monitoring kann es sinnvoll sein, das Ruhrrevier in Homogenbereiche mit vergleichbarem hydrogeologischem Aufbau, Wirkungspfaden, Risiken und damit Monitoringkonzepten zu unterteilen.

Ein solches Konzept der Homogenbereiche wurde von Hahne & Schmidt (1982) vorgeschlagen und ist in der Abb. 16 dargestellt.

Im Süden entlang der Ruhr steht das Oberkarbon an der Oberfläche an und daher kommt es zu einem direkten Zutritt von Niederschlagswässern in die Grubengebäude. Diese Zone A wird nach Norden von der Zone B mit Überdeckung durch den C/T sowie geringmächtige und wasserdurchlässige Überdeckungen der Emscher-Formation abgelöst. Die nach Norden zunehmende Überlagerung durch ein immer mächtigeres Deckgebirge führt zu einem geringeren Einfluss der oberflächennahen Grundwasserzirkulationssysteme (Zone C). Umso

wichtiger können zutretende saline Grundwässer aus Zechstein und ggf. Buntsandstein für die Wasserbilanz sein.

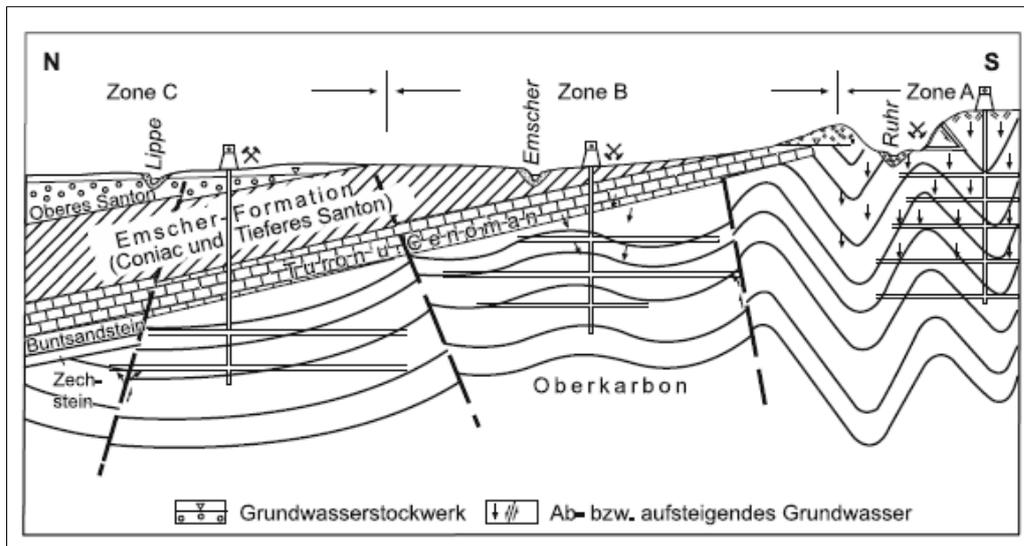


Abb. 16: Homogenbereiche im Schemaschnitt am Südrand des Münsterländer Kreidebeckens (Hahne et al. 1982)

Von IHS wurde das Konzept der Homogenbereiche in einer ersten Studie zum Monitoring weiterentwickelt (Schetelig et al. 2007), in dem sechs Homogenbereiche vorgeschlagen werden. Es gliedert die Bergbauzone in verschiedene Teilbereiche, in denen Aufbau und hydraulische Eigenschaften und deren Verbreitung einheitliche hydrogeologische Systeme erwarten lassen (Abb. 17). Für diese Homogenbereiche werden vergleichbare Risiken angenommen (z. B. Ausgasung, Bodenbewegungen) und deshalb auch vergleichbare Monitoringaktivitäten vorgeschlagen.

Insgesamt wurden von IHS (2007) 4 Haupttypen vorgeschlagen (HY1 bis HY4). Der Homogenbereich „Niederrhein“ (HY1) wurde noch in einen Bereich 1a mit einem einheitlichen Stockwerksbau und einen Bereich 1b mit einer stärkeren vertikalen Stockwerksgliederung aufgeteilt. Der Homogenbereich „Westfälischer Raum, Emscher-Formation > 100 m Mächtigkeit“ (HY2) wurde noch durch IHS (2007) in einen Bereich 2a mit geringer durchlässigen C/T-Schichten und einen Bereich 2b mit höher durchlässigen (verkarsteten) C/T-Schichten sowie einer stärker geklüfteten Emscher-Formation aufgeteilt (Abb. 17) (Schetelig et al. 2007).

Dem C/T wird in dieser hydrogeologischen Modellvorstellung keine besondere hydraulische Funktion zugewiesen. Inwieweit diese Modellvorstellung mit den aktuellen Messergebnissen aus den tiefen Grundwassermessstellen im C/T übereinstimmt, wird in Kapitel 7 und 8 dargelegt.

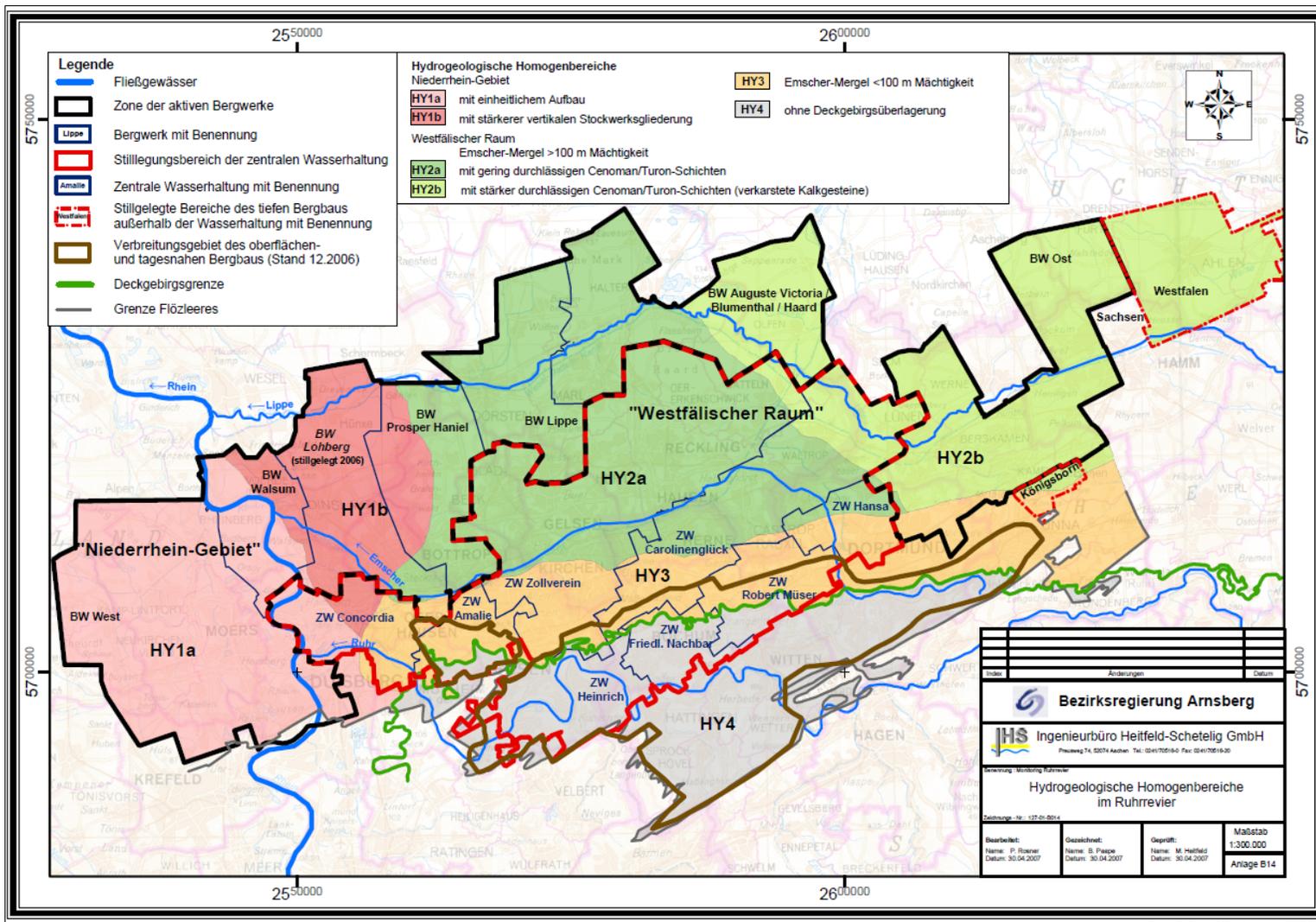


Abb. 17: Homogenbereiche nach IHS (2007); unverändert übernommen (Schetelig et al. 2007)

5.4 Hydrochemie des hydrogeologischen Systems

Natürliche Gewässer sind keinesfalls chemisch rein. Sie lösen oder verlieren auf ihrem Weg Stoffe in ihrer Umwelt. Auf diese Weise kommt es zur Umverteilung von Stoffen in der Umwelt und unterschiedlichen hydrochemischen Zusammensetzungen von Wässern. Diese Zusammensetzungen können Auskunft darüber geben, woher ein Wassertyp kommt (Genese/Entstehung), welche Wege (Transport) das Wasser genutzt hat und wie lange bzw. welche Wechselwirkungen mit der Atmosphäre oder Gesteinen stattgefunden hat (Hörling und Coldewey 2019).

Der stoffliche Inhalt einer Wasserprobe gibt Auskunft über die Herkunft, den Weg und die Verweildauern bestimmter Wässer und ihrer Wechselwirkung mit den Gesteinen der Grundwasserleiter (Wisotzky et al. 2021: 4–12). Diesen Zusammenhang versucht die hydrochemische Analyse der verschiedenen Grundwässer und des Grubenwassers im betrachteten hydrogeologischen System zu nutzen. Zum einen geht es um die Charakterisierung der Grundwässer und zum anderen um eine mögliche Detektion ihrer Mischung miteinander. So soll das Monitoring den möglichen chemischen Einfluss von ansteigendem Grubenwasser erkennen.

Um dies leisten zu können, muss das Monitoring die Gemeinsamkeiten und vor allem die Unterschiede der Wässer kennen und nachweisen/analysieren können. Im Fall des Grubenwasseranstiegs eignen sich hydrochemische Inhaltsstoffe besonders gut zur Unterscheidung, die die unterschiedliche Entstehungsgeschichte der Grund- und Grubenwässer sowie Art und Dauer der Wasser-Gesteins-Wechselwirkung abbilden.

Im Folgenden werden mögliche Wasserinhaltsstoffe bzw. deren Konzentrationsverhältnis vorgestellt, die als Tracer eine Zuordnung von Wässern zu hydrogeologischen Einheiten (Grundwasserleitern) oder eine Aussage zur Herkunft der Grundwässer und des Grubenwassers erlauben. Die Hydrochemie der Grundwässer im Münsterländer Kreidebecken und dem darunter liegenden Grundgebirge (Oberkarbon) kann Informationen zur Genese der Formationswässer, ihrer Wechselwirkung mit den durchströmten Gesteinen seit Genese und zu dem Einfluss des Bergbaus (Mischung mit Betriebs-/Oberflächenwasser) geben.

5.4.1 Hydrochemische Tracer im hydrogeologischen System

Die tiefen Grundwassermessstellen werden neben der Lotung bzw. hydraulischen Überwachung regelmäßig beprobt und die Wasserproben analysiert. Im Analyseumfang sind neben den Vor-Ort-Parametern die Hauptionen- und Spurenelementkonzentrationen enthalten. Eine Auswertung dieser Parameter insbesondere in Bezug auf die elektrische Leitfähigkeit/Salinität und die Hauptionenverteilung findet in den **Jahresberichten** statt (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022).

Unter dem Gesichtspunkt der Verwendung als Tracer beschreiben die Auftragung der Hauptionen im Piper-Diagramm, der stabilen Isotope des Wassers ($\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$), der molaren Konzentrationen von Na und Cl sowie die Auswer-

tung der Bromid- und Chloridkonzentrationen (mg/L) spezifische Aspekte der Hydrochemie der Grundwässer. Eine Unterscheidung der Formations- bzw. Grundwässer ist nicht immer möglich und benötigt weitere Untersuchungen (Probenahmen, Analysen) (Jasnowski-Peters und Melchers 2021).

Der Auftrag der stabilen Isotope beschreibt die Herkunft der verglichenen Wässer. Die jeweilige Verweilzeit von Niederschlagswasser in Aquiferen prägt dessen hydrochemische Alteration. Längere Verweilzeiten führen zu höheren/steigenden $\delta^{18}\text{O}$ (Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen). Diese Wechselwirkung schreitet bis zum Erreichen eines Gleichgewichts fort (Jasnowski-Peters und Melchers 2021). Die Analyse der stabilen Isotope zeigt, dass die oberkarbonischen Grubenwässer eine Sauerstoff-Isotopie aufweisen, die einer langen Wasser-Gestein-Wechselwirkung entspricht. Zudem weisen diese Wässer hohe Gesamtmineralisationen auf (Jasnowski-Peters und Melchers 2021).

Der Auftrag der Na- und Cl-Konzentrationen gegeneinander ermöglichte die Interpretation zur Entstehung des Konzentrationsverhältnisses. Für das Grundwasser des C/T deutet das Na/Cl-Konzentrationsverhältnis von ca. 1 auf eine mögliche Halitlösung hin (weitere mögliche Prozesse/Ursachen siehe Abschnitt 9.1.3.1). Sowohl für das Formationswasser der Emscher-Formation und das Grubenwasser liegt dieser Quotient bei 0,86. Das entspricht der molaren Konzentration des phanerozoischen Meerwassers (Poren-/Formationswasser) dieser Formation (Jasnowski-Peters und Melchers 2021). Das Na/Cl-Verhältnis ist ein natürlicher Tracer der Herkunft der Salinität, kann die Grubenwässer im Untergrund allerdings nicht eindeutig charakterisieren.

Das Bromid/Chlorid-Verhältnis gibt Aufschluss über die Herkunft der Salinität. Es ist möglich, dass die Salinität auf die Halitfällung oder Wasser-Gesteins-Wechselwirkung zurückgeht (Verdunstung von Meerwasser: SET – sea water evaporation trajectory) (Jasnowski-Peters und Melchers 2021). Weitere Faktoren, die sich ebenfalls auf das Ionenverhältnis auswirken können, werden zunächst als untergeordnet angenommen. Das aktuelle Konzentrationsverhältnis (mg/L) von Chlorid und Brom in Meerwasser beträgt 288. Während der Halitfällung werden nur geringe Anteile an Bromid ins Kristallgitter eingebaut, sodass das Verhältnis größer wird. Für die Emscher-Formation wird eine weitere Bromidquelle angenommen (wahrscheinlich Organik), die zu geringeren Ionenverhältnissen als im Meerwasser führt (Jasnowski-Peters und Melchers 2021).

Das molare Verhältnis (Na/Cl) ist ein erster Indikator zur Herkunft der Salinität und stellt ein Unterscheidungskriterium für die Wässer im Oberkarbon und Cenoman-Turon dar (Jasnowski-Peters und Melchers 2022a).

Als möglicher weiterer Umwelttracer werden aktuell die Lithiumkonzentrationen (hohes Bestimmtheitsmaß zwischen Na und Li für Grubenwasser) untersucht. Die Strontiumisotopie ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ist für das Oberkarbon als zusätzlicher Umwelttracer im Tracermix identifiziert worden (Jasnowski-Peters und Melchers 2022a).

Das Grundwasser im Oberkarbon weist eine einheitliche Genese auf. Es handelt sich um meteorische Wässer mit langer Wasser-Gesteins-Wechselwirkung, die zu einer Zusammensetzung führt, die einem oberkarbonischen „Meerwasser“ ähnelt. Diese Genese wird durch vielfältige Faktoren gestützt (Jasnowski-Peters und Melchers 2022a; Jasnowski-Peters und Melchers 2022a).

Aktuell gibt es Umwelttracer, die aus den geochemischen Datenpools, dem Chlorid-Bromid-Konzentrationsverhältnis, den stabilen Wasserisotopen (Sauerstoff und Wasserstoff) und den molaren Konzentrationsverhältnissen von Natrium und Chlorid bestehen.

Im Wesentlichen kann aktuell auf folgende Parameter zurückgegriffen werden:

Genese der Grundwässer:

- Wasserstoff- und Sauerstoffisotope $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$,
- Molares Natrium vs. Chlorid-Verhältnis: Na/Cl [mol/L/mol/L] (Indikator der Herkunft der Salinität),
- Chlorid/Bromid-Verhältnis: Cl/Br [mg/L].

Umwelttracer, die im Monitoring genutzt werden könn(t)en (Jasnowski-Peters und Melchers 2022b; Jasnowski-Peters und Melchers 2022a):

- Bromidkonzentrationen und Chlorid/Bromid-Verhältnis [mg/L],
- Lithium-Kationenkonzentration [mg/L],
- Strontiumisotope $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

5.4.2 Jahresberichte „Tiefe Pegel“

In den Berichten wird die hydraulische (Ganglinien) und hydrochemische (Laboranalysen, Piper-Diagramme) Entwicklung der Grundwassermessstellen im Programm innerhalb des jeweiligen Jahres sowie seit Beginn des Programms „Tiefe Pegel“ beschrieben und ausgewertet. Die Einzelheiten sind in den Jahresberichten dargestellt; zusammenfassend zeigen sie, dass (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022):

- die oberflächennahen Grundwassermessstellen in ihrer Hauptionenverteilung über die Zeit eine Veränderung zeigen,
- die tiefen Grundwassermessstellen (C/T) im Berichtszeitraum geringe hydrochemische Veränderungen aufweisen,
- die elektrische Leitfähigkeit und die Mineralisation der Grundwässer mit der Teufe zunimmt.

Der untersuchte Parameterumfang variiert im betrachteten Zeitraum. Die Vor-Ort-Parameter, Hauptionen und einzelne Metalle (Eisen, Mangan, Strontium, Zink) sowie Säurekapazität und Abdampfdruckstand wurden durchgehend analysiert. Je nach Entwicklung der fachlichen Diskussion scheinen weitere Parameter hinzuzukommen, bspw. Lithium und Bromid (ten Thoren 2023).

Für alle Grundwassermessstellen liegen Tiefenprofile der Temperatur und elektrischen Leitfähigkeit vor, wie beispielhaft für die Grundwassermessstelle Pferdekamp 1 gezeigt (Abb. 18).

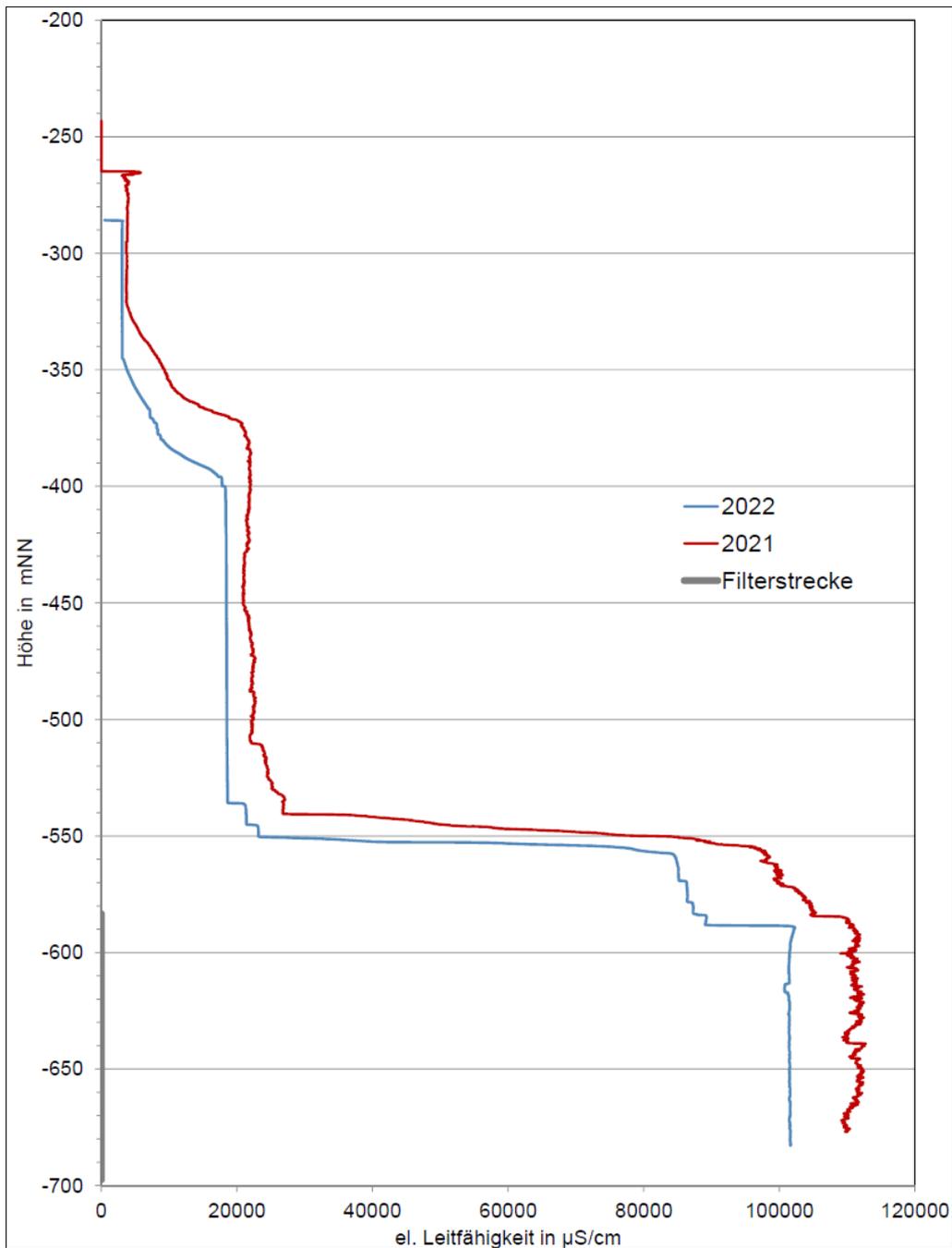


Abb. 18: Tiefenprofil elektr. Leitfähigkeit Messstelle Pferdekamp 1 (ten Thoren 2023)

5.4.3 Zukünftige Möglichkeiten im Monitoring

Grundsätzlich bieten die drei beschriebenen Umwelttracer die Möglichkeit, die einzelnen Grundwässer zu unterscheiden. Für das Monitoring wäre es wichtig, eine zeitliche Veränderung/Mischung als Beeinflussung durch Grubenwasser feststellen zu können und mit Warn- und Prüfwerten sowie Handlungsoptionen versehen zu können.

Um einen möglichen Grubenwassereinfluss im C/T nachweisen zu können, müssten jedoch zunächst bestimmte hydraulische Bedingungen erfüllt sein:

- Die Druckpotenziale im Grubenwasser müssen deutlich höher sein als die – derzeit noch ansteigenden – Potenziale im C/T (siehe Abb. 45 und Abb. 46).
- Um eine flächige Beeinträchtigung zu verursachen, müssten die Potenziale auch flächig im Oberkarbon deutlich höher sein und nicht nur in den Schächten. Die i.d.R. geringen Durchlässigkeiten in der Essen-Grünsand-Formation und im Oberkarbon verzögern ein flächiges Vordringen einer Grubenwasserfront, auch wenn bereits einzelne, höhere Potenziale gegenüber dem C/T gegeben sind.

Die Nutzbarkeit und die Sensitivität¹² der drei möglichen Umwelttracer (Chlorid/Bromid-Konzentrationsverhältnis, Strontiumisotopie und die Lithium-Konzentration) sind nicht abschließend bewertet. Eine Evaluation der drei natürlichen Tracer hat bereits stattgefunden, bisher gibt es allerdings noch keine für das Risikomanagement bindenden „Baselines“ (Auftrag: Integrales Monitoring).

- Letztlich können im Monitoring der Parameterumfang, Indikatoren sowie Warn- und Alarmwerte abgeleitet werden. Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Ergebnisse und Überlegungen wurde bislang noch kein Parameterumfang für die regelmäßige Untersuchung festgelegt. Die Prüf- und Warnwerte der Parameter sollten mit Handlungsoptionen hinterlegt werden. Siehe hierzu auch Abschnitt 9.2.

¹² Ab welcher Konzentration ist Grubenwasser im C/T – in Abhängigkeit der einzelnen Umwelttracer – eindeutig nachweisbar? Im Monitoring des Tagebaus Garzweiler II gibt es eine vergleichbare Fragestellung: Ab welcher Konzentration ist das Infiltrationswasser in den Feuchtgebieten nachweisbar? Trotz der 3- bis 4-mal höheren Konzentration an Hydrogenkarbonat sind die Infiltrationswässer erst ab 20 % bis 30 % Infiltrationswasseranteil nachweisbar. Die Ausbreitung wird über ein enges Netz an Messstellen, Probenahmen und ein Grundwassertransportmodell überwacht.

6 BESCHREIBUNG DER OBERFLÄCHENNAHEN UND TIEFEN GRUNDWASSERKÖRPER

6.1 Definition und Kenntnisstand

Die Beschreibung der Grundwasserkörper (GWK) folgt den Vorgaben der EU-WRRL. Hierbei werden neben den bekannten und eingeführten oGWK die tGWK beschrieben.

Gemäß der LAWA (2019) ist ein Grundwasserkörper nach Art. 2 Ziff. 13 EU-WRRL ein abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (LAWA 2019). Er ist die kleinste nicht teilbare Einheit der EU-WRRL, auf die sich wesentliche Ziele der Richtlinie beziehen, d. h. es ist die Bewertungseinheit und die Einheit für die Bewertung seines Zustands und ggf. eine spätere Festlegung von Maßnahmen.

In Deutschland gibt es gemäß der Bestandsaufnahme 980 Grundwasserkörper mit einer mittleren Größe von 400 km² (Bannick et al. 2008). Für die Definition der Grundwasserleiter gilt gemäß LAWA (2019):

- Grundwasserleiter ($k_f \geq 10^{-5}$ m/s)
- Grundwassergeringleiter ($k_f = 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 10^{-9}$ m/s)
- Grundwassernichtleiter¹³ ($k_f \leq 10^{-9}$ m/s)

Wichtig ist zudem, dass jeder Grundwasserkörper, der unter einem anderen Grundwasserkörper liegt, ein tiefer Grundwasserkörper (tGWK) ist. Die absolute Tiefe hat für diese Einstufung keine Bedeutung. In den Bereichen, wo dieser tGWK an der Oberfläche ausstreicht, wird derselbe Grundwasserleiter als oGWK bezeichnet.

Ein Beispiel ist die Haltern-Formation (Abb. 30), die im Osten in weiten Teilen das oberste Grundwasserstockwerk (oGWK) bildet und intensiv wasserwirtschaftlich genutzt wird. In einigen Bereichen ist die Haltern-Formation aufgrund der Überlagerung durch die Auen-Grundwasserleiter der Lippe und des Heubachs (oGWK) (GWK 278_02, 278_08 und 278_09) als tGWK ausgewiesen. Im Westen wird die Haltern-Formation ebenso vom oGWK und darüber hinaus von der Walsum-Subformation überlagert und überall dort als tGWK bezeichnet.

¹³ Der Begriff „Grundwassernichtleiter“ der LAWA ist irreführend und wird im Folgenden durch den Begriff „Grundwassergeringleiter“ ggf. unter Angabe der Durchlässigkeit ersetzt. Auch der Begriff Grundwasserstauer kann irreführend sein, da letztlich immer nur der Durchlässigkeitsunterschied maßgeblich ist. Innerhalb einer Kiesschicht (10^{-2} m/s) hat eine Sandschicht (10^{-4} m/s) aufgrund einer 100-fach geringeren Durchlässigkeit auch grundwasserstauende Eigenschaften.

6.2 Tiefe Grundwasserkörper in den Bundesländern

tGWK wurden bislang nur in **Schleswig-Holstein** im Zuge der Umsetzung der EU-WRRL ausgewiesen. Hintergrund war eine **bereits bestehende bzw. eine zukünftig mögliche Nutzung** tiefer Grundwässer für die Trinkwasserversorgung. Aus diesem Grund wurden saline Grundwasserleiter, die für die Trinkwasserversorgung nicht geeignet sind, nicht weiter betrachtet. Die tGWK sind in Schleswig-Holstein definiert als Grundwasserleiter im tieferen Untergrund, die vollständig durch Oberen Glimmerton abgedeckt sind und ein eigenes Regime haben.

In **Niedersachsen**, wo es durchaus vergleichbare tiefe Grundwasserleiter wie in Schleswig-Holstein gibt, wurde auf eine Ausweisung der tGWK verzichtet, mit der Begründung: „eine Differenzierung von Grundwasserkörpern in die Tiefe ist nicht erfolgt, da eine Untergliederung aufgrund des häufig sehr komplexen geologischen Baus als nicht zielführend und für die Umsetzung der EG-WRRL als nicht erforderlich angesehen wurde¹⁴“.

In **NRW** wurde der Geologische Dienst vom MULNV beauftragt, im Rahmen des Hintergrundpapiers Steinkohle (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021) ein Konzept zur Abgrenzung der tGWK in NRW zu erstellen. Dieses Konzept liegt im Entwurf vor. Aus dieser Quelle stammt auch der überwiegende Teil der im Folgenden zusammengestellten Informationen. Bislang wurden tGWK im Ruhrrevier (Karbon und Hangend-Leiter) ausgewiesen (Abb. 19).

Insgesamt wurden bislang im Ruhrrevier 5 tGWK ausgewiesen. Die Haltern-Formation und die Recklinghausen-Formation werden aufgrund der engen horizontalen Verzahnung, der oft lithologisch-faziellen geringen Unterschiede und des vergleichbaren hydraulischen Regimes als ein tGWK betrachtet.

Die Kriterien für die Ausweisung der tGWK in NRW sind:

- stratigraphische Einheiten,
- Abgrenzung zu bestehenden oGWK.

Keine Kriterien sind:

- Hydraulische Trennung innerhalb der gleichen stratigraphischen Einheit, wenn Bereiche auch an der Geländeoberfläche anstehen:
 - Haltern-Formation,
 - Oberkarbon;
- Überdeckung mit Grundwassergeringleitern,

¹⁴ https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht_niedersachsen/nutzung_schutz_und_uberwachung/hydrogeologischer_uberblick/grundwasserkorper/grundwasserkorper-105236.html

- derzeitige oder zukünftige Nutzung der Grundwässer als Trink-, Brauch- oder Mineralwasser,
- nutzungseinschränkende Eigenschaften (z. B. hohe Salinität, Auftreten von NORM¹⁵).

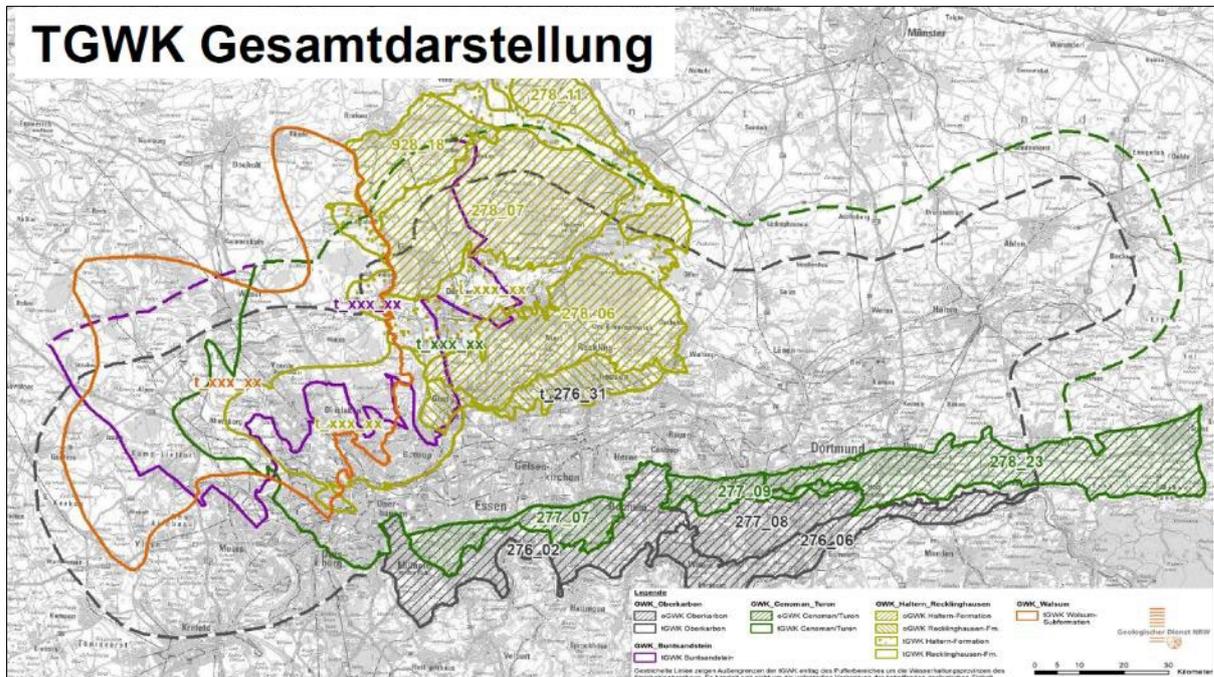


Abb. 19: Überblick über die tGWK im Ruhrrevier (Bildausschnitt vergrößert, Legende eingefügt aus (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021))

¹⁵ NORM = Naturally occurring radioactive material = natürlich vorkommende radioaktive Materialien

6.3 Berücksichtigung der Grundwasserkörper in der EU-WRRL für die Bewirtschaftungsplanung

Im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung gemäß der EU-WRRL wird betrachtet, ob die Grundwasserkörper einen guten mengenmäßigen und qualitativen Zustand haben, diese „gefährdet“ sind oder – bei Abweichungen – der gute Zustand erreicht werden kann, oder ob Ausnahmeregelungen erforderlich sind. Gemäß LAWA (2019) sind hierbei folgende Gefährdungen der GWK zu betrachten:

1. Diffuse Schadstoffquellen
2. Punktuelle Schadstoffquellen
3. Grundwasserentnahmen (Sümpfungen)
4. Künstliche Anreicherungen (EU-Code 6.1) *„Bezogen auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers stellt somit eine gezielt vorgenommene künstliche Grundwasseranreicherung keine Belastung dar und muss daher in der Regel benannt, jedoch nicht weiter untersucht werden“.*
5. Anthropogene Belastungen wie Versiegelung, Vegetationsveränderungen, Sohlerosion, Ausbau Gewässer, Entwässerung und Abwasserverregnung.

Bei Gefährdungen ist eine Deckschichtbewertung wichtig.

6.4 Betroffenheit/Relevanz/Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Im Folgenden werden die fünf relevanten tGWK gemäß MULNV (2021) und dem GD NRW (2022) beschrieben¹⁶ (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021; Wesche 01.07.2022).

Die Erfassung der Grundwassernutzungen, v. a. für die Lebensmittelindustrie, war nicht Auftrag des Gutachtens und die in den Abbildungen dargestellten Entnahmestandorte sind nicht vollständig, sondern zeigen beispielhaft, dass diese tGWK genutzt werden.

Für eine grundsätzliche Beurteilung des Risikos durch einen Grubenwasseranstieg ist zu berücksichtigen:

¹⁶ Mittlerweile ist – wie auf einem Vortrag des GD NRW am 19.02.2024: „Kartierprogramm Ruhrgebiet Nord“ vorgestellt – die widerspruchsfreie (bzw. widerspruchsarme) digitale Aufbereitung der geologischen Grundlagendaten und v. a. die dreidimensionalen Darstellungsmöglichkeiten durch den GD NRW so weit fortgeschritten, dass hiermit weiterführende Auswertungen zur Existenz möglicher hydraulischer Verbindungen und deren Aktivierung bei unterschiedlichen Grubenwasserständen erfolgen könnten.

- Der derzeit genehmigte Grubenwasseranstieg beinhaltet einen Anstieg bis ca. -600 m NHN in der Fläche (lokal zur Erzeugung eines untertägigen hydraulischen Gefälles teilweise höher).
- Neben möglichen hydraulischen Verbindungen sind die Potenzialdifferenzen zwischen dem Grubenwasser und dem Grundwasser in den tGWK entscheidend.

6.5 Flözführendes Oberkarbon

6.5.1 Aufbau und Eigenschaften

Das flözführende Oberkarbon hat eine Gesamtmächtigkeit von ca. 3.000 m. Darin sind ca. 200 Flöze enthalten. Die einzelnen Flöze wurden in sog. Cyclothemmen abgelagert. Dies ist eine regelmäßige Abfolge von Flöz, Ton- und Schluffsteinen, Sandsteinen/Konglomeraten, Schluffstein, Tonstein und dem nächsten Flöz. Die einzelnen Ton- und Schluffsteinlagen haben eine geringere Durchlässigkeit als die Sandsteinlagen, die auch geklüftet sein können und dann auch eine höhere Durchlässigkeit haben (z. B. Witten Sandstein).

6.5.2 Wasserwirtschaftliche Nutzungen/Grubenwasserhaltungen/ Grundwasserfließsystem

Das Grundwasserfließsystem im Karbon ist ein komplexes Multi-Porosity-System, das aus verschiedenen Elementen besteht (ahu GmbH 2018; ahu GmbH 2017; GRS 1998; Jäger et al. 1991).

- Alter Mann (1×10^{-8} m/s bis 5×10^{-8} m/s): Grundwassergeringleiter,
- Grubengebäude: Röhrensystem, vgl. einem Karst-Grundwasserleiter, solange die Röhren offenbleiben (wahrscheinlich die nächsten Dekaden),
- Ton- und Schluffsteinlagen: Grundwassergeringleiter,
- geklüftete kompetente Sandsteinlagen: Kluft-Grundwasserleiter.

Durch die Flutung bis ca. -600 m NHN werden sich die hydraulischen Eigenschaften teilweise ändern. So wird die Auflockerungszone und das entwässerte Gebirge rund um das Grubengebäude in max. 50 Jahren nach dem Grubenwasseranstieg wieder wassergesättigt sein (ahu 2017/2018, Teilbericht 5).

6.5.3 Wasserwirtschaftliche Nutzungen im Oberkarbon (tGWK)

Die Abb. 20 zeigt als blaue Punkte – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die bekannten wasserwirtschaftlichen Nutzungen im Oberkarbon (tGWK) gemäß GD NRW (2022).

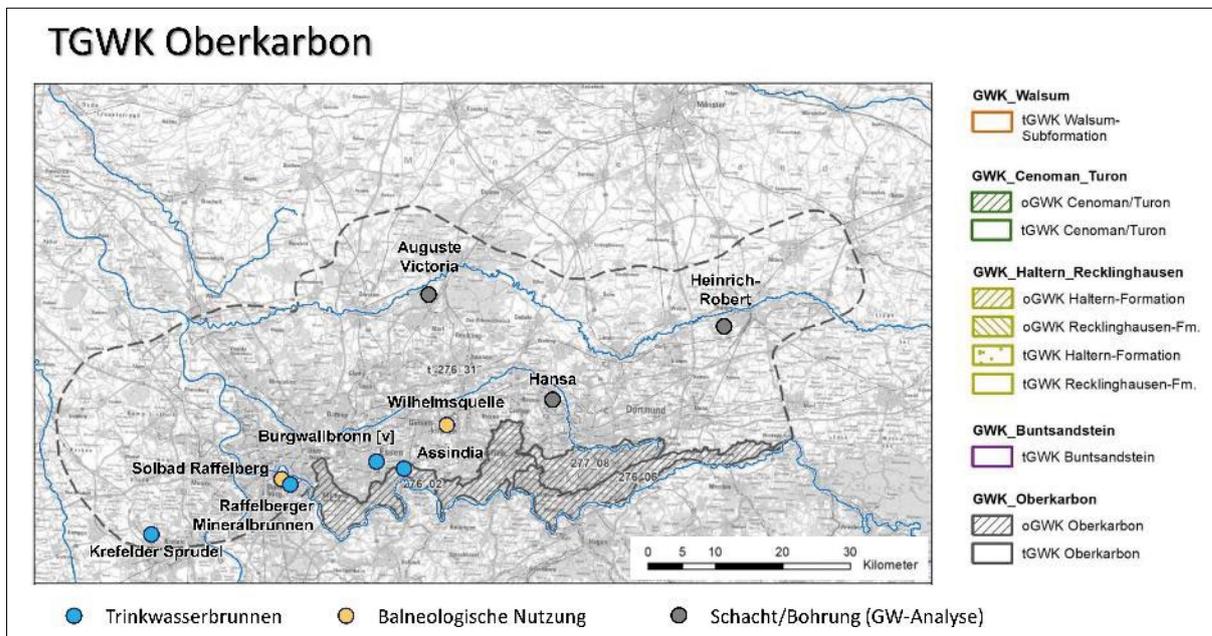


Abb. 20: Wasserwirtschaftliche Nutzungen im tGWK Oberkarbon und Referenzpunkte mit GW-Analysen zur Hydrochemie des Karbons (graue Punkte) (Wesche 01.07.2022)

Über die Grundwasserentnahmen ist der ahu Folgendes bekannt (Tab. 4):

Tab. 4: Wasserwirtschaftliche Nutzungen im Oberkarbon (tGWK)

Name	Tiefe	Förderhorizont	Bemerkung
Krefelder Sprudel	278 m	Oberkarbon	1891 Mutungsbohrung auf Steinkohle Die Bohrung war zunächst artesisch: 5,4 m mit einem freien Auslauf von 2,4 m ³ /s. Ab 1929 wurde gepumpt. 1958 war das Bohrloch versiegt. Ursache war ggf. der Bergbau. ¹⁷ Temperatur 14 °C; 7.820 mg/l gelöste Stoffe. Heute keine Nutzung mehr.

¹⁷ [Krefelder Sprudel bei Inrath, Stadt Krefeld, Kreis Krefeld | Objektansicht \(kuladig.de\)](http://kuladig.de)

6.5.4 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Die Förderhorizonte der in der Tab. 4 aufgeführten Nutzungen sind durch einen Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN nicht betroffen.

6.6 Buntsandstein

6.6.1 Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften

Die Abb. 21 zeigt die Verbreitung des tGWK Buntsandstein.

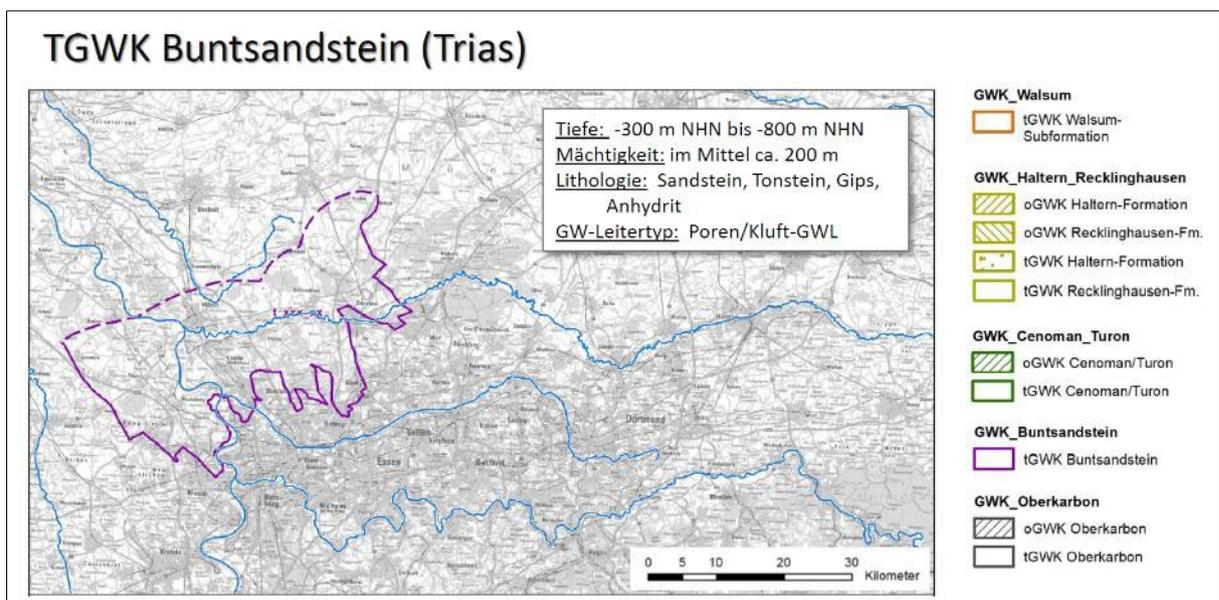


Abb. 21: Verbreitung des tGWK Buntsandstein (Wesche 01.07.2022)

Dieser tGWK beinhaltet Gesteine der Niederrhein- und der Volpriehausen-Formation sowie der Solling- und Röt-Formation. Es handelt sich im Wesentlichen um Fein- und Mittelsandsteine (untergeordnet Konglomerate), in die je nach Altersstellung und Sedimentationsmilieu Tonsteine sowie Gips oder Anhydrit eingeschaltet sind; bereichsweise ist auch Steinsalz belegt. Die Gesamtmächtigkeit des tGWK Buntsandstein nimmt generell von Süd nach Nord zu. In den Grabenstrukturen innerhalb der Niederrheinischen Tieflandsbucht kann sie bis zu 450 m Mächtigkeit erreichen. Die Höhenlage der Buntsandsteinoberfläche bewegt sich in Abhängigkeit von der jeweiligen tektonischen Situation zwischen rd. -150 m NHN und rd. -500 m NHN. Es wird erwartet, dass die Sandsteine grundwasserführend sind. Aufgrund der Tiefenlage des tGWK und des Vorhandenseins von Zechsteinsalzen im Liegenden ist mit hochmineralisiertem Grundwasser bzw. mit Salzwasser zu rechnen (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021; Wesche 01.07.2022).

Bei Schachtdurchteufung waren aufgrund des hohen Wasserandrangs Gefrierverfahren erforderlich.

6.6.2 Grundwasserfließsystem

Über die Grundwasserstände in den Buntsandsteinen ist nichts bekannt.

6.6.3 Wasserwirtschaftliche Nutzungen

Eine Nutzung dieser Grundwasservorkommen ist nicht bekannt.

6.6.4 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Bei einem Grubenwasseranstieg bis -600 m NHN **könnten** tiefer liegende Bereiche des tGWK Buntsandstein in die Reichweite der Potenzialfläche des Grubenwassers gelangen. Vor dem Hintergrund

- einer fehlenden Nutzung,
- der hohen zu erwartenden Salzgehalte und
- den wahrscheinlich deutlich höheren Potenzialen als -600 m NHN

wird die Gefährdung durch einen Grubenwasseranstieg bis auf -600 m NHN als sehr gering eingeschätzt.

6.7 Cenoman/Turon

6.7.1 Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften

Oberhalb des Oberkarbon schließen im Zentralen Münsterland aufgrund einer Schichtlücke des unteren Mesozoikums das Cenoman und das Turon an. Im Cenoman und Turon stellte das westfälische Oberkreidemeer einen relativ gleichförmigen Ablagerungsraum dar. Für die Fragestellung des Gutachtens hat die untere Oberkreide mit den Stufen Cenoman und Turon eine besondere Bedeutung (Abb. 22).

6.7.1.1 Tiefer Grundwasserkörper Cenoman/Turon

Die in dem tGWK Cenoman-Turon (kurz: C/T) zusammengefassten Gesteinseinheiten bestehen im Wesentlichen aus Kalk-, Kalkmergel- und Tonsteinen der Plänerkalk-Gruppe (Abb. 22).

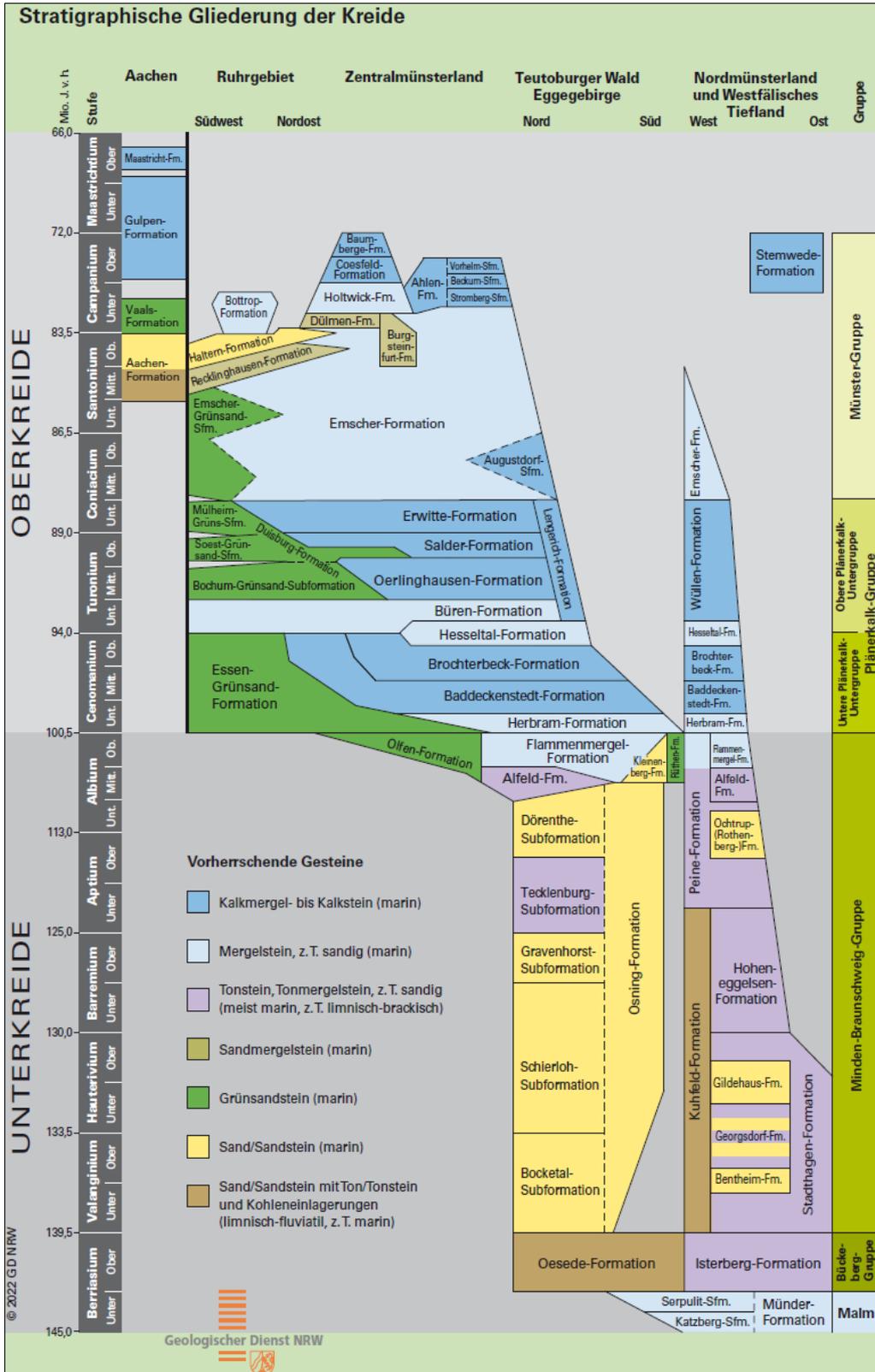


Abb. 22: Stratigraphie und Schichtenfolge der Münsterländer Kreide mit den relevanten Einheiten (aus: Geologie im Münsterland, GLA 1995)

In der **Plänerkalk-Gruppe**¹⁸ sind in der typischen Pläner-Fazies dickbankige, ziemlich harte und feste Mergelkalksteine mit Übergängen zu reinen Kalksteinen ausgebildet. Mittel- und Obercenoman werden zusammengefasst auch als „Cenoman-Kalk“ bezeichnet. Er streicht am Süd- und Nordrand des Münsterländer Kreide-Beckens aus (Abb. 13) und ist die Rohstoffbasis der Zementindustrie im Raum Rheine-Neuenkirchen-Wettringen im Norden der Westfälischen Bucht. Im Folgenden werden diese Gesteine als C/T zusammengefasst, da sie – zumindest bereichsweise – einen verkarsteten und hoch durchlässigen Grundwasserleiter bilden.

Die Abb. 23 zeigt die Verbreitung des tGWK C/T. Die Gesamtmächtigkeit des tGWK C/T beträgt zwischen rd. 100 m und 200 m. Die Oberfläche fällt von Süden nach Norden auf maximal -1.400 m NHN ab.

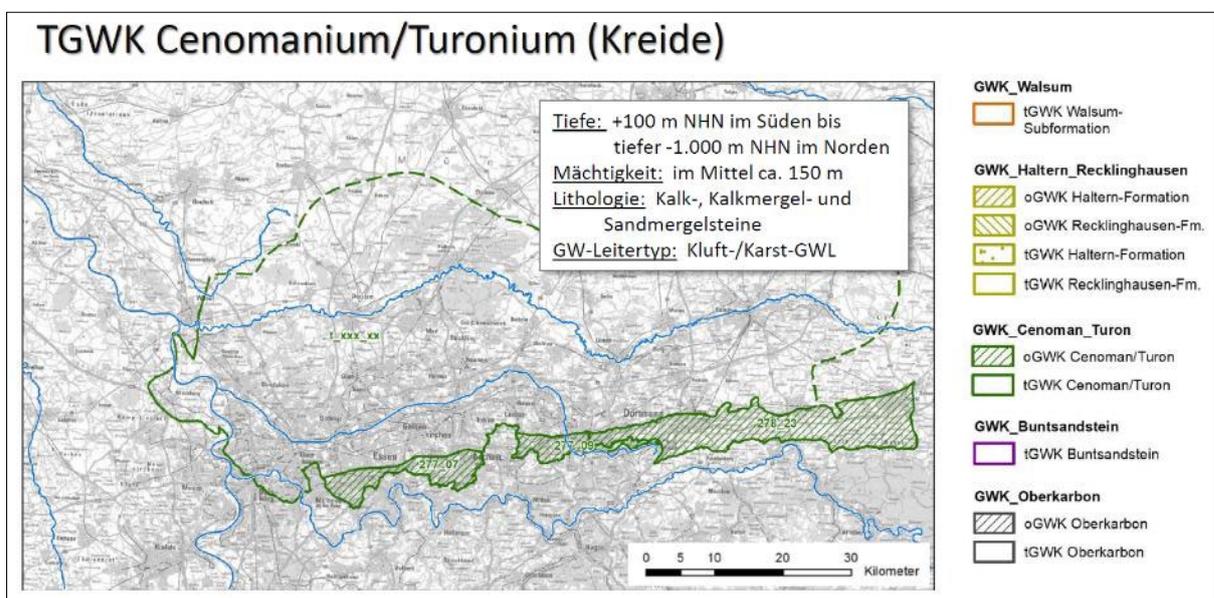


Abb. 23: Verbreitung des tGWK C/T (Wesche 01.07.2022)

Der tGWK C/T wird vor allem im südlichen Teil des tGWK genutzt (z. B. Brauwasser, Mineralwasser), wie in der Abb. 28 auszugsweise dargestellt ist. Nach Norden nimmt mit zunehmender Tiefe die Mineralisation bzw. die Salinität des Grundwassers zu.

¹⁸ Hinweis Dr. Wesche (GD NRW): Die Erwitte-Formation (sog. "schloenbachi-Schichten"; Unterconiacium) besitzt mit dem Turon vergleichbare lithologische und hydraulische Eigenschaften. In der Bohrung Waltrop 2 hat sie eine Mächtigkeit von ca. 34 m oberhalb des Turons. Die meisten Ausgasungen treten bzw. traten bei Erreichen des Emscher/Erwitte-Übergangs auf. Die Erwitte-Formation wurde erst in den 1980er Jahren vom Turon abgetrennt; d. h. in älteren Bohrungen ist die heutige Erwitte-Formation im Turon subsumiert.

6.7.1.2 Essen-Grünsand-Formation

Die zweite wichtige Formation in den Stufen Cenoman und Turon ist die **Essen-Grünsand-Formation**. Weitere und jüngere Grünsand-Subformationen treten im Südwesten des Ruhrgebietes auf (Abb. 22).

Für den frühen Bergbau hatte die Essen-Grünsand-Formation eine hohe Bedeutung, da diese bei ausreichender Mächtigkeit und toniger Ausprägung ein Grundwasserstauer ist und das Grubengebäude von den häufig grundwasserführenden Kalken und Mergeln der Plänerkalk-Gruppe (Abb. 22) hydraulisch trennt. Dies ist v. a. im zentralen Bereich des Ruhrgebietes und im Südwesten des Münsterländer Beckens der Fall. Im Osten ist die grundwasserstauende Wirkung deutlich geringer (Kukuk 1938). Zahlreiche Wassereinbrüche in die BW erfolgten, wenn beim Abbau kein ausreichender Abstand zum Deckgebirge eingehalten wurde (z. B. BW Kurl 1878 (ahu GmbH 2012)).

Von Baltes/GRS (1998) werden folgende Durchlässigkeitswerte angegeben (GRS 1998):

- k_f (allgemein) = 3×10^{-8} m/s
- k_f (im Süden) = 1×10^{-8} m/s

Separate Messungen aus der Essen-Grünsand-Formation (Durchlässigkeit, Potenziale, Chemismus) liegen der ahu nicht vor.

Ohne die hydraulisch trennende Wirkung in weiten Teilen der Bergbauzone wäre die Entwässerung des C/T durch den Bergbau wahrscheinlich in noch größerem Maße erfolgt.

Vor Aufstellung eines numerischen Modells wird empfohlen, die Verbreitung und Eigenschaften der Essen-Grünsand-Formation genauer zu recherchieren, als dies in dem vorliegenden Gutachten möglich ist.

6.7.1.3 Grundwasserfließsystem Zentrales Münsterländer Becken

Die nah an der Erdoberfläche liegenden Cenoman/Turon Kalke sind teilweise hoch verkarstet (s. randliches Grundwasserfließsystem in Abb. 26). Inwieweit auch eine Verkarstung im Geosystem zentrales Münsterland, in dem mit Sole gefüllten Bereich der tiefen Cenoman/Turon Kalke erfolgte, ist unklar. Grundsätzlich können auch in Solen Verkarstungsprozesse ablaufen. Dies setzt die Zufuhr von CO_2 voraus. Diese kann über eine fortlaufende Zufuhr von Grundwasser, das mit CO_2 -Quellen – wie die belebte Bodenzone – in Verbindung steht, erfolgen.

In den bisher tiefsten gemessenen Sohlen in Bergwerken (1.450 m unter Gelände, Wedewardt 1995) wurde bislang keine aggressive Kohlensäure gemessen, die für eine Verkarstung erforderlich wäre. Allerdings werden durch CO_2 -Aufstiege aus dem Grundgebirge durchaus lokale Verkarstungen für möglich gehalten und es gibt auch entsprechende Hinweise auf Hohlräume. So werden im Bereich des Lippstädter Gewölbes auch erhöhte CO_2 -Gehalte im

Grundwasser registriert (ahu GmbH 2012). Für das Auftreten starker CO₂-Aufstiege gibt es lokale historische Belege (Mutungsbohrung Werne 1873, Tab. 8).

Aus einigen Bohrungen im Raum Münster, Ascheberg, Herbern und Drensteinfurt erfolgten aus Hohlräumen aus den Plänerkalken (Unterer Cenoman, Abb. 22) aus Tiefen zwischen 830 und 950 Metern heftige, mehrtägige Gasausbrüche, die z. T. durch ca. 10 %-ige Soleaufstiege begleitet waren (Wegner 1924). Zumindest in einem Fall (Bohrung Dora 18 bei Herbern) wird seit ca. 100 Jahren methanhaltiges Grubengas gefördert. Dies zeigt zum einen, dass Untergrunddurchlässigkeiten bestehen und zum anderen, dass die Essen-Grünsand-Formation keine durchgehende Barriere für Gase ist.

Einzelne isolierte Hohlräume, die z. B. auch durch tektonische Vorgänge (Störungsbrekkzien) entstehen können, haben jedoch keine regionale Auswirkung.

Die hydrogeologische Systemvorstellung, die im Kern auf Struckmeier (1990) zurückgeht (Struckmeier 1990), zeigt die Abb. 24.

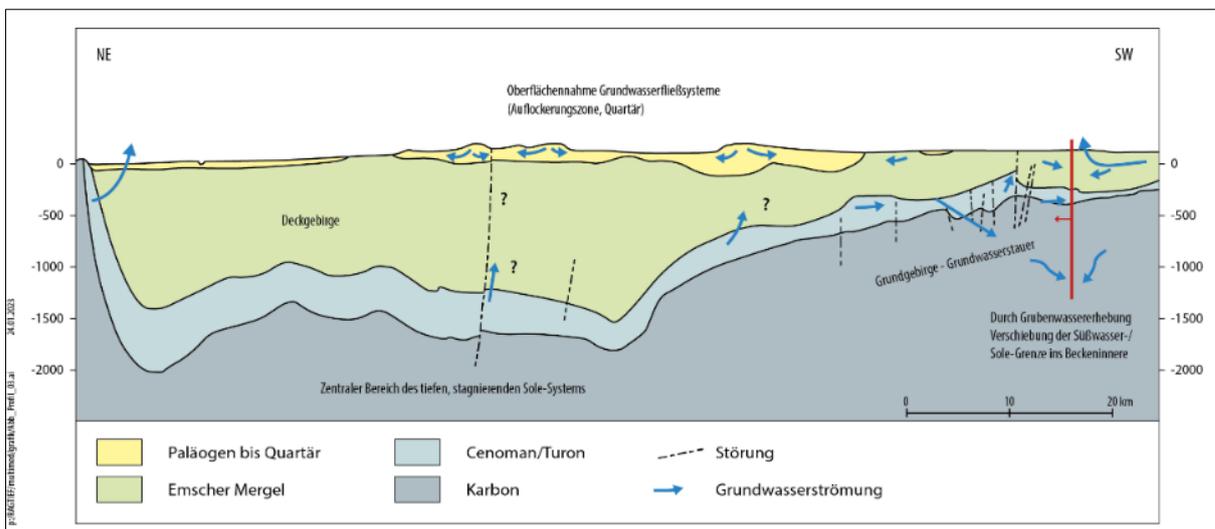


Abb. 24: Hydrogeologische Systemvorstellung Münsterländer Becken (ahu GmbH, Umsetzung nach (Struckmeier 1990))

Im Rahmen der Risikoabschätzung zum Fracking im Münsterland (ahu GmbH 2012; EWEN 2012) wurde vor allem die Bedeutung der Cenoman/Turon-Schichten als ein durchgehender Grundwasserleiter unter dem Münsterländer Becken diskutiert.

In Sauter et al. (2012) wird für die tiefen Cenoman/Turon-Kalke eine horizontale Durchlässigkeit von 5×10^{-7} m/s und eine vertikale Durchlässigkeit von 1×10^{-9} m/s angenommen (Sauter et al. 2012).

Neben einer ausreichenden Durchlässigkeit ist eine ausreichende Potenzialdifferenz erforderlich, damit sich ein Grundwasserfließsystem ausbilden kann. Rein rechnerisch besteht diese Potenzialdifferenz entlang eines Nord-Süd-

Schnittes zwischen den Rändern und dem Zentrum des Münsterländer Beckens:

- Grundwasseroberfläche Teutoburger Wald: ca. 220 m NHN,
- Grundwasseroberfläche Paderborner Hochfläche: ca. 220 m NHN,
- Quelllinien, Paderquellen: ca. 110 m NHN,
- Beckeninneres: Münster: ca. 60-70 m NHN,
- Westlicher Beckenrand: ca. 30-50 m NHN.

Hieraus ergibt sich ein rechnerisches Potenzialgefälle zwischen dem Teutoburger Wald und den Paderquellen entlang der Cenoman/Turon Kalke von ca. $4,4 \times 10^{-4}$ (Sauter et al. 2012).

Zum nordwestlichen Beckenrand würde sich ein noch größeres Gefälle ergeben. Allerdings zeigt das Fehlen von größeren (Karst)Quellen am Westrand, dass dieser Bereich keine Vorflutfunktion für das hydrogeologische System des Münsterländer Beckens oder zumindest für Teilbereiche hat.

Bei dieser Vorstellung wurde davon ausgegangen, dass die intensiven Verkarstungen, wie sie die Cenoman/Turon Schichten auf der Paderborner Hochfläche aufweisen, im gesamten Münsterländer Becken vorkommen. Damit würden die Cenoman/Turon Schichten eine ähnliche Funktion haben wie der Grundwasserleiter im Pariser Becken (Albian; ca. 600 m Teufe, Sandstein im Hangenden des Doggers), wo in tiefen Bohrungen artesisch Grundwasser austrat.

Für eine solche deutliche, großräumige Verkarstung und gleichzeitig für die Ausbildung eines weitreichenden, horizontalen, durchlässigen Grundwasserleiters im zentralen Münsterländer Becken, wie sie z. B. auch von Ottenjan et al. (2022) vertreten werden (Ottenjann et al. 2022), gibt es aus Sicht der ahu nach derzeitigem Kenntnisstand keine Hinweise. Solche **Hinweise** wären:

- Auftreten von Methan (Coal Bed Methan (CBM) aus dem unterlagernden flözföhrnden Oberkarbon) in den randlichen Süßwasserquellen (ahu GmbH 2012).
- Aufsteigende Potenzialdifferenzen (und damit artesischer Wasseraustritte) bei Steinkohlenmutungsbohrungen im zentralen Münsterland.
- Langfristige Aussüßung der Sole im tiefen Münsterländer Becken. Dies kann nicht durch Messungen belegt werden, aber die hohe Salinität der tiefen Grubenwässer und der Einzelbefunde aus dem C/T zeigen, dass auch über geologische Zeiträume keine Aussüßung der tiefen Grundwässer stattgefunden hat.
- Größere Quellen in den tiefliegenden, nordwestlichen Ausstrichsbereichen der Cenoman/Turon Kalke.

- Aufgrund der geologischen Entstehungsgeschichte sind die Bedingungen für eine Tiefenverkarstung möglicherweise nicht gegeben (Denneborg 2001; Dreybrodt 1988).

6.7.1.4 Hydrogeologischer Stockwerksbau im Beckeninneren

Unterhalb der Emscher-Formation tritt am Südrand des Münsterländer Beckens die Sole in den Cenoman/Turon Schichten in Wechselwirkung mit dem oberflächennahen Grundwasser. Aufgrund der Dichteschichtung und in Abhängigkeit der Niederschlags-situation liegen im Ausstrichsbereich der Emscher-Formation insbesondere am Haarstrang und dem Eggegebirge stellenweise artesische Solequellen vor. Die Durchlässigkeit der Cenoman/Turon Schichten ist vor allem auch aufgrund der Verkarstung mit Sicherheit höher als die Formationsdurchlässigkeit im zentralen Münsterländer Becken (Abb. 25).

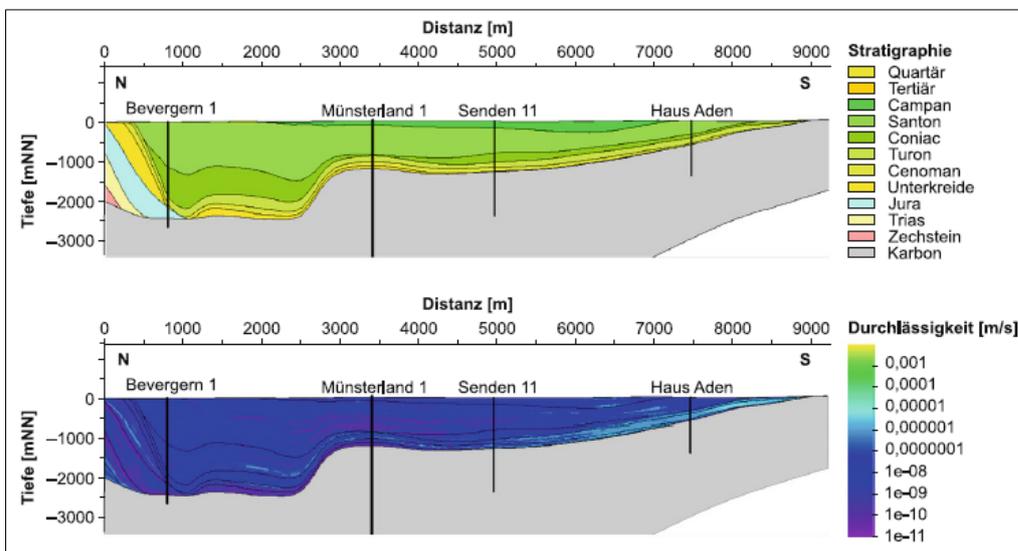


Abb. 25: Durchlässigkeitsverteilung im zentralen Münsterländer Kreidebecken (unverändert übernommen aus (Coldewey und Wesche 2017))

Eine hydraulische Verbindung der oberflächennahen Grundwasserleiter und des tiefen Grundwasserleiters liegt im Beckeninneren nicht vor (Michel et al. 1998; Wisotzky et al. 2021).

Durch den jahrzehntelangen Bergbau hat sich die Grenze des Solesystems nach Norden verschoben. Es ist zu vermuten, dass sich nach Einstellung der Sumpfung und eines Grubenwasseranstiegs bis zu einem noch nicht näher definierten „hydraulischen Ausgleich“ im gesamten Grubengebäude (inkl. der ruhrnahen Bergwerke) die Solegrenze wieder nach Süden verschiebt (Abb. 26).

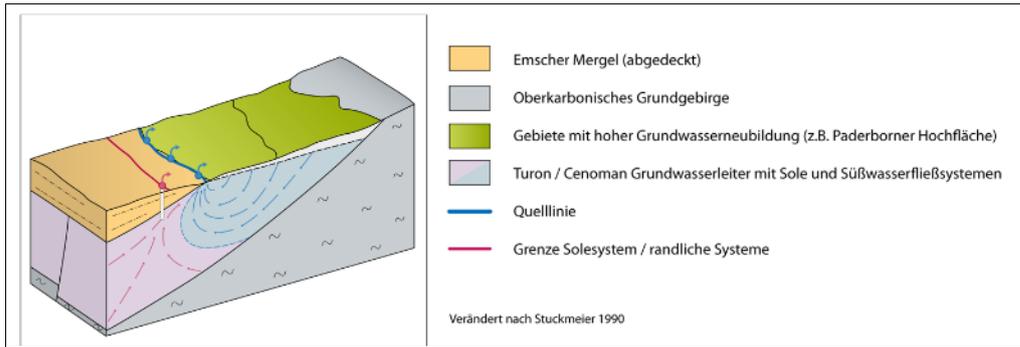


Abb. 26: Hydrogeologische Systemvorstellung südliches randliches Münsterländer Becken (ahu 2012)

Die Situation in Paderborn und im südöstlichen Ruhrgebiet ist vergleichbar (Abb. 27) und es bilden sich lokale Grenzen zwischen Süßwasser und Sole aus, die mit zunehmender Überdeckung zu lokal artesischen Grundwasserdruckverhältnissen im Cenoman/Turon-Grundwasserleiter führen können (Wisotzky 2021; Geyh & Michel 2000).

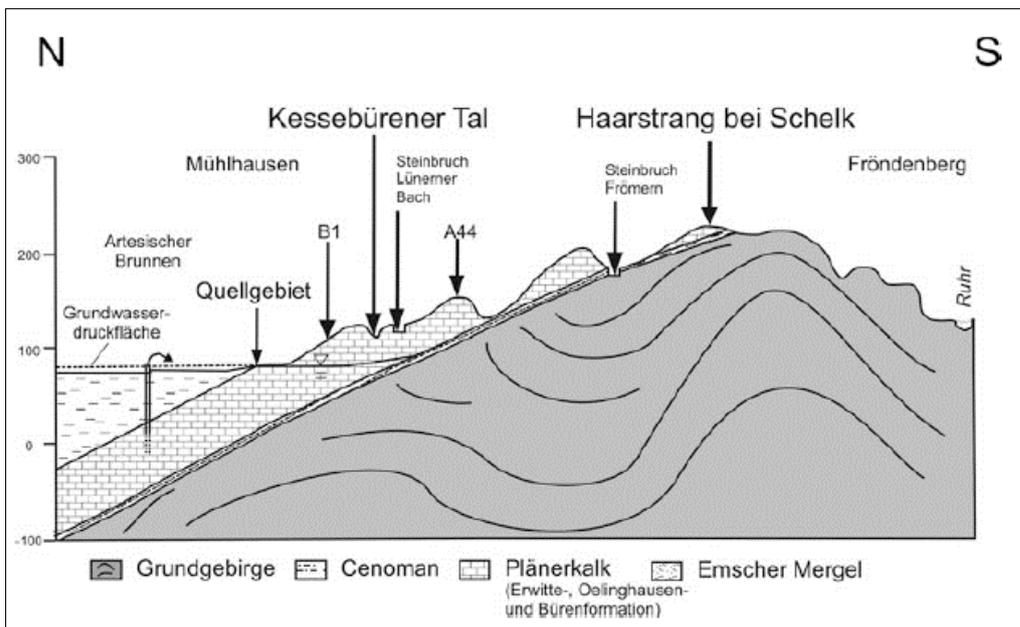


Abb. 27: Schematischer Profilschnitt durch das östliche Ruhrgebiet zwischen Fröndenberg und Unna-Mühlhausen (Wisotzky 2021)

6.7.2 Wasserwirtschaftlichen Nutzungen im C/T

Die Abb. 28 zeigt – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die wasserwirtschaftlichen Nutzungen im C/T (Wesche 01.07.2022).

Weitere Grundwasserentnahmen im C/T sind in der Abb. 28 dargestellt. Was über diese Grundwasserentnahmen bekannt ist, ist in Tab. 5 zusammengestellt. Unter „?“ sind entweder keine Angaben verfügbar oder sie wurden nicht weiter recherchiert, sind in der weiterführenden Literatur allerdings vorhanden (Michel et al. 1998; Michel 1965; Michel und Struckmeier 1985).

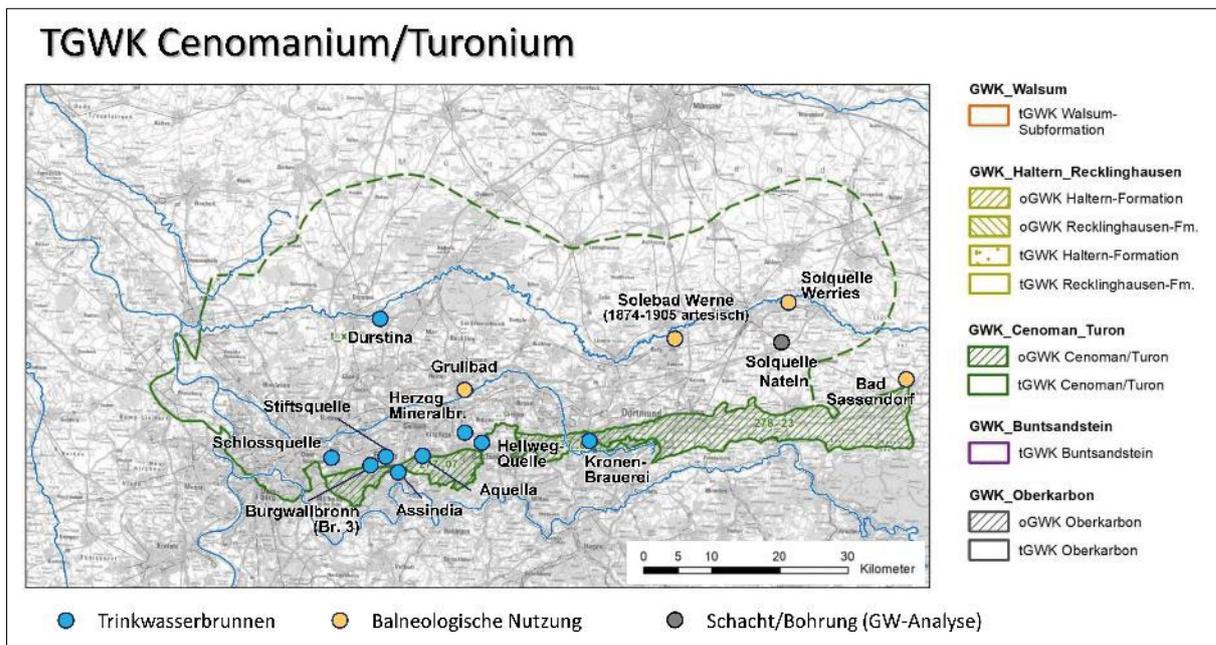
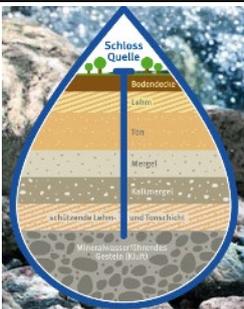


Abb. 28: Wasserwirtschaftliche Nutzungen im C/T (Wesche 01.07.2022)

Tab. 5: Wasserwirtschaftliche Nutzungen im C/T (tGWK)

Name	Tiefe	Förderhorizont	Bemerkung
Schlossquelle	?	Der genaue Förderhorizont in Essen ist nicht bekannt. Auf der Homepage findet sich folgende Darstellung. Hierbei dürfte es sich eher um eine Förderung aus der Kreide und nicht aus dem Oberkarbon handeln.	 <p>Unser Quellursprung – Schloss Quelle (schloss-quelle.de)</p>
Burgwallbronn	?	Deckgebirge (Walsum/Osterfeld-Formation ?)	Lage in den Ausläufern des Naturparks Hohe Mark und des Naturschutzgebietes Rheinaue
Stiftsquelle	?	?	
Assindia	?	Karbon (Michel 1998)	Konkurs vor einigen Jahren Förderstandort war wahrscheinlich im Süden von Essen
Durstina	?	?	Dorsten
Aquilla	?	?	Essen
Herzog Mineralbrunnen	?	Labiatus-Mergel (Unterturon)	1956 1. Brunnen gebohrt 1975: mehrere neue Grundwasserstockwerke erschlossen heute: 14 Brunnen, im 3,5 km Umkreis um den Abfüllstandort Riemker Straße, Bochum, davon 5 im Unterturon
Hellwegquelle	?	?	Bochum-Grumme
Kronenbrauerei	?	?	info@kronen.de
Grullbad	?	?	ehemaliges Kurhaus Recklinghausen heute Seniorenzentrum
Solebad Werne	s. Tab. 8	s. Tab. 8	seit 1874 Die Sole gelangt gesättigt in Tankwagen von der Thermalsole Sülbeck aus dem niedersächsischen Einbeck nach Werne. Die Sole wird in Einbeck aus 400 Meter Tiefe gefördert.
Solquelle Werries ¹⁹	?	wahrscheinlich C/T	s. Tab. 8
Hammer Brunnen	609	„Mergelschicht“ wahrscheinlich C/T	s. Tab. 8
Solquelle Natteln	?	?	s. Tab. 8
Bad Sassendorf	?	?	

¹⁹ Solequelle – Zeitgeschichtliches aus Werries bei Hamm (geschichte-werries.de)

Für die Wasserprovinzen Carolinenglück (Coldewey 2021), Concordia (Coldewey und Babilinski 2019), Prosper-Haniel und Lohberg (Coldewey et al. 2018) sowie Zollverein und Amalie (Coldewey und Wesche 2018) wurde umfassend recherchiert, ob Grundwassernutzungen des C/T vorliegen. Kriterien in den Gutachten für die Auswertung des Datensatzes waren, ob die Emscher-Formation durchteuft wurde und ob das tiefste Brunnenniveau oberhalb des prognostizierten/geplanten Grubenwasseranstiegsniveaus in der Wasserprovinz liegt. Insgesamt wurden 2.678 Brunnen in den Wasserprovinzen nach Abfrage der Bohrdatenbank des Landes, bei den betroffenen Kommunen und Gebietskörperschaften sowie Wasserversorgern und Unternehmen ermittelt. Von diesen Brunnen durchteufen 55 die Emscher-Formation (Tab. 6).

Die Auswertung der Datenlage zur Brunnennutzung unterhalb der Emscher-Formation in Tab. 6 zeigt, dass nur ein kleiner Teil der Brunnen den C/T nutzt. Die vier Gutachten und ihre Ergänzungen kommen zu dem Schluss, dass von den damaligen (2018-2021), geplanten Grubenwasseranstiegsniveaus keine Gefährdung für die betrachteten Brunnen ausgeht. Diese Nutzungen sind bei höheren Grubenwasseranstiegsniveaus genauer auf mögliche hydraulische Verbindungen etc. zu prüfen. Die Prüfung höherer Anstiegsniveaus war nicht Teil der Begutachtung.

Tab. 6: Brunnenrecherche und Auswertung nach Durchteufung der Emscher-Formation
 Zusammenfassung nach (Coldewey 2021; Coldewey et al. 2018; Coldewey und Babilinski 2019; Coldewey und Wesche 2018)

Provinz	Anzahl Brunnen	Anzahl Brunnen, die die Emscher-Formation durchteufen
Concordia	528	10
Carolinenglück	506	7
Zollverein und Amalie	998	38
Prosper-Haniel und Lohberg	646	0
Summe	2.678	55

Historische Nutzung der Solequellen in Westfalen

Der Steinkohlenbergbau im späteren Ruhrrevier begann bereits in vorindustrieller Zeit. Südlich der Linie Unna-Essen und an der Ruhr streichen die Kohleflöze des Oberkarbons aus. In zunächst kleinen und privaten Gruben wurde die Kohle als Energieträger für andere Industriezweige gewonnen. Insbesondere die Solesiederei war eine der wichtigsten Industrien in Westfalen (Fessner 1998). So zielten die Mutungsbohrung in der späteren Zeche Königsborn 1801 auf Solevorkommen; die Entdeckung der Kohlen in einer Tiefe von 150 m war ein willkommener „Beifang“ (Huske 2006).

Bereits ab dem 16. Jhdt. stiegen die Salinenbetreiber aufgrund hoher Holzpreise auf Steinkohle als neuen Energieträger um, die zunächst in den südlich angrenzenden Gebieten entlang der Ruhr gewonnen wurde (Fessner 1998; Harnischmacher 2007).

Mit dem Fortschreiten des Steinkohlenbergbaus nach Norden und der den Bergbau begleitenden Wasserhaltung versiegten auch einige der natürlichen Solequellen (Harnischmacher 2007). Huyssen konnte 1855 noch ca. 130 natürliche und künstliche Solequellen kartieren. Heute sind die Quellen am Haarstrang noch immer zahlreich. In Abb. 29 sind Salinen dargestellt, die die Sole aus Bohrungen förderten und bis heute bekannt und teilweise weiterhin genutzt sind (Emons und Walter 1988; Fessner 1998; Harnischmacher 2007; Michel et al. 1998).

An den versiegten Solequellen wie bspw. jener in Unna-Königsborn konnten tiefere, dem Bergbau folgende Bohrungen das saline Grundwasser erneut erschließen. Diese Wiedererschließung der Solequellen durch vertiefte Bohrungen ist dokumentiert für Unna-Königsborn, Haus Werries etc. (Emons und Walter 1988; Fessner 1998; Harnischmacher 2007; Huske 2006).

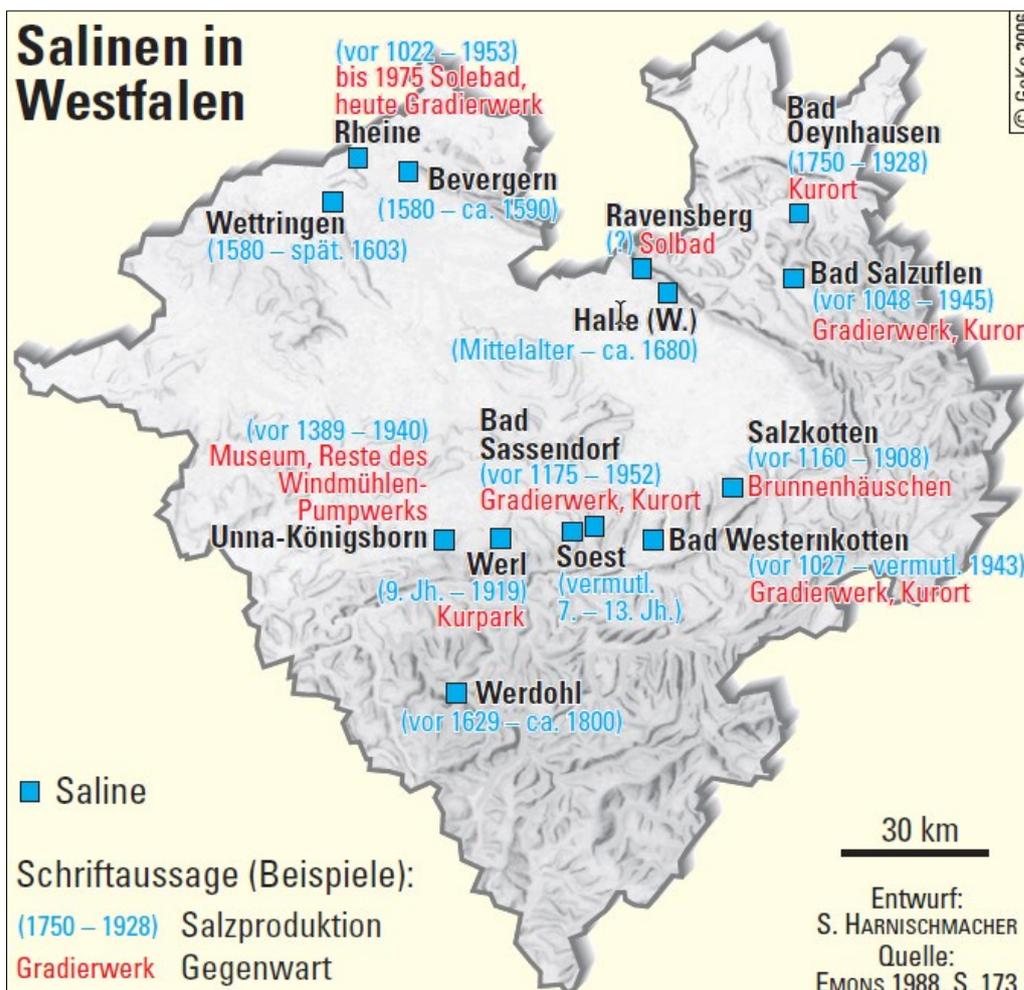


Abb. 29: Salinen in Westfalen (entnommen aus: (Harnischmacher 2007) nach (Emons und Walter 1988))

6.7.3 Bedeutung des C/T im Grundwasserfließsystem

Für die Cenoman/Turon Schichten als wichtigen lokalen Grundwasserleiter im Süden des Münsterländer Kreidebeckens gibt es eine Reihe von Hinweisen.

In GEOS (2017) wird davon ausgegangen, dass die derzeit noch untertägig hydraulisch getrennten BW Königsborn/BW Westfalen und BW Ost sich bei steigenden Grubenwasserständen über die Cenoman/Turon Schichten hydraulisch verbinden (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH 2017). Bei fortdauernder Förderung von Grubenwasser aus dem BW Ost wäre dann nicht auszuschließen, dass langfristig wegen des nach Norden gerichteten Druckgradienten Wasser aus den Bereichen Königsborn und Westfalen in der Wasserhaltung Haus Aden gehoben würde. Es wäre sinnvoll, einen Lotungsstandort bzw. eine Grundwassermessstelle zu haben, die diese Verbindung anzeigen und überwachen kann, um die Frage zu klären, ab welchen Grundwasserständen im C/T eine solche Überleitung erfolgt.

Hydraulisch wirksame Verbindungen zwischen dem Cenoman/Turon und dem Karbon sind durch historische Wassereinträge (Huske 2006) belegt und werden im Bericht der DMT detailliert beschrieben (s. auch Tab. 8) (Klinger et al. 2023; Mittelstädt et al. 2023).

Allerdings zeigt das Profil Ost (Abb. 45), dass weiter westlich bereits ein ausreichend hoher Grundwasserstand im C/T erreicht wurde und diese oben beschriebene Verbindung bereits bestehen sollte.

6.7.4 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Die Förderhorizonte sind durch einen Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN nicht betroffen:

Die aktuell noch genutzten (und auch ehemals genutzten) Grundwasserentnahmen (Tab. 6) liegen im südlichen Verbreitungsgebiet des tGWK C/T. Wie die Profile in Abb. 45 und Abb. 46 zeigen, liegt die Basis des tGWK C/T deutlich höher als -600 m NHN. Die Potenziale im tGWK C/T liegen nochmals höher, so dass auch nach einem Grubenwasseranstieg auf -600 m NHN immer noch eine abwärts gerichtete Grundwasserfließrichtung bestehen bleibt.

6.7.5 Offene Fragen

- Ermittlung der hydraulischen Zusammenhänge bei der möglichen Überleitung aus den BW Königsborn nach Norden in den Bereich Haus Aden und ggf. Errichtung einer Grundwassermessstelle in diesem Bereich im C/T.
- Flächendeckende Informationen zu Grundwasserentnahmen Dritter für den C/T im gesamten Revier.

6.8 Emscher-Formation

6.8.1 Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften

Die Emscher-Formation (Mittelconiacium bis Obersantonium, Abb. 22) stellt ein bis über 1.000 m mächtiges, weit verbreitetes und größtenteils als Ton- und Schluffmergelstein ausgebildetes Sedimentpaket innerhalb des Kreide-Deckgebirges dar. Die Emscher-Formation ist grundsätzlich als Grundwassergeringleiter und zentrale hydraulische Barriere im Münsterländer Kreide-Becken und im nördlichen Ruhrgebiet zwischen dem Oberkarbon und C/T sowie den genutzten oberflächennahen Grundwasservorkommen (Haltern-Formation, Kluftzone Emscher-Formation, lokale quartäre Grundwasserleiter) anzusehen (Genth et al. 2021; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021).

6.8.2 Wasserwirtschaftliche Nutzungen

In der Auflockerungszone (bis ca. 50 m) sind kluftgebunden lokale Grundwasservorkommen erschließbar (z. B. für die Hauswasserversorgung mit ca. 40.000 bis 50.000 Brunnen (Coldewey 2011)).

6.8.3 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Die Auflockerungszone bis max. 100 m unter GOK ist durch einen Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN nicht betroffen (s. auch Profile in Abb. 45 und Abb. 46). Auch nach einem Grubenwasseranstieg auf -600 m NHN bleibt immer noch eine abwärts gerichtete Grundwasserfließrichtung bestehen.

6.9 Haltern- und Recklinghausen-Formation

Unter dem Begriff des tGWK Haltern-/Recklinghausen-Formation werden die Sedimente der Haltern- und der älteren Recklinghausen-Formation zusammengefasst. Im Westen verzahnen sich die Sedimente der Recklinghausen-Formation mit der zeitgleich abgelagerten Osterfeld-Subformation der Haltern-Formation.

6.9.1 Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften der Haltern- und Recklinghausen-Formation

Abb. 30 zeigt die Verbreitung der tGWK Haltern-/Recklinghausen-Formation. Die östliche Verbreitungsgrenze der Formation ist Waltrop. Nach Norden und Westen erstreckt sich die Haltern-Formation bis unter das Tertiär der Randstafeln zur niederrheinischen Tieflandsbucht (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Geologie und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2016).

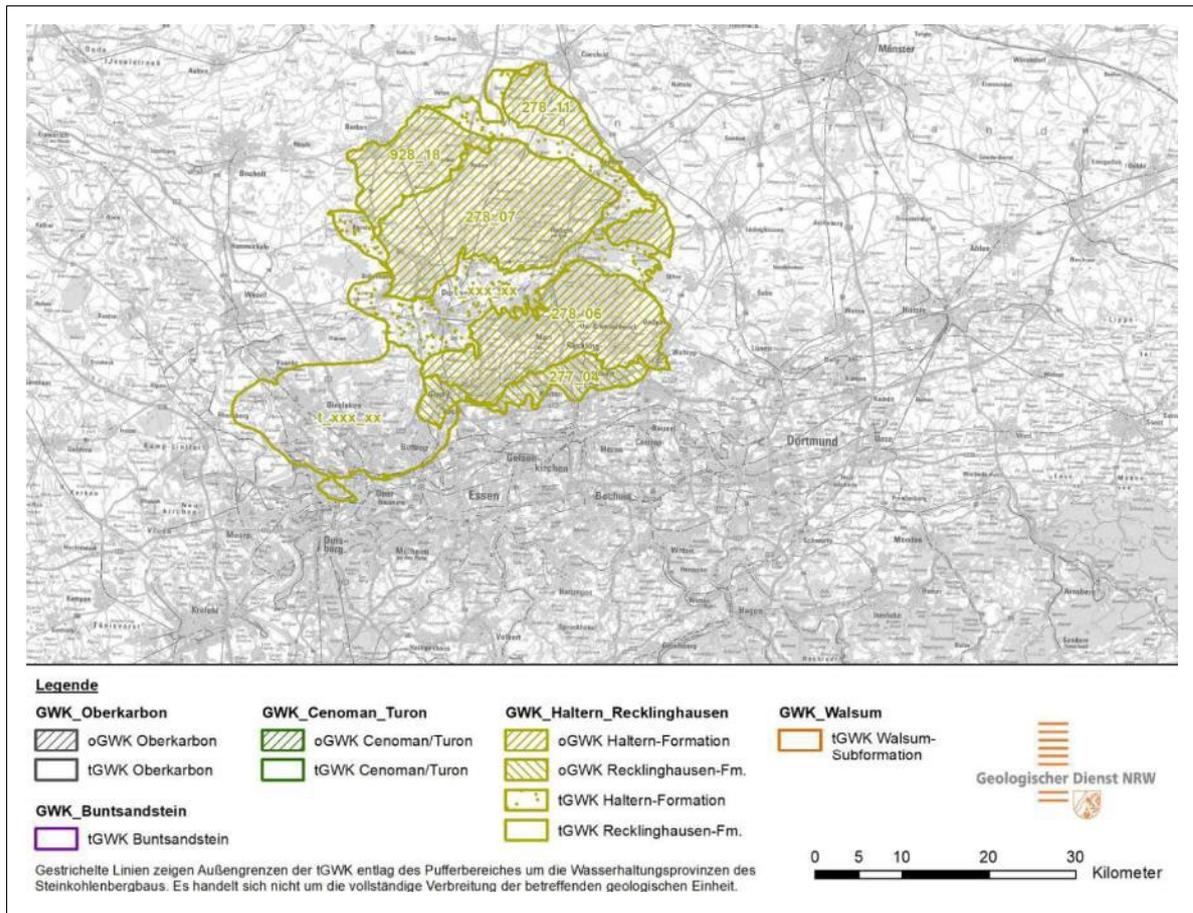


Abb. 30: Verbreitungsgebiete der Haltern- und Recklinghausen-Formation, unverändert aus (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021)

Die Haltern-Formation besteht überwiegend aus Fein- bis Mittelsanden. Die Abb. 36 zeigt am Beispiel der 120 m tief ausgebauten Grundwassermessstelle 283 ein typisches Bohrprofil im Bereich der Haard, nordöstlich von Haltern. An der Basis der Haltern-Formation erfolgt ein fazieller Übergang zur Recklinghausen-Formation, die stratigraphisch (Santon) wie auch hydrogeologisch (tGWK Haltern-/Recklinghausen-Formation) mit der Haltern-Formation zusammengegruppert werden kann. Diese sind lithostratigraphisch von den Halterner Sanden durch das vermehrte Auftreten von Schluff und verfestigten, karbonatischen Horizonten zu unterscheiden (Entenmann und Pulkowski 2020).

Die Abb. 31 zeigt die Tiefenlage der Basis der Haltern-Formation, die durch eine Reihe tiefer Grundwassermessstellen und Mutungsbohrungen vergleichsweise gut erkundet ist. Es sind zwei größere tiefe Muldenstrukturen im Osten zu erkennen. Im Bereich der Achse der Wulfener Kreidemulde (bei Rhade) befinden sich zwei weitere, kleinere Mulden (Dölling und Dölling 2020; Entenmann und Pulkowski 2020; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021).

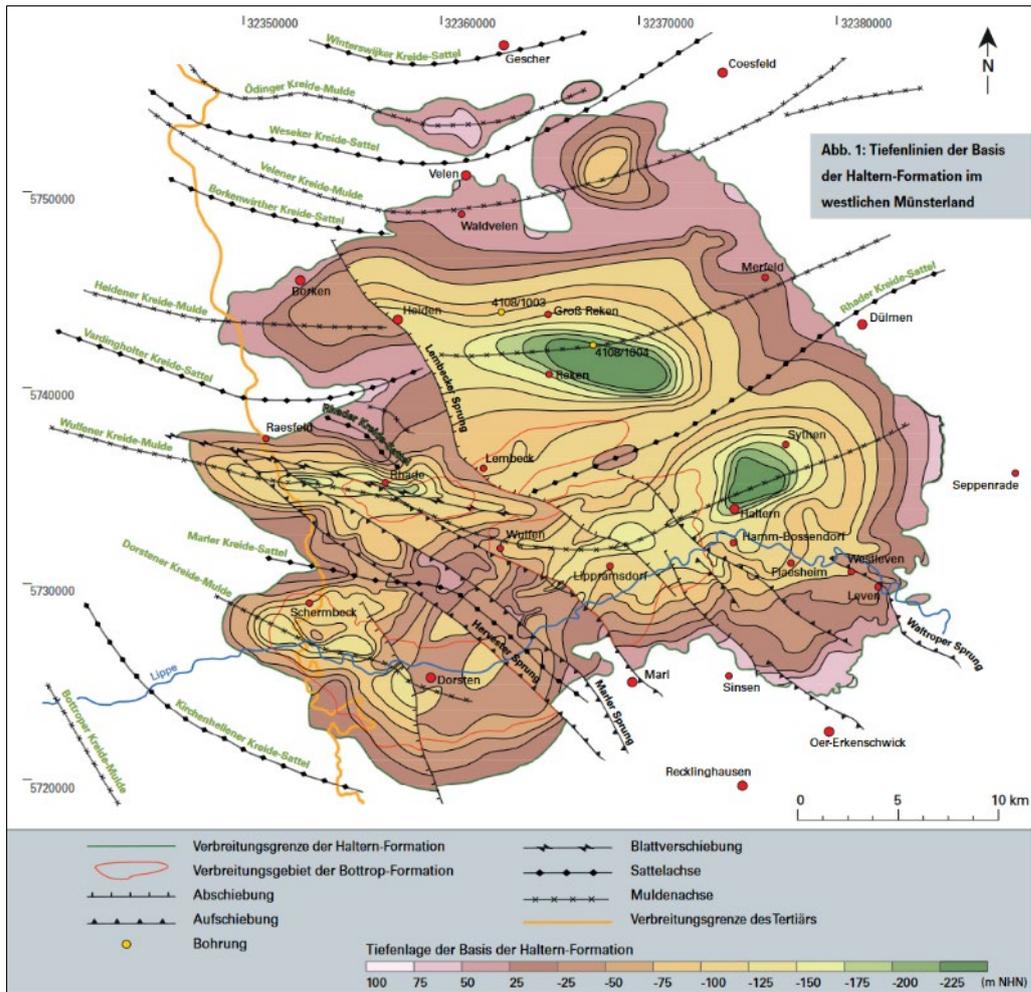


Abb. 31: Tiefenlage der Haltern-Formation (entnommen aus (Dölling und Dölling 2020), S. 6)

Weiterhin zeigt die Abb. 31, dass die Basis der Haltern-Formation im Süden von einigen Querstörungen durchzogen ist.

Die Abb. 32 stellt die Mächtigkeit der Haltern-Formation dar, die im Bereich der tiefen Muldenstrukturen bis zu 300 m erreicht (Dölling und Dölling 2020).

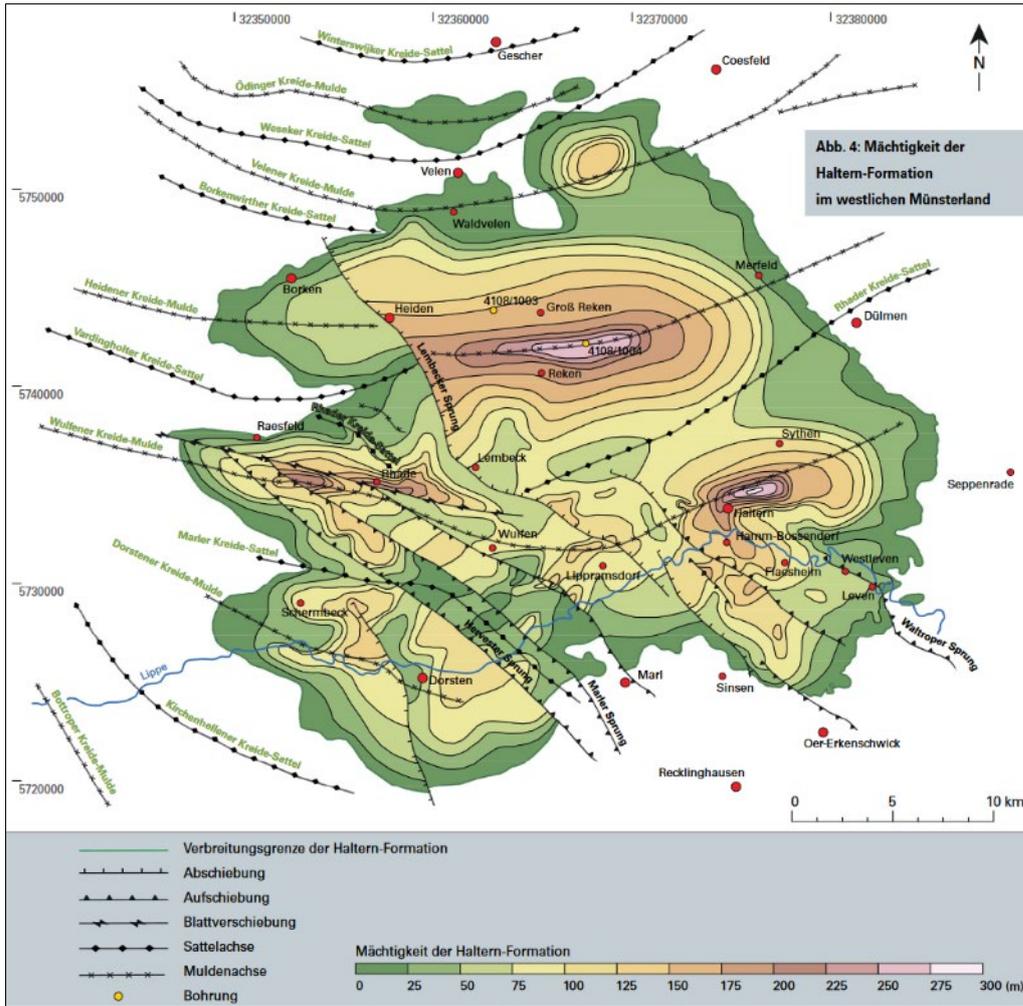


Abb. 4: Mächtigkeit der Haltern-Formation im westlichen Münsterland

Abb. 32: Mächtigkeit der Haltern-Formation, unverändert entnommen aus (Dölling und Dölling 2020), S.11

6.9.2 Aufbau und Verbreitung der Osterfeld-Subformation

Im Westen verzahnt sich die Recklinghausen-Formation mit der Osterfeld-Subformation der Haltern-Formation (Abb. 22). Diese ist max. 60 m mächtig und schluffig bis feinsandig ausgebildet. Im Westen wird die Bottrop-Formation (Tonmergelsteine und Feinsande) teilweise unterlagert von der Emscher-Formation. In der Abb. 30 wird die Osterfeld-Subformation noch der Recklinghausen-Formation (oGWK) zugeordnet, da sie größtenteils an der Geländeoberfläche ansteht (z. B. Kirchheller Heide; Abb. 33). Die Tiefenlage der Basis im Westen liegt bei -230 m NHN und im Osten bei -30 m NHN.

Die Grundwasserneubildung erfolgt in hohem Maß in der Kirchheller Heide (durchschnittliche Höhe ca. 50 m NHN). Vor Aufnahme der Mineralwasserförderung (Fa. Hoevelmann) war das Grundwasser in der Osterfeld-Subformation im Bereich der Brunnen hoch gespannt.

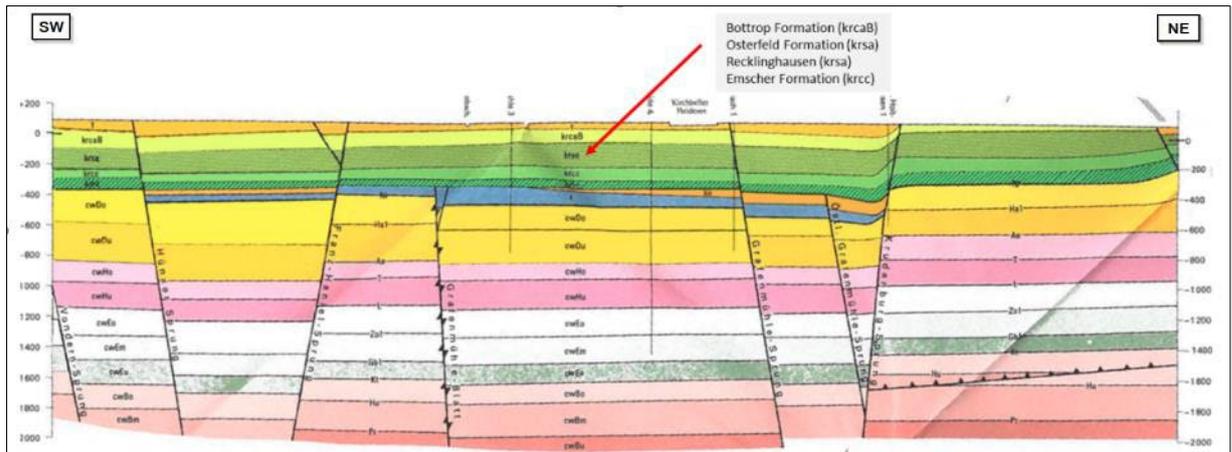


Abb. 33: Geologischer Schnitt der Osterfeld-Subformation im Bereich der Kirchheller Heide, GK 25, Blatt Bottrop (4407)

6.9.3 Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der Haltern-Formation

Die Gesamtentnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung betragen gemäß Tab. 8 mindestens 150 Mio. m³. Die Abb. 34 zeigt die ausgewiesenen Wasserschutz-zonen. Bei der Gewinnungsanlage südlich des Halterner Stausees wird Uferfiltrat gewonnen.

Die wichtigsten Grundwasserentnahmen zur öffentlichen Trinkwasserversorgung aus der Haltern-Formation sind ebenfalls in Abb. 34 sowie in Tab. 7 dargestellt.

Neben der Nutzung für die öffentliche Trinkwasserversorgung bestehen auch mehrere Grundwasserentnahmen der Lebensmittelindustrie. So fördert z. B. die Fa. Findus/Langnese im Raum Bhf. Reken aus Tiefen von bis zu 152 m (im Bereich des ehem. Wasserschutzgebietes "Bahnhof Reken") mit bis zu 6 Brunnen (Summe der Wasserrechte: 2,2 Mio. m³/a).

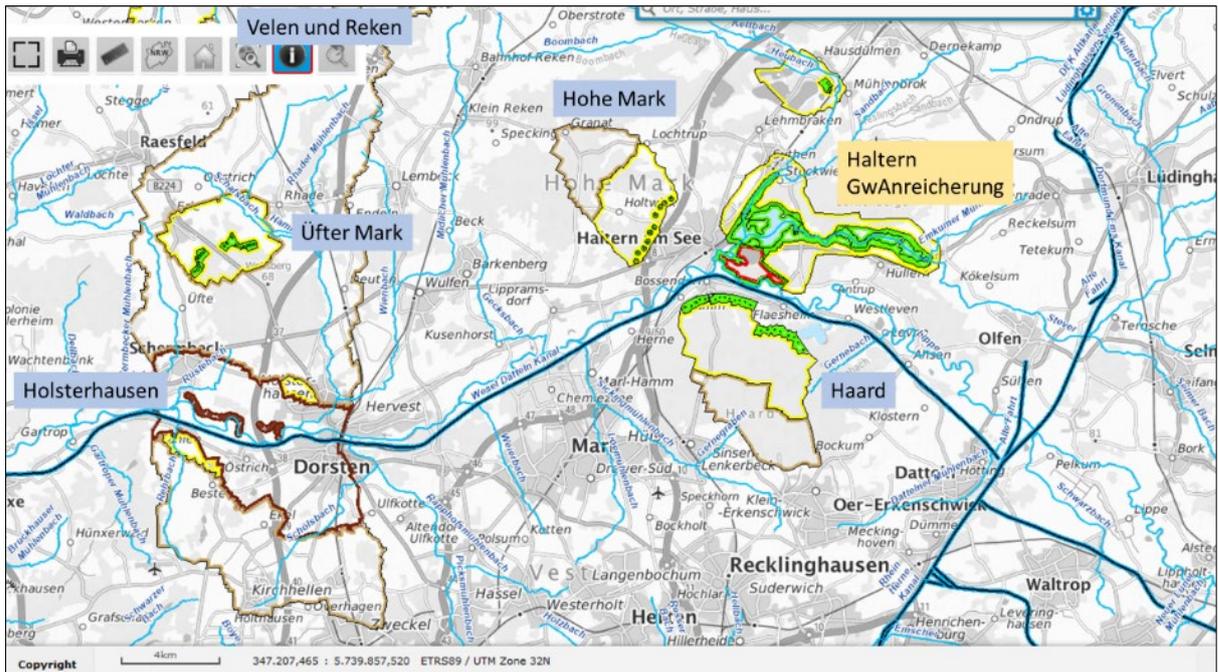


Abb. 34: Wasserwirtschaftliche Nutzungen zur öffentlichen Trinkwasserversorgung in der Haltern-Formation (s. auch Tab. 7)

Tab. 7: Überblick über die Grundwasserwerke der öffentlichen Trinkwasserversorgung in der Haltern-Formation

WVU	Wasserwerke	Anzahl Brunnen	Formation	Tiefe [m]	Wasserrechte [Mio. m³/a]
RWW	Dorsten-Holsterhausen (1927)	64 Holsterhausen Üfter Mark	Haltern	80-120	29
	Reken-Melchenberg (1968)	6	Haltern	k. A.	k. A.
	Velen-Tannenbültenberg (1958)	3	Recklinghausen	k. A.	k. A.
Gelsenwasser	Haltern GwAnreicherung	Σ 231	Haltern	40-165	100
	Haard				
	Hohe Mark				

k. A.: keine Angaben

6.9.4 Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der Recklinghausen-Formation (tGWK)

Im Westen verzahnen sich die Sande der Recklinghausen-Formation mit den Sanden der Osterfeld-Subformation.

Die Abb. 35 zeigt – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die wasserwirtschaftlichen Nutzungen.

Die Osterfeld-Subformation ist mit fünf Brunnen in der Rheinaue Walsum der Hauptförderhorizont für die Mineralwasserproduktion der Fa. Hövelmann (Abb. 38). Weitere 3 Brunnen fördern weiter östlich aus der Hauptterrasse (Brunnengruppe Dinslaken Süd). Über die Höhe der Förderung und der Wasserrechte liegen der ahu keine Informationen vor.

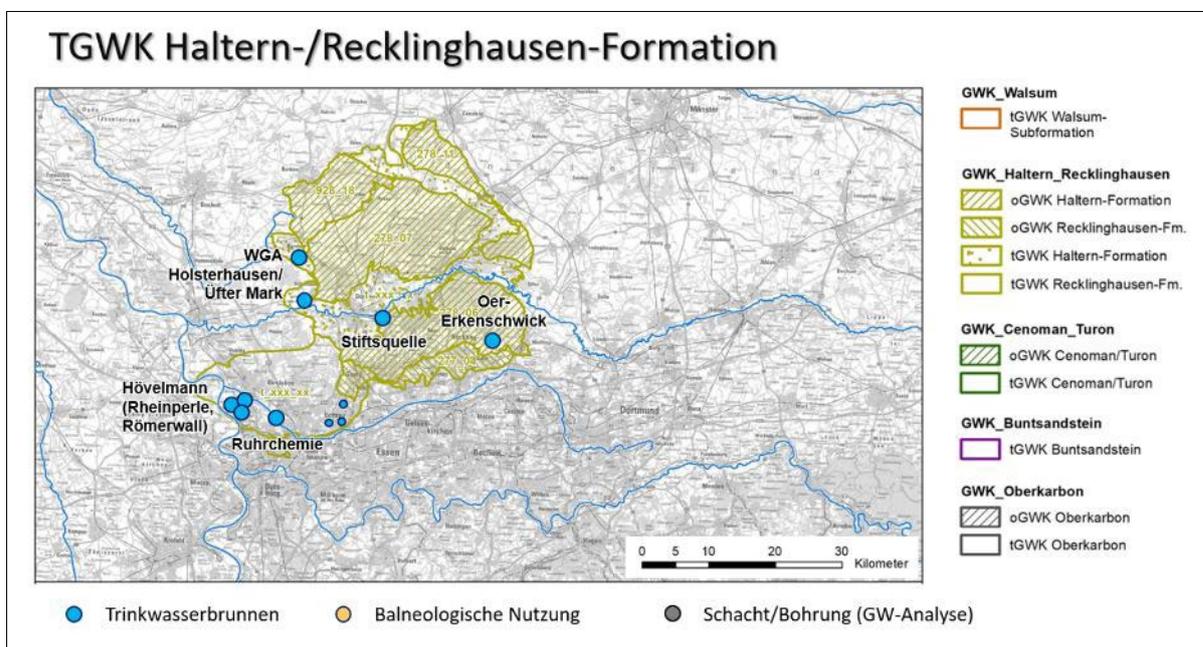


Abb. 35: Wasserwirtschaftliche Nutzungen im tGWK der Haltern-/Recklinghausen-Formation (Wesche 01.07.2022)

6.9.5 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Die Förderhorizonte in der Haltern-Formation sind durch einen Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN nicht betroffen.

Wie die Profile in Abb. 45 und Abb. 46 zeigen, liegt die Basis der Haltern-Formation deutlich höher als -600 m NHN. Die Potenziale in der Haltern-Formation liegen nochmals höher (minimal ca. 50 m NHN im Raum Haltern-Sythen), so dass auch nach einem Grubenwasseranstieg auf ca. -600 m NHN immer noch eine abwärts gerichtete Grundwasserfließrichtung bestehen bleibt.

Langfristig, d. h. nach einem hydraulischen Ausgleich des Grubenwasserstandes, besteht hypothetisch die Möglichkeit, dass

- sich das Potenzial im C/T auch im Raum Haltern dem Potenzial des C/T-Ausstrichs im Raum Dortmund angleicht (ca. 130 m NHN) – was einen artesischen Überdruck von ca. 80 m bedeuten würde und dann
- ein aufwärtsgerichteter Potenzialunterschied zwischen C/T (durch die Em-scher-Formation) zur Haltern-Formation besteht.

Gegen diese Hypothese spricht:

- dass es bislang keine Hinweise darauf gibt, dass der C/T ein regional höher durchlässiger Grundwasserleiter ist,
- dass der hohe artesische Überdruck auch vor der Bergbauphase hätte bestehen müssen und sich beim Auffahren der Schächte des BW AV hätte bemerkbar machen müssen (s. Kap. 7),
- ein aufwärtsgerichteter Potenzialunterschied noch keine Grundwasserströmung bedeutet, da auch die entsprechenden Fließwege (durch die Em-scher-Formation) vorhanden sein müssten.

Die vorgeschlagenen Grundwassermessstellen und der Aufbau eines numerischen Konzeptmodells dienen der Überprüfung dieser Hypothese.

6.9.6 Grundwassermessstellen tiefe Haltern- bzw. Recklinghausen-Formation

In der Haltern-Formation wurde bislang eine niedrige zweistellige Anzahl an tiefen Grundwassermessstellen errichtet. Zum einen war die Erkundung eines Grundwasserschadens auf dem WASAG Gelände das Ziel und zum anderen handelt es sich um Monitoringmessstellen der Wassergewinnungen. Die Grundwassermessstellen zur Schadenserkundung sind in bis zu vier verschiedenen Tiefen verfiltert (Beispiel in Abb. 36).

Diese Grundwassermessstellen erschließen den Grundwasserleiter bis in tiefere Bereiche der Halterner Sande im Grenzbereich mit den Recklinghäuser Sandmergeln.

Weitere tiefe Grundwassermessstellen sind zur Schadenserkundung geplant, die dann auch vollumfänglich den Recklinghäuser Sandmergel erschließen sollen. Diese sind zwischen dem ehemaligen WASAG-Firmengelände und dem Halterner Stausee geplant. Der AAV beauftragt unter Beteiligung des Kreises Recklinghausen den Bau der neuen Grundwassermessstellen.

Weitere tiefe Grundwassermessstellen werden von Gelsenwasser in der Hohen Mark und der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerks GmbH (RWW) in der Üfter Mark betrieben.

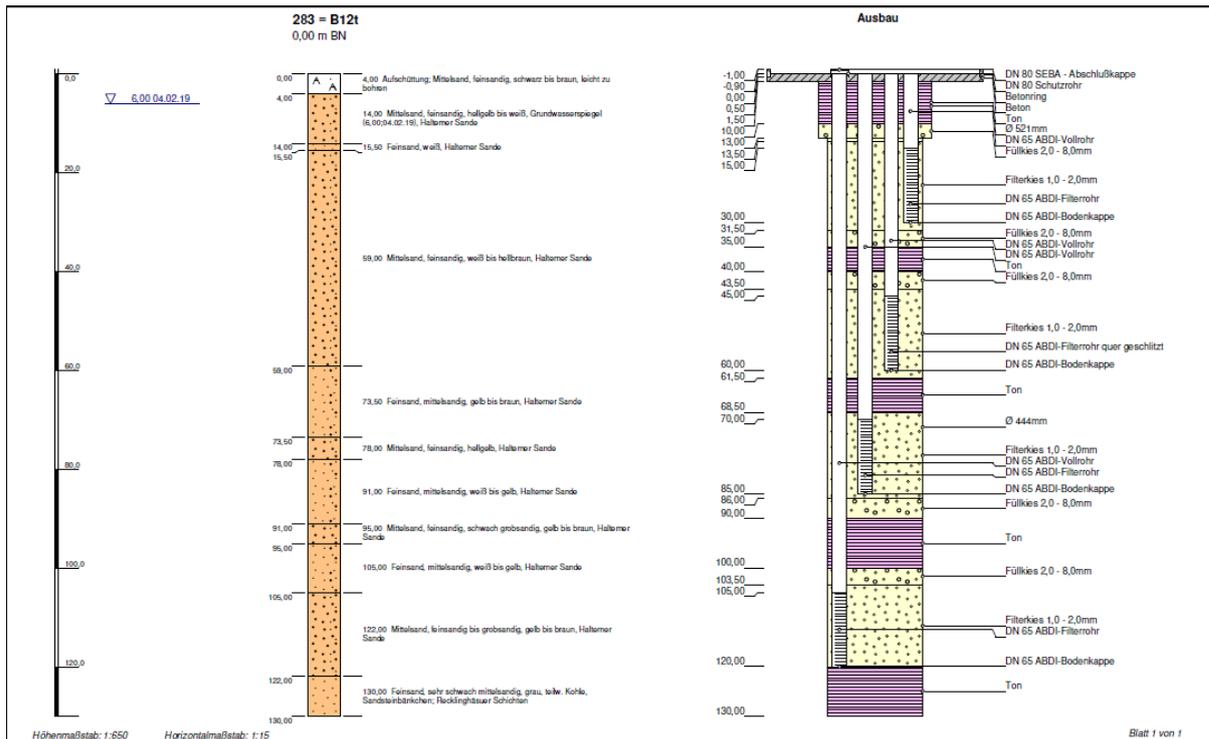


Abb. 36: Schichtenverzeichnis und Ausbauplan der Grundwassermessstelle 283 Sythen (Entenmann und Pulkowski 2020)

6.9.7 Vertikale Grundwasserströmungen in der Haltern-Formation

Bei den bisherigen Untersuchungen wurden bislang keine eindeutigen auf- oder absteigenden Potenzialverteilungen innerhalb der Haltern-Formation festgestellt.

Nach der Errichtung weiterer tiefer Messstellen werden diesbezüglich Auswertungen erfolgen.

6.10 Aufbau, Verbreitung und Eigenschaften der Walsum-Subformation

Die Abb. 37 zeigt die Verbreitung des tGWK Walsum gemäß der Abgrenzung des GD NRW. Bereiche mit einer Mächtigkeit < 5 m (im Süden Blatt Duisburg 4506) sind nicht dargestellt. Die Walsum-Subformation ist im westlichen Ruhrrevier und nach Norden und Westen bis zur Grenze mit den Niederlanden verbreitet.

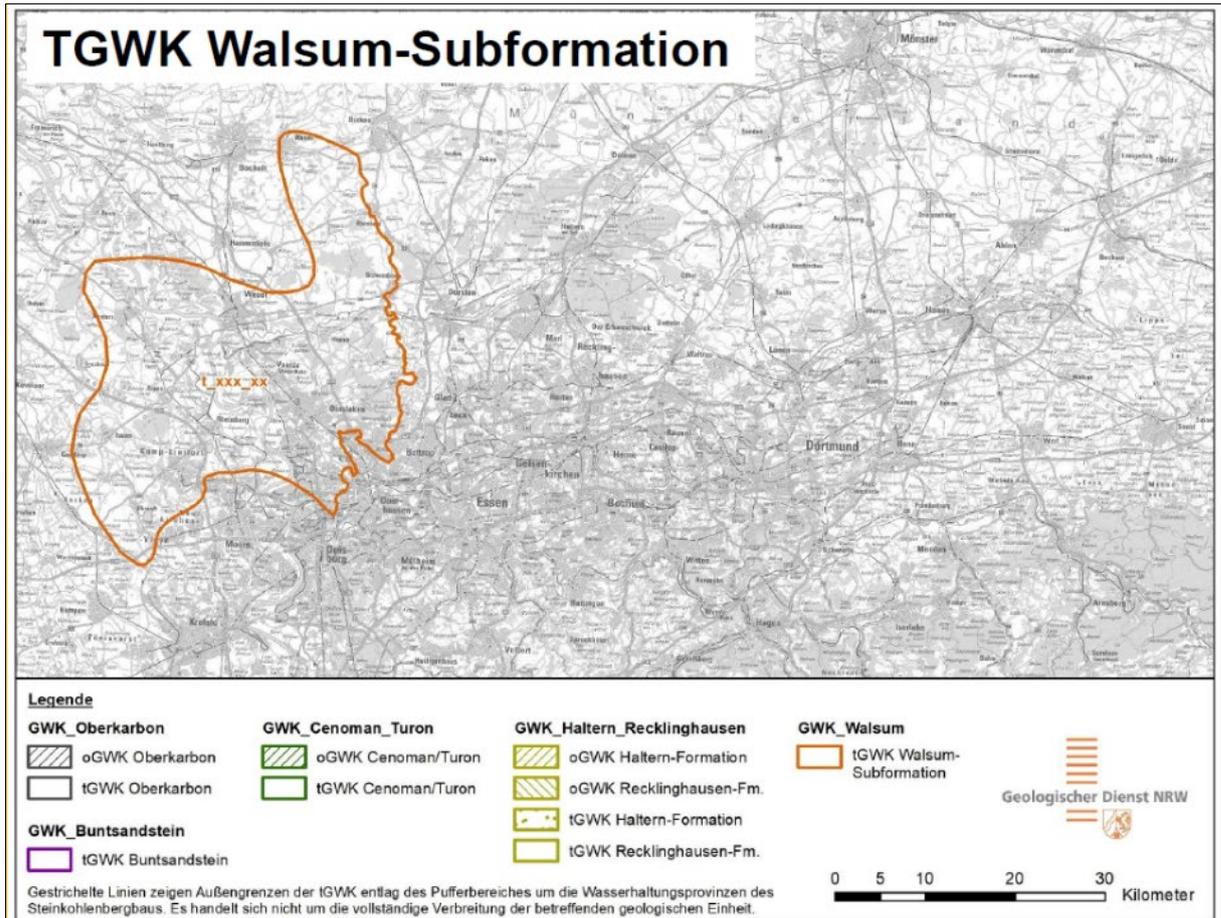


Abb. 37: Verbreitung des tGWK Walsum-Subformation, unverändert entnommen aus (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021; Wesche 01.07.2022)

Die Walsum-Subformation besteht aus schwach schluffigen bis schwach kalkigen marinen Feinsanden (Oberes Unteroligozän). Der Ablagerungsraum war ein bis zu ca. 60 km breiter küstennaher Sandkörper, der auf den unterlagernden Festgesteinen abgelagert wurde. Im Bereich der Rheinaue Walsum sind das Sedimente der Oberkreide in einer Mächtigkeit von ca. 100 m (Auskunft GD NRW am 29.01.2024 (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021)).

Die Mächtigkeit der Walsum-Subformation liegt im Durchschnitt zwischen

- 2-7 m (Erläuterung zur Geologischen Karte Blatt 4506 Duisburg),
- 20-28 m (Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 4404 Issum),
- 12-15 m (Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 4407 Bottrop),
- max. 10-20 m (Hintergrundpapier Steinkohle).

Die Walsum-Subformation wird durch die grüne bis braune mergelige Ratingen-Subformation (der Rupel-Formation) (Mächtigkeit 15 bis 22 m) überdeckt. Die Feinsande der Walsum-Subformation haben eine mäßige Durchlässigkeit (ca. 10^{-5} m/s). Es erfolgt ein Übergang der Ratingen-Subformation zu der Lintfort-Subformation (der Rupel-Formation): Tone – Schluffe – Feinsande (Mächtigkeit 95-115 m). Die beiden Schichtpakete der Ratingen- und Lintfort-Subformation fungieren als Grundwassergeringleiter. Über der Lintfort-Subformation folgen die quartären Terrassensedimente des Rheins (Auskunft GD NRW am 29.01.2024 (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021)).

Die Tiefenlage der Walsum-Subformation liegt im Süden zwischen -60 m NHN und -75 m NHN und bei ca. -200 m NHN im Westen (Blätter 4506 Duisburg, 4404 Issum, 4407 Bottrop).

6.10.1 Wasserwirtschaftliche Nutzungen

Die Abb. 38 zeigt – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die wasserwirtschaftlichen Nutzungen.

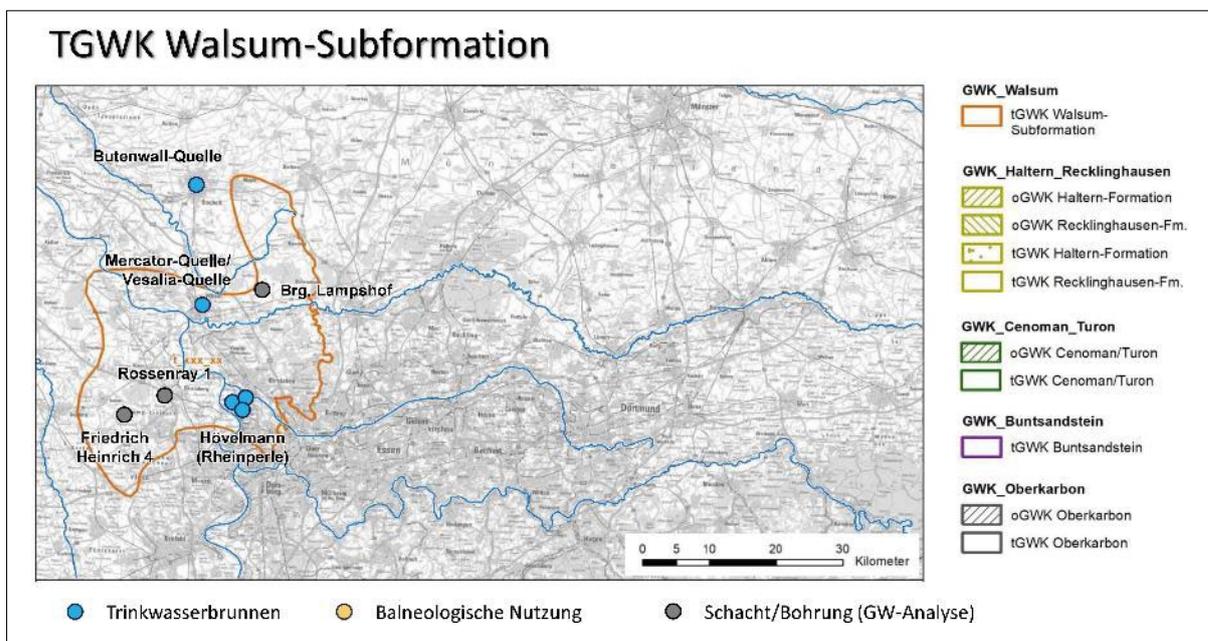


Abb. 38: Wasserwirtschaftliche Nutzungen in der tGWK Walsum (Wesche 01.07.2022)

Die Fa. Hövelmann stellte der ahu keine Unterlagen zur Verfügung. Die folgenden Angaben beruhen auf öffentlich verfügbaren Quellen (Geologische Karte 1:25.000 Blatt 4506 Duisburg, Geologische Karte 1:25.000 Blatt 4406 Dinslaken) und Kenntnissen der Gutachter.

Ab 1984 wurde die Walsum-Subformation in der Rheinaue Walsum über mehrere Bohrungen auf Mineralwasser durch die Fa. Hövelmann (Rheinfelsquelle) erschlossen. Der Hauptförderhorizont ist die wesentlich ergiebigere und mächtigere Osterfeld-Formation. Diese wurde ungefähr zeitgleich mit der Haltern- und Recklinghausen-Formation, aber weiter westlich abgelagert und im Zusammenhang mit der Haltern-Formation beschrieben (Abb. 22).

Die Förderungen in den Brunnen (Quellen) Mercator, Butenwall und Versalia wurden mittlerweile eingestellt. Ob die Brunnen erhalten geblieben sind (z. B. für Messungen), konnte nicht ermittelt werden.

6.10.2 Grundwasserfließsystem

Die Grundwasserstände vor Aufnahme des Bergbaus und der Mineralwasserförderung sind ebenso wie die Ruhewasserstände und die Gesamtentnahme nicht bekannt.

Im Förderbetrieb liegen die Grundwasserstände im größeren Bereich der Brunnen in der Osterfeld-Formation bei ca. -90 m NHN (lokal 3. Grundwasserstockwerk). Die Grundwasserströmung dürfte radial auf das Brunnenfeld in der Rheinaue Walsum gerichtet sein.

Gegenüber dem quartären Grundwasserleiter (lokal 1. Grundwasserstockwerk) und der Walsum-Subformation (lokal 2. Grundwasserstockwerk) besteht zum 3. Grundwasserstockwerk (Förderhorizont) ein deutliches Potenzialgefälle.

Aufgrund der Überdeckung mit der geringdurchlässigen Ratingen- und Lintfort-Subformation erfolgt eine Grundwasserneubildung wahrscheinlich überwiegend lateral. Gemäß den Erläuterungen der geologischen Karte Blatt Duisburg gibt es jedoch auch hydraulische Kontakte mit dem 1. und 2. Grundwasserstockwerk. Das Hauptwiederergänzungsgebiet für die Mineralwasserförderung wird von der Fa. Hövelmann an der südlichen Ausstrichsgrenze im Bereich Duisburg Röttgersbach gesehen.

Gemäß der geologischen Karte streicht die Osterfeld-Formation in der Kirchheller Heide aus, so dass auch dieser Bereich als Grundwasserneubildungsgebiet infrage kommt.

6.10.3 Gefährdung durch den Grubenwasseranstieg

Aufgrund der aktuellen Potenzialverteilung ist die Grundwasserströmung aus dem Quartär über das 2. und 3. Grundwasserstockwerk ins Karbon auf die Grubengebäude gerichtet.

Selbst bei einem Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN wird das Potenzialgefälle zwischen dem Förderhorizont und dem Karbon noch mehrere hundert Meter betragen.

6.11 Fazit

Grundsätzlich wird der Grubenwasseranstieg mit einer deutlichen Reduzierung der Schadstoffkonzentration im zu hebenden Grubenwasser verbunden sein (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021, S.156). Die tGWK sind, mit Ausnahme der Walsum- und Haltern-Formation, von den oberen und nutzbaren GWK durch mächtige geringdurchlässige Schichten der Emscher-Formation getrennt. Die oberen und nutzbaren GWK sind daher nach jetzigen Erkenntnissen von den vorbeschriebenen Prozessen in den tGWK nicht betroffen (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021, S. 156).

Aus Sicht des GD NRW ist ein „hinreichender“ Abstand zur Sohle der grundwasserleitenden und wasserwirtschaftlich genutzten grundwasserführenden Schichten erforderlich. Ein Austausch zwischen diesen Grundwasserleitern und dem Grubenwasser findet dann nicht statt. Insbesondere auch zur Trinkwassergewinnung genutzte Grundwasservorkommen sind vom geplanten Anstieg des Grubenwassers im Grubengebäude nicht betroffen bzw. werden durch einen „ausreichenden Abstand“²⁰ gesichert.

Für die tGWK im Untersuchungsgebiet sind gemäß der Aufstellung der EU-WRRL die Punkte „Punktuelle Schadstoffquellen“ und „Künstliche Anreicherungen“ relevant.

Dem Monitoring steht ein umfangreiches Messnetz zur Verfügung, um unerwartete Veränderungen des Grubenwasseranstiegs lokal zu erkennen. Die Wasserstände überwacht die RAG mit ca. 100 möglicherweise geeigneten Lotungsstandorten bis ins Oberkarbon (Eignung teilweise noch zu prüfen), 18 aktive tiefe Grundwassermessstellen, die entlang der Profile das C/T und die Emscher-Formation erschließen. Darüber hinaus liegt im Gebiet eine große Zahl an flacheren Grundwassermessstellen im Landesmessnetz und/oder von Wasserversorgern sowie privaten Besitzern (Unternehmen, Privatpersonen) vor. Einige dieser Grundwassermessstellen können 100 m Teufe und mehr erreichen. Hinzu kommen Messstellen an Oberflächengewässern. Im Austausch zwischen LANUV und RAG wurden parallel zum Projektverlauf ca. 60 Grundwassermessstellen zur Überwachung des Grubenwasseranstiegs übergeben.

Für die ausgewählten Lotungsstandorte liegen Prognosen zum Grubenwasseranstieg vor, die im Monitoring mit der tatsächlichen Anstiegsentwicklung verglichen werden können.

Es wurde abgeleitet, ab welchen Grubenwasserständen Fließverbindungen zwischen Grubengebäuden aktiviert werden und so neue hydraulisch verbundene Bereiche bilden.

²⁰ Der „hinreichende“ bzw. „ausreichende“ Abstand (= Potenzialdifferenz) wurde noch nicht quantifiziert. Aus hydraulischer Sicht bestimmt bereits eine sehr kleine Potenzialdifferenz im cm-Bereich die Richtung einer Grundwasserströmung und ist stärker als die Diffusion, die auch gegen ein sehr geringes Gefälle wirksam sein kann.

Maßgeblich für die Möglichkeit eines Aufstiegs von Grubenwasser in höhere Grundwasservorkommen ist neben einer ausreichenden Durchlässigkeit die Potenzialdifferenz. Nur bei aufsteigenden Potenzialdifferenzen ist auch eine Strömung aus dem Grubengebäude in höhere Grundwasservorkommen möglich.

7 GRUNDWASSERFLIEßVERHÄLTNISSE VOR BEGINN DES BERGBAUS

7.1 Hypothese und Kenntnisstand

Wie die aktuellen Messungen der Grundwasserstände in den Messstellen im C/T zeigen, ist großräumig eine nach Norden zunehmende Potenzialdifferenz zwischen den quartären Grundwasserleitern, dem C/T und den Grubengebäuden festzustellen. Diese Potenzialdifferenz führt zu einer abwärts gerichteten Grundwasserströmung ins Karbon. Für die Grubengebäude ist großräumig ein Anstieg des Grubenwassers auf ca. -600 m NHN geplant. Diese Wasserstände liegen dann immer im Süden noch deutlich unter der Basis des C/T. Eine Ausnahme ist die ehemalige Grube Königsborn, bei der ein Anstieg bereits bis zum hydraulischen Ausgleich erfolgt ist und deren Grubengebäude von den restlichen Grubengebäuden durch einen Hochdruckdamm getrennt ist. Weiter im Norden (Bohrung Pferdekamp, Abb. 46) läge der Grubenwasserstand bei -600 m NHN im Bereich der Oberkante der C/T²¹. Die Wasserstände im C/T lägen aber immer noch deutlich höher als bei einem Grundwasserstand von -600 m NHN. Eine absteigende Potenzialdifferenz (und Fließrichtung) ist damit sicher gewährleistet. Die hohen Potenzialdifferenzen zeigen, dass die Durchlässigkeiten (und damit die aktuell abwärts gerichteten Fließmengen) gering sind.

Unbekannt ist bislang, bis zu welchen Grundwasserständen das Grundwasser im C/T ansteigen wird, solange die Grubenwasserstände bei -600 m NHN verbleiben, und wie hoch und auch wie schnell sie ansteigen würden, wenn die Grubenwasserstände darüber hinaus ansteigen würden.

Um neben den heutigen Messwerten weitere Hinweise auf die hydraulische Funktion des C/T zu erhalten, wurde versucht, die historischen Grundwasserstände (Potenziale) vor Beginn des Bergbaus im C/T (und untergeordnet im Oberkarbon und in der Essen-Grünsand-Formation) zu recherchieren.

Grundgedanke ist, dass bei einer ausreichenden hydraulischen Durchlässigkeit des C/T und einer Anbindung an die gut durchlässigen Ausstrichsbereiche im Süden (Haarstrang, Paderborner Hochfläche) und – wie von manchen Autoren (Ottenjann et al. 2022; Sauter et al. 2012; Struckmeier 1990) angenommen wird – sogar im Norden (Teutoburger Wald) im C/T artesische Potenziale hätten auftreten müssen (ähnlich dem Pariser Becken und anderen vergleichbaren Strukturen).

²¹ Nach Angaben von Herrn ten Thoren vom 16.05.2024 zeigt die Messstelle aktuell einen noch aus der Bohrtätigkeit beeinflussten und damit nicht repräsentativen Wasserstand. Der Wasserstand sinkt nach wie vor kontinuierlich ab (stetiger Abfall von ca. -240 m NHN auf -285 m NHN zwischen 2021 und 2022; -305 m NHN in 12/2023).

Aus Sicht der ahu liegen aber die Wasserstände in der Messstelle immer noch deutlich über -600 m NHN, so dass sich an dem hydraulischen Gesamtbild (Abb. 42) erst einmal nichts ändert.

Gegen diese Hypothese spricht aus unserer Sicht, dass es bei einer ausreichenden regionalen Durchlässigkeit im C/T bei zunehmendem Bergbau nicht zu einem so deutlichen Potenzialabfall im C/T um mehrere hundert Meter gekommen wäre, da vor allem im Süden eine Anbindung des C/T an ergiebige Grundwasservorkommen und eine „Wiederergänzung“ gegeben wäre. Dies hätte dann auch zu einer deutlichen Aussüßung der Wasser im C/T aufgrund des nachströmenden Grundwassers führen müssen.

Ein deutlicher Potenzialabfall im C/T bei weiterhin hoher Salinität deutet darauf hin, dass die Durchlässigkeit im C/T und die Anbindung an den Süden (und erst recht an den Norden) nicht gegeben oder nur gering ist und das den Bergwerken zuströmende Wasser sich auch zu großen Anteilen aus der Speicherentleerung des C/T speisen kann. Wie in Abschnitt 5.4.1 dargestellt, ist eine mögliche Herkunft der Salinität die Auslaugung von Salzlagerstätten im Zechstein bzw. im Buntsandstein, auch wenn die genauen Strömungsbedingungen (Durchlässigkeit und Potenzialverteilungen) unklar sind²². Tab. 8 zeigt das Rechercheergebnis. In den überwiegenden Fällen gibt es keine Angaben über den Wasserstand. Die ahu interpretiert das so, dass es in diesen Fällen selbst nach monatelangem Stillstand der Wasserhaltungen **NICHT** zu artesischen Wasseraustritten gekommen ist, da diese Fälle mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in Fachliteratur und Presse vermerkt worden wären.

Die recherchierten und dokumentierten Fälle – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – eines artesischen Anstiegs sind blau markiert.

²² In Abschnitt 9.1.3.1 sind weitere, neben der Halit-Lösung denkbare Prozesse, die zur vorgefundenen Salinität im C/T führen können, aufgelistet (nach Grobe & Machel 2002).

Tab. 8: Historische Wassereinträge und Grubenwasserstände in BW

Nr.	Lage/Koordinaten	BW	Schacht	Datum	Ereignis	Sonstiges	Wasserstand	Quelle
1	E: 375501,098 N: 5729486,684	Blumenthal S1	Schacht 1	1877	Karbon bei -359 m angetroffen	Bis in die 1960er Jahre wurden jährlich auch bis zu 0,5 Mio. t Salz/Sole gewonnen. Es ist anzunehmen, dass dies vorrangig aus dem C/T erfolgte.	keine Angaben	(Huske 2006)
				1882	1 Monat Pumpe ausgefallen			(Huske 2006)
				1930	erneuter Wassereintrage			(Huske 2006)
2	E: 370987,913 N: 5725736,395	AV S1	Schacht 1	1899	Karbon bei -580 m angetroffen	1. BW ab 1902 mit Gefrierverfahren wg. Wasser in 40 m Tiefe	keine Angaben	(Huske 2006)
	E: 369466,437 N: 5727846,478	AV S3	Schacht 3 Teufe -820 m (Nordfeld)	1927	Schwimmsandeinbruch* und Verfüllung Strecken bis Schachtanlage 1/2		keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 275
3	E: 422859,462 N: 5728030,449	Solebohrung Haus Werries (Hammer Brunnen)		1876	715 m tiefes Bohrloch (120 mm) ins flözleere Oberkarbon	Absinken um 20 Meter 1938 durch Wassereintrage im Schacht Sachsen 3	artesischer Überlauf (1876 bis 1972)	(Driesen et al. 1990; Obermann 1966)
				1972	Bohrloch verstrzt			
4	E: 422731,453 N: 5726248,831	Hamm-Werries: Maximilian 1 & 2	Karbon -580 m max. Sattel (Spezialfalte Karbon)	Feb/März 1914 bis 1920 Stillstand	Wassereinträge (Sole) aus dem unteren Kluftwasserhorizont führte zu: Absenkung in Bohrung Haus Werries um 50 m (1,5 km Entfernung) und Versiegen Überlauf nachlassende Ergiebigkeit Solebohrung Neuwerk (Werl) Absinken Wasserstand Solebohrung Aurora 2	hydraulischer Zusammenhang Maximiliangraben mit weißem Mergel im C/T erwiesen	artesischer Überlauf (Herbst 1914 bis 1920)	(Driesen et al. 1990; Obermann 1966)

Nr.	Lage/Koordinaten	BW	Schacht	Datum	Ereignis	Sonstiges	Wasserstand	Quelle
5	E: 430922,186 N: 5720904,367	Nateln/Welver; Aurora 2	Steinkohlen- bohrung Aurora 2 nur 241 m tief	1898 1967	- 220 m Solezufluss - 230 m Soester Grünsand, - 369 m Cenoman - 408 m Karbon Profil unsicher verschlossen	ggf. Verbindungen über Störung bei -170 m im wei- ßen Mergel zum Münster Sprung im Graben von Maximilian und Schacht III (Zeche Sachsen) 3 m nördlich 1898 Bohrloch Aurora 5 keine Sole erbohrt !!! bei -679 m Karbon erreicht	artesischer Überlauf (1898 bis 1967) 60 m³/h 18 Mio. m³ über 68 a 21 Grad, 8,5 % Sole (50 g/L)	(Driesen et al. 1990)
6	E: 405792,176 N: 5726169,800	Solebad Werne		1873 1905 1907/1908	Mutungsbohrung -530 m/580 m offene Kluft (im Cenoman, noch ca. 130 m über Karbon) versiegt, nach Inbetrieb- nahme BW Werne 51.6580857384856, 7.6400875773634995	viel freies CO ₂ : 742 cm³/L 6,3 % Sole anfangs 10 m³/h, wurde später schwächer, pumpen	artesischer Überlauf (1873 bis 1905) 30 bis 40 m u. GOK	(Driesen et al. 1990; Wrede 2016)
7		Grullbad Recklinghausen	Mutungs- bohrung	1957	Es wurde in den Pläner- Kalken sog. „Grull“ (solehaltiges Grundwas- ser) angetroffen, das mit starkem Druck 3-4 m hoch aus dem Bohrloch herausschoss.	Die Ursache für den Aus- fluss war in dem hohen Gehalt (4,6 %) an gasför- migen Bestandteilen begründet. Ab 1860 Badebetrieb.	artesischer Überlauf (1857 bis 1868) ab da Pumpbetrieb	(Philipp 2001)
8		Zeche Hansa	Hansa IV		Bei -75 m Erwitte Kalke/ Soest-Subformation erbohrt (Pläner, s. Abb. 22)	geringmächtiges Deckgebirge	artesischer Überlauf	(Kukuk 1938)

Nr.	Lage/Koordinaten	BW	Schacht	Datum	Ereignis	Sonstiges	Wasserstand	Quelle
9	E: 422566,144 N: 5727731,748	Bayern		1913 1944	bei -639 m abgesoffen, keine Pumpen verfügbar 1945 mit abgesoffenem Schacht zu Feld Sachsen geschlagen, aber keine hydraulische Verbindung		1944: bis 3 m ³ /min Wasserzuflüsse keine Information über Arteser	(Huske 2006) 113
10	E: 393894,861 N: 5727766,755	Hermann (Selm-Beifang)		1920 1922 1926	Abdämmung Westfeld Wiederaufnahme Stilllegung	Karbon bei -799 m	keine Angaben	(Huske 2006) 484
11	E: 382444,070 N: 5712013,213	Castrop-Rauxel: Erin	2 Schächte	1872-76 1877-83	Wassereinbrüche abgesoffen	trotz langjährigen Stillstands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 166
12	E: 387076,880 N: 5706869,460	Germania	Schacht 1	1847 1856	große Wasserzuflüsse beim Niederbringen, Kohle erreicht		keine Angaben	(Huske 2006)
13	E: 384719,861 N: 5721680,073	westl. von Waltrop Emscher Lippe	Schacht 1 + 2	1904	Wassereinbrüche, aber noch in 1904 wieder gesümpft		keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 168
14	E: 385872,845 N: 5723267,680		Schacht 3	1907 1911	Wassereinbrüche Schacht fertiggestellt		keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 168
15	E: 384481,688 N: 5708798,088	Zollern 1/3 (DO-Kirchlinde)	Schacht 1 + 2	1857 1867	Wassereinbrüche Wiederaufnahme	trotz langjährigen Stillstands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 184
16	E: 387531,105 N: 5714362,914 E: 389387,543 N: 5715311,349	Adolf von Hansemann (DO-Mengede)	Schacht 1	1873	„Ungewöhnlich große Wassereinbrüche“		keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 187
			Ostschacht	1911	Schacht abgesoffen, wieder gesümpft	trotz langjährigen Stillstands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Huske 2006)
				1946 - 1947	Sümpfung		keine Angaben	(Huske 2006)

Nr.	Lage/Koordinaten	BW	Schacht	Datum	Ereignis	Sonstiges	Wasserstand	Quelle
17	E: 337706,473 N: 5703043,514	Rheinpreussen (Duisburg- Homberg)	Schacht 1	1857	Karbon bei -126 m angetroffen	„Schwimmsandgebirge“*	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 191
				1861	Durchbruch Schwimmsand*		„17 m angestiegen“	(Huske 2006)
18	E: 357138,179 N: 5707052,436	Christian Levin (Essen-Dellwig)		1881 1885	Schacht abgesoffen Wiederaufnahme	trotz langjährigen Still- stands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 209
19	E: 356431,744 N: 5702648,475	Kronprinz (Essen- Schönebeck)		1840	-190 m	Nähe Ruhr?	„Anstieg 90 m in 18 h“	(Hermann und Hermann 2008) 225
20	E: 405687,246 N: 5708003,052	Caroline (Holzwickede)		1870	Wassereinbrüche	Betriebseinstellung trotz langjährigen Stillstands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 267
21	E: 399849,059 N: 5714032,689	Preußen (Lünen)	Schacht 1 und 2	1874	Karbon bei -250 m angetroffen	trotz langjährigen Stillstands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Hermann und Hermann 2008) 271
				1877 1891	Wassereinbrüche bei -275 m Aufgabe Wiederaufnahme			
22	E: 352593,087 N: 5707925,190	Osterfeld (Oberhausen- Sterkrade)	Schacht 3	1874	Karbon bei -267 m angetroffen Wassereinbrüche, Aufgabe	trotz langjährigen Still- stands kein artesischer Auslauf	keine Angaben	(Huske 2006)
23	E: 407088,142 N: 5722192,909	Werne	Schacht III	1873	-890 m Sohle	Christophorus Sole	15,3 L/S gefördert; 30 bis 40 m u. GOK	GD NRW Archiv-Nr.: 4311_H_G_0 15a_070167_ A1b Stadtver- waltung Werne 1993

* Als Schwimmsande waren die wasserführenden Feinsande der Osterfelder-Subformation gefürchtet.

7.2 Auswertung historischer Wassereinbrüche

Die Auswertung der historischen Wassereinbrüche in den BW ergibt folgendes Bild: Die Abb. 39 zeigt in einer Übersicht die in der Tab. 8 zusammengestellten Informationen über historische Wassereinbrüche und Wasserstände und dokumentierte artesische Austritte. Insgesamt liegen zu 23 Ereignissen an 25 Schächten (Darstellung in Abb. 39) Berichte vor (Hermann und Hermann 2008; Huske 2006; Wesche 2022). Die artesischen Austritte liegen v. a. im Osten im Bereich des Maximiliangrabens zwischen dem Sachsen Sprung und dem Münster Sprung (Abb. 40). Der Maximiliangraben war schon in historischen Zeiten bekannt für seine hohe Solewasserführung in den Schichten unterhalb der Emscher-Formation (ehem.: Emscher Mergel). Explizit genannt wird hier der „weiße Mergel“ im Cenoman. Diese wurden auch gezielt auf der Suche nach Solequellen angebohrt. Die Abb. 41 zeigt einen hydrogeologischen Nord – Süd Schnitt durch den Maximiliangraben.

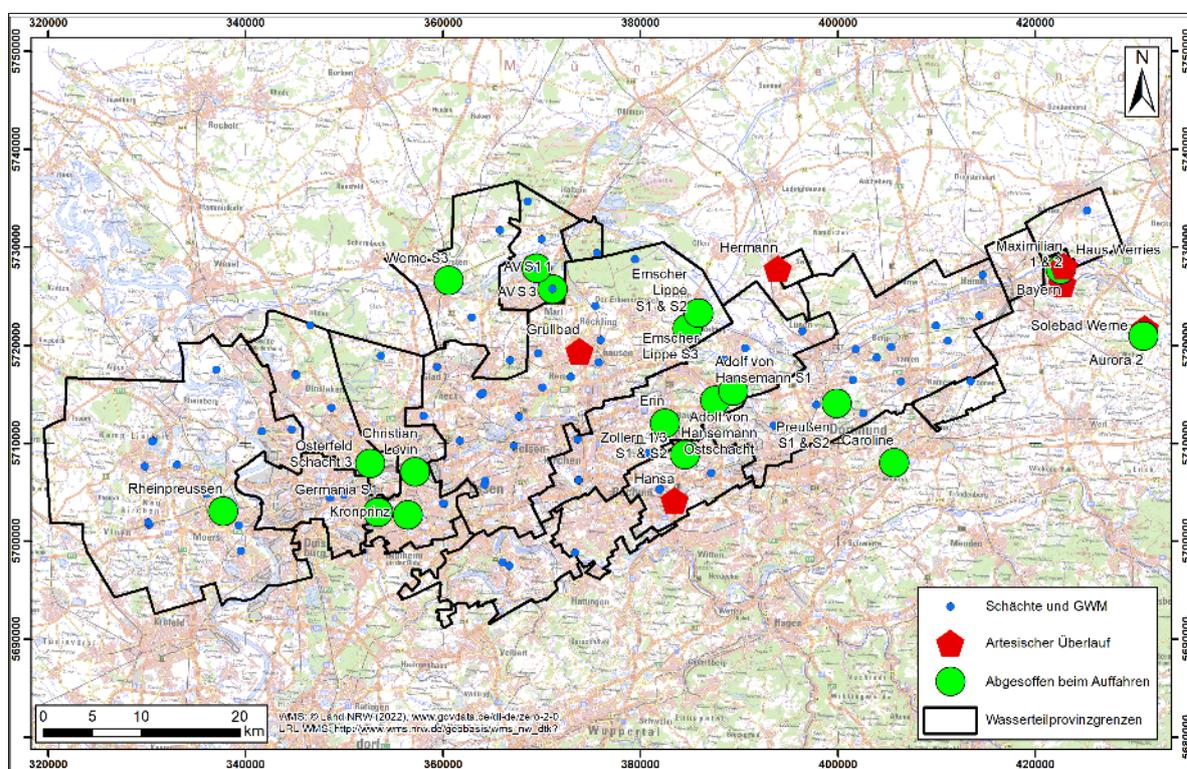


Abb. 39: Auswertung der historischen Wasserstände und Bereiche mit artesischen Verhältnissen

In den BW und Bohrungen Nr. 3 (Haus Werries), 4 (Maximilian 1 & 2), 5 (Bohrung Aurora 2) und 6 (Mutungsbohrung BW Werne) wurden artesische Solequellen erbohrt (Abb. 40), die so lange liefen, bis der fortschreitende Bergbau diese zum Erliegen brachte (6). Die weiter im Süden liegende Bohrung Aurora 2 wurde gezielt verschlossen, um die Salzfracht in der Lippe zu reduzieren. Die Arteser 3, 4 und 5 standen hydraulisch in Verbindung (Blaue Pfeile).

Nach Westen, quer zu den Störungen, zum artesischen Austritt 6 (Solebad Werne) gab es keine hydraulischen Verbindungen (roter Pfeil).

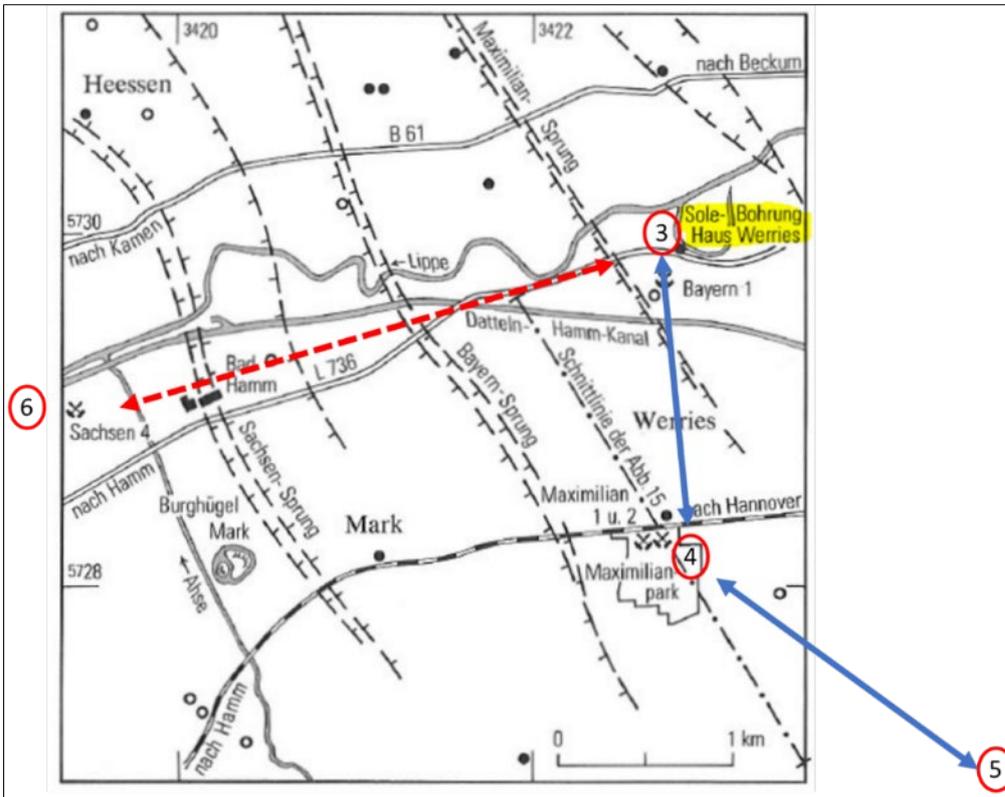


Abb. 40: Ausschnitt Maximiliangraben mit artesischen Bohrungen und BW (Quelle: Driesen et al. 1990)
 blau: hydraulische Verbindungen
 rot: keine hydraulischen Verbindungen (Ergänzungen ahu)

Nicht alle Bohrungen und BW trafen Arteser: Die Solesuchbohrungen Aurora 4 und 5 waren nicht fündig und bei den Schächten 1, 2, 3 und 4 des BW Westfalen wurden keine artesischen Verhältnisse angetroffen.

Es wird vermutet, dass der hohe und anhaltende Wasserdruck auf eine gute hydraulische Anbindung über die NW-SE verlaufenden Störungen an die Grundwasserneubildungsgebiete im Süden, südlich Soest, zurückzuführen ist (Entfernung ca. 30 km).

In einer Reihe weiterer BW wurden historisch ebenfalls langanhaltende Wassereinträge registriert (Abb. 39, Tab. 8). Oft wurden die BW mangels verfügbarer Pumpen über Jahre hinweg aufgegeben. Dennoch wurden in diesen BW – zumindest gemäß den Aufzeichnungen – keine Arteser registriert. Wir gehen davon aus, dass es – zumindest in Einzelfällen – hierüber Aufzeichnungen hätte geben müssen, da solche Vorkommnisse nicht alltäglich sind (Zeitungsberichte in Archiven etc.).

Als Begründung hierfür ist denkbar, dass die Durchlässigkeit und/oder hydraulische Anbindung des C/T so gering ist, dass keine „Nachlieferung“ aus Süden wie im Bereich Maximiliangraben kommt und es sich im Wesentlichen um eine lokale Speicherentleerung handelt.

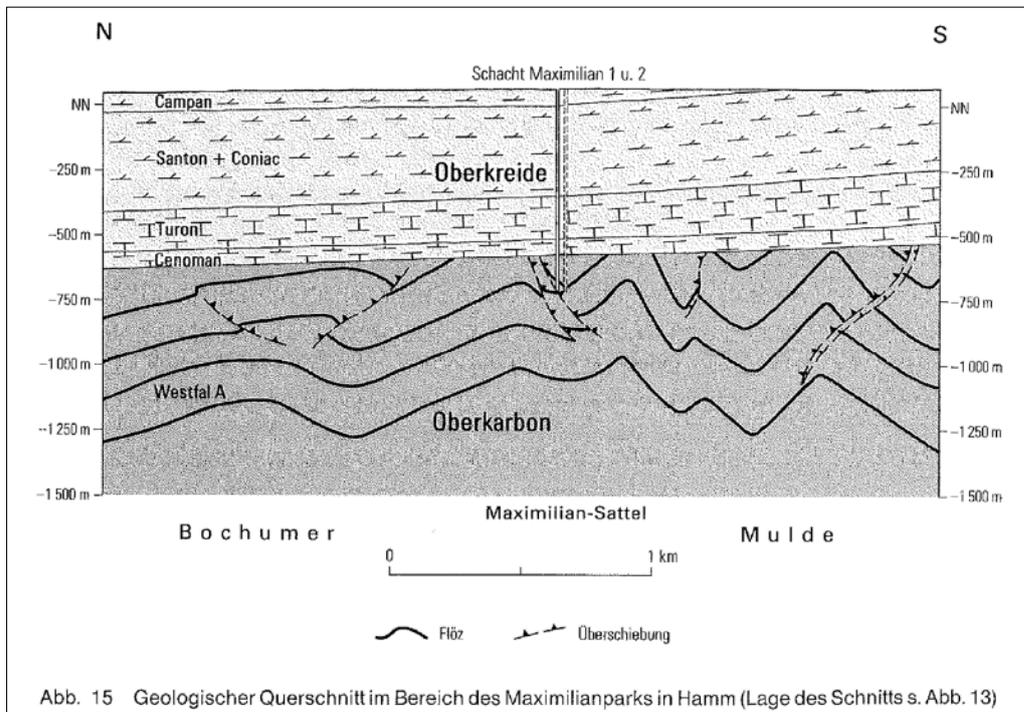


Abb. 41: Hydrogeologischer Schnitt Nord – Süd im Bereich des Maximilianparks in Hamm (Quelle: Driesen et al. 1990)

In der Tabelle 8 werden auch die beiden Ereignisse „Grullbad Recklinghausen“ und die Zeche Hansa (Dortmund) als artesische Ausläufe geführt. Hierbei ist anzumerken:

- Bei dem Austritt Grullbad Recklinghausen war offensichtlich auch Gas die Ursache für den Austritt.
- Der Schacht Hansa IV liegt in einem Bereich mit sehr geringer Mächtigkeit des Deckgebirges, so dass ein hydraulischer Anschluss nach Süden sehr nahe liegt.

8 ERKENNTNISSE AUS DEN BISHERIGEN GRUNDWASSERSTANDSMESSUNGEN FÜR DAS GROßRÄUMIGE GRUNDWASSERFLIEßSYSTEM

8.1 Heutige Potenzialverteilung im C/T

Die Abb. 42 zeigt die Potenzialverteilung im C/T auf Basis der tiefen Grundwassermessstellen.

Die Grundwasserstände im Osten (Ost 2.1, 3.1, 4.2) sind in dem weit nach Süden ausstreichenden C/T alle hoch. Dies ist mit der oben postulierten erhöhten Durchlässigkeit erklärbar und die Anbindung des C/T an die südlichen Grundwasserneubildungsbereiche könnte zu höheren Wasserständen führen.

Im Bereich des Maximiliangrabens gibt es bislang keine Grundwassermessstellen, so dass hier die Errichtung einer Messstelle vorgeschlagen wird.

Die bisher tiefste Grundwasserpotenzialhöhe aller Messstellen im C/T tritt in der Messstelle Waltrop 2 auf (-363 m NHN). Das C/T wurde zwischen -444 m NHN und -560 m NHN erbohrt. Der Grundwasserstand ist hoch gespannt. Während der Bohrung traten mehrfach massive Spülverluste innerhalb der Emscher-Formation auf (-227 m NHN, -350 m NHN, -380 m NHN).

Mit der Messstelle Stuckenbusch 2 im Westen (-270 m NHN) und der Messstelle Pferdekamp 1 (-247 m NHN)²³ im Nordwesten scheint hier der derzeitige Tiefpunkt der Grundwasserdruckfläche im C/T zu liegen.

Aus der Messstelle Ost 5 liegen aufgrund der hohen Gasgehalte noch keine Messungen vor.

Offene Fragen

- Die Potenziale im Westen, am Rande des Verbreitungsgebietes des C/T sind noch nicht bekannt (BW Lohberg, Concordia, Prosper-Haniel). Hier stellt sich die Frage, ob die Potenziale gegenüber dem zentralen Bereich (Messstellen Pferdekamp, Landwehr und Waltrop) wieder ansteigen, wie dies im östlichen Bereich der Fall ist. Linksrheinisch ist der C/T nicht mehr verbreitet.
- Die aktuellen Potenziale im Maximiliangraben, dem Bereich der ehemaligen artesischen Austritte, sind nicht bekannt. Artesische Druckpotenziale sind nicht auszuschließen.
- Die Potenziale außerhalb der Bergbauzone sind nicht bekannt. Hier stellt sich die Frage, wie steil das Gefälle in Richtung der Bergbauzone ist. Je steiler das Gefälle ist, desto geringer kann die Durchlässigkeit des C/T und

damit seine regionale Bedeutung im Norden angenommen werden (Grundwasserzustrom aus Norden, Bereich Teutoburger Wald).

Neben der Darstellung der Grundwasserstände (Potenziale) in einer Karte können die Messstellen den beiden Profillinien Ost und Mitte zugeordnet werden, die im Folgenden beschrieben werden.

8.2 Grundwasserfließsystem Profil Ost

Die Abb. 42 zeigt die Lage der Grundwassermessstellen, die dem Profil Ost zugeordnet werden. Die Grundwassermessstellen Ost 1 bis Ost 4 wurden 2010 errichtet, die Messstelle Waltrop 2 im Jahr 2018. Sie liefert seit 2020 verlässliche Werte (Grundwasserstand C/T). In den ersten vier Monaten nach der Errichtung sank der Wasserstand in der Messstelle um ca. 53 m von -301 m NHN auf -354 m NHN. Dies ist nach Ansicht der RAG auf die langsame „Entwässerung“ der zurückgebliebenen Bohrspülung zurückzuführen. Aktuell liegt der Wasserstand bei -363 m NHN.

Die Abb. 43 zeigt in der Übersicht einen hydrogeologischen Schnitt NW-SE des Profils Ost (ten Thoren 2022). In diesem Schnitt wird angenommen, dass die Essen-Grünsand-Formation durchgehend verbreitet ist. In der Darstellung nimmt mit zunehmendem Abtauchen der Schichten nach Nordwesten die Potenzialdifferenz zwischen den Grundwasserständen im Emscher-Formation (violette, gestrichelte Linie) und den Grundwasserständen im Turon (blaue Linie) sowie der Salzgehalt zu.

Während im Bereich der Messstellengruppe Ost 2 die Grundwasserdruckflächen in der Emscher-Formation und im Turon noch annähernd auf gleicher Höhe liegen, liegt die Druckfläche des Turons im Bereich der Messstellengruppe Ost 4.2 schon fast 80 m höher, obwohl das Turon unter der Emscher-Formation liegt.

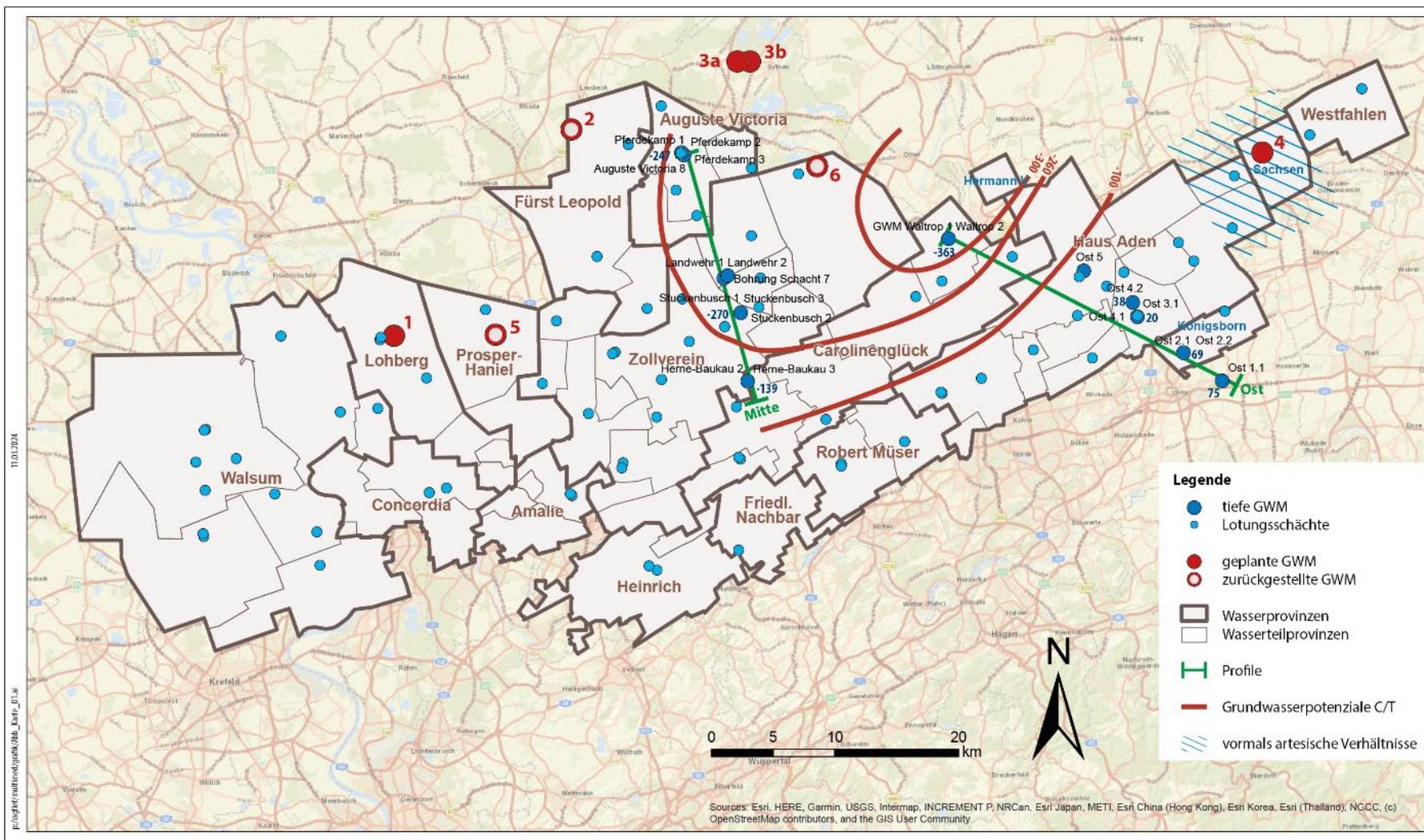


Abb. 42: Lage der vorhandenen und geplanten tiefen Grundwassermessstellen, Potenzialverteilung und Lage der Profile Ost und Mitte (Stand 2022)

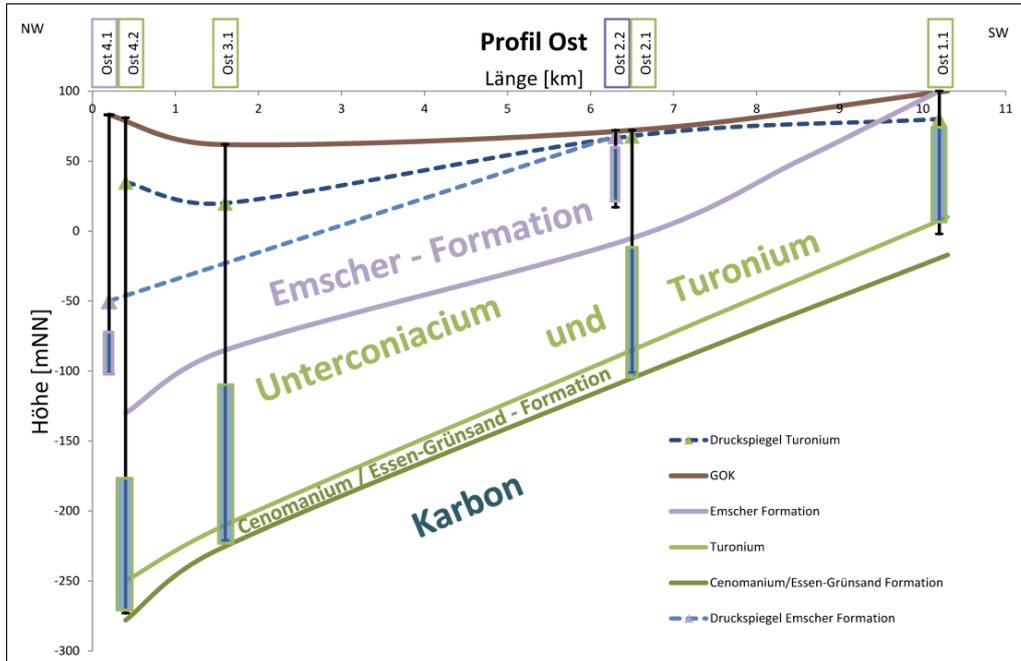


Abb. 43: Profil Ost mit der Annahme einer vermeintlichen/möglichen Grundwasserführung im Emscher-Formation, unverändert aus (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022)

8.2.1 Höhe der Potenzialfläche in der Emscher-Formation

Die Interpretation von GeoK (2022) bedeutet, dass eine Potenzialfläche der Messstelle 4.1 im Emscher-Formation vorhanden ist, die deutlich unterhalb des C/T liegt. Dies würde bedeuten, dass sich die niedrigen Grundwasserstände in der Emscher-Formation durch den C/T „hindurch“ auf das noch niedrigere Vorflutpotenzial des Karbons orientieren würde. Hydraulisch ist das aber nicht zu erklären (ten Thoren 2022).

Die ahu schlägt eine andere Interpretation der gemessenen Grundwasserstände vor. Bis in eine Tiefe von ca. 50 m treten in der Emscher-Formation häufig Kluftwasserführungen auf. Wie aus einer Reihe von tieferen Aufschlüssen bekannt ist, ist die Emscher-Formation häufig „trocken“. Das heißt, das Gebirge weist keine zusammenhängende Wasserführung auf. Dies ist bereits in weiter südlich liegenden Bereichen (Schacht Grillo, westlich Kamen, BW Monopol) mit einer geringeren Mächtigkeit der Emscher-Formation nachgewiesen. Ebenso ordnet die Auswertung der tiefen Grundwassermessstellen die Messstelle Herne-Baukau 1.2 im Profil Mitte (Abb. 46) als „trocken gefallen“ ein (ten Thoren 2022).

Bei den in der Messstelle 4.1 gemessenen Wasserständen handelt es sich danach nicht um eine durchgehende Grundwasserdruckfläche in der Emscher-Formation, sondern um Standwasser in der Messstelle – möglicherweise noch aus der Phase der Errichtung (ten Thoren 2022).

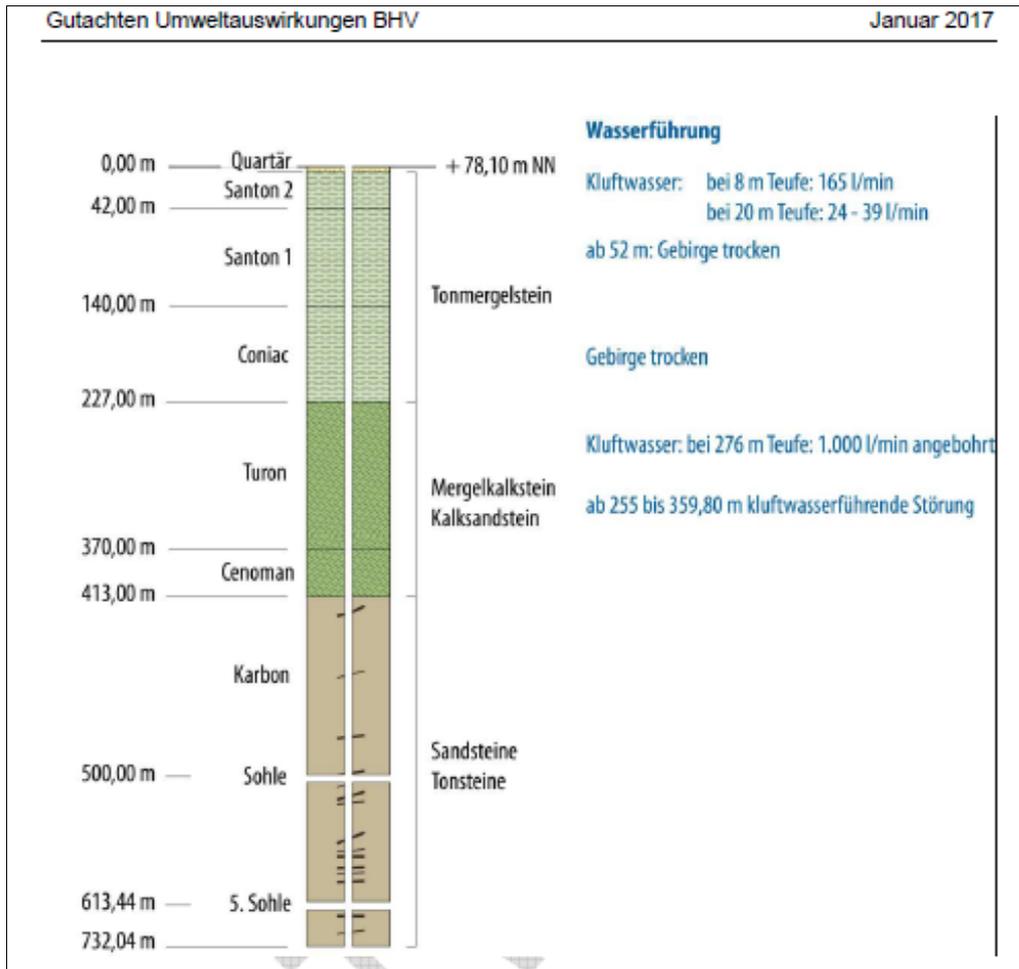


Abb. 44: Hydrogeologisches Profil Schacht Grillo 4 bei Kamen mit einem „trockenen“ Emscher-Formation (ahu GmbH 2012)

8.2.2 Potenzialverteilung im C/T

Die Messdaten aus den tiefen Grundwassermessstellen sind in den Jahresberichten enthalten.

In der Wasserprovinz Königsborn (Grundwassermessstelle 2.1 und 2.2) befinden sich Grubenwasser und C/T schon seit längerem annähernd im hydraulischen Ausgleich (aktuell auf -46 m NH im Scht. Königsborn 4, 05.07.2023, Quelle: RAG-BID). Da das C/T weiter im Südosten ausstreicht, sind hier eine höhere Durchlässigkeit und eine gute hydraulische Verbindung sehr wahrscheinlich.

Weiter nach Nordosten ist das Grundwasser im C/T zunehmend hoch gespannt und steht unter Druck. Bei einem „Anbohren“ des C/T steigt das Grundwasser bis auf die in Abb. 45 der dargestellten Höhen und deutlich höher als das Top des C/T. Vielfach ist das darunterliegende Grubengebäude noch entwässert und bleibt dies bei einem Grubenwasseranstieg bis -600 m NHN südöstlich von

Waltrop II auch noch. Dies deutet auf eine regional stauende Wirkung der Essen-Grünsand-Formation hin.

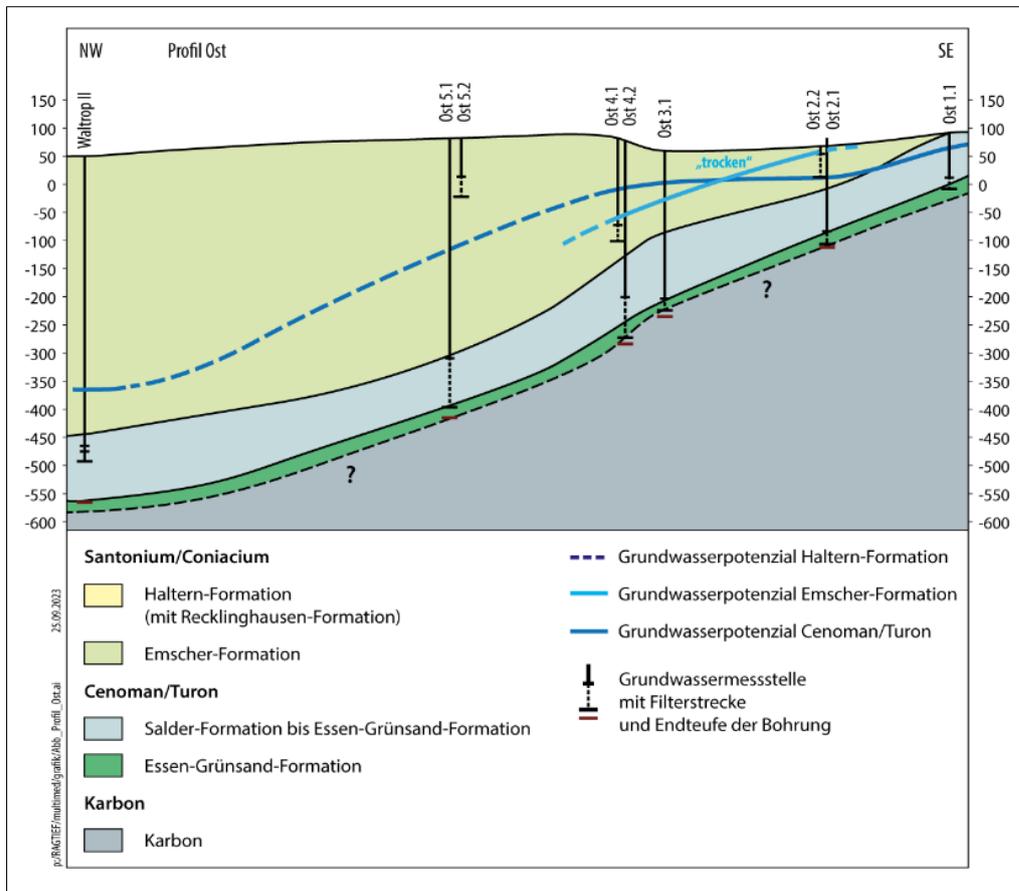


Abb. 45: Angepasstes und erweitertes Profil Ost auf Grundlage von (ten Thoren 2023), erweitert um die Grundwassermessstellen Waltrop 2, Ost 5.1 und Ost 5.2 (ohne Messwerte)

Allerdings gibt es auch die Teilprovinzen Waltrop und Minister Achenbach der WP Carolinenglück, wo möglicherweise lokal bessere hydraulische Verbindungen zwischen Grubengebäude und C/T vorliegen. Aktuell wird im Schacht Waltrop 1 ein Wasserstand von -351,3 m NN gelotet (Messung vom 06.07.2023, Quelle: RAG-BID). In der benachbarten Teilprovinz Minister Achenbach der WP Carolinenglück ist das Grubenwasser bereits ähnlich hoch angestiegen (Schacht Ickern 3: -392,4 m NN am 05.07.2023; Schacht Achenbach 5: -398,8 m NN am 06.07.2023).

Dies entspricht dem in Abb. 45 dargestellten Potenzial im C/T und könnte einen instationären (d. h. sich mit dem Grubenwasseranstieg verändernden) hydraulischen Ausgleich anzeigen. Die Fließrichtung dürfte aber aus dem C/T in das Grubengebäude (und nicht umgekehrt) gerichtet sein, da sich die Potenziale im C/T weiter erhöhen und das Grubengebäude (vor allem außerhalb der WP Carolinenglück) immer noch deutlich tiefer liegt.

Grundsätzlich ergibt sich aufgrund der Potenzialverteilung innerhalb des C/T (Ost 1.1 → Ost 2.1 → Ost 3.1) eine Grundwasserströmung nach Nordwesten und eine Grundwasserströmung nach Südosten (Ost 4.2 → 3.1).

Hierbei ist jedoch der Grundwasserstand der C/T-Messstelle Ost 4.2. kritisch zu hinterfragen. Die Messstelle weist bis zum Jahr 2015 einen Anstieg von ca. 25 m auf.

In der ca. 15 km nordwestlich liegenden neu errichteten Messstelle Waltrop II liegt der Grundwasserstand (nach dem anfänglichen Absinken) im C/T bei ca. -365 m NHN. Ohne die auffällige Aufhöhung des Grundwasserstands der C/T-Messstelle 4.2 ergäbe sich ein durchgehendes Gefälle im C/T nach Nordwesten. Der Schwankungsgang der Messstelle Ost 4.2 entspricht dem der Turon-Messstelle 3.1.

Ohne den Anstieg um ca. 25 m nach der Errichtung würde die Druckfläche im C/T relativ gleichmäßig verlaufen. Alternativ ist im Bereich der C/T-Messstelle Ost 3.1 auch ein verstärkter Abstrom ins Grubengebäude des BW Haus Aden denkbar.

Die Abb. 45 zeigt ein angepasstes und um die Messstelle Waltrop II erweitertes Profil.

Durch den – bergbauinduzierten – konstanten Grundwasserstrom nach Nordwesten erfolgte auch eine stetige Aussüßung der Solequellen an der Hellwegquelllinie. Einen Schüttungsrückgang bedeutete dies nicht, da aus den hoch durchlässigen Grundwasserneubildungsgebieten im Süden (z. B. Paderborner Hochfläche) das Defizit ausgeglichen wurde (s. Abb. 26).

Bei Betrachtung aller vorgenannten Beobachtung zeigt dies insgesamt, dass Grundgebirge und Deckgebirge großräumig hydraulisch getrennt sind (s. Abschn. 6.7.1 zu Essen-Grünsand-Formation). Mögliche Ausnahmen wie z. B. in der WP Carolinenglück wurden oben diskutiert²⁴.

Solange die Druckverteilung im Grundwasser so bleibt, ist großräumig kein Grundwasseraufstieg aus dem Karbon möglich. Beim Auftreten von höherdurchlässigen Störungen/Klüften wäre die Fließrichtung aus der Kreide (C/T und Emscher-Formation) in das Karbon gerichtet und nicht umgekehrt. Eine aufsteigende Potenzialverteilung und (bei höheren Durchlässigkeiten) eine Grundwasserströmung aus dem Karbon in das Deckgebirge wäre erst dann möglich, wenn das Tiefengrundwasser im Karbon höher ansteigen würde als die Grundwasserstände im C/T, also höher als ca. 30 m NHN. Selbst nach einer vollständigen Flutung der Grubengebäude dürfte dieser instationäre Zustand noch einige 10er Jahre andauern.

²⁴ Im Rahmen des empfohlenen numerischen Konzeptmodells ist eine entsprechende Aufbereitung der geologischen Daten zur Verbreitung und Ausbildung der Essen-Grünsand-Formation erforderlich.

8.3 Grundwasserfließsystem Profil Mitte

Die Abb. 42 zeigt die Lage der Grundwassermessstellen, die dem Profil Mitte zugeordnet werden. Die Abb. 46 zeigt das Profil Mitte unter Einbeziehung der C/T-Messstelle Pferdekamp 1.

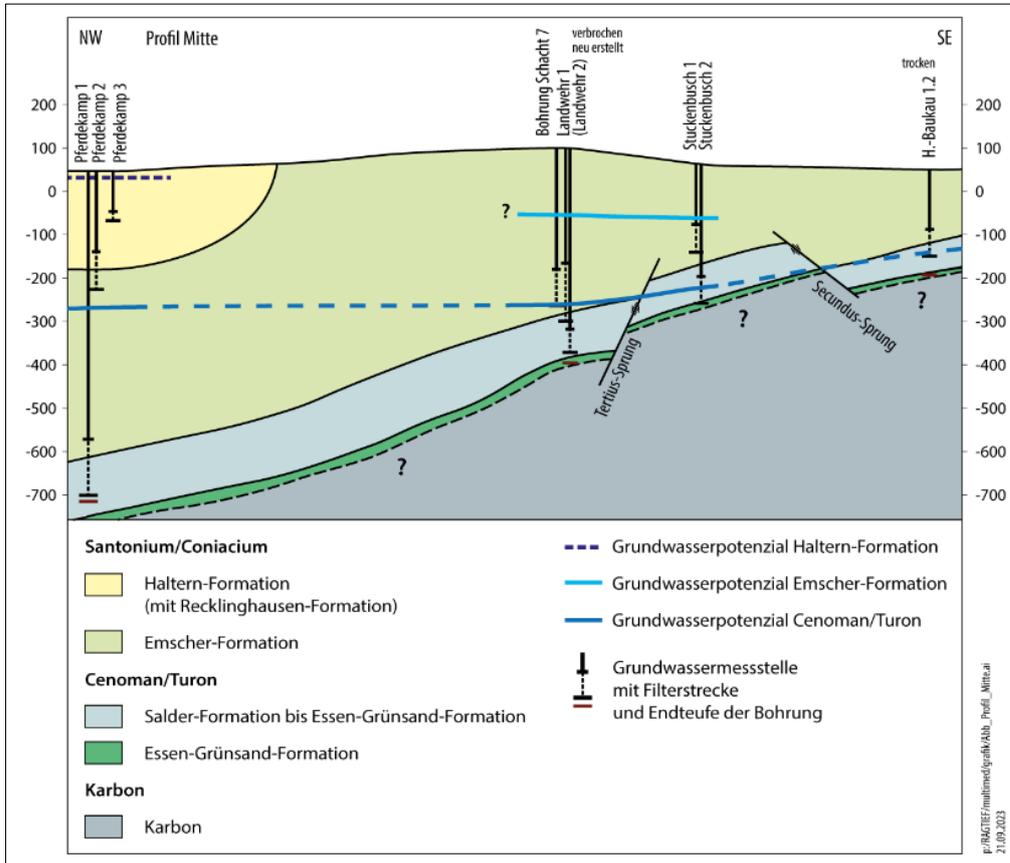


Abb. 46: Profil Mitte verändert und erweitert auf Grundlage von (ten Thoren 2023; ten Thoren 2022)

Dem Profil Mitte wird auch die 2021 neu errichtete Messstellengruppe Pferdekamp 1 zugeordnet. Bislang liegen nur einzelne Messwerte vor.²⁵

²⁵ Nach Angaben von Herrn ten Thoren (mündl. Mitteilung an Herrn Wesche vom 16.05.2024) zeigt die Messstelle aktuell noch einen noch aus der Bohrtätigkeit beeinflussten und damit nicht repräsentativen Wasserstand. Der Wasserstand sinkt nach wie vor kontinuierlich ab (steigerer Abfall von ca. -240 m NHN auf -285 m NHN zwischen 2021 und 2022; -305 m NHN in 12/2023).

Aus Sicht der ahu liegen aber die Wasserstände in der Messstelle immer noch deutlich über -600 m NHN, so dass sich an dem hydraulischen Gesamtbild (Abb. 42) erst einmal nichts ändert.

Der C/T ist im südöstlichen Bereich des Profils Mitte fast grundwasserfrei. Nach Nordwesten hin, im Bereich der Messstellen Landwehr, verringert sich das Gefälle und der Grundwasserleiter ist vollständig mit Grundwasser gefüllt. Bis hin zur Messstelle Pferdekamp 1 steigen die Grundwasserstände sogar wieder etwas an (-270 m NHN auf -247 m NHN). Das Grundwasser ist in diesem Bereich gespannt.

Bei einem zukünftigen Grubenwasserstand von ca. -600 m NHN läge die Druckfläche dann im C/T.

Im Gegensatz zum Profil Ost befindet sich das Grubenwasser noch insgesamt im Karbon (Grubenwasserniveau nach RAG-BID zwischen ca. -660 m NHN im Norden (Grundwassermessstelle: Blumenthal 11, Feb. 2024) und -970 m NHN im Süden (Grundwassermessstelle: Auguste Victoria 8 und 9,) des Profils Mitte. Dies deutet darauf hin, dass die Essen-Grünsand-Formation hier eine stärkere hydraulische Barriere darstellt als dies im Profil Ost (WP Carolinenglück) der Fall ist.

Die hydraulischen Auswirkungen der beiden größeren Störungen im Süden (Secundus-/Tertius-Sprung) sind noch unklar. Möglicherweise findet auch hier ein stärkerer Abstrom ins Karbon statt. Die Grundwasserstände im C/T im Bereich der Messstellen Baukau sind jedenfalls tiefer als in vergleichbarer Position im Profil Ost.

9 ZUSAMMENFASSENDE BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERFLIEßSYSTEMS

In diesem Kapitel wird auf der Grundlage der bisherigen Ergebnisse aus den Überwachungskampagnen und weiteren Überlegungen/Hypothesen der zusammenfassende Kenntnis- und Diskussionsstand zum Grundwasserfließsystem beschrieben. Dabei werden vier zeitliche Zustände für die relevanten geologischen Formationen und ihre Wirkungszusammenhänge beschrieben.

1. Bergbaulicher Voreingriffszustand
2. Bergbau (1800 bis 2020)
3. Grubenwasseranstieg bis -600 m NHN
4. Grubenwasseranstieg bis zu einem hydraulischen Ausgleich²⁶

9.1 Bergbaulicher Voreingriffszustand

9.1.1 Haltern-Formation

Die Tiefenlage der Basis ist in der Abb. 31 dargestellt und reicht an der bislang tiefsten bekannten Stelle bis -225 m NHN. Mit und ohne Grundwasserentnahmen herrschen in den Grundwasserneubildungsgebieten (Haard und Hohe Mark) bei den in mehreren Tiefenlagen verfilterten Grundwassermessstellen gleiche Grundwasserpotenziale vor. Die Absenkung in den Brunnen zur Trinkwassergewinnung liegt bei einigen Metern. Durch die Grundwasserentnahmen wurden somit nur im Nahbereich der Brunnen die Potenzialdifferenzen verändert.

9.1.2 Emscher-Formation

In der Auflockerungszone (bis ca. 50 m) ist die Emscher-Formation ein Kluft-Grundwasserleiter mit lokal ausreichender Wasserführung für eine Hauswasserversorgung. In den tieferen Bereichen ist die Emscher-Formation vielfach trocken (Abb. 44, Messstelle 4.1, Profil Ost).

²⁶ Unter hydraulischem Ausgleich wird ein Grubenwasseranstieg verstanden, der nicht grundsätzlich durch Haltungsmaßnahmen reguliert wird. Es ist beim derzeitigen Kenntnisstand nicht genau zu sagen, wie hoch ein solcher Grubenwasserstand ausfallen würde. Unter hydraulischem Ausgleich würden in diesem Zusammenhang auch noch Grubenwasserstände verstanden, die – aus verschiedenen Gründen – dauerhaft um einige Meter bis 10er Meter abgesenkt würden.

9.1.3 C/T

Im Bereich der Ausstriche an der Geländeoberfläche sind die Cenoman/Turon-Kalke deutlich verkarstet. Im Haarstrang und insbesondere auf der Paderborner Hochfläche sind viele Verkarstungsphänomene bekannt. Die Verkarstung der Cenoman-/Turon-Kalke erfolgte wahrscheinlich erst nach Hebung und Rückzug des Kreidemeeres im Tertiär und nach einer Aussüßung des Grundwassers an den Rändern (Geyh und Michel 2000; Michel 1983; Michel und Struckmeier 1985). Da das neugebildete und hier in Höhlen und Spalten versickernde Grundwasser leichter als die Sole ist, treten die Grundwässer am Südrand des Münsterländer Beckens entlang der sog. Quellenlinie nach einer Fließstrecke von ca. 20 bis 40 km zum größten Teil wieder aus (z. B. an Karstquellen wie den ca. 200 Paderquellen, Abb. 26). Für diese Bereiche werden auch höhere Durchlässigkeiten um die 10^{-6} m/s angenommen (Abb. 25). Für den zentralen Bereich der C/T-Formation werden Werte zwischen 10^{-8} m/s und 10^{-6} m/s angenommen (Abb. 25).

Ein Teil des neugebildeten Süßwassers fließt nach Struckmeier (1990) aber auch noch unter den „Emscher-Mergel“-Deckel und fließt dann leicht mineralisiert zurück auf die Quellenlinie zu (siehe Abb. 26).

Die schwerere Sole im zentralen Münsterländer Becken wurde nicht ausgesüßt. Struckmeier (1990) spricht deshalb auch von einem „quasistationären Solesystem“ im Münsterland. Das Porenvolumen der Formation ist der Solevorrat und mischt sich nur begrenzt mit dem Niederschlagswasser aufgrund der Dichteschichtung. Der Bergbau hat sehr wahrscheinlich durch die Entwässerung diese Grenze nach Norden verschoben. Nach Ende des Bergbaus ist es bei gleichbleibenden Strömungsmengen nicht anzunehmen, dass die Konzentration stark ansteigt, weil keine Sole nachgebildet würde.

Die Ursache der Solequellen an der Hellwegquelllinie – vor Sümpfungsbeginn – wird auch in diesem Grundwasserzustrom aus Süden gesehen und nicht in der von Sauter (2012), Ottenjann et al. (2021) und anderen postulierten großräumigen Grundwasserströmung aus dem Teutoburger Wald über das Cenoman/Turon unterhalb des Münsterländer Beckens nach Süden.

9.1.3.1 Tiefenverkarstung des C/T

Ein solcher weitreichender, horizontal ausgedehnter Grundwasserleiter im zentralen Münsterländer Becken würde eine deutliche und großräumige Verkarstung (vergleichbar dem Pariser Becken und dem Jura im Molasse Becken) voraussetzen. Hierfür gibt es jedoch keinerlei Hinweise. Im Gegenteil, eine Reihe von Argumenten spricht dagegen:

- Fehlen von Methanaustritten (Coal Bed Methan (CBM) aus dem unterlagernden flözführenden Oberkarbon) in den randlichen Süßwasserquellen (ahu GmbH 2012). Dies wäre nur möglich, wenn eine **flächendeckende** gasdichte Trennung durch den Essen-Grünsand-Formation trotz aller Störungen angenommen würde²⁷.
- Fehlen aufsteigender Potenzialdifferenzen (und damit artesischer Wasseraustritte) bei Steinkohlenmutungsbohrungen im zentralen Münsterland. Falls keine großräumige Durchlässigkeit (z. B. durch eine Verkarstung) im C/T vorliegt, können auch die vorliegenden „Hinweise“ (echte Messdaten liegen ja nicht vor) irreführend sein. Bei geringen Durchlässigkeiten und einem geringen Porenvolumen kann auch der Wasserandrang aus dem C/T in Bohrungen zu gering gewesen sein, um einen relevanten Wasseranstieg oder sogar artesischen Wasseraustritt zu verursachen. Dieses Argument gilt aber wahrscheinlich nicht für abgesoffene Schächte, die z. T. jahrelang aufgegeben wurden.
- Fehlende langfristige Aussüßung der Sole im tiefen Münsterländer Becken. Dies kann nicht durch Messungen belegt werden, aber die extrem hohe Salinität der tiefen Grubenwässer und der Einzelbefunde aus dem C/T zeigen, dass auch über geologische Zeiträume keine Aussüßung der tiefen Grundwässer stattgefunden hat. Wahrscheinlich sind mehrere Geneseprozesse für die Sole des C/T zu betrachten. Einer ist die Auslaugung von Salzlagerstätten in der Umrandung des Münsterlandes und die Durchströmung des Kreidebeckens an der Basis. Eine fehlende Aussüßung²⁸ in Richtung der Hellwegquellen ist nicht zu erkennen (Michel et al. 1998; Michel 1983). Es kommen folgende, weitere Prozesse in Betracht bzw. dafür liegen je nach Lage/Ort im Becken Daten vor (Grobe und Machel 2002):
 - Halit-Lösung,
 - Wasser-Gestein-Wechselwirkung hoch salinärer Wässer mit siliziklastischen Gesteinen,
 - Mischung von hoch salinaren mit weniger salinaren Wässern mit mariner Isotopensignatur,
 - störungsgebundener Aufstieg von warmem, salinarem, ⁸⁷Sr-angereichertem Grundwasser des Grundgebirges in den Kreidekalkstein,
 - Wasser-Gestein-Wechselwirkung aufsteigender, salinärer Grundwässer mit dem Kalksteinaquifer der Kreide,
 - Mischung mit meteorischen Wässern.
- Es fehlen größere (Karst)Quellen in den tiefliegenden, nordwestlichen Ausstrichsbereichen des C/T.

²⁷ siehe Bohrung Dora 18 bei Herbern, Abschnitt 6.7.1.3

²⁸ Hierbei ist nicht die bekannte Aussüßung in Folge der Förderung der Solen gemeint, sondern eine Aussüßung der extrem salinaren tiefen Grubenwässer.

- Aufgrund der geologischen Entstehungsgeschichte sind die Bedingungen für eine Tiefenverkarstung nicht gegeben (Denneborg 2001; Dreybrodt 1988).

Es ist denkbar, dass die Grundwasserpotenziale des C/T deutlich innerhalb der Emscher-Formation und damit auch deutlich unterhalb der Geländeoberkante lagen und selbst über die Jahrmillionen kein Potenzialausgleich mit den oberflächennahen Potenzialen stattgefunden hat.

Die Frage ist, wie über Millionen Jahre in tieferen Bereichen der C/T ein deutlich niedrigeres Grundwasserpotenzial als die Geländeoberfläche und die Potenziale der C/T in den Ausstrichsbereichen (z. B. Paderborner Hochfläche) bestehen konnte. Eine dauerhafte Absickerung ins Oberkarbon bietet dafür keine Erklärung, denn dann hätte es bereits vor der Bergbauphase eines dauerhaft tieferen Potenzials im Oberkarbon bedurft. Die einzigen logischen Erklärungen hierfür sind:

- Die hydraulischen Verbindungen zu den Ausstrichsbereichen im Süden (und Norden erst recht) sind zu gering für einen ausreichenden Grundwasserzustrom und Potenzialausgleich.
- Bei den Wässern im C/T könnte es sich um es sich vorwiegend konnate Wässer zur Zeit der Formationsbildung handeln. Grundsätzlich sind verschiedene Szenarien zur Herkunft der Salinität denkbar, wie beschrieben (s. hierzu auch Abschn. 5.4.1).

9.1.3.2 Überschlägige Bilanzierung des Grubenwassers

Im Folgenden wird eine überschlägige Bilanzierung der Grubenwasserförderung in der Bergbauzeit und sich daraus ergebende mögliche Schlussfolgerung zur hydraulischen Stellung der C/T abgeleitet.

Die Grubenwassermengen aus den BW setzen sich zusammen aus:

- Zusickerungen aus dem C/T,
- Zusickerungen aus dem Karbon,
- Betriebswasser.

Während über die Wassermengen aus dem C/T und dem Karbon nur vereinzelt Daten vorliegen (z. B. wenn eine Kluft oder Karströhre angeschnitten wurde), lassen sich die Betriebswassermengen überschlägig bilanzieren. Das Betriebswasser wurde über Leitungen in die BW eingebracht und mit dem Grubenwasser gehoben (ahu 2018). Für die BW Prosper-Haniel und Auguste Victoria waren dies im Durchschnitt der letzten 5 Betriebsjahre ca. 75 % Betriebswasser (RAG in einer E-Mail 09.03.2016 an die ahu).

1991 wurden aus dem Binsheimer Feld durchschnittlich 2,7 m³/min Grubenwassermengen gefördert; davon waren ca. 60 % geogenes Grundwasser (ca. 1,6 m³/min). Der Rest war eingesetztes Betriebswasser (ahu 2018).

Bezogen auf die Größe der Grubengebäude ergeben sich für drei Teileinzugsgebiete die folgenden Zahlen für gehobenes Grubenwasser (ahu 2018). Je südlicher die Teileinzugsgebiete liegen, desto höher ist der Zustrom, da die Deckgebirgsmächtigkeit abnimmt:

- Teileinzugsgebiet Emscher Mulde West: 0,03 m³/km²/min,
- Teileinzugsgebiet Zollverein Süd: 0,14 m³/km²/min,
- Teileinzugsgebiet Ost (Victoriadamm): 0,17 m³/km²/min.

Bei einer überschlägigen Abgrenzung eines Bilanzraums mit 10 km Breite und 50 km Länge (500 km²) und einem mittleren Grubenwasseranfall von 0,1 m³/km²/min ergibt sich pro Jahr ein Grubenwasseranfall von 26,3 Mio. m³/a. Bei einem 50 % Anteil an „echtem“ Grubenwasser wären dies 13,15 Mio. m³ Entwässerung aus Oberkarbon und der C/T pro Jahr bzw. bei einer Betriebsdauer der BW von 120 Jahren von 1,578 Mrd. m³ Entwässerung aus den C/T und dem Karbon.

Nach Baltes (1998) und Sauter (2012) sind als Porenanteil für die Cenoman-/Turon-Kalksteine Porenanteile von 0,5-1,5 % (bergbau-beeinflusst) bzw. < 0,5-1 % (bergbaulich unbeeinflusst) anzunehmen.

Der „Wasservorrat“ in den C/T wird überschlägig berechnet. Die Annahme geht von einer ca. 50 km x 10 km breiten Bergbauzone und einer C/T-Mächtigkeit von ca. 200 m aus. Daraus ergibt sich ein Gesteinsvolumen von 100 km³. Bei angenommen durchschnittlichen Porenvolumina von 1,0,5 und 0,05 % und vollständiger Wassersättigung des Porenraums entspricht das 1 Mrd. m³, 500 Mio. m³ oder 50 Mio. m³.

Angenommenes Gesteinsvolumen:

$$V_{\text{Gestein}} = (50 * 10 * 0,2)\text{km}^3 = 100 \text{ km}^3$$

resultierendes Porenvolumen nach Literaturangaben und Schätzung nach Baltes (1998) und Sauter (2012) sowie eine Annahme der Gutachter:

obere Grenze, ohne Bergbau (1 %):

$$V_{\text{Poren}} = 100 \text{ km}^3 * 0,01 = 1 \text{ km}^3 = 1 * 10^9 \text{ m}^3$$

untere Grenze, ohne Bergbau (0,5 %):

$$V_{\text{Poren}} = 100 \text{ km}^3 * 0,005 = 0,5 \text{ km}^3 = 5 * 10^8 \text{ m}^3$$

konservative Annahme Gutachter (0,05 %):

$$V_{\text{Poren}} = 100 \text{ km}^3 * 0,0005 = 0,05 \text{ km}^3 = 5 * 10^7 \text{ m}^3$$

Wenn man einen Zustrom aus dem Süden in den C/T annimmt, dürfte dieser heute in der Größenordnung von 6 Mio. m³/a auf 10 km Zustrombreite liegen.²⁹

Eine Speicherentleerung des C/T um ca. 50 %³⁰ läge dann in einer Bandbreite von 25 bis 500 Mio. m³ in 120 Jahren Bergbau. Mit einem Zustrom von 0,7 Mrd. m³ in diesem Zeitraum läge die präsentierte, grobe Abschätzung in der **Größenordnung** des über die Jahre entnommenen Grubenwassers.

Je höher der Zustrom aus Süden anzunehmen ist, desto höher müsste auch die Aussüßung des hochsalinaren Grundwassers im C/T erfolgt sein.

Diese **Überschlagsrechnung** zeigt, dass auch die Hypothese einer weitgehend hydraulisch abgeschlossenen C/T-Formation möglich ist.

9.1.4 Oberkarbon

Der ahu sind keine Messungen der ursprünglichen Potenzialhöhe im unverritzten Oberkarbon bekannt.

Es wird vermutet, dass die Grundwasserpotenziale deutlich unterhalb der Geländeoberkante lagen. Auch hier wird vermutet, dass die hydraulischen Verbindungen zu den Ausstrichsbereichen im Süden keinen ausreichenden Grundwasserzustrom zuließen. Das Grundwasser im Oberkarbon wäre ebenfalls konnates Wasser (s. hierzu auch Abschn. 5.4.1).

9.2 Bergbauphase (1800 bis 2020)

9.2.1 Haltern-Formation

Durch die Grundwasserentnahmen zur Trinkwassergewinnung bilden sich lokale Entnahmetrichter in der Haltern-Formation aus. Das generelle Grundwasserfließsystem ändert sich jedoch nicht.

9.2.2 Emscher-Formation

Die Grundwasserpotenziale in der Emscher-Formation bleiben annähernd unverändert.

²⁹ Das Gefälle bis zu den Ausstrichsbereichen der C/T im Süden beträgt ca. 1 % (abgeleitet aus den Profilen Ost und Mitte, Durchlässigkeit von 1×10^{-5} m/s gemäß Abb. 25, durchströmte Mächtigkeit 200 m).

³⁰ Die heutigen Grundwasserstände im C/T zeigen an, dass der Speicher C/T bei weitem nicht entleert ist.

9.2.3 C/T

Im C/T sinken die Grundwasserpotenziale kontinuierlich ab, da das Grundwasser – in unterschiedlichen Maßen – den Grubengebäuden zusickert. Sie erreichen den bis heute bekannten tiefsten Punkt in der Grundwassermessstelle Waltrop (-365 m NHN).

Durch den Abstrom von Grundwasser über den C/T in Richtung Münsterländer Becken erfolgt eine schleichende Aussüßung der Quellen an den Soleaustritten. Es kam aber in der Regel zu keinem großräumigen Schüttungsrückgang, da der Grundwasserzustrom aus dem Süden den Abfluss weitestgehend kompensiert hat.

9.2.4 Oberkarbon

Im Bereich des Grubengebäudes wurde das Gebirge nachhaltig entwässert. Auch über die Wetterführung wurden große Mengen Wasser ausgetragen. Schätzungen gehen von einer „Austrocknung“ des Gebirges von bis zu 50 m von den aufgefahrenen Strecken aus (ahu 2017/2018).

Der ahu sind keine Messungen der Potenziale im unverritzten Oberkarbon bekannt (z. B. zwischen zwei BW). Hierzu soll eine tiefe Grundwassermessstelle errichtet werden (siehe Tab. 9 und Abb. 42).

9.3 Grubenwasseranstieg gemäß Grubenwasserkonzept

Grundlage des Grubenwasseranstiegs ist das Grubenwasserkonzept (RAG 2014). Für die einzelnen Wasserprovinzen sind darin unterschiedliche Anstiegsniveaus vereinbart.

Der großflächige Grubenwasseranstieg im Ruhrgebiet konnte 2018 mit dem Ende der Steinkohlenförderung beginnen. Zuvor gab es Grubenwasseranstiege in einzelnen BW (Westfalen, Königsborn), und die Brunnenwasserhaltung des BW Walsum wurde 2016 aufgenommen. Bislang wurden nur im Bereich Walsum die Endhöhen erreicht. In der Abb. 6 sind die mit Stand 07.07.2022 erreichten Grubenwasserstände in den Lotungsstandorten und die Zielwasserstände und Zeitpunkte der Erreichung dargestellt.

9.3.1 Haltern-Formation

Im Bereich der Haltern-Formation ist im Grubenwasserkonzept eine Anstiegshöhe von -600 m NHN vereinbart.

Durch die Grundwasserentnahme bilden sich gemäß den ausgewerteten Grundwassergleichenplänen lokale Entnahmetrichter in der Haltern-Formation aus. Die Absenkungen liegen in Brunnennähe bei einigen Metern.

Bei einem Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN bleibt immer eine absteigende Potenzialdifferenz erhalten und Aufstiege von Sole aus dem C/T sind nicht möglich. Die Grundwasservorkommen in der Haltern-Formation sind dadurch nicht betroffen.

9.3.2 Emscher-Formation

Die Grundwasserpotenziale in der Emscher-Formation bleiben unverändert.

9.3.3 C/T

Das Grubenwasser im Oberkarbon erreicht bei ca. -600 m NHN im Norden auch die Basis der Emscher-Formation (s. Profil Ost in Abb. 45 und Profil Mitte in Abb. 46).

Die Grundwasserpotenziale im C/T werden langfristig weiter ansteigen. Ursache sind v. a. die Zuflüsse von Süden. Die Zuflüsse „von oben“ sind in Bereichen mit einer geringen und/oder fehlenden Deckgebirgsmächtigkeit relevant. Die finale Aufstiegshöhe im C/T (bei einem Grubenwasserstand bei -600 m NHN) dürfte im zentralen Bereich aber weiterhin bei deutlich unter -100 m NHN liegen.

9.3.4 Oberkarbon

Im Oberkarbon werden zunächst im Grubengebäude die zugelassenen -600 m NHN erreicht. Diese Wasserstände werden zunächst in den Schächten und offenen Grubengebäuden erreicht. Für die Aufsättigung (und Potenzialangleichung) des entwässerten Gebirges an die wassergefüllten Strecken werden ca. 50 Jahre veranschlagt.

In den Prognosemodellen (Box-Modell) wurde nur das Hohlraumvolumen abgeschätzt. Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung der Prognose mit den gemessenen Anstiegen. Dies zeigt, dass der Anteil des Porenvolumens in der Gesteinsmatrix gering ist.

9.4 Grubenwasseranstieg bis zu einem hydraulischen Ausgleich

9.4.1 Haltern-Formation

Die Grundwasserfließverhältnisse in der Haltern-Formation werden weiterhin von den Grundwasserentnahmen der Wasserwerke dominiert und diese werden sich nicht relevant verändern.

Solange die Potenziale in der Haltern-Formation (ca. 27 m NHN in den am tiefsten abgesenkten Brunnen in der Haard) deutlich höher sind als die Potenziale in den darunterliegenden Grundwasserleitern des C/T und des Grubengebäudes, ist eine Beeinflussung nicht möglich (s. hierzu auch Kap. 1).

Aber auch höhere Potenziale im Grubengebäude gegenüber der Basis der Haltern-Formation bedeuten **keinen** Grundwasserfluss (in messbarer Größenordnung), wenn es keine Fließwege durch die Emscher-Formation gibt.

9.4.2 Emscher-Formation

Die Grundwasserpotenziale in der Emscher-Formation bleiben unverändert.

Aber auch höhere Potenziale im Grubengebäude gegenüber der Emscher-Formation bedeuten keinen Grundwasserfluss (in messbarer Größenordnung), wenn es keine Fließwege im Emscher-Formation gibt.

9.4.3 C/T

Die Grundwasserpotenziale werden langfristig weiter ansteigen, da der Zustrom in das Oberkarbon sich mit abnehmenden Potenzialen weiter verringert. Der Endzustand ist unbekannt. Offene Fragen sind:

- Wie schnell erfolgt ein Wiederanstieg im C/T? Wie hoch ist der Endzustand? Erreicht die Potenzialfläche die Haltern-Formation?
- Bleibt bis zu einem hydraulischen Ausgleich ein Grundwasserpotenzialgefälle zum Oberkarbon bestehen? Oder steigt das Potenzial im Oberkarbon schneller als im C/T, weil die Wiederergänzung im C/T gering ist?
- Wie hoch war die Reichweite der Absenkung nach Norden außerhalb der Bergbauzone?
- Welche Schlussfolgerungen ergeben sich hinsichtlich weiterer Grundwassermessstellen?

Wenn die Durchlässigkeit des C/T und/oder die Anbindung an die südlichen Grundwasserneubildungsgebiete sehr gering ist, der C/T also ein mehr oder weniger isolierter Grundwasserkörper ist (worauf viele Daten und die oben formulierte Hypothese hindeuten), hätte dies auch Konsequenzen für einen Potenzialanstieg im Karbon, selbst auch über das Potenzial im C/T hinaus.

Der C/T hätte dann – ähnlich wie der Emscher-Formation und die Essen-Grünsand-Formation – auch eher die Funktion eines Grundwassergeringleiters bzw. einer stockwerkstrennenden Einheit.

9.4.4 Oberkarbon

Der Endzustand ist unbekannt.

Offene Fragen sind:

- Erreicht die Potenzialfläche die Basis der Haltern-Formation bzw. der Osterfeld-Subformation?
- Bleibt ein Grundwasserpotenzialgefälle zum C/T bestehen? (Dies ist wahrscheinlicher als umgekehrt.)
- Wie lange dauert die Aufsättigung und Potenzialangleichung zwischen Gebirge und Schächten?
- Wie hoch war die Reichweite der Absenkung nach Norden außerhalb der Bergbauzone?

Der Anstieg der Grundwasserpotenziale und ihre Höhe im Oberkarbon ist in den Lotungsstandorten messbar, aber nicht im C/T und in der Emscher-Formation. Eine Ausbreitung von Grubenwässern bei „undichten“ Schächten ist theoretisch in der trockenen Emscher-Formation denkbar, da es hier oft kein Grundwasserpotenzial gibt. Allerdings ist in der gering durchlässigen Emscher-Formation keine relevante Ausbreitung denkbar.

Innerhalb des C/T mit wahrscheinlich höheren Grundwasserpotenzialen als im Oberkarbon ist ebenfalls keine relevante Ausbreitung denkbar.

Aber auch bei einem Anstieg der Grundwasserpotenzialfläche bis in die Haltern-Formation und höheren Grundwasserpotenzialen im C/T erfolgt die Grundwasserströmung in Richtung Oberkarbon.

Selbst bei einem Anstieg der Grundwasserpotenzialfläche des Oberkarbons bis in die Haltern-Formation erfolgt kein Übertritt in die Haltern-Formation, da hier die Grundwasserpotenziale nochmals deutlich höher sind bzw. die Fließwege fehlen (s. hierzu auch Kap. 1).

10 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZUR ERRICHTUNG NEUER GRUNDWASSERMESSTELLEN

Die Errichtung von tiefen Grundwassermessstellen ist in zweierlei Hinsicht begründet:

- Überwachung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs.
Da in der jetzigen Phase bis zu einem genehmigten Grubenwasseranstieg bis ca. -600 m NHN der Grubenwasserstand noch sehr deutlich unterhalb der **Potenziale** des C/T (und erst recht der oberflächennahen Grundwasservorkommen) bleibt, sind keine grundwasserbezogenen Veränderungen in den überlagernden Grundwasservorkommen zu besorgen. Das tiefste Niveau erreicht die Haltern-Formation bzw. Recklinghausen-Formation nördlich von Haltern mit ca. -225 m NHN (Abb. 31). Neben der Haltern-Formation ist auch die Osterfeld-Subformation mit den Grundwasserentnahmen zu betrachten.
- Allerdings sollten dennoch frühzeitig hydrochemische Hintergrundwerte und Basisinformationen wie Druckpotenziale erhoben werden, um ggf. spätere Veränderungen aufzeigen und bewerten zu können.
- Überwachung tGWK zur Umsetzung der EU-WRRL:
Zur Ermittlung des Ausgangszustands und zur Zielüberwachung des guten chemischen und mengenmäßigen Zustands können tiefe Grundwassermessstellen erforderlich sein. Sinnvollerweise übernehmen tiefe Grundwassermessstellen eine Doppelfunktion.

Die bislang diskutierten Grundwassermessstellen sind in der Abb. 42 dargestellt.

Trotz der Auswertungen der umfangreich vorliegenden Daten, Gutachten und sonstigen Informationen aus der langen Bergbaugeschichte und den aktuellen Bohrungen und Grundwassermessstellen im C/T können viele wichtige Fragen (noch) nicht zufriedenstellend beantwortet werden:

- Welche hydraulischen Eigenschaften und Funktion hat der C/T in der Vor-Bergbau Phase, während des Bergbaus der nahen Zukunft (Anstieg bis ca. -600 m NHN) und in einer fernen Zukunft (hydraulischer Ausgleich)?
- Wie ist der Absenkungsschwerpunkt der Grundwasserstände im C/T zu interpretieren?
- In welcher Höhe erfolgt eine Wiedergängung des C/T aus dem Deckgebirge, von Süden und von Norden?

10.1 Vorschläge für neue Grundwassermessstellen

Aufgrund der in Kapitel 9 aufgeführten Wirkungszusammenhänge wird die Errichtung von drei neuen tiefen Grundwassermessstellen im C/T und einer

Messstelle im Karbon vorgeschlagen (vier von sieben vorgeschlagenen Grundwassermessstellen).

Drei weitere, vorgeschlagene Grundwassermessstellen sollen zunächst zurückgestellt werden, bis ein Grundwassermodell vorliegt (und ggf. bereits die 4 neuen Grundwassermessstellen errichtet wurden).

Allerdings können für deutlich geringere Kosten als für eine Messstelle durch ein Grundwassermodell erheblich mehr Erkenntnisse über den bisherigen Verlauf der bergbaulichen Wasserhaltung und einen Wiederanstieg erlangt werden.

Tab. 9: Überblick über die vorgeschlagenen Grundwassermessstellen und die jeweiligen Zielformationen

Nr.	Name	Tiefe [m]	Zielformationen	Ziele und Erläuterung
1a	Lohberg		C/T	Im Westen liegen bislang keine Messungen im C/T vor, der hier am Rand der Verbreitungsgrenze ist. Es werden hier ähnliche Informationen wie an der GWM Ost 5 erwartet (erwartetes Potenzial: -100 m NHN). Dann Entscheidung über eine weitere Messstelle im Bereich der Osterfeld-Subformation. Angaben über die Grundwasserstände in der Osterfeld-Subformation liegen der ahu nicht vor.
3a 3b	Haltern	-800	C/T Karbon	Falls diese beiden Messstellen außerhalb des Bergbaueinflusses liegen, sollten die Potenziale im C/T und im Karbon wieder deutlich höher, ggf. im Bereich der Ausgangswasserstände liegen. Falls diese Messstellen noch im Einflussbereich des Bergbaus liegen, sollten die Potenziale ähnlich niedrig sein wie die bereits bekannten Potenziale (Abb. 36). Je höher die Absenkung im C/T, desto größer kann auch der GwStrom von Norden angenommen werden. Auf Basis der Ergebnisse sollte über weitere Messstellen in der Haltern-Formation entschieden werden.
4	Sachsen	-600	C/T	Der ahu GmbH ist bislang keine Messung der Potenziale in der ehemals artesischen Zone im C/T bekannt*. Aufgrund der höheren abgeschätzten Durchlässigkeit im C/T könnten hier die Potenziale bereits wieder sehr hoch angestiegen sein.
zurückgestellte Grundwassermessstellen				
2	Wulfen	-750		Am Rande der Bergbauzone. Es werden zurzeit keine grundlegenden neuen Ergebnisse erwartet. erwartetes Potenzial: -100 m NHN
5	Prosper	?	C/T	ähnliche Ergebnisse wie bei der neu zu erstellenden GWM 1 erwartet
6	Haard	-750	C/T	Es werden zurzeit keine grundlegenden neuen Ergebnisse erwartet. Das Potenzial sollte zwischen dem der Messstellen Waltrop 2 und Pferdekamp ³¹ liegen (ca. -250 m NHN).

* Das Grubenwasser in den BW (z. B. Maximilian Schächte) ist wieder artesisch angestiegen. Über die Wasserstände im C/T selbst liegen jedoch nach unserem Kenntnisstand keine Informationen vor. Falls dies doch der Fall sein sollte, kann auf diese Messstelle verzichtet werden.

³¹ Zur Diskussion der derzeit gemessenen Grundwasserstände siehe Abschnitt 8.3.

10.2 Untersuchungsparameter tiefe Grundwassermessstellen

Die (Spül-)Wasserstände sind während der Bohrung und unmittelbar nach Fertigstellung der Messstelle zu messen. Auch die Phase des Absinkens der (Spül-)Wasserstände nach Fertigstellung der Messstelle sind wichtig! Insbesondere auch Spülungsverluste, Bohrfortschritte (Hohlräume) und Gasaustritte sind zu registrieren.

Die bisherigen Ergebnisse sowie laufende Forschungen wurden in Abschnitt 4.4.4 ausführlich beschrieben. Für das hydrochemische Monitoring wurden bislang die Kataloge und Parameter gemäß dem Diskussionsstand im Integralen Monitoring vorgeschlagen. Hierzu ergeben sich folgende Anmerkungen:

Um einen Einfluss der Grubenwässer eindeutig im C/T feststellen zu können, müssen zunächst bestimmte Bedingungen erfüllt sein:

- Damit Grubenwässer im C/T überhaupt auftreten können, müssen zunächst die Potenziale im Grubenwasser deutlich höher sein als die Potenziale im C/T (siehe Abschn. 4.4.4, Abb. 45 und Abb. 46). Von daher ist die jährliche Messung von PCB, PFAS nicht zu begründen. Sie könnten einmalig zur Charakterisierung mitgemessen werden (Nullmessung).
- Lithium-Konzentrationen und die Strontiumisotopie können, gemäß den laufenden Forschungen der THGA, mögliche Tracer/Umwelttracer (Fingerprinting) sein (s. Abschn. 5.4.4). Wenn diese Parameter genutzt werden sollen, müssen sie ins hydrochemische Grundwassermonitoring aufgenommen werden (Gespräch mit Herrn Jasnowski-Peters vom 02.02.2023).
- Da es sich bei der Beprobung in den tiefen Grundwassermessstellen um eine Schöpfprobenahme handelt, sollte auch der Wasserbedarf je Probe berücksichtigt werden.

10.3 Vorschlag zum Aufbau eines numerischen Grundwassermodells

Für die Aufstellung und Überprüfung von Arbeitshypothesen über die instationäre Entwicklung der Grundwasserstände und Volumenströme im bergbaubeeinflussten Gebirge über die letzten 200 Jahre (und die Zukunft) ist die Aufstellung eines numerischen Grundwassermodells zielführend.

Das Modellgebiet sollte das gesamte Münsterländer Becken umfassen. Möglicherweise ist die Abgrenzung von bergbaulichen oder wasserwirtschaftlichen Teilprovinzen sinnvoll.

Folgende Arbeitshypothesen könnten mit dem numerischen Grundwassermodell quantifiziert und plausibilisiert werden (s. hierzu auch Kap. 1):

- Woher und in welchen Anteilen stammen die Grubenwässer? Zustrom aus Süden? Zustrom aus Norden unter dem Münsterländer Becken hinweg? Aus dem Deckgebirge? Aus dem Karbon? Bergbauübergreifende (Gruben-)Wasserbilanz (vgl. Abschn. 8.1.3.2)?

- Welche Potenzialverteilung ergibt sich über die Zeit? Gab es Bereiche/Bergwerke ohne artesische Potenziale?
- Was sagt das über das vor- und nachbergbauliche Grundwasserfließsystem aus?
- Wie gut ist der C/T an das hydrogeologische System angebunden? Hat der C/T – ähnlich wie die Emscher-Formation – auch eher die Funktion eines Grundwasserstauers bzw. einer stockwerkstrennenden Einheit?
- Welche Bedeutung hat die Essen-Grünsand-Formation?
- Wie würde ein hydraulischer Ausgleich im Grundgebirge und im C/T aussehen?
- Wo wäre die Errichtung von tiefen Grundwassermessstellen besonders sinnvoll? Wie wären die Messwerte zu interpretieren (Frühwarnsystem)?

11 AUSBLICK

Auf der Basis historischer Zustände vor bzw. beim Auffahren der BW und den aktuellen Messungen in den bislang errichteten tiefen Grundwassermessstellen wurde eine hydrogeologische Hypothese zum großräumigen Grundwasserfließsystem im C/T entwickelt, die auch für das Verständnis der zukünftigen Entwicklung der Grubenwasserstände wichtig ist.

Neben der Errichtung von 4 neuen Grundwassermessstellen und der Zurückstellung von drei weiteren Grundwassermessstellen wird v. a. die Aufstellung eines großräumigen Grundwassermodells empfohlen, das erlaubt, die historische Entwässerung im Bergbau nachzuvollziehen und verschiedene Hypothesen für den zukünftigen Grubenwasseranstieg zu erstellen und zu überprüfen sowie mögliche Handlungsoptionen zu definieren, sodann deren Annahmen zu validieren/quantifizieren und Hinweise für weitere Grundwassermessstellen und ein zielgerichtetes Monitoring zu geben.

12 LITERATUR

- Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Geologie und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland: die Grundwasserleitung: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. Geologisches Jahrbuch. Heft 163. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) E. Schweizerbart'schen Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Hannover Stuttgart.
- ahu GmbH (2012): Fracking in unkonventionellen Erdgas-Lagerstätten in NRW. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Aachen.
- ahu GmbH (2018): Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil 2. Endbericht. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Aachen. Online: <http://www.umweltauswirkungen-utv.de/> (07.03.2024).
- ahu GmbH (2017): Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruchhohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil 1. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Aachen. Online: <http://www.umweltauswirkungen-utv.de/> (07.03.2024).
- Bannick, C., B. Engelmann, R. Fendler, J. Frauenstein, H. Ginzky, C. Hornemann, O. Ilvonen, B. Kirschbaum, G. Penn-Bressel, J. Rechenberg, S. Richter, L. Roy und R. Wolter (2008): Grundwasser in Deutschland. Reihe Umweltpolitik. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin.
- Bezirksregierung Arnsberg und Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (2022): Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen Bericht des Jahres 2021. Düsseldorf. Online: <https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/ergebnisse#gallery304> (11.03.2024).
- Coldewey, D. W. G. (2011): Gas im Münsterland – Gefahren und Nutzung. Bad Zwischenahn.
- Coldewey, W. G. (2021): Gutachterliche Stellungnahme über die Auswirkung des neuen Grubenwasseranstiegsniveaus in der Grubenwasserprovinz Carolinenglück der RAG AG im Hinblick auf die vorhandenen Wasserversorgungsanlagen. 5432923/A17/DA. Münster.
- Coldewey, W. G. und S. Babilinski (2019): Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in der Grubenwasserprovinz Concordia der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg. 5406152/A17/DA. Münster.

- Coldewey, W. G. und D. Wesche (2018): Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in den Grubenwasserprovinzen Zollverein und Amalie der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg. 5354008/B23/DA. Münster.
- Coldewey, W. G. und D. Wesche (2017): Hydrogeologische und gesteinsphysikalische Eigenschaften der Emscher-Formation im Hinblick auf den Steinkohlenbergbau des Ruhrgebietes. Grundwasser 22 (3): 175-183.
- Coldewey, W. G., D. Wesche und I. Hollenbeck (2018): Gutachterliche Stellungnahme über die Grundwassernutzung durch Brunnen in den Grubenwasserprovinzen Prosper-Haniel und Lohberg der RAG AG im Hinblick auf den geplanten Grubenwasseranstieg. 5355652/B23/DA. Münster.
- Denneborg, M. (2001): Einfluss regionaler Grundwasserfließsysteme auf die Initialphase der Speleogenese tiefer Karstsysteme. Dissertation. RWTH Aachen. Aachen.
- Dölling, M. und B. Dölling (2020): Neues zur Geologie der Haltern-Formation im westlichen Münsterland.
- Dreybrodt, W. (1988): Processes in karst systems: physics, chemistry and geology. Springer series in physical environment. Springer. Berlin.
- Driesen, B., M. Koch, G. Michel, O. Stehn und V. Wrede (1990): Geologische Karte von Nordrhein- Westfalen 1:100 000, Erläuterungen zu Blatt C 4310 Münster. Krefeld.
- Emons, H.-H. und H.-H. Walter (1988): Alte Salinen in Mitteleuropa: Zur Geschichte der Siedesalzerzeugung vom Mittelalter bis zur Gegenwart. 1. Auflage. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.
- Entenmann, W. und H. Pulkowski (2020): Ehemaliges Werksgelände der Wasagchemie Sythen. Bohrarbeiten und Grundwassermonitoring 2019. Kiel.
- EWEN (2012): Risikostudie Fracking – Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Quellen. Online: <https://www.team-ewen.de/publication/risikostudie-fracking-sicherheit-und-umweltvertraeglichkeit-der-fracking-technologie> (08.03.2024).
- Fessner, M. (1998): Steinkohle und Salz: Der lange Weg zum industriellen Ruhrrevier. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 73. Dt. Bergbau-Museum. Bochum.
- GD NRW (2016): Geologie und Boden in Nordrhein-Westfalen. 1. Auflage. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb. Krefeld.
- Genth, V. T., J. Sessing, H. Jasnowski-Peters, B. Dölling und C. Melchers (2021): Erste Ergebnisse der Sedimentanalyse der Emscher-Formation in der Bohrung Waltrop 1 unter besonderer Berücksichtigung der Tonmineralogie.

- G.E.O:S. Ingenieurgesellschaft mbH (2017): Überprüfung der Aussagen zur Entwicklung der Mineralisation der Grubenwässer im Zuge des Grubenwasseranstieges im nordrheinwestfälischen Steinkohlerevier im Bereich des ehemaligen Bergwerks Ost. 30160162. Freiberg.
- Geyh, M. A. und G. Michel (2000): Nachhaltige Bewirtschaftung des gespannten und gepumpten Karstgrundwasservorkommens im Paderborner und Bielefelder Raum nach isotopenhydrologischen Ergebnissen. 51: 53.
- Grobe, M. und H. G. Machel (2002): Saline groundwater in the Münsterland Cretaceous Basin, Germany: clues to its origin and evolution. *Marine and Petroleum Geology* 19 (3): 307-322.
- GRS (1998): Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände in dauerhaft offene Gruberräume im Festgestein. GRS-140. Abschlussbericht. Köln.
- Hahne, C., R. Schmidt und W. Müller (1982): Die Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes: Einführung in das Steinkohlengebirge und seine Montangeologie. Verlag Glückauf. Essen.
- Harnischmacher, S. (2007): Salzgewinnung in Westfalen: 144-145.
- Hermann, W. und G. Hermann (2008): Die alten Zechen an der Ruhr: Vergangenheit und Zukunft einer Schlüsseltechnologie ; mit einem Katalog der „Lebensgeschichten“ von 477 Zechen. Die Blauen Bücher. 6., um einen Exkurs ... erw. und in energiepolitischen Teilen aktualisierte Aufl. Auflage. Langewiesche Nachf. H. Köster. Königstein im Taunus.
- Hewig, R., J. G. ten Thoren, T. Raabe und P. Rüterkamp (2006): Ermittlung des wasserwirtschaftlichen Konfliktpotenzials und Entwicklung eines Monitoring-Systems für den Wiederanstieg von Grubenwässern. FE 0274 0000. F+E-Vorhaben. DMT. Essen.
- Höltling, B. und W. G. Coldewey (2019): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Auflage. Springer Spektrum. Berlin [Heidelberg].
- Huske, J. (2006): Die Steinkohlenzechen im Ruhrrevier: Daten und Fakten von den Anfängen bis 2005. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. Nr. 144. 3., überarb. und erw. Auflage. Selbstverl. des Dt. Bergbau-Museum. Bochum.
- Jäger, B., P. Obermann und F. L. Wilke (1991): Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen. 91 (2): 72.
- Jasnowski-Peters, H. und C. Melchers (2021): Natural Tracers For Mine Water Fingerprinting – A First Step To A Hydrogeochemical Monitoring Plan For Risk Assessment During Mine Water Rebound In The Ruhr District Area, Germany.

- Jasnowski-Peters, H. und C. Melchers (2022a): Mine Water Rebound in the Former Hard Coal Mining Area of the Ruhr District – Hydrogeochemical Monitoring for a Sustainable, Ecological and Economical Feasible Post-Mining Approach. 158 (4): 333–343.
- Jasnowski-Peters, H. und C. Melchers (2022b): Natural Tracers For Mine Water Fingerprinting II – a multi tracer approach to unravel underground fluid movements during Mine Water Rebound in the Ruhr District Area.
- Klinger, C. und M. Eckart (2015): Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost. EG-HW-2015-002. Essen.
- Klinger, C., M. Eckart, P. Rüterkamp und T. Steinmetz (2019): Einfluss eines Wasseranstiegs durch Einstellung der Wasserhaltungen Zollverein, Carolinenglück, Amalie und AV auf die PCB- und sonstige Stoffgehalte im Grubenwasser. GEE4-2018–02359. Essen.
- Klinger, C., M. Eckart und T. Steinmetz (2017): Prognose für eine Wasserhebung Wasserprovinz Ost auf dem Standort Haus Aden im Niveau -600 mNN. GEE5-2016–01244. DMT. Essen.
- Klinger, C. und N. Pollmann (2023): Konzept zum PCB-Monitoring in Schächten des Ruhrreviers. CME2-2021–00597. Essen.
- Klinger, C., N. Pollmann und L. Karimzadeh (2023): Wasseranstieg Wasserprovinz Haus Aden -380 mNHN (Entwurf). CME2-2020–01155. Essen.
- Klinger, C. und P. Rüterkamp (2020): Konzept zum Monitoring Hydrochemie in der Wasserprovinz Haus Aden. GEE4-2019–01361. Essen.
- Kukuk, P. (1938): Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. In: Kukuk, P. (Hrsg.) (1938): Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes: Tafelband. Berlin, Heidelberg: 1-3. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-642-50662-8_1 (08.03.2024).
- LAWA (2019): LAWA-Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung 2019 Aktualisierung und Anpassung der LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie, Teil 3, Kapitel II.1.2 – Grundwasser – beschlossen auf der 158. LAWA-Vollversammlung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Jena.
- Michel, G. (1983): Sole im Münsterland – Woher, Wohin? 35: 66-76.
- Michel, G. (1965): Zur Mineralisation des tiefen Grundwassers in Nordrhein-Westfalen, Deutschland. Journal of Hydrology 3 (2): 73-87.
- Michel, G., U. Adams und G. Schollmayer (1998): Mineral- und Heilwässervorkommen in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. Krefeld
- Michel, G. und W. Struckmeier (1985): The Cretaceous Basin of Munster, a general groundwater system in response to multiple impact (water supply, spas, deep mining). 18 (2): 150-159.

- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2021): Hintergrundpapier Steinkohle Begründung für die Inanspruchnahme von Ausnahmen von den Bewirtschaftungszielen. Düsseldorf.
- Mittelstädt, P., N. Pollmann, L. Karimzadeh, H. Kories und C. Klinger (2023): Wastes in Underground Coal Mines and Their Behavior during Mine Water Level Rebound – A Review. Minerals 13 (12): 1496.
- Obermann, P. (1966): Die hydrogeologischen Möglichkeiten für die Versenkung von Solen und Oberflächenwasser im Bereich des Ruhrgebietes. TU Bergakademie Freiberg. Freiberg.
- Ottenjann, M.-B., S. Kons, J. Meßer, F. Werner, M. Getta und P. Göbel (2022): Rekonstruktion des Druckpotenzials für den unteren Grundwasserleiter im Münsterländer Kreidebecken im Falle eines ungehinderten Grubenwasseranstiegs im Grundgebirge. Grundwasser 27 (1): 15-28.
- Philipp, K. (2001): Beim Bohren nach Kohle sprudelte am Grull Sole. In: Kreis Recklinghausen (Hrsg.) (2001): Beiträge zur 132jährigen Geschichte des Steinkohlenbergbaus in Recklinghausen. Recklinghausen: 27-29.
- RAG AG (2014): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen. Herne. Online: https://geodaten.rag.de/bid/tree/GenV/Grubenwasserkonzept%20NRW/Konzept_Grubenwasserhaltung.pdf.
- RAG AG (2021): Konzept „Tiefe Pegel“ der RAG AG. Düsseldorf.
- Sauter, M., R. Helmig, K. Schetelig, K. Brosig, T. Lange, A. Kissinger, A. Ebigbo, M. Heitfeld, J. Klünker und B. Paape (2012): Abschätzung der Auswirkungen von Fracking-Maßnahmen auf das oberflächennahe Grundwasser – Generische Charakterisierung und Modellierung –. ExxonMobil Production Deutschland GmbH. Hannover. Online: <https://www.davids-mythe.org/fracking/main%20report%20estimation%20of%20risks%20gutachten-georisiken-fracking-infodialog.pdf> (08.03.2024).
- Schetelig, K., M. Heitfeld, P. Rosner und B. Paape (2007): Gutachten zu den möglichen Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier auf die Schutzgüter und den daraus resultierenden Monitoring-Maßnahmen. Aachen.
- Schöpel, M. (2019): Erbstollen des Altbergbaus auf Steinkohle und deren Auswirkungen auf die Wasserqualität der unteren Ruhr unter Berücksichtigung der Grubenwassereinleitungen der Ruhrkohle AG. Bochum.
- Struckmeier, W. (1990): Wasserhaushalt und hydrologische Systemanalyse des Münsterländer Beckens. Wasser und Abfall. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Online: <https://books.google.de/books?id=ar58tgAACAAJ>.

- ten Thoren, J. G. (2022): Bericht zum Monitoring tiefer Grundwassermessstellen im Jahr 2021. GEOK GmbH. Kamen.
- ten Thoren, J. G. (2023): Bericht zum Monitoring tiefer Grundwassermessstellen im Jahr 2022. GEOK GmbH. Kamen.
- Wegner, T. (1924): Das Auftreten von Kohlenwasserstoffen im Bereiche des westfälischen Karbons. 60 (30): 631-642.
- Weidner, C. und S. Bergmann (2020): Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in NRW im Kontext wasserrechtlicher Verfahren. LANUV-Fachbericht 106. Synthesebericht zum Workshop vom 11. und 27. März 2020 im LANUV. LANUV NRW. Recklinghausen.
- Wesche, D. (2022): Abgrenzung und Charakterisierung tiefer Grundwasserkörper im Ruhrrevier und Ibbenbürener Revier. 5. Sitzung der KG Wasser des Integralen Monitorings.
- Wesche, D. (2022): Gemeinsame Besprechung zu tiefen Grundwassermessstellen und Grundwasserkörpern im Ruhrrevier.
- Westermann, S. (2020): Modellbasierte Sensitivitätsanalyse systembestimmender Faktoren eines Grubenwasseranstiegs in Untertagebergwerken mittels statistischer Versuchsplanung. Berichte zum Nachbergbau. Heft 2. Papierflieger Verlag GmbH. Clausthal-Zellerfeld.
- Wisotzky, F., N. Cremer und S. Lenk (Hrsg.) (2021): Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung: Grundlagen, Anwendungen und Problemlösungen. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg. Online: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-662-62755-6> (30.01.2024).
- Wolkersdorfer, C. (2021): Reinigungsverfahren für Grubenwasser. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg. Online: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-61721-2> (30.01.2024).
- Wrede, V. (2016): Schiefergas und Flözgas Potenziale und Risiken der Erkundung unkonventioneller Erdgasvorkommen in Nordrhein-Westfalen aus geowissenschaftlicher Sicht. Scriptum 23. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen. Krefeld. Online: https://www.gd.nrw.de/pdf/Scriptum23_scr.pdf (07.03.2024).

Aachen, Juni 2024

i. V.
Dr. M. Denneborg

i. A.
Dr. U. Boester