

Abschlussbetriebsplan

des

Steinkohlenbergwerks Ibbenbüren

Anlage 16

**Untersuchungen und geohydraulische Modellierung
der zu erwartenden Auswirkungen des
Grubenwasseranstiegs im Ostfeld des Bergwerkes
Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH**

Untersuchung und geohydraulische Modellierung der zu erwartenden Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Ostfeld des Bergwerkes Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH

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

Auftrag: Auftrag vom 16.01.2017

Bestellnummer: 5302375/IO7/VE

Prof. Dr. Coldewey GmbH: Prof. Dr. W. G. Coldewey
M. Sc. Iris Hollenbeck
B. Sc. Stefan Babilinski

Mit der Unterbeauftragung von

DMT GmbH & Co. KG: Dipl.-Math. Holger Kories
Dipl.-Geol. Holger Stubbe
M. Sc. Viktoria Kaul

Datum: 21.12.2018

Dieses Gutachten besteht aus 117 Seiten, 20 Anlagen und einer Daten-CD.



Inhalt

1.	Aufgabenstellung und Veranlassung	5
2.	Überblick	7
2.1	Geographischer Überblick	7
2.2	Oberflächengewässer	8
2.3	Niederschläge	9
2.4	Lagerstättenkundlicher Überblick.....	10
2.4.1	Steinkohlenbergbau	10
2.4.2	Erzbergbau.....	11
2.4.3	Gewinnung von Steinen und Erden.....	12
3.	Geologie	16
3.1	Geologischer Überblick.....	16
3.2	Stratigraphie	18
3.2.1	Paläozoikum	18
3.2.1.1	Karbon	18
3.2.1.2	Perm (Zechstein).....	19
3.2.2	Mesozoikum	20
3.2.2.1	Trias	20
3.2.2.2	Jura	22
3.2.2.3	Kreide.....	23
3.2.3	Quartär	23
3.2.3.1	Fluviatile Ablagerungen.....	24
3.2.3.2	Moorbildungen.....	25
3.2.3.3	Glazigene Ablagerungen.....	25
3.3	Tektonik	27
3.3.1	Tektonik der Karbon-Scholle	27
3.3.2	Tektonik des Karbon-Vorlandes	30
3.3.3	Erdfälle im Karbon-Vorland	32
4.	Hydrologie.....	35
4.1	Natürliche Gewässer.....	35
4.1.1	Bestehende Gewässer	35
4.1.2	Ehemalige Gewässer	36



4.2	Kanäle	39
4.3	Stollen	39
4.4	Gewässergüte vor dem Grubenwasseranstieg	40
4.4.1	Ibbenbürener Aa.....	40
4.4.2	Weitere Fließgewässer	42
5.	Hydrogeologie	44
5.1	Hydrogeologischer Überblick.....	44
5.2	Hydrochemie.....	48
5.3	Grundwassernutzung.....	50
5.3.1	Quellen	50
5.3.2	Grundwasserentnahmen.....	52
5.3.3	Wasserschutzgebiete	55
5.3.4	Vorkommen und Nutzung mineralisierter Grundwässer	56
5.4	Grubenwasserhaltung.....	58
6.	Ermittlung der Grundlagen für das numerisches Grundwasserströmungsmodell	62
6.1	Grundlagen	62
6.1.1	Datenbeschaffung	62
6.1.2	Archiv.....	62
6.1.3	Geländearbeiten.....	64
6.1.3.1	Kartierungen und Vermessungen.....	64
6.1.3.2	Bohrarbeiten	65
6.1.3.3	Geohydraulische Untersuchungen	68
6.1.4	Laborarbeiten	70
6.1.5	Berechnung der Grundwasserneubildung.....	71
6.1.6	Erstellung des Grundwassergleichenplanes.....	73
7.	Erstellung des numerischen Grundwasserströmungsmodelles.....	75
7.1	Generelle Vorgehensweise bei einer numerischen Grundwasserströmungsmodellierung	75
7.2	Hydrogeologische Modellvorstellung und geohydraulisches Gesamtsystem	77
7.3	Aufbau des numerischen Grundwasserströmungsmodelles.....	80
7.3.1	Diskretisierung.....	80
7.3.2	Randbedingungen	81
7.3.3	Modelleingangsdaten.....	84



8.	Modellkalibrierung.....	89
9.	Modellrechnung zum Grubenwasseranstieg	97
10.	Zusammenfassung und Empfehlungen.....	112
11.	Quellenverzeichnis.....	114
	Anlagen (Karten).....	118

Anhang

Daten-CD zu den Bohrungen, den geohydraulischen Untersuchungen und den hydrochemischen Untersuchungen.



Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Topographische Übersichtskarte
- Anlage 2: Karte der Tagesöffnungen
- Anlage 3: Karte der Schächte und Stollen
- Anlage 4: Karte der Steine und Erden-Abbaubetriebe
- Anlage 5: Geologische Karte der oberflächennahen Gesteinseinheiten
- Anlage 6: Geologische Karte (Quartär abgedeckt)
- Anlage 7: Geologische Schnitte des Karbon-Vorlandes (DROZDZEWSKI 1985, Schnitte 1 und 2)
- Anlage 8: Geologische Schnitte des Karbon-Vorlandes (DROZDZEWSKI 1985, Schnitte 3 und 4)
- Anlage 9: Geologische Schnitte des Karbon-Vorlandes (DROZDZEWSKI 1985, Schnitte 5 und 6)
- Anlage 10: Hydrologische Karte
- Anlage 11: Karte der Grundwassermessstellen
- Anlage 12: Karte der Grundwasserentnahmen
- Anlage 13: Karte der Bohrungen für die geohydraulischen Untersuchungen
- Anlage 14: Finite-Elemente-Netz und Randbedingungen
- Anlage 15: Vertikaler Modellaufbau - Schnitt
- Anlage 16: Ergebnisse der Kalibrierung - Berechnete Grundwassergleichen und Abweichungen
- Anlage 17: Ergebnisse der Kalibrierung - Flurabstände im Ausgangszustand
- Anlage 18.1: Ergebnisse der Kalibrierung - Durchlässigkeitsbeiwerte im Quartär
- Anlage 18.2: Ergebnisse der Kalibrierung - Durchlässigkeitsbeiwerte im Mesozoikum/Karbon
- Anlage 19: Ergebnisse der Modellvariante zum Grubenwasseranstieg - Grundwassergleichen und Grundwasserstandsveränderungen
- Anlage 20: Ergebnisse der Modellvariante zum Grubenwasseranstieg - Flurabstände und Veränderungsbereiche



1. Aufgabenstellung und Veranlassung

Ende 2018 wird der Steinkohlenabbau im Ostfeld des Bergwerkes (BW) Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH eingestellt. Nachfolgend ist geplant, das Grubenwasser auf ein tagesnahes Niveau ansteigen zu lassen. Hierbei wird ein Niveau von +63 m NHN angestrebt, das durch eine angepasste Grubenwasserhaltung gewährleistet werden soll.

Für den Bereich der Karbon-Scholle existiert bereits ein Grubenwassermodell (Programmsystem Boxmodell) der DMT GmbH & Co. KG, Essen, das das Westfeld, das Ostfeld und den Zwischenbereich Bockradener Graben umfasst. In dem Modell sind die verschiedenen Zuflüsse zu der Grubenwasserhaltung aus dem tagesnahen Bereich im Hangenden des BW Ibbenbüren, Tiefenzuflüsse und laterale Grundwasserzuflüsse abgebildet. Das Grubenwassermodell ist durch die Karbon-Randverwerfungen begrenzt (Abbildung 7).

Mit Schreiben vom 16.01.2017 wurde die Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen von der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH beauftragt, die Auswirkungen des Grubenwasseranstieges auf die Grundwasserverhältnisse außerhalb der Karbon-Scholle zu untersuchen. Das numerische Grundwasserströmungsmodell (Programmsystem Spring) wird hierbei von der DMT GmbH & Co. KG, Abteilung Hydrogeologie & Wassermanagement, Essen erstellt. Das Gebiet innerhalb der Karbon-Scholle wurde aufgrund eines Nachtragsauftrages ebenfalls in das Modell integriert (Abbildung 1). Die Grundwasserneubildung wurde durch die Lippe Wassertechnik GmbH, Essen berechnet.

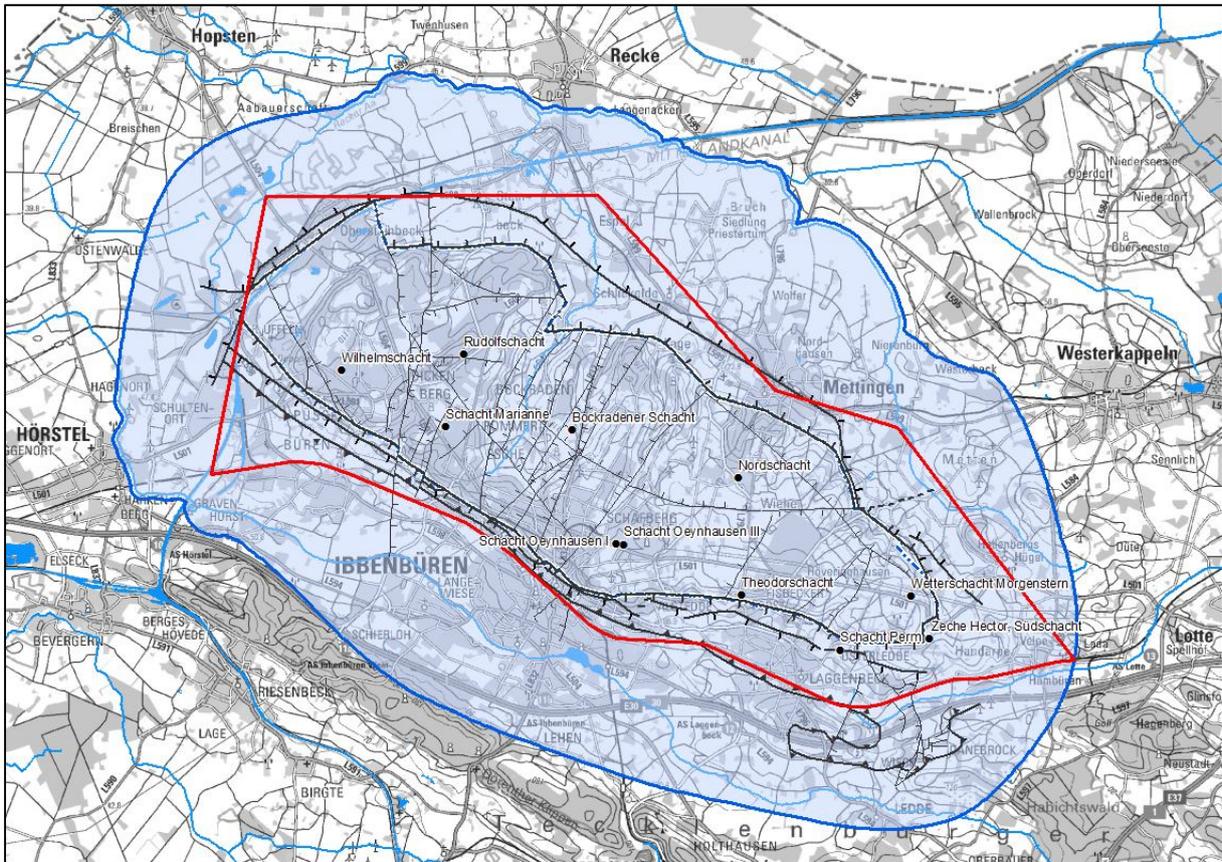


Abbildung 1: Modellgebiet (hellblau) und Bergwerksgrenzen (rot).



2. Überblick

Die Ibbenbürener Karbon-Scholle stellt aufgrund ihrer Genese und ihres isolierten Vorkommens von Gesteinen des Perm, Karbon und Mesozoikum eine Besonderheit dar. Der Abbau der Vorkommen von Steinkohle, Erz sowie Steinen und Erden hat die Landschaft geprägt.

2.1 Geographischer Überblick

Das BW Ibbenbüren ist das nördlichste Steinkohlenbergwerk Deutschlands und wird von der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, einem Tochterunternehmen der RAG AG, betrieben. Es besitzt mit dem sogenannten Glücksburg-Reservat eine aktuelle Grubenfeldfläche von ca. 93 km².

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 506 km², mit einer Ausdehnung von 22,5 km x 22,5 km (Anlage 1) und beinhaltet die Gebiete der Stadt Ibbenbüren im zentralen Bereich, im Norden die der Gemeinden Hopsten, Recke, Mettingen und Westerkappeln (von West nach Ost), im Westen die der Kleinstadt Hörstel mit ihren Ortschaften sowie im Südosten die der Gemeinde Tecklenburg. Das Modellgebiet (Abbildung 1) umfasst eine Fläche von 197 km².

Die Ibbenbürener Steinkohlenlagerstätte tritt als Horststruktur der Karbon-Schichten morphologisch deutlich als Höhenrücken aus dem Umland hervor und wird daher als Ibbenbürener Karbon-Scholle bezeichnet (Abbildung 2). Die gesamte Struktur überragt das umliegende Gelände um bis zu 100 m und lässt sich morphologisch in drei Bereiche gliedern.

Der westliche Bereich wird als Dickenberg bezeichnet und besitzt eine Höhe von ca. +142 m NHN (Abbildung 2). Im östlichen Teil befindet sich der Schafberg mit einer Höhe von bis zu ca. +174 m NHN. Zwischen diesen beiden Bereichen liegt der Bockradener Graben, der am Gartenberg eine Höhe von ca. +110 m NHN erreicht. Die Ibbenbürener Karbon-Scholle steigt überwiegend steil aus dem flachen Vorland auf. Die nach Norden entwässernden Bäche prägen die Morphologie der Karbon-Scholle.

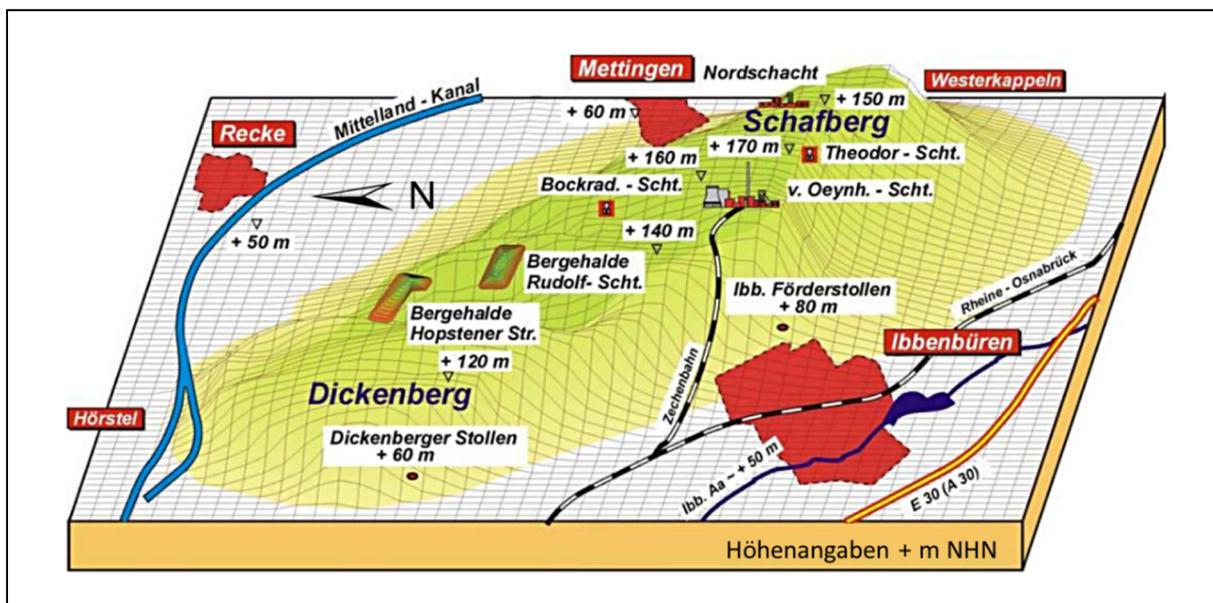


Abbildung 2: Blockbild der Ibbenbürener Karbon-Scholle mit Blick nach Osten (nach GOERKE-MALLET 2000).

Das Hochplateau weist eine elliptische Form mit einer NW-SE gerichteten Längserstreckung von ca. 15 km sowie einer Breite von ca. 5 km auf und umfasst eine Fläche von ca. 55 km². Der südwestliche Hang fällt steil in das ca. 3,5 km breite Tal der Ibbenbürener Aa ab. Nach Süden schließt sich der Höhenrücken des Teutoburger Waldes an, der durch die steil aufragenden Schichten der Unter- und Oberkreide aufgebaut wird (Anlage 5). Die Schichten des Teutoburger Waldes treten ca. 8 km westlich von Ibbenbüren zu Tage und stellen sowohl geologisch als auch morphologisch die Grenze zum flachen Kernbereich des Münsterländer Kreidebeckens dar. Der nordöstliche Hang der Ibbenbürener Karbon-Scholle ist weniger steil als der südwestliche Hang und geht in die Norddeutsche Tiefebene über.

2.2 Oberflächengewässer

Die Ibbenbürener Karbon-Scholle ist umrandet von der Ledder/Ibbenbürener/Hörsteler Aa im Süden, der Mettinger/Recker/Hopstener Aa im Norden sowie deren Nebenbächen, die alleamt in die Ems münden. Auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle existiert eine Vielzahl kleinerer Bäche (von West nach Ost: Schulbach, Strootbach, Pölkenbach, Fahlbach, Ölmühlenbach und Köllbach/Mettinger Mühlenbach), die nach Norden bzw. Nordosten der Mettinger/Recker Aa



zufließen. Die Bäche am südlichen Hang der Karbon-Scholle fließen in die Ibbenbürener Aa, die sich bei Spelle mit der Hopstener Aa verbindet. Ein Teilgebiet im Südosten des Hochplateaus befindet sich im Einzugsgebiet der Hase, die bei Meppen in die Ems mündet.

Die Schüttung der Quellen Die Quellschüttungen der Bäche auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle ist teilweise durch bergbauliche Tätigkeit beeinträchtigt worden. Einige Quellen haben nach der Stilllegung des Westfeldes ihre Schüttung wieder aufgenommen. Die nicht beeinflussten Quellen befinden sich hauptsächlich am Nord- und Nordostrand des Ibbenbürener Karbon-Scholle (DOMALSKI 1988).

In die Ibbenbürener Aa fließen außerdem die Grubenwässer des Ostfeldes aus der Sedimentationsanlage Püsselbüren sowie die in der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst gereinigten und aufbereiteten Grubenwässer des gefluteten Westfeldes.

2.3 Niederschläge

Niederschlagsdaten für den Ibbenbürener Raum werden vom Deutschen Wetterdienst an den Klima-Messstationen Hörstel (+46 m NHN, Aufzeichnung von 01/1950 – 05/2005) und Hörstel-Riesenbeck (+46 m NHN, Aufzeichnung von 06/2005 – heute) aufgezeichnet. Beide Messstationen befinden sich ca. 10 km westlich des BW Ibbenbüren. Aus den Online-Datenbanken „Wetterdaten und -statistiken express“ (WESTE-XL) und „Wetterdaten und -statistiken express agrar“ (WESTE-agrar) wurden die meteorologischen Tageswerte zur Niederschlagsrate verwendet.

Auf Grundlage der vorhandenen Klimaaufzeichnungen wurde als durchschnittlicher Wert der jährlichen Niederschlagsraten ein Wert von ca. 795 mm/a ermittelt. Dieser Wert geht in die Berechnung der Grundwasserneubildung ein (Kapitel 6.1.5).



2.4 Lagerstättenkundlicher Überblick

Aufgrund der oberflächennah, bzw. direkt zutage austreichende Kohlenflöze und Vererzungen weist die Region eine lange Bergbaugeschichte auf. Die Anfänge des Steinkohlenbergbaus in Ibbenbüren reichen bis in das 15. und die des Erzbergbaus bis in das 17. Jahrhundert zurück. Wegen eines fehlenden Deckgebirges sind Wasserzuflüsse für den Abbau problematisch und werden durch sog. Wasser(lösungs)stollen abgeleitet. Von den bergbaulichen Aktivitäten auf Steinkohle und Erz und den Maßnahmen zur Wasserlösung zeugen noch zahlreiche Stollen und Schächte (Abbildung 3/Anlage 2 und Anlage 3). Des Weiteren findet auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle bis heute tagesnaher Abbau von Sandsteinen und Tonsteinen statt.

2.4.1 Steinkohlenbergbau

Bei den frühen Abbauen handelte es sich zunächst um einen tagesnahen Abbau. Im Jahre 1662 wurde zum ersten Mal von Tiefbauarbeiten (Pingen, Schächten) berichtet. Dieser Übergang zum tieferen, aber noch oberflächennahen Abbau brachte durch Wasserzuflüsse erste Schwierigkeiten mit sich, die zu damaliger Zeit durch Wasserlösungsstollen zur Ableitung zutretender Wässer gemeistert wurden. So wurde z. B. zwischen 1691 und 1697 der Obere Dickenberger Wasserstollen mit einer Länge von ca. 2,2 km angelegt, um einen weiteren Abbau betreiben zu können.

Im Zuge des weiteren Abbaus in die Tiefe brachten Grubenwasserzuflüsse Schwierigkeiten bei dem Abteufen von Schächten (von-der-Heydt-Schacht und Oeynhausens-Schächte) mit sich, die erst durch Einsatz moderner Pumpentechnik überwunden werden konnten. Die Ableitung der gehobenen Grubenwässer des Ostfeldes erfolgte über den Förderstollen und Tieferen Dickenberger Stollen in die Ibbenbürener Aa.

Da der Tiefere Dickenberger Stollen für Sumpfungszwecke ungeeignet war, wurde der Ibbenbürener Förderstollen zur Grubenwasserhaltung ausgebaut. Vor der Einleitung in die Ibbenbürener Aa mussten die Eisenhaltigen Grubenwässer in der neu errichteten Sedimentationsanlage Püßelbüren gereinigt werden.



Beim Abteufen des Schachtes Bockraden von 1962 bis 1965 behinderten starke Wasserzuflüsse die Arbeiten. Dieses Wasser wurde über lange Zeiträume als Brauchwasser genutzt.

Aus wirtschaftlichen Erwägungen und auch aufgrund der schwierigen tektonischen Verhältnisse wurde 1979 das Westfeld stillgelegt und nur noch der Abbau im Ostfeld betrieben.

Nach der Stilllegung des Westfeldes begann dieser Grubenbereich vollzulaufen. Am 28.12.1982 erreichten die Grubenwässer das Niveau der Dickenberger Stollensohle und laufen seitdem über diesen Stollen ab (GOERKE-MALLET 2000, Kapitel 5.5). Die Lage der Tagesöffnungen des Steinkohlen- und Erzbergbaus sind aus Anlage 2, der Verlauf der Stollen aus Anlage 3 ersichtlich.

2.4.2 Erzbergbau

In der Umrandung des Karbon am Schafberg sind in den Schichten des Zechstein abbauwürdige Vorkommen von Eisen- und Buntmetallerzen vorhanden, die in mehreren Bergwerken oberflächennah über Stollen und Schächte abgebaut wurden (Abbildung 3).

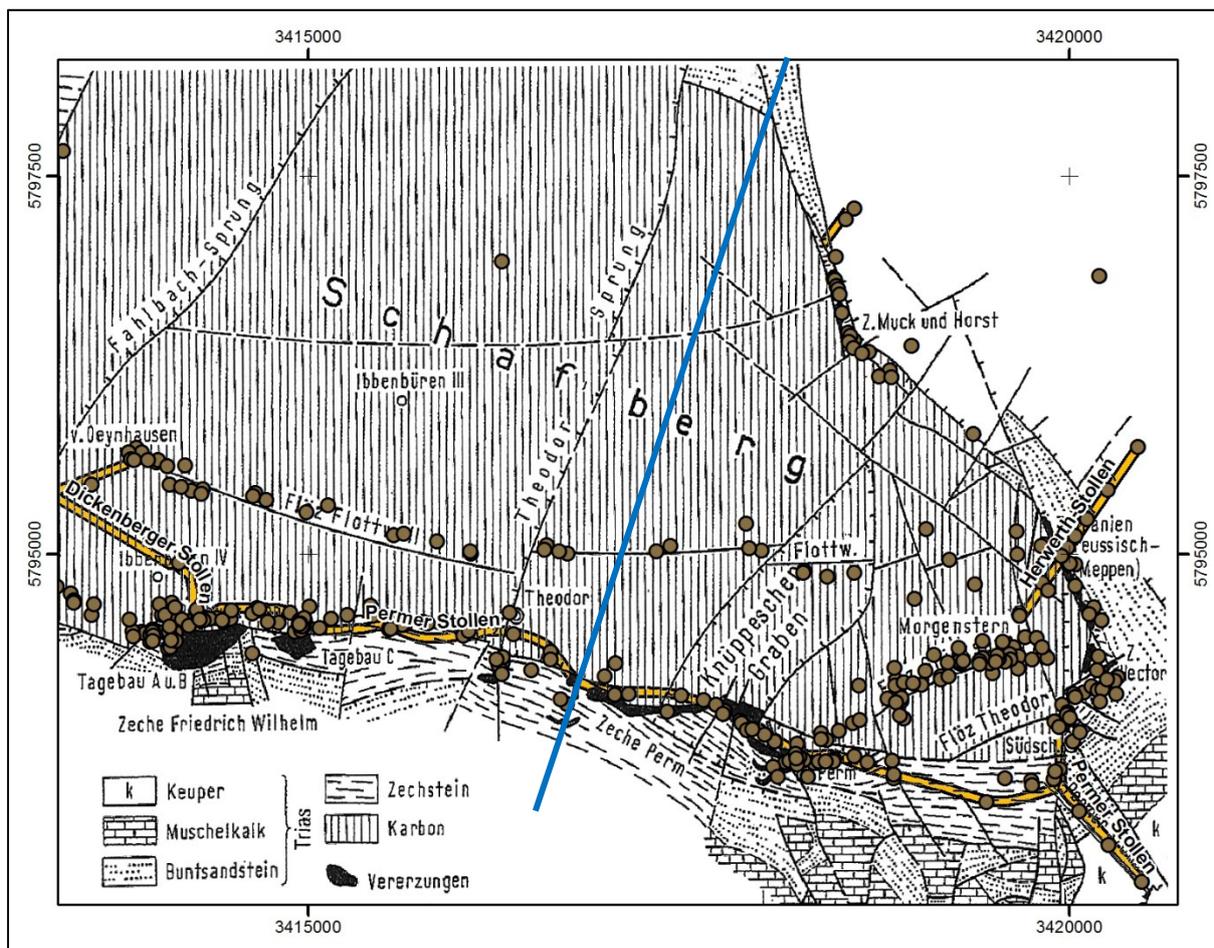


Abbildung 3: Vererzungen im Zechstein im Ostteil der Ibbenbürener Karbon-Scholle (braune Punkte: stillgelegte Tagesöffnungen, gelbe Linien: Stollen, blaue Linie: NE-SW-Schnittlinie durch das Ostfeld in Abbildung 4; verändert nach THIERMANN & KOCH 1987).

Der Erzbergbau wurde in allen Ibbenbürener Erzgruben 1921 eingestellt. Lediglich das Bergwerk Friedrich Wilhelm förderte von 1936 bis 1941 kurzzeitig Eisenerz im Tagebau (RÖHRS 1987).

2.4.3 Gewinnung von Steinen und Erden

Im Untersuchungsgebiet werden derzeit die Ton- und Sandsteine des Oberkarbon auf dem Schafberg, die Schmelzwasserkiese im Bockradener Tal sowie Sande in den weiten Flachlandbereichen abgebaut (Anlage 4). Die früher abgebauten Kalksteine des Zechstein im Bockrade-



ner Graben sowie die quarzitischen Sandsteine des Oberen Jura werden heute nicht mehr genutzt (THIERMANN et al. 1980). Nach Auskunft der Betreiber bestehen im Untersuchungsgebiet die in Tabelle 1 aufgeführten Abgrabungen (Stand 2017/18).

Tabelle 1: Aktuelle Gewinnung von Steinen und Erden im Untersuchungsgebiet (Stand 2017/18).

Abbaubetrieb	Abbautiefe
Doeker Lohnunternehmen	+78 m NHN
Hollweg, Kämpers & Comp., Zweigniederlassung der Basalt-Actien-Gesellschaft	+23 m NHN
Mucke GmbH	+115,4 m NHN
Werner Niemeier, Int. Transporte – Brenn- und Baustoffe	+23 m NHN
STS Ostendorf GmbH	+78 m NHN
Natursteinbetriebe Friedhelm Schwabe GmbH	+110,6 m NHN
Teepe Tongrube GmbH	Steinbruch I: +75 m NHN; Steinbruch II: +68 m NHN; Steinbruch III: +74 m NHN; Steinbruch IV: +10 m NHN
Westermann GmbH & Co. KG	+ 68 m NN
Egon und Günther Woitzel GmbH & Co. KG, Natursteinbetrieb	Steinbruch I: +99 m NHN; Steinbruch II: +75 m NHN; Steinbruch III: +78,5 m NHN

Sandstein

An der Tagesoberfläche treten Sandsteine in Schichten des Oberkarbon und des Jura auf. Als Werkstein wird jedoch vor allem der Oberkarbon-Sandstein verwendet. Die ehemalige Bedeutung dieser Sandsteine ist an der Vielzahl aufgelassener Steinbrüche auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle zu erkennen. Als Werkstein für den Hausbau besitzt der Oberkarbon-Sandstein auch noch heute eine gewisse Bedeutung.

In mechanisierten Großbetrieben mit mehreren 100.000 t Jahresförderung werden die Oberkarbon-Sandsteine als Packlage für den Straßen- und Wegebau sowie als Uferböschungsmaterial im Wasserbau gewonnen (RÖMHILD 1974, 1976, THIERMANN et al. 1980).



Kalkstein

Der Abbau der nicht vererzten, zutage ausstreichenden Zechstein-Kalke ist erstmals in der Bauerschaft Bockraden im Jahr 1556 urkundlich erwähnt. Reste der Kalköfen für die bis in die jüngere Zeit fortgesetzte Branntkalk-Herstellung finden sich noch heute. Der gebrannte Kalk hatte einen CaO-Gehalt von 70 - 80 % (RÖMHILD 1974) und wurde daher ab den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts nur noch als Düngekalk genutzt. Mit dem Aufkommen des Kunstdüngers und den gestiegenen Qualitätsanforderungen hat sich das Kalkbrennen nicht mehr rentiert und wurde auf dem Schafberg im Jahre 1968 endgültig eingestellt.

Wegen der guten Eignung als Splitt-Material wurde der Zechstein-Kalk nach dem Ende der Branntkalk-Herstellung ab den 60er Jahren in der Zechstein-Scholle von Obersteinbeck abgebaut. Der Abbau fand Mitte der 1970er Jahre ein Ende, da die mit 10 - 20° nach Norden einfallenden Zechstein-Schichten unter eine zunehmend mächtige Quartär-Überdeckung abtauchen. Der Abraumanteil war damit zu groß geworden (RÖMHILD 1974). Die Gruben sind heute teilweise wieder verfüllt (THIERMANN et al. 1980), bzw. bilden Naturschutzgebiete.

Tonstein

Die etwas feinsandigen Tonsteine der Ibbenbürener Schichten und Roten Schichten des Oberkarbon waren in der Vergangenheit bedeutende Rohstoffe für die Ziegelherstellung. Die erste Ziegelei wurde bereits im Jahr 1672 erwähnt (CRAMER 1940). Die letzte produzierende Ziegelei am Kälberberg wurde 2012 geschlossen. Heute werden die roten Tonsteine am Nordhang des Kälberberges und dem Westhang des Martensberges bei Steinbeck abgebaut und an auswärtige Ziegeleien verkauft. (THIERMANN et al. 1980).

Kies

Im Bockradener Graben treten Vorkommen bis zu 10 m mächtiger Vorschüttsande und Kames (eiszeitliche Aufschüttungsflächen) auf, die aus lehmigen Fein- bis Grobsanden mit Kiesen bestehen. Dieses Material wird sowohl für Verfüllzwecke als auch zur Betonherstellung benutzt.

Sand

An der Oberfläche stellen die fein- bis mittelkörnigen Sande der Niederterrasse das am weitesten verbreitete Gesteinsmaterial dar. Hierzu kommen noch Dünen, Flugdecksande und



Schwemmsande der Uferwälle. Wegen ihrer feinen und gleichmäßigen Körnung sind die Sande als Mörtel- und Betonzuschlag nicht geeignet. Doch lassen sie sich gut bei der Kalksandstein-Herstellung verwenden (THIERMANN et al. 1980).



3. Geologie

3.1 Geologischer Überblick

Der Abbau von Steinkohle auf dem BW Ibbenbüren erfolgt innerhalb der Ibbenbürener Karbon-Scholle zwischen den Orten Ibbenbüren und Mettingen. Es ist Teil des Schollenlandes der Nordwestfälisch-Lippischen Schwelle, welches das Osnabrücker Bergland mit den paläozoischen Gebirgshorsten des Piesberges, des Schafberges und des Hügels umfasst (THIERMANN & KOCH 1987). Den Nordrand des Schollenlandes bilden die Ausläufer des Wiehengebirges. Die ca. 100 m über ihre Umgebung aufragende Ibbenbürener Karbon-Scholle ist mit einer Länge von 15 km und einer Breite von ca. 5 km landschaftsbestimmend. Der Schafberg besitzt aufgrund seiner NW-SE (herzynisch) streichenden Karbon-Randverwerfungen eine deutliche Abgrenzung zum Umland (Anlage 6).

In der Oberkreide wurde die Ibbenbürener Karbon-Scholle durch Gebirgsbewegungen herausgehoben. Am Südwestrand des Schafberges wurden die Gesteine bis zu ca. 2.000 m und am Nordostrand bis zu ca. 1.000 m herausgehoben (Abbildung 4). Anschließend ist das jüngere Gestein durch Erosion abgetragen worden, so dass hier heute Schichten des Karbon direkt an der Oberfläche anstehen und von jüngerem Gestein umgeben werden. Die Ibbenbürener Karbon-Scholle weist somit kein Deckgebirge auf. Wo das Karbon nicht frei zutage ausstreicht, wird es von Sedimenten des Quartär bedeckt. Diese Sedimente können im Bereich von Grabenfüllungen – wie z. B. im zentralen Bockradener Graben – bis zu 60 m Mächtigkeit erreichen (Abbildung 5). Vereinzelt sind dort Reste des Zechstein erhalten.

Die Karbon-Scholle ist durch zahlreiche Quersprünge in mehrere kleine Schollen zerlegt (Abbildung 5). Als Großeinheiten werden das Westfeld, der Bockradener Graben und das Ostfeld unterschieden. Der Bockradener Graben bildet eine ca. zwei Kilometer breite Senke zwischen Westfeld und Ostfeld. Diese Tiefenscholle ist im Westen vom Pommer-Esche-Sprung und im Osten vom Beust-Sprung begrenzt.

Die Karbon-Scholle ist leicht nach Nordosten gekippt, so dass im Südwesten die ältesten Schichten zu Tage treten. Das Westfal C wird von den Unteren Ibbenbürener Schichten gebildet. Das Westfal D setzt sich aus den Oberen Ibbenbürener Schichten und den sogenannten



3.2 Stratigraphie

Die Stratigraphie beschreibt die Alterseinstufung der im Untersuchungsgebiet auftretenden Gesteinseinheiten sowie ihre lithologische Ausbildung.

3.2.1 Paläozoikum

Im Untersuchungsgebiet treten Schichten des Perm, zumeist in der lithologischen Ausbildung des Zechstein, sowie des Karbon auf. Beide Einheiten weisen Lagerstätten auf und wurden daher bergmännisch erschlossen.

3.2.1.1 Karbon

Die stratigraphischen Verhältnisse der Ibbenbürener Karbon-Scholle sind durch den langjährigen Bergbau auf Steinkohle und Erz gut bekannt. Die Schichten bestehen aus einer Wechselagerung von Sandsteinen, Schiefertonen und Konglomeraten mit eingelagerten Steinkohlenflözen (Abbildung 6).

Bei den tiefsten aufgeschlossenen Gesteinen handelt es sich um Schichten des Oberkarbon vom Westfal B im Liegenden bis zum Westfal D im Hangenden. Die abbauwürdigen Schichten dieser Schichtengruppe werden zusammenfassend als Ibbenbürener Schichten bezeichnet. Die flözführenden Schichten des Westfal erreichen eine Gesamtmächtigkeit von rd. 1.900 m und enthalten ca. 134 Steinkohlenflöze, die auf eine Teufe von ca. 1.650 m bergmännisch erschlossen sind (Abbildung 6). Die Schichtenfolge besteht im Bereich des Nordschachtes zu ca. 55 % aus Sandsteinen, 24 % Sandschiefern, 18 % Schiefer und 3 % Steinkohle (GOERKE-MALLET 2000). Die Mächtigkeit der Flöze schwankt in den oberen Bereichen des Oberkarbon zwischen 0,5 m und 1,2 m. Die heute in größerer Tiefe abgebauten Flöze erreichen Mächtigkeiten von mehr als 2 m.

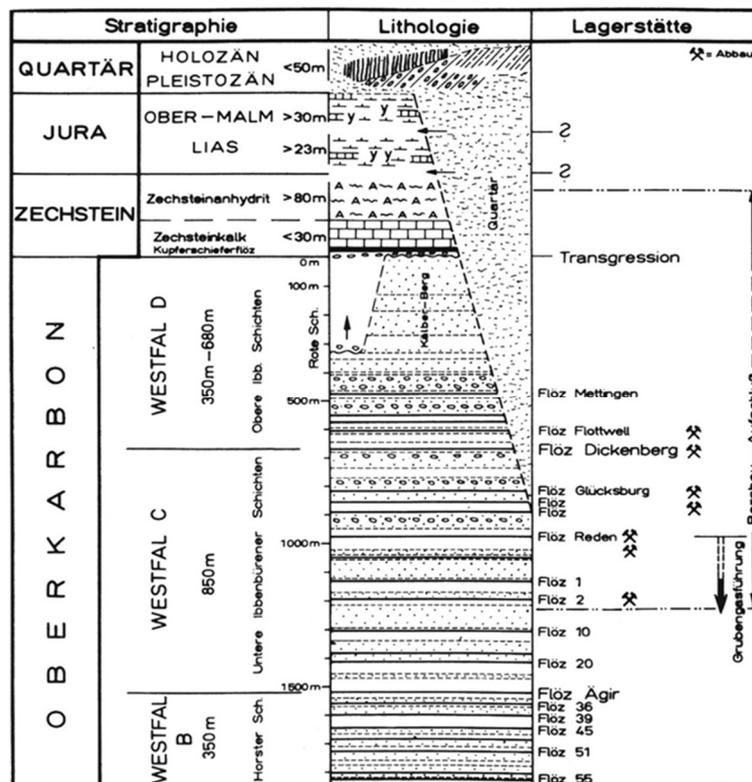


Abbildung 6: Stratigraphischer Aufbau der Ibbenbürener Karbon-Scholle (BÄSSLER 1970).

3.2.1.2 Perm (Zechstein)

Auf die Schichten des Karbon folgen mit einer Winkeldiskordanz von ca. 3 - 5° die Schichten des Zechstein (Oberes Perm). Der Zechstein bildet im Allgemeinen vier Sedimentationszyklen, von denen im Bereich der Ibbenbürener Lagerstätte nur der Zyklus des Zechstein 1 bekannt ist (DOMALSKI 1988). Dieser wird durch die Zechstein-Konglomerate (Gerölle aus Karbon-Sedimenten), Kupferschiefer (bituminöser, dolomitischer Mergelstein) und den Zechstein-Kalk aufgebaut. Der Zechstein-Kalk wurde am Rande der Ibbenbürener Karbon-Scholle in Tagebauen abgebaut. Die Mächtigkeit dieser Schichten wird von KELLER (1953) mit bis zu 200 m angegeben.

Im Schacht Bockraden wurden Zechstein-Ablagerungen mit einer Mächtigkeit von ca. 20 m aufgeschlossen. Hier stehen in einer Teufe von 17,5 m ca. 4,5 m Tonstein sowie im Liegenden ca. 14,5 m Kalkstein an. Die Basis des Zechstein wird aus jeweils 0,5 m Kupferschiefer und



Konglomerat (aufgearbeitetes Karbon) aufgebaut. Der Zechstein ist somit dort salzfrei ausgebildet. Die geringmächtigen Tonpartien haben sich durch die Auslaugung der Salze vereinigt und bilden mit den ebenfalls verwitterten Zechstein-Kalken einen zähen Verwitterungston, der hier im Hangenden des Kalkes mehrere Meter mächtig ist (OBERMANN 1968).

Östlich des Pommer-Esche-Sprungs treten in den oberen Schichten des Zechstein Reste von Gips auf. Außerhalb des Bockradener Grabens sind im Blattgebiet Zechstein-Ablagerungen nur im Süden der Karbon-Randverwerfung in der Nähe des Püsselbürener Förderstollens bekannt (OBERMANN 1968).

In den Schichten des Zechstein können in der Umrandung der südlichen Karbon-Randverwerfung Eisen- und Buntmetallerze vorkommen. Diese Erze sind nach THIERMANN & KOCH (1987) an die Zechstein-Kalke gebunden und kommen in der typischen Abfolge hydrothermalen Vererzungen vor, die im Zusammenhang mit dem Aufdringen des Bramscher Massivs im Untergrund stehen. Der Aufstieg dieser hydrothermalen Erzlösungen erfolgte über die tiefreichenden Karbon-Randverwerfungen.

3.2.2 Mesozoikum

Im Untersuchungsgebiet sind außerhalb der Karbon-Scholle sowohl Schichten der Kreide, des Jura als auch der Trias verbreitet.

3.2.2.1 Trias

Die Sedimente des brackisch-marinen nordwestdeutschen Buntsandsteins wurden in diesem Raum in einem nördlichen Hauptbecken und zwei südlich daran anschließende NNE-SSW streichende Nebenbecken, die durch eine Schwelle getrennt sind, abgelagert. Das Untersuchungsgebiet liegt am Rand dieser Schwelle (DSK ANTHRAZIT IBBENBÜREN GMBH 2007).

Keuper

Die Gesteine des Unteren Keuper bestehen aus bunten, roten und grauen Tonmergelsteinen mit wiederholten Einschüttungen von festländischem, sandigem Verwitterungsschutt. Im



Mittleren Keuper, das durch zunehmend aridere Klimaverhältnisse geprägt war, lagerten sich neben den bunten, grauen und roten Ton-, Tonmergel- und Mergelsteinen auch solche mit Gips, Anhydrit und Dolomitstein ab (sog. Gipskeuper). Im Oberen Keuper, dem Rhät, kam es zu weiteren Bewegungen, die dazu führten, dass die gerade abgelagerten Trias-Stufen tiefgreifender erodiert wurden. Im tieferen Teil des Rhät wurden quarzitisches, graue oder grünliche Sandsteine gebildet, im höheren Bereich entstanden blaugraue, grünliche und braune Tonsteine mit feinschichtigen, flaserigen Sandsteinen (DROZDZEWSKI 1985).

Die mehrheitlich rötlich-grau gefärbten Schichten des Keuper besitzen eine Mächtigkeit von ca. 230 m bis zu ca. 350 m im Raum Hörstel (KELLER 1953, DROZDZEWSKI 1985).

Muschelkalk

Mit dem Muschelkalk begann in der Trias eine Zeit vorwiegend chemischer Sedimentation. Die Muschelkalk-Schichten treten meist in kleinen, tektonisch sehr beanspruchten Schollen in der Nachbarschaft des Röt zutage, wie auch am Südrand des Untersuchungsgebietes. Das Gestein besteht aus feinschichtigen, teilweise auch massigen, hell- oder blaugrauen, meist etwas mergeligen Kalksteinen. Kalksteinbänke weisen Mächtigkeiten von ca. 2 - 40 cm auf und sind durch einige Millimeter dünne Mergellagen voneinander getrennt. Die Gesamtmächtigkeit des überwiegend karbonatischen Muschelkalk beträgt ca. 150 m (DROZDZEWSKI 1985).

Buntsandstein

Der Obere Buntsandstein (Röt) besteht aus einer 100 m mächtigen Folge vorwiegend rotbrauner Sandsteine. Im basalen Bereich treten etwa 35 m mächtige massige, ziegelrote Tonsteine auf, die bei Verwitterung bröckelig zerfallen. Sie treten am Südrand des Untersuchungsgebietes inselartig zutage.

Der Mittlere Buntsandstein tritt im Untersuchungsgebiet an einer Stelle am Südrand der Karbon-Scholle zutage, begrenzt vom Zechstein im Norden und Oberem Buntsandstein im Süden. Er besteht aus einer Wechselfolge von rotbraunen, violetten, teilweise auch graugrünen, manchmal etwas feinsandig-schluffigen Tonsteinen und festeren, meist etwas kalkhaltigen, fein- bis mittelkörnigen, rötlichgrauen, teilweise gefleckten Sandsteinen. Die Gesamtmächtigkeit des Buntsandstein wird mit ca. 500 m angenommen (DROZDZEWSKI 1985).



3.2.2.2 Jura

Die Schichten des Jura stehen in der Umrandung der Ibbenbürener Lagerstätte unterhalb der Deckschichten des Quartär an.

Lias und Dogger

Die ältesten Ablagerungen innerhalb des Jura bilden die dunkelgrauen, schluffigen Ton- und Mergelsteine des Lias, deren Mächtigkeit auf 460 m bis 500 m geschätzt wird (THIERMANN et al. 1980). Im Hangenden des Lias folgen in ähnlicher Ausbildung die dunkelgrauen, feinglimmerigen Tonsteine und z. T. auch Tonmergelsteine des Dogger. Stellenweise sind Schluffe und graue, festere und kalkige Sandsteine eingeschaltet (DSK ANTHRACIT IBBENBÜREN GMBH 2007). Sie streichen an den Randstaffeln der Karbon-Scholle im Osten des Untersuchungsgebietes aus, sind jedoch meist von mächtigen Ablagerungen des Quartär bedeckt. Die Schichten des Dogger erreichen eine mittlere Mächtigkeit von 280 m (DOMALSKI 1988). Aufgrund ihrer Ähnlichkeit sind diese oftmals kaum von den Schichten des Lias zu unterscheiden, was auch durch die Darstellung als gemeinsame Kartiereinheit in der Geologischen Karte (Anlage 6) zum Ausdruck kommt.

Malm

Die jüngsten Schichten innerhalb des Jura gehören dem Malm an und besitzen eine weite Verbreitung im Untersuchungsgebiet. Im Malm begann sich das Niedersächsische Becken gegenüber der Rheinischen Masse stark abzusenken. Das Schichtpaket beginnt mit dunkelblauen bis grauen Kalken mit Schwammnadeln. Darüber folgen Sandsteine mit dünnen Tonsteinlagen. Im Mittleren Malm treten vorwiegend Tonsteine mit Feinsandstein-Zwischenlagen auf. Der Obere Malm besteht aus einer Wechselfolge von grauen, dolomitischen Tonsteinen und porösen Schalentrümmer-Kalksteinen. Abgeschlossen wird diese Schichtenfolge von grauen, z. T. grünen Ton- und Mergelsteinen mit Gips und Anhydrit (Münder Mergel, DOMALSKI 1988). Der Malm erreicht insgesamt Mächtigkeiten zwischen 200 m und 300 m. Am Ostrand der Karbon-Scholle treten Schichten des Malm gemeinsam mit denen des Dogger zutage aus.



3.2.2.3 Kreide

Schichten der Kreide stehen nördlich und südwestlich von Ibbenbüren an. Nördlich der Ibbenbürener Karbon-Scholle bilden sie unter dem Tertiär die Füllung der Recker Mulde. Südlich der Ibbenbürener Karbon-Scholle sind sie im Ausbiss des Teutoburger Waldes steil aufgestellt (Anlage 6) und gehen weiter nach Süden in das Münsterländer Kreidebecken über (DOMALSKI 1988).

Die größte Mächtigkeit zeigen die Schichten der Unterkreide (Wealden) entlang der Aufragung der Kreide im Teutoburger Wald. Die Mächtigkeit des Wealden wird von DROZDZEWSKI (1985) mit bis zu 400 m angegeben. Die Unterkreide im Hangenden des Wealden ist südwestlich von Ibbenbüren ca. 1.000 m mächtig. Die steil aufragenden Kreide-Schichten markieren den Nordrand des Münsterländer Kreidebeckens, in dem über 2.000 m mächtige Schichten der Oberkreide ausgebildet sind.

Die Ibbenbürener Karbon-Scholle wurde nach DROZDZEWSKI (1985) in der Oberkreide herausgehoben. Infolge der Gebirgsbewegungen sind auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle lediglich Reste vom Zechstein erhalten geblieben, über denen sich im nördlichen Bockradener Graben noch etwas Tertiär (Miozän) befindet.

3.2.3 Quartär

Sedimente des Quartär treten vor allem im Vorland der Ibbenbürener Karbon-Scholle in großer Mächtigkeit und vielfältiger Ausbildung auf. Auf der Karbon-Scholle befinden sich mächtige Ablagerungen des Quartär vor allem im zentralen Bockradener Graben. Neben den Flussterrassen und Bachablagerungen bauen vor allem glazigene Ablagerungen der Eiszeiten die Deckschichten im Untersuchungsgebiet auf. Eine Zusammenstellung der im Untersuchungsgebiet auftretenden Schichten des Quartär findet sich in DSK ANTHRAZIT IBBENBÜREN GMBH (2007) und wird hier gekürzt beschrieben.



3.2.3.1 Fluviale Ablagerungen

Bei fluvialen Ablagerungen handelt es sich um Schichten, die im Zusammenhang mit Fließgewässern gebildet wurden.

Fließerde

Die Hänge der Karbon-Scholle, aber auch Teile des Karbon-Vorlandes, werden von geneigten Sandflächen begleitet. Sie werden von Ablaufrinnen gequert, die aus dem Gebirge kommen. Fließerden sind insbesondere im Bockradener Graben verbreitet. Diese bestehen vorwiegend aus schluffig-tonigen, fein- bis grobsandigen Material. Untergeordnet sind auch fein- und gleichkörnige Fließerden eingeschaltet. Ihr grober scharfkantiger Gesteinsschutt besteht aus dem jeweils oberhalb des Hanges anstehenden Gebirgsmaterials.

Obere Niederterrasse

Die Ablagerungen der Oberen Niederterrasse (Talsande) sind im Vorland der Karbon-Scholle weit verbreitet. Entlang der Hauptvorfluter (Ibbenbürener Aa, Mettinger Aa, Recker Aa) bilden sie weite flache Ebenen. Im Norden des Untersuchungsgebietes erstrecken sich Talsande als schmale Terrassenflächen entlang der Bachläufe. Die Mächtigkeit der Niederterrassenablagerungen beträgt meist ca. 3 m bis 5 m, in den Erdfallgebieten können auch Mächtigkeiten bis zu 15 m auftreten. Die Zusammensetzung ist sehr variabel. An der Tagesoberfläche herrschen gelbgraue Fein- und Mittelsande vor. Der überwiegende Teil der Sedimente stellt eine Wechselfolge aller Korngrößen von Schluff bis Grobsand dar, wobei die feineren Körnungen dominieren.

Bach- und Flussablagerungen

Die Talauen der Karbon-Scholle sind meist nur wenige Meter breit, aber stark eingeschnitten. Ursache hierfür ist der große Höhenunterschied zwischen der Karbon-Scholle und dem Flachland im Norden, der ein starkes Gefälle mit sich bringt. Die tiefen Einschnitte sind auf Schmelzwässer zurückzuführen.



Auensand

Das Material in den Talauen der Ibbenbürener Karbon-Scholle und in Bockraden tritt zumeist als toniger Sand auf, der sich allerdings durch eine große Variabilität auszeichnet. In den höheren Lagen sind Täler durch eine wenige Dezimeter mächtige Wechselfolge aus sandigen und steinigen Fließerden, herab geschwemmtem Verwitterungsschutt, sandigem Schluff und stellenweise größeren nordischen Geschieben charakterisiert. Bedeckt wird diese Folge meist von fein bis mittelkörnigen, tonig-schluffigen Sanden.

Auenlehm

Auenlehme treten im Untersuchungsgebiet in den mehr östlich gelegenen Talauen im Bereich Mettingen auf. Dort hat sich der Auenlehm aus dem weit verbreiteten Löss und Sandlöss (Ton bis Schluff) entwickelt. Er besteht aus gelbbraunen verwitterten, sonst grauen und nur an wenigen Stellen auch etwas feinsandig-schluffigen Tonen von bis zu höchstens 2 m Mächtigkeit.

3.2.3.2 Moorbildungen

Die Entstehung von moorigen Ablagerungen ist auf einen hohen Grundwasserstand zurückzuführen, der die völlige Zersetzung der pflanzlichen Substanz verhindert.

In den Senken und Vertiefungen der Talauen im Westen und im Osten des Untersuchungsgebietes (Strootbach, Rote Brook, Mühlengraben) finden sich moorige Ablagerungen von bis zu 0,5 m Mächtigkeit. Sie bestehen aus schwarzgrauen, stark humosen bis torfigen Sanden und stellenweise Schluffen. Der Anteil organischer Substanz liegt bei 30 bis 60 %. In den Niederungen breiter Talauen sowie in abflusslosen Senken können Niedermoore auftreten. Die Mächtigkeit der stark zersetzten, schwarzbraunen Torfe ist meist geringer als 2 m.

3.2.3.3 Glazigene Ablagerungen

Glazigene Ablagerungen stehen im Zusammenhang mit einem eiszeitlichen Klima. Die letzte Kaltzeit, die das Untersuchungsgebiet erfasste (Saale-Kaltzeit), endete vor ca. 12.500 Jahren.



Grundmoräne

Das Inlandeis hinterließ bei seinem Rückzug nach Nordeuropa beträchtliche Gesteinsmengen. Nach Abschmelzen des bis zu 300 m dicken Inlandeises blieb das Gestein als unsortiertes, schichtungsloses Material zurück. Am Nordhang der Karbon-Scholle bildet die Grundmoräne noch geschlossene Decken von bis zu 15 m Mächtigkeit. In der Regel ist die Grundmoräne von jüngeren Schichten überdeckt. Im unverwitterten Zustand besteht die Moräne aus Geschiebemergel, einem dunkelgrauen Gemenge aus Ton, Mergel, Sand und Kies und größeren, mäßig kantengerundeten Geschieben. Die Zusammensetzung schwankt stellenweise sehr stark. An der Erdoberfläche ist der Geschiebemergel bis in eine Tiefe von 1 – 3 m zu einem gelbbraunen, sandig bindigen Geschiebelehm verwittert. Kalk wurde fortgeführt und Ton in die tieferen Schichten eingespült. Ein stark mit Sanden, Kiesen und Geschieben angereicherter Geschiebelehm blieb zurück (DSK ANTHRAZIT IBBENBÜREN GMBH 2007).

Kames

Beim Abschmelzen zerfiel das Inlandeis in einzelne mächtige Toteisblöcke, die besonders am Fuße der Ibbenbürener Karbon-Scholle und in dem auch morphologisch als Längstal hervortretenden Bockradener Graben einige Zeit bestehen konnten.

Nach dem Abschmelzen des Eises entstanden in den Klüften und Sprüngen des Inlandeises die Kames, die aus mehreren lang gestreckten Keshügeln unterschiedlicher Richtung bestehen, und damit den Richtungen der Schmelzwasserströmungen entsprechen. Sie erheben sich auf der Grundmoräne mit ovalem Grundriss von 200 bis 300 m Breite und 250 bis 500 m Länge mit einer Höhe von bis zu 10 m über ihre Umgebung.

Windablagerungen, Löss-Schichten

Während des Periglazialklimas wurde von vegetationslosen Talsandebenen, Uferwällen und auch von älteren Ablagerungen wie Grundmoränen und Schmelzwassersanden feines Material ausgeblasen.

Löss

Der Löss im Untersuchungsgebiet ist in seiner ursprünglichen Ausprägung nicht mehr vorhanden. Er ist zu einem tiefgründigen Lösslehm verwittert. Die Bestandteile des Lösses sind bis zu 60 % gelbbraune Schluffe, ca. 25 % lagenweise oder beigemengte Tone und 15 % Fein- und



Mittelsande. Die Verbreitung des Lösses auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle beschränkt sich auf das Gebiet südlich und südöstlich von Mettingen.

Sandlöss

Der Löss geht in den stark sandstreifigen Lösslehm über, der als Sandlöss bezeichnet wird. Er besteht aus einer engen Wechselfolge von gelbbraunen Schluffen (ca. 50 %), Tonen (ca. 10 %) und Sanden (ca. 40 %). Der Sandlöss ist ähnlich tiefgründig verwittert wie der Löss. Das Verbreitungsgebiet umgibt den lössbedeckten Raum. Die Mächtigkeit beträgt meist um 2 m.

3.3 Tektonik

3.3.1 Tektonik der Karbon-Scholle

Die Ibbenbürener Karbon-Scholle stellt ein geologisches Fenster dar, in dem Schichten des Oberkarbon durch tektonische Prozesse um etwa 2.000 m aus dem umgebenden Jura-Vorland herausgehoben wurden. Die tektonisch stark beanspruchten Schichten des Karbon stehen bereits unter einer nur geringmächtigen Deckschicht des Quartär an. Die gesamte Struktur wird durch die NW-SE (herzynisch) streichende nördliche sowie die südliche Karbon-Randverwerfung begrenzt. Diese fiedern sich vielfach in Zweigstörungen auf und begrenzen die Karbon-Scholle im Nordosten und Südwesten (Abbildung 7). Bei diesen großen Störungssystemen handelt es sich um Staffelbrüche, in deren Verlauf Schollen von Zechstein und Buntsandstein hochgeschleppt wurden (LOTZE et al. 1962). Die Karbon-Randverwerfungen lassen die Ibbenbürener Karbon-Scholle morphologisch deutlich über die dem Karbon vorgelagerte Norddeutsche Tiefebene aufragen.

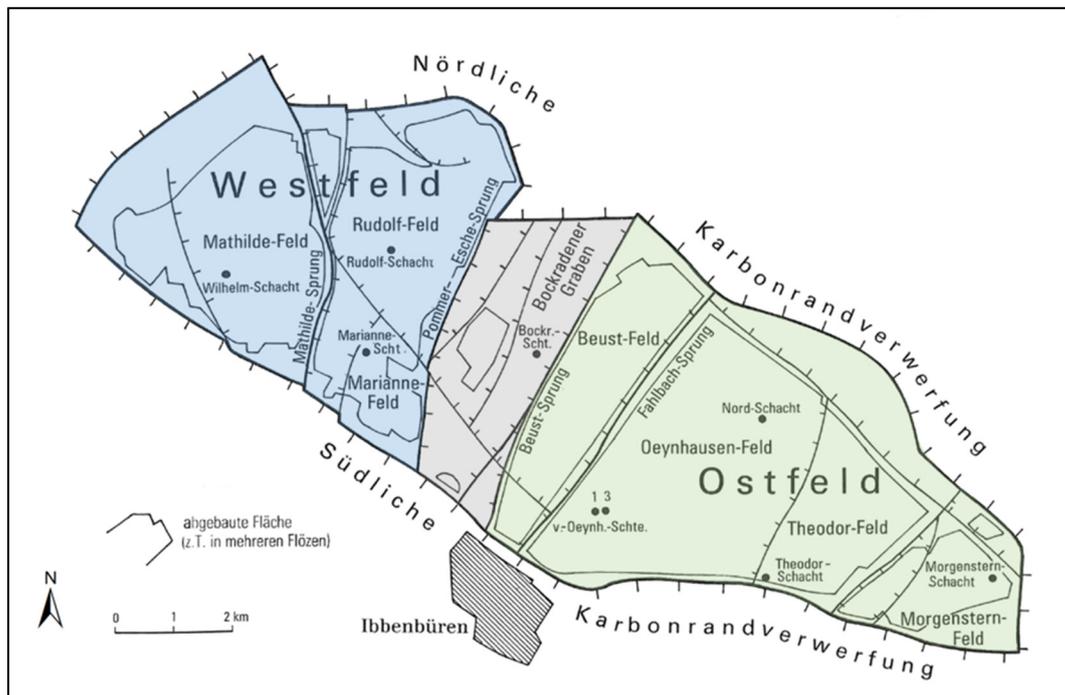


Abbildung 7: Tektonische und bergbauliche Gliederung der Ibbenbürener Karbon-Scholle (DROZDZEWSKI 1985).

Die Karbon-Scholle besitzt eine natürliche Gliederung in ein West- und ein Ostfeld, welche durch den quer zur Längsachse verlaufenden Bockradener Graben getrennt werden (Abbildung 7). Dieser entstand durch das Einbrechen der Gesteinsschichten im Scheitelbereich eines ehemaligen flachen Großsattels (EBERT 1954). Tektonisch handelt es sich um ein Grabensystem, das aus Teilgräben, Staffelbrüchen und einer zentralen Horstscholle besteht (BÄSSLER 1968). Der Bockradener Graben (Abbildung 7, Abbildung 8) wird im Nordwesten durch den, mit Verwurfbeträgen von ca. 400 m – 500 m, morphologisch deutlich hervortretenden Pommer-Esche-Sprung begrenzt. Im Südosten wird der Bockradener Graben durch den Beust-Sprung begrenzt, welcher Verwurfbeträge von ca. 220 m aufweist (THIERMANN & KOCH 1987). Innerhalb des Bockradener Grabens tritt eine Vielzahl weiterer NE-SW streichender Abschiebungen auf, die den Graben auch morphologisch an der Geländeoberfläche nachzeichnen. Die Schichten besitzen in diesem Bereich ein generelles NNE-SSW gerichtetes Streichen mit einem Einfallen nach NW. In der zentral gelegenen Horstscholle, die aus kompetenten Gesteinen des Karbon aufgebaut wird, erreicht der Gartenberg eine Höhe von ca. +110 m NHN und bildet



damit den höchsten Punkt innerhalb des Bockradener Grabens. Die Seitentäler des Gartenberges leiten mit Höhen von ca. +80 m NHN allmählich zur Norddeutschen Tiefebene über (BÄSSLER 1968). Die tektonischen Verhältnisse der Randbereiche der Ibbenbürener Karbon-Scholle sind in den Anlagen 7, 8 und 9 als geologische Schnitte dargestellt.

Die Tektonik der Karbon-Scholle ist in geringen Teufen durch Dehnungsstrukturen gekennzeichnet. Bei den daraus resultierenden Abschiebungen bzw. Sprüngen nehmen die Verwurfbeträge zur Teufe hin ab. Mit zunehmender Teufe treten in der Ibbenbürener Lagerstätte Einengungsstrukturen auf, die sich in Blattverschiebungen und Wechsellagen bzw. Überschiebungen äußern.

Das vom BW Ibbenbüren seit Ende 2011 abgebaute Beustfeld befindet sich innerhalb dieser Graben-Struktur. Die flach nach Norden einfallenden Schichten des Oberkarbon am Schafberg gehen am Süd- und Nordrand des Karbon-Horstes in Falten über, die teilweise schon vor dem Zechstein entstanden sind. Es treten in diesen Bereichen zwischen den Schichten des Oberkarbon und Zechstein Winkeldiskordanzen von wenigen Grad, in Störungsnähe von 30° - 50° auf (DROZDZEWSKI 2003).

Jenseits der zum Vorland hin einfallenden Karbon-Randverwerfungen wird die Ibbenbürener Karbon-Scholle von Schichten des jüngeren Paläozoikum (Zechstein) und des Mesozoikum (Trias und Jura) allseitig umschlossen. Die Jura-Staffel im NW des Untersuchungsgebietes geht dabei durch eine Schichten-Aufbiegung und damit ohne Bruchbildung in das Vorland über.

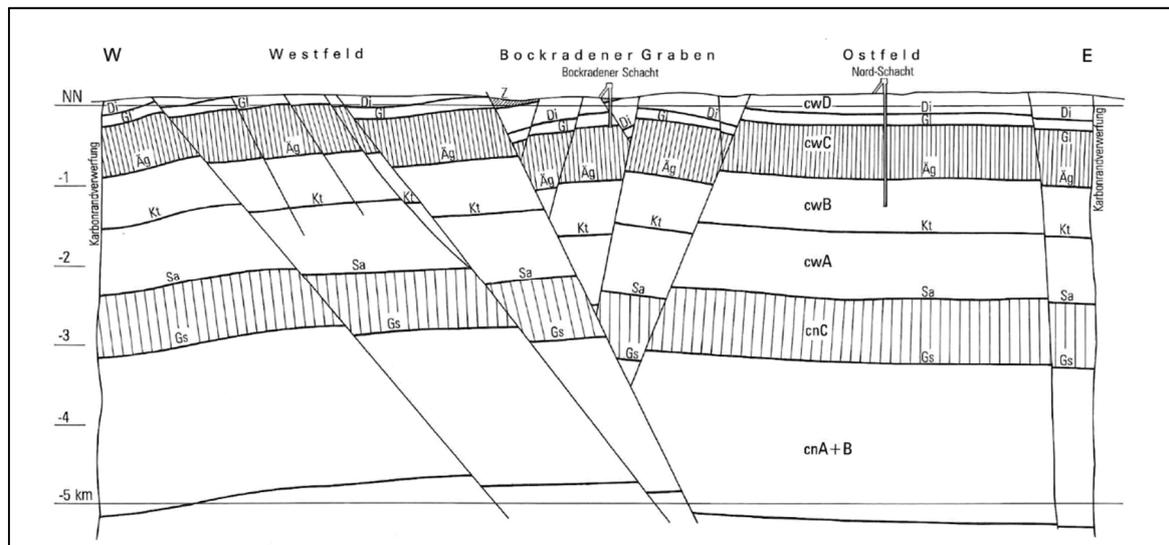


Abbildung 8: W-E-Schnitt zwischen der südlichen und nördlichen Karbon-Randverwerfung durch das Westfeld, den Bockradener Graben und das Ostfeld. Der Bockradener Graben läuft in ca. 3 km Tiefe aus (DROZDZEWSKI 1985).

Tektonische Untersuchungen haben ergeben, dass die bei Ibbenbüren-Laggenbeck auftretende Osning-Überschiebung nicht als steile Aufschiebung ausgebildet ist, sondern subhorizontal die Laggenbecker Trias-Scholle unterlagert und im direkten Kontakt mit der südlichen Karbon-Randverwerfung der Karbon-Scholle steht (DROZDZEWSKI 1985). Dies wird als Beleg für den kausalen Zusammenhang zwischen der Osning-Überschiebung und Ibbenbürener Karbon-Scholle gesehen, wobei sich jedoch die Osning-Überschiebung im Einfallen nicht in die Ibbenbürener Karbon-Scholle hinein fortsetzt.

3.3.2 Tektonik des Karbon-Vorlandes

Eingehende Untersuchungen über den Einfluss der Osning-Tektonik gehen auf KELLER (1953) zurück, der eine Gliederung der südöstlichen Umrandung der Karbon-Scholle in die Zechstein-Vorstaffel und die Trias-Vorstaffel vorgenommen hat. Diese durch Verwerfungen voneinander getrennten Vorstaffeln werden zur Struktur der Karbon-Scholle gerechnet. Das südliche Vorland des Schafberges wird größtenteils von Jura- und Kreide-Ablagerungen eingenommen.



Die oben genannten Vorstaffeln begleiten die Karbon-Randverwerfungen in weiten Teilen der Karbon-Scholle. Sie ergeben eine Randzone und bilden ein Mosaik kompliziert gebauter und gegeneinander verkippter Einzelschollen (BÄSSLER 1970). Im Südosten sind die Vorstaffeln deutlich ausgebildet. In anderen Bereichen, wie zum Beispiel im Norden und Westen des Schafberges, fanden an den Verwerfungen geringere Bewegungen statt, so dass dort die jüngeren Schichten des Buntsandstein bzw. des Jura direkt an die Karbon-Randverwerfung grenzen. Im weiteren Bereich des Vorlandes, jenseits der Osning-Überschiebung bzw. der Nördlichen Randverwerfung, sind Jura- und Kreide-Schichten vorherrschend (Anlage 6).

In dem in Abbildung 9 dargestellten SW-NE-Schnitt durch die Ibbenbürener Karbon-Scholle lassen sich nach BÄSSLER (1970) folgende Bereiche voneinander abgrenzen:

1. Piesbergachse und Limberger Hochscholle als nördliche Fortsetzung,
2. Recker Kreide/Jura-Mulde,
3. Karbon-Scholle mit randlichen Vorstaffeln,
4. Jura des Ibbenbüren-Laggenbecker Höhenzugs,
5. Sandsteinketten der Unterkreide/Osning,
6. Münsterländer Kreidebecken.

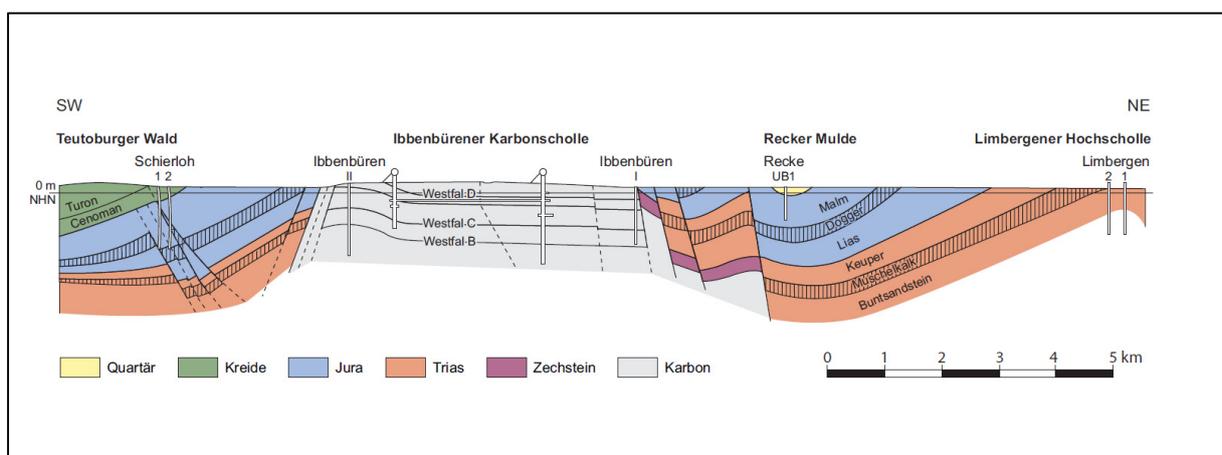


Abbildung 9: Geologischer SW-NE-Schnitt durch die Ibbenbürener Karbon-Scholle und ihr Vorland (nach BÄSSLER 1970).



Die Querstörungen der Karbon-Scholle setzen sich in das Vorland fort und sind dort hydrogeologisch von Bedeutung. Am Südrand der Karbon-Scholle lässt sich der Knüppesche Graben über die Karbon-Randverwerfung in das Vorland hinein verfolgen. Am Nordrand der Karbon-Scholle setzt sich im Untergrund der Bockradener Graben in das nördliche Vorland fort (BÄSSLER 1970).

3.3.3 Erdfälle im Karbon-Vorland

Im Untersuchungsgebiet sind in den verschiedenen geologischen Stufen Salze verbreitet, die zu Subrosionserscheinungen führen können. So sind Salz- Gips- und Anhydritvorkommen des Oberen Malm (Münder Mergel) in der südlichen, westlichen und nördlichen Umrandung der Karbonscholle vorhanden, die teilweise große Mächtigkeiten aufweisen (THIERMANN 1975). So wurden südlich von Ibbenbüren in den Bohrungen Schierloh 1 und 2 im Oberen Malm mehrere, zusammen über 100 m mächtige, Salinarfolgen erbohrt.

Ältere Salinarfolgen des Bundsandstein (Röt) und des Perm (Zechstein) treten 4-5 km westlich des Schafberges auf.

Durch Auslaugung dieser Salinarfolgen kommt es im westlichen und nördlichen Vorland der Ibbenbürener Karbon-Scholle zu Subrosionssenken, die in unmittelbarem Bezug zu den Störungen stehen (Abbildung 10, Abbildung 11). Diese Störungen reichen durch das Deckgebirge in den Salzkörper und führen durch Auslaugung zu ausgedehnten Subrosionssenken mit Erdfällen. Durch Zerrüttung des Gesteines kommt es nämlich zu vergrößerten Hohlräumen und erhöhten Wasserwirksamkeiten. So lässt sich für den Bereich des Herthasees und für die Erdfälle im „Heiligen Feld“ ein direkter Zusammenhang zwischen Kreuzungspunkten zweier tektonischer Störungen feststellen, an denen eine punktförmige Auslaugung des Untergrundes auftrat (THIERMANN & KOCH 1987).

Westlich der Ibbenbürener Karbon-Scholle findet sich ein Senkungsgebiet im Bereich des Ufeler Moores und des Herthasees, das seine Entstehung der Auslaugung von Röt-Salinaren verdankt.



Besonders bemerkenswert ist die ca. 5 km lange, 2,5 km breite, NW-SE-streichende Senkungszone, die als „Heiliges Feld“ bekannt ist. Hier haben sich spektakuläre Erdfälle in Form von vier Seen gebildet, das Große Heilige Meer, das Kleine Heilige Meer, der Erdfallsee und der Heideweiher. Ihre Entstehung verdanken diese Senkungsstrukturen Auslaugungen von Salz-, Gips- und Anhydriteinlagerungen des Oberen Malm (Münder Mergel). Die Ausdehnung und die Tiefen dieser Seen sind beträchtlich, so wies der Erdfallsee bei seiner Entstehung 1913 einen Durchmesser von 300 m und eine Tiefe von 10-15 m auf (WEGNER 1913).

THIERMANN et al. 1975 haben in dem Bereich Senkungsbeträge seit Beginn des Pleistozän von mindestens 50 m rekonstruiert. Die Senkungsmulden sind teilweise durch mächtige Quartärabfolgen von bis zu 80 m und Torfe gefüllt (WOLTERS et al. 1958).

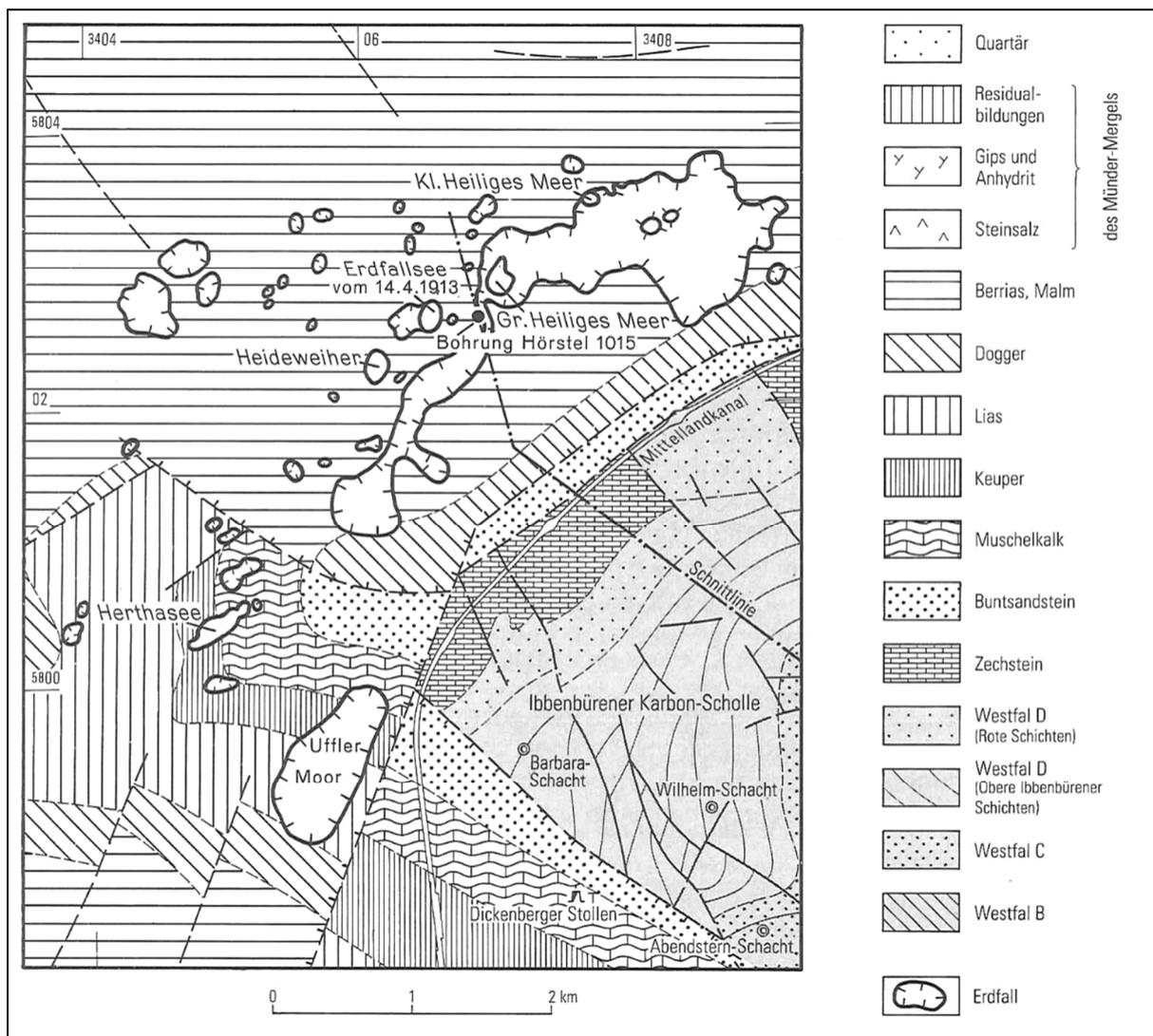


Abbildung 10: Geologische Karte des Erdfallbereiches des "Heiligen Feldes" und seiner Umgebung (THIERMANN & KOCH 1987).

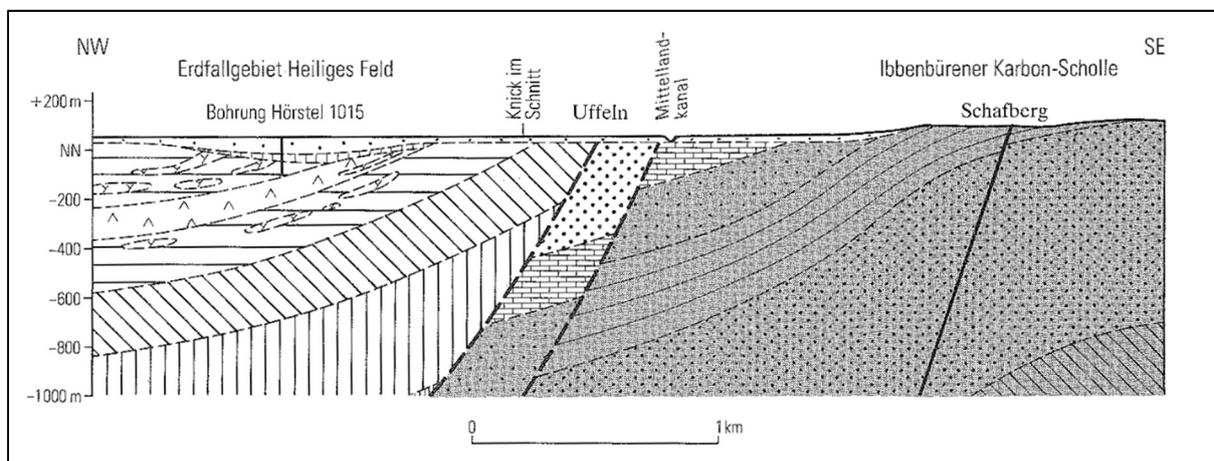


Abbildung 11: Geologischer Schnitt durch den Erdfallbereich des "Heiligen Feldes" (THIERMANN & KOCH 1987).



4. Hydrologie

Für die Erstellung des numerischen Grundwasserströmungsmodelles spielen die Lage und die Funktion der Oberflächengewässer eine wichtige Rolle. Daher wurden diese im Detail kartiert und vermessen.

4.1 Natürliche Gewässer

Das Grundwasser und das Oberflächenwasser sind in natürlichen Gewässern hydraulisch angeschlossen. Daher ist eine Kartierung der Oberflächengewässer im Hinblick auf diese Anbindung zwingend notwendig

4.1.1 Bestehende Gewässer

Bei den Hauptvorflutern im Untersuchungsgebiet handelt es sich um die Ibbenbürener Aa südlich, sowie die Mettinger Aa/Recker Aa nördlich der Ibbenbürener Karbon-Scholle.

Die Ibbenbürener Aa wird im Oberlauf als Ledder Mühlenbach sowie im Unterlauf als Hörsteler Aa, Dreierwalder Aa und Speller Aa bezeichnet. Die Ibbenbürener Aa entspringt am Nordrand des Teutoburger Waldes in ca. +110 m NHN. Der Mittel- und Unterlauf ist fast durchgehend technisch ausgebaut, nur im Oberlauf befinden sich noch naturnahe Fließstrecken (LANUV 2001). Im Stadtgebiet Ibbenbüren wird die Ibbenbürener Aa zum Aasee aufgestaut. Nach weiteren 40 km Fließstrecke erreicht die Aa die Landesgrenze nach Niedersachsen, wo sie nach einer Gesamtlängsstrecke von 61 km als Große Aa bei Lingen-Hanekenfähr in die Ems mündet (LANUV 2001).

In die Ibbenbürener Aa fließen die Grubenwässer des betriebenen Ostfeldes des BW Ibbenbüren, die zuvor die Sedimentationsanlage in Püsselbüren durchlaufen haben, sowie die in der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst behandelten Grubenwässer des bereits gefluteten Westfeldes (Anlage 10).



Im nördlichen Bereich der Karbon-Scholle existiert eine Vielzahl kleinerer Bäche, die in Richtung NE bzw. N der Mettinger Aa/Recker Aa zufließen, welche in die Ems mündet. Die Bäche am südlichen Hang fließen in die Ibbenbürener Aa. Ein Teilgebiet im Südosten der Karbon-Scholle befindet sich im Einzugsgebiet der Hase, die bei Meppen in die Ems mündet.

Die Wasserführung dieser Bäche wurde auch durch ihre Begradigung im Rahmen der Flurbereinigung beeinflusst. So bewirkte die Begradigung eine rasche Abführung der Niederschläge und damit eine Grundwasserabsenkung im Randbereich der Bäche. Diese Maßnahmen wurden durchgeführt, um die sonst nassen Böden bewirtschaften zu können. Die Bäche erhalten Zuflüsse aus Gräben, die zur Entwässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen dienen (DOMALSKI 1988).

4.1.2 Ehemalige Gewässer

Im Zuge des Grubenwasseranstiegs sind die historischen natürlichen Fließwege im Stadtgebiet Ibbenbüren sowie an den Hängen der Ibbenbürener Karbon-Scholle von Bedeutung. In vorangegangenen Untersuchungen wurden von SCHMELZER – Die Ingenieure (2016) folgende ehemalige Gewässer anhand von Archivmaterial festgestellt (Abbildung 12).

Plane/Planebach

Die Plane war das Hauptgewässer im Stadtgebiet von Ibbenbüren und durchfloss das heutige Stadtzentrum. Sie entsprang auf dem Hang des Schafberges kurz unterhalb der Wasserscheide im Bereich der „Rheiner Straße/Osnabrücker Straße (L501)“. Von dort floss sie relativ geradlinig im Verlauf der heutigen „Osnabrücker Straße (L832)“ bis zum Unteren Markt und von dort in westliche Richtung in die Ibbenbürener Aa (Abbildung 12). Bis zur Höhe des Ibbenbürener Bahnhofs wies die Plane ein starkes Gefälle mit einer hohen Fließgeschwindigkeit auf. Hiervon zeugt ein tiefer Einschnitt am „Voßhügel“.

Solbach (auch Fischbach genannt)

Ungefähr 500 m östlich der Planequelle trat Wasser an einer weiteren Quelle unterhalb der Wasserscheide im Bereich der heutigen Straßen „Von der Heydt“ und „Bergeshöhe“ aus. Von



dort aus floss der Solbach in Richtung Südwesten und strömte der Plane zu (Abbildung 12). Die Quelle des Solbaches existiert heute nicht mehr.

Ungefähr 200 m unterhalb der ehemaligen Quelle des Solbaches befindet sich eine heute noch regelmäßig schüttende Quelle („Quelle 75“), die im Monitoring zum Rahmenbetriebsplan regelmäßig beprobt wird (SCHMELZER – Die Ingenieure 2016). Wie auch die Plane wies der Solbach ein starkes Gefälle und einen tiefen Einschnitt auf. Dieser Einschnitt ist östlich der Straße „Von der Heydt“ teilweise heute noch erkennbar.

Brunne

Als weiteres Gewässer mündete im Stadtgebiet Ibbenbüren die sog. Brunne von Osten her in die Plane. Die Brunne entsprang im Bereich der heutigen „Bahnhofstraße“/„Oststraße“ (Abbildung 12) Die ergiebige Quelle der Brunne war artesisch, sie wurde in einem Brunnenhaus gefasst und sowohl als Trinkwasser als auch in einem Waschhaus genutzt. Die Gesamtlänge der Brunne von der Quelle bis zur Mündung in die Plane betrug nur 30 - 50 m.

Kützelbach (auch Kürtelbecke, Kürzelbach, Kürdelbach genannt)

Der Kützelbach floss in einem Abstand von ca. 100 - 200 m westlich der Plane. Die Quelle befand sich im Bereich der „Großen Straße“/Ecke „Heldermannstraße“ (Abbildung 12). Auf dem „Unteren Markt“ vereinigte sich der Kützelbach mit der Plane.

Wehme

Bei der Wehme handelte es sich um das westlichste Gewässer im Stadtbezirk Ibbenbüren. Ihre Quelle lag westlich der Mauritiuskirche im Bereich der „Alte Nordstraße“ (Abbildung 12) und ist heute nicht mehr sichtbar. Im Bereich der heutigen „Poststraße“ soll es einen Abschlag von der Wehme zur Plane gegeben haben. Bei Starkregen zeigen sich auf diesem Abschnitt teilweise Wasseraustritte. Südlich der „Poststraße“ konnte für die Wehme kein Fließweg ermittelt werden (SCHMELZER – Die Ingenieure 2016).

Rochusgraben I und II

Die beiden Rochusgräben befinden sich östlich des Gewässersystems der Plane. Gewässer ohne Bezeichnung mit einem ähnlichen Verlauf finden sich in der „Alten Grubenfelderkarte



vom Erzbergbau am Schafberg“ (SCHMELZER – Die Ingenieure 2016). Die mittlerweile verrohrten Gewässer sind heute überwiegend Teil der Stadtkanalisation.

Die genannten Gewässer im Stadtgebiet Ibbenbüren haben heute keine Entwässerungsfunktion mehr und existieren nicht mehr. Noch vorhandene Gewässer bzw. Gewässerteile wurden vermutlich Anfang des 20. Jahrhunderts, die Rochusgräben erst zur Mitte des 20. Jahrhunderts, verrohrt. In wie weit diese Verrohrungen – mit Ausnahme der Rochusgräben – in die Niederschlagsentwässerung der Stadt Ibbenbüren integriert wurden, ist nicht bekannt (SCHMELZER – Die Ingenieure 2016).

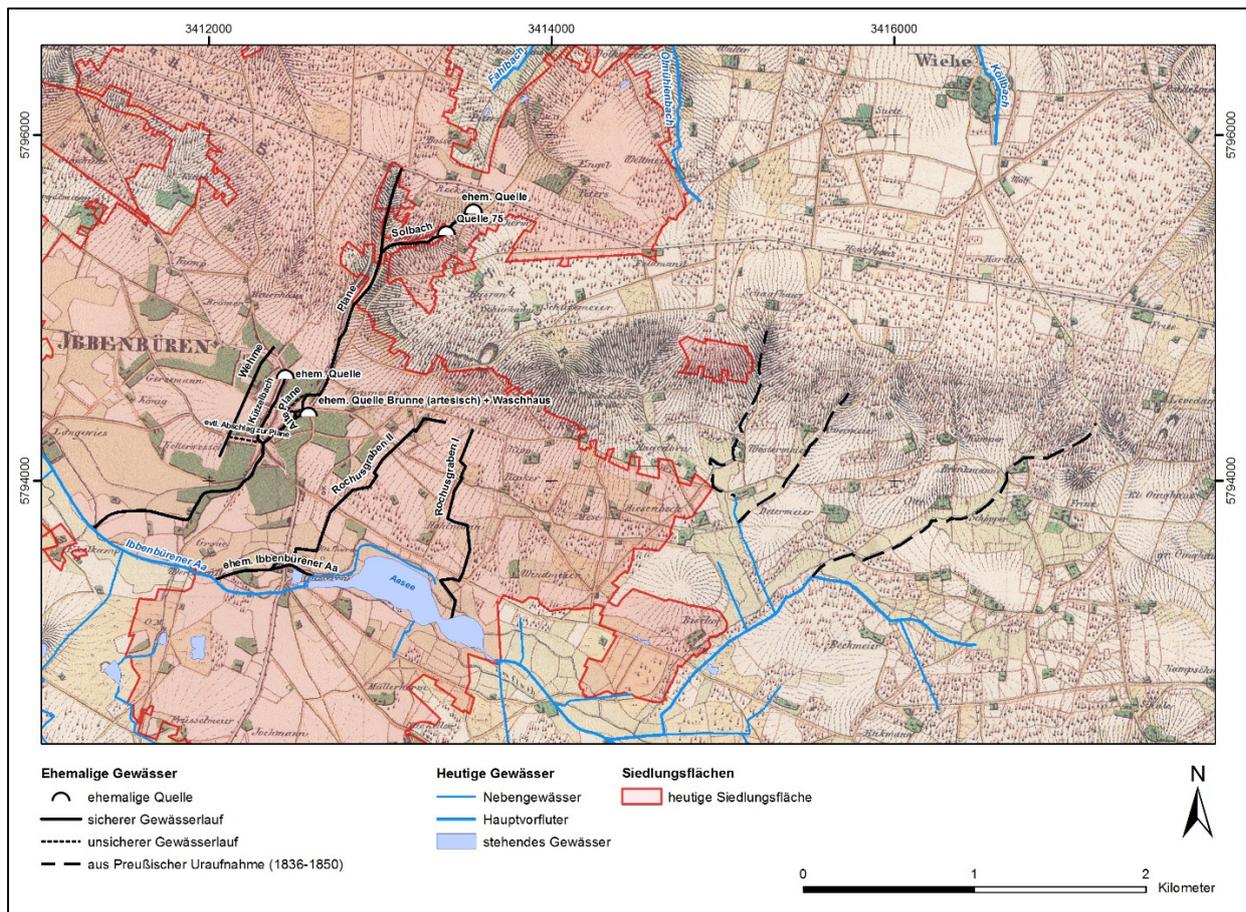


Abbildung 12: Verlauf der ehemaligen Gewässer (schwarz, SCHMELZER – Die Ingenieure 2016) (schwarz gestrichelt, Preußische Uraufnahme 1836-1850) und heutigen Gewässer (blau, GEOBASIS NRW 2017) im Stadtgebiet Ibbenbüren. Die rote Umrandung zeigt die heutige Siedlungsfläche hinterlegt mit Daten der Preußischen Uraufnahme (1836-1850, GEOBASIS NRW 2017).



4.2 Kanäle

Im Westen und Norden des Untersuchungsgebietes befindet sich der Mittellandkanal. Für das numerische Grundwasserströmungsmodell relevante Informationen über den Ausbau wurden vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Minden (WSA) zur Verfügung gestellt und berücksichtigt.

4.3 Stollen

Im Untersuchungsgebiet finden sich einige Stollen, die der Wasserhaltung der ehemaligen Erzgruben und des heutigen Bergwerkes der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH gedient haben bzw. noch dienen. Von der DMT GmbH & Co.KG, Essen wurde eine Auswertung der Grubenbilder der Erzgruben südlich und östlich der Karbon-Randverwerfung erstellt (DMT GmbH & Co.KG 2018). Die Stollen sind in Tabelle 2 zusammengestellt, die Lage ist aus Anlage 3 ersichtlich.

Tabelle 2: Stollen im Untersuchungsgebiet.

Stollen	Niveau	Stollenmundloch, sonstige Angaben
Barbara-Stollen	+58 m NHN	hydraulisch unwirksam
Dickenberger Stollen	+65 m NHN	+60 m NHN Mundloch (Auslauf)
Dickenberger Oberstollen	+90 m NHN	
Glücksburger Mittelstollen	+95 m NHN	Stollenmundloch liegt am Südhang; Fledermaus-Quartier
Püßelbürener Förderstollen	+72 m NHN	heute Sideka Industriebau GmbH
Püßelbürener Wasserstollen	+70 m NHN	heute Sideka Industriebau GmbH
Ibbenbürener Förderstollen	+85 m NHN	+83 m NHN (Aus- bzw. Einlauf Stollenbach)
Friedrich-Wilhelm-Stollen	+95,6 m NHN	Erz
Permer Stollen	+70,6 m NHN	Erz; offizielles Fledermaus-Quartier
einf. Perm	+104,2 m NHN	Permer Stollen (Steinkohle) ist gleich einf. Perm
Heewerth-Stollen	+69,2 m NHN	Tiefer Schafberger Stollen
Schafberger Oberstollen	+110 m NHN	
Bodelschwingh-Stollen	+42 m NHN	nur ein Graben zur Hörsteler Aa, keine Verbindung zum Grubenfeld, 1852 eingestellt
Glücksburger Oberstollen	+105 m NHN	ehemaliges Stollenmundloch befindet sich südlich der Siedlung Dickenberg
Bockradener Stollen	+111 m NHN	ehemaliges Stollenmundloch befindet sich 480 m nordwestlich vom Beustschacht



Stollen	Niveau	Stollenmundloch, sonstige Angaben
Adlerstollen (Steinkohle)	+98 m NHN	ehemaliges Stollenmundloch liegt östlich von Laggenbeck auf der Hofstelle Oeinghaus; ehemals Preußischer Adlerstollen
Oberer Schafberger Stollen	+110 m NHN	ehemaliges Stollenmundloch befindet sich nordöstlich des Morgenstern-Schachtes
Alexanderstollen	+125 m NHN	Erz; Friedrich Wilhelm/Rochus
Alexanderstollen	+135 m NHN	Erz; Friedrich Wilhelm/Rochus Tagebau
Muck + Horst Stollen	+73 m NHN	Erz; ehemaliges Stollenmundloch liegt am Roten Bach östlich von Mettingen
Steinbecker Stollen	+91 m NHN	Stollenmundloch befindet sich südlich von Steinbeck; Fledermaus-Quartier

4.4 Gewässergüte vor dem Grubenwasseranstieg

Die Gewässer im Untersuchungsgebiet zeigen sowohl aufgrund anthropogener als auch geogener Ursachen bestimmte Belastungen. Als Maß des Zustandes der Gewässer gelten die Biologischen Gewässergüteklassen von I (unbelastet bis sehr gering belastet) bis IV (übermäßig verschmutzt). Die Kriterien zur Bewertung der Gewässergüte sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Für NRW wurde die Gewässergüte letztmalig in den Jahren 2000 und 2001 bestimmt (LANUV 2001, LANUV 2002). Die dargestellten Gewässergüteklassen dokumentieren die Gewässerqualität vor Beginn des Grubenwasseranstiegs.

Neben den vorhandenen Nährstoffeinträgen vor allem aus Kläranlagen und der Landwirtschaft, stellt der im Raum Ibbenbüren seit Jahrhunderten betriebene Bergbau auf Steinkohle und Erz eine Belastungsquelle für die Oberflächengewässer dar. Der Erzbergbau auf Raseneisenstein, Spateneisenstein, Zinkblende und Bleiglanz wurde 1921 eingestellt, dagegen erfuhr der Steinkohlenabbau mit Übernahme durch die damaligen PREUSSAG AG im Jahre 1924 eine bis heute anhaltende Modernisierung und Mechanisierung.

4.4.1 Ibbenbürener Aa

Die Steinkohlenförderung in Ibbenbüren ist durch die höchsten Grubenwasserzuflüsse aller deutschen Steinkohlenreviere gekennzeichnet (BÄSSLER 1970). Die teils sauren, Eisen- und Sulfat-haltigen, teils stark Chlorid-haltigen Grubenwässer werden nach der Neutralisation und



chemischen Fällung des enthaltenen Eisens in die Ibbenbürener Aa eingeleitet. Durch die Grubenwasser-Zuflussrate von etwa $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ wird die Abflussrate der Ibbenbürener Aa (Jahresmittel $1,78 \text{ m}^3/\text{s}$) stark erhöht (LANUV 2001).

Das Grubenwasser des im Abbau befindlichen Ostfeldes weist Chlorid-Konzentrationen von durchschnittlich 16.000 mg/l auf, wobei es sich um reines Natriumchlorid handelt. Ebenfalls stark Chlorid-haltig sind die an gleicher Stelle befindlichen Einleitungen zweier chemischer Betriebe, des Kraftwerkes Ibbenbüren und des nicht mehr im Abbau befindlichen, vollgelaufenen Westfeldes (LANUV 2001).

Die Ibbenbürener Aa wies an der Trendmessstelle am Pegel Hörstel im Jahr 1999 eine Chlorid-Konzentration von 8.870 mg/l auf und ist damit als übermäßig von Chlorid belastet einzustufen (LANUV 2002). Bereits in der Gewässergütekarte aus dem Jahr 1968 wurde der Ibbenbürener Aa unterhalb der Einleitung des Grubenwassers mit der Belastungsstufe „sehr stark verschmutzt“ eingestuft. Diese Einstufung mit Güteklasse III-IV hat sich bis zur Fertigstellung des letzten Gewässergüteberichts (LANUV 2001) nicht geändert. Die Ibbenbürener Aa wird aufgrund der hohen Chlorid-Fracht in diesem Bereich nur von salztoleranten Arten besiedelt.

Neben den hohen Salzfrachten sind in der Ibbenbürener Aa und ihren Zuflüssen auch Beeinträchtigungen der Fauna und Flora durch Eisenhydroxid-Ausfällungen zu beobachten. Diese sind zum überwiegenden Anteil geogenen Ursprungs. Aus den Raseneisenerzen wird unter reduzierenden Verhältnissen vom Grundwasser Eisen gelöst, sobald atmosphärischer Sauerstoff hinzutritt, fällt Eisenhydroxid aus. Dieser Zusammenhang wird durch die Korrelation der Eisen-Konzentration der Ibbenbürener Aa mit dem Grundwasserstand im Einzugsgebiet deutlich.

Darüber hinaus ist das Sediment der Ibbenbürener Aa stark mit Schwermetallen belastet. Hauptverursacher ist ein Betrieb der chemischen Industrie, der quecksilberbelastete Abwasser aus der Chloralkali-Elektrolyse eingeleitet hat. In einem Wehrrückstau bei Dreierwalde wurde ein durchschnittlicher Quecksilber-Massenanteil am Sediment von 35 mg/kg (Trockensubstanz) bestimmt. Dieser hoch belastete Bereich wurde durch die Kreisverwaltung Steinfurt inzwischen saniert, indem das belastete Gewässersediment entfernt wurde (LANUV 2001).



Der Oberlauf der Ibbenbürener Aa gilt auch unterhalb der Kläranlage Ledde als mäßig belastet (Güteklasse II). Unterhalb des Ibbenbürener Aasees zeigt die biologische Besiedlung den Grenzbereich zwischen Güteklasse II und II-III an. Unterhalb von Ibbenbüren-Schierloh hat sich nach Stilllegung der dortigen Kläranlage im Dezember 1997 in der Aa eine Güteverbesserung um eine Stufe nach Güteklasse II-III eingestellt. Im weiteren Fließverlauf ist die Ibbenbürener/Hörsteler Aa durch die Einleitung salzhaltiger Grubenwässer der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH biologisch weitgehend verödet und wird daher in Güteklasse III-IV eingestuft. Eine deutliche Rotfärbung des Wassers tritt zudem geogen durch Verockerung von Torfen auf. Eine Selbstreinigung der Aa findet aufgrund fehlender Besiedlung durch Fauna und Flora kaum statt (LANUV 2002).

4.4.2 Weitere Fließgewässer

Der Laggenbecker Mühlenbach weist die Güteklasse II auf und ist damit nur mäßig belastet. Der Altenrheiner Bruchgraben wird in Höhe Dreierwalde und vor dessen Mündung in die Hopstener Aa untersucht und entspricht durchgängig der Güteklasse II-III. Der nördlich von Hörstel zufließende Bärenortgraben ist stark mit Eisenhydroxid belastet. Aufgrund einer Auskleidung des Bachbettes kann sich dort keine Gewässerfauna ansiedeln und damit keine Einstufung in eine Gewässergüteklasse erfolgen. Der ursprünglich für die Ableitung von Grubenwässern angelegte Bodelschwingh-Stollen wird heute durch einen Ablauf aus dem Uffeler Moor gespeist und dient durch Aufstau der Wasserstandsregulierung im Herthasee. Unterhalb des Aufstaus ist das Gewässer stark mit Eisenhydroxid belastet. Eine Bewertung nach der faunistischen Erfassung ist dort nicht möglich (LANUV 2002).

Die Mettinger/Recker/Hopstener Aa entspricht seit 1996 auf nordrhein-westfälischem Gebiet durchweg der Güteklasse II (LANUV 2002). Auch der Hauptgraben unterhalb der Kläranlage Westerkappeln sowie dessen aus Westerkappeln stammende Nebengewässer Mühlenbach oder Westerbecker Graben sind unverändert mäßig belastet. Der Strootbach/Bockradener Mühlenbach verbleibt unterhalb der ehemaligen Kläranlage Bockraden in Güteklasse II-III. Bis zur Mündung in die Recker Aa erholt er sich auf Güteklasse II. Die Kläranlage Bockraden wurde



Ende 2001 aufgegeben und das Abwasser wird seitdem zur Kläranlage Püsselbüren der Stadt Ibbenbüren geleitet. Die Meerbecke unterhalb des Naturschutzgebietes Heiliges Meer und ebenso die Giegel-Aa unterhalb der Kläranlage Hopsten weisen eine Qualität der Güteklasse II auf. Eine Übersicht der Güteklassen der Gewässer im Untersuchungsgebiet ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Gewässergüteklassen der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet.

Fließgewässer	Gewässergüteklasse	Beschreibung
Hörsteler/Ibbenbürener Aa unterhalb Kläranlage Ledde unterhalb Aasee unterhalb Schierloh nach Grubenwassereinleitung	II II – III II – III III – IV	mäßig belastet kritisch belastet kritisch belastet sehr stark verschmutzt
Laggenbecker Mühlenbach	II	mäßig belastet
Altenrheiner Bruchgraben	II – III	kritisch belastet
Bärenortgraben	n. b.	Bewertung nicht möglich
Bodelschwingh-Stollen	n. b.	Bewertung nicht möglich
Mettinger /Recker/Hopstener Aa	II	mäßig belastet
Mühlenbach/Westerbecker Graben	II	mäßig belastet
Strootbach/Bockradener Mühlenbach	II-III	kritisch belastet
Meerbecke	II	mäßig belastet



5. Hydrogeologie

Die geohydraulischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinseinheiten im Untersuchungsgebiet sind für die Erstellung des numerischen Grundwasserströmungsmodelles von großer Bedeutung. Des Weiteren ist der Chemismus des Grundwassers in den einzelnen Horizonten für die Nutzung wichtig.

5.1 Hydrogeologischer Überblick

Bedingt durch den tektonischen Aufbau sind im Untersuchungsgebiet Locker- und Festgesteine unterschiedlichen geologischen Alters und unterschiedlicher geohydraulischer Eigenschaften verbreitet (Tabelle 4). Das Spektrum umfasst Lockergesteine des Quartär, Festgesteine des Mesozoikum, des Perm und des Karbon. Auf Grund der Gesteinszusammensetzung variieren die hydrogeologischen Eigenschaften, die für die Niederschlagsversickerung und die Speisung des Grundwasserkörpers sowie für die Grubenwasserzuflüsse von Bedeutung sind, im weiten Umfang. Es werden verschiedene geohydraulische Eigenschaften (Tabelle 4) vom Grundwassergeringleiter bis zum Grundwasserleiter angetroffen, die ein komplexes System aufbauen.

Der generelle Aufbau des Grundwasserleitersystems lässt sich im Untersuchungsgebiet wie folgt charakterisieren:

1. Grundwasserstockwerk

Das erste Grundwasserstockwerk wird aus den Deckschichten des Quartär gebildet. Der tagenahe Grundwasserkörper wird durch eine Vielzahl von Brunnen für die Hauswasserversorgung genutzt. Schutzgebiete existieren nur am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes in Form von Trinkwasserschutzgebieten. Heilquellenschutzgebiete liegen nicht vor (Anlage 12). Die Sohle des ersten Grundwasserstockwerks wird durch Geschiebelehme, Grundmoränenablagerungen und tonige Verwitterungshorizonte gebildet. Die lokal auftretenden Ablagerungen von Lias und Malm im Liegenden des Quartär sind als Grundwassernichtleiter einzustufen. Auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle kommt es oberflächennah durch Verwitterung von Karbon-Gesteinen zur Ausbildung einer schwer durchlässigen Schicht. Auf dieser Verwitterungsschicht



bildet sich ein schwebendes Grundwasserstockwerk (DIN 4049-3), das von einer ungesättigten Zone unterlagert ist und in diesem Fall oberhalb des eigentlichen Grundwasserstockwerks liegt.

2. Grundwasserstockwerk

Das zweite Grundwasserstockwerk bilden die geklüfteten Kalke des Zechstein (Perm). Die Ergiebigkeit dieses Kluftgrundwasserleiters ist von geringer Bedeutung und nicht anhaltend. Wasserzuflüsse von $0,1 \text{ m}^3/\text{min}$ sind beim Durchteufen des Zechstein im Schacht Bockraden dokumentiert (BÄSSLER 1968). Die geringe Wasserführung kann vermutlich auf die Geschiebelehne und tonigen Verwitterungsbildungen im Hangenden des Zechstein zurückgeführt werden. Die Sohle dieses Kluftgrundwasserleiters bilden die Mergelschiefer des Kupferschieferflözes.

3. Grundwasserstockwerk

Das dritte Grundwasserstockwerk der Ibbenbürener Karbon-Scholle wird aus den geklüfteten Sandsteinen des Oberkarbon aufgebaut. Wo diese nicht von den Zechstein-Kalken überlagert werden, können sie auch direkt vom ersten Grundwasserstockwerk des Quartär überlagert werden. Die Wasserwegsamkeit der karbonzeitlichen Sandsteine ist in besonderem Maße an die Klüfte gebunden. Die kompakten Sandsteine weisen eine effektive Porosität $n_{\text{eff}} = 6 - 14 \text{ Vol.-%}$ und eine Durchlässigkeit $k_f < 10^{-8} \text{ m/s}$ auf und sind nach DIN 18130-1 (1998) als sehr schwach durchlässig einzustufen. Die geohydraulische Leitfähigkeit wird außerdem durch undurchlässige Schiefer-tonlagen verringert. Die Sandsteine des Westfal D sind im Untersuchungsgebiet aufgrund ihrer Klüftung als bedeutende Grundwasserleiter einzustufen. So mussten in einigen Bereichen des Grubengebäudes Zuflussraten von ca. $3 \text{ m}^3/\text{min}$ aus den Sandsteinen des Karbon angenommen werden.



Tabelle 4: Mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte (GEOLOGISCHER DIENST NRW (2001)), Hydrogeologische Eigenschaften (DOMALSKI 1988) der Gesteinseinheiten.

Einheit	Stufen	Lithologie	Hydrogeologische Eigenschaft	Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)
Quartär	Pleistozän	Fein- und Mittelsand, vereinzelt mit Schluffbänken, Grobsand und Kieslagen	Porengrundwasserleiter	$5 \cdot 10^{-5}$
Tertiär	ungegliedert	kein Vorkommen im Modellgebiet	-	-
Kreide	Oberkreide	kein Vorkommen im Modellgebiet	-	-
Kreide	Unterkreide (Alb)	Ton- und Tonmergelstein in Wechsellagerung mit Sandstein	Kluffgrundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-6}$
Jura	Malm	Kalksandstein und Sandstein (z. T. quarzitisch), mit Einlagerungen Tonstein und Mergelstein	Kluffgrundwasserleiter mit mäßiger bis geringer Trennfugendurchlässigkeit	$5 \cdot 10^{-5}$
Jura	Dogger	Ton- und Tonmergelstein, glimmerhaltig, vereinzelt mit Kalkstein oder Kalksandstein	Grundwasseringleiter	$1 \cdot 10^{-8}$
Jura	Dogger/Lias	Ton- und Tonmergelstein, glimmerhaltig, vereinzelt mit Kalkstein oder Kalksandstein	Grundwasseringleiter	$1 \cdot 10^{-8}$
Jura	Lias	Tonstein	Grundwasseringleiter	$1 \cdot 10^{-9}$
Trias	Keuper	Ton-, Tonmergel-, Kalkstein und Kalksandstein	Grundwasserleiter, ohne nutzbares Grundwasservorkommen	$1 \cdot 10^{-6}$
Trias	Muschelkalk	Wechselfolge von Tonstein, Mergelstein und z. T. oolithischem Kalkstein	Kluffgrundwasserleiter mit sehr guter bis guter Trennfugendurchlässigkeit	$5 \cdot 10^{-5}$
Trias	Buntsandstein	Tonstein, sandiger Zechstein und toniger Sandstein in Wechsellagerung, z.T. Mergel- und Kalkstein	Kluffgrundwasserleiter mit mäßiger bis geringer Trennfugendurchlässigkeit	$1 \cdot 10^{-8}$
Perm	Zechstein	Mittlerer bis oberer Zechstein mit Plattendolomit, Hauptdolomit und Anhydrit II, Unterer Zechstein mit Zechstein-Kalk, Kupferschiefer und Zechstein-Konglomerat	Kluffgrundwasserleiter mit sehr guter bis guter Trennfugendurchlässigkeit	$5 \cdot 10^{-5}$
Karbon	Westfal	Sandstein und Konglomerat im Wechsel mit kohlenflözführendem Tonstein	Kluffgrundwasserleiter mit guter bis mäßiger Trennfugendurchlässigkeit	$1 \cdot 10^{-6}$



Generell strömt Grundwasser schichtparallel und ist damit durch das Einfallen der einzelnen Schichten und deren Durchlässigkeit bestimmt. An den zahlreichen im Untersuchungsgebiet auftretenden Störungen ist das Gestein intensiv zerrüttet, wodurch sich an diesen Strukturen erhöhte Durchlässigkeiten und damit geohydraulische Fließwege für höher konzentrierte Tiefenwässer ergeben. Da es sich überwiegend um Abschiebungen handelt, die auf Zerrungsvorgänge zurückzuführen sind, wird hierdurch die Wasserdurchlässigkeit des Gebirges vergrößert (LOTZE et al. 1962).

Im ungestörten Karbon ist die Wasserwegsamkeit vor allem an die Porenhohlräume der Sandsteine gebunden, wohingegen die Tonschichten den Grundwasserbewegungen senkrecht zum Schichteinfallen entgegenstehen. Wo diese aber natürlich durch Klüfte oder anthropogen durch den Bergbau gestört sind, kann die Grundwasserwegsamkeit lokal erhöht sein. Bis in 700 m Tiefe (Westfal C und Westfal D) herrschen Dehnungsstörungen im geologischen Bau vor, die im Bergbau zu Grubenwasserzuflüssen führen können. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Zuflüsse aufgrund der Einengungstektonik mit Überschiebungen, Blattverschiebungen und flachen Falten ab. Dort setzt nach DROZDZEWSKI (2003) anstelle einer Wasserführung eine starke Gasführung des Gebirges ein.

Die Gesteine des Oberkarbon im Untersuchungsgebiet bestehen aus einer Wechselfolge von Tonsteinen, Schluffsteinen, Sandsteinen, Konglomeraten und Steinkohlenflözen. Teilweise sind in kleineren Gräben des Bockradener Grabens und am NW-Rand der Karbon-Scholle Ablagerungen des Zechstein erhalten. Die Schichten des Oberkarbon von Ibbenbüren besitzen ein generelles Einfallen von ca. 5° nach NE (THIERMANN & KOCH 1987). So stehen am Dickenberg, am Südwestrand der Ibbenbürener Karbon-Scholle, Schichten des Westfal C als älteste Schichten an, die in Richtung NE von Schichten des Westfal D überlagert werden. Untersuchungen von BÄSSLER (1968) im tektonisch stark beanspruchten Bockradener Graben zeigen eine abweichende Schichtlagerung mit einem NNE-SSW gerichteten Streichen bei einem Einfallen nach NW. Der Bockradener Graben wird durch meist abdichtende NNE-SSW streichende Störungen von den umgebenden Abbaufeldern Westfeld und Ostfeld abgegrenzt und stellt nach BÄSSLER (1968) somit hinsichtlich seiner morphologischen Ausbildung eine exakt zu umgrenzende hydrologische Einheit dar.



Das hydrogeologische System des Bockradener Grabens stellt eine Besonderheit im Untersuchungsgebiet dar und wird durch die Ausbildung von drei Grundwasserstockwerken bestimmt. Es handelt sich hierbei vom Hangenden zum Liegenden um die schwach bis unverfestigten Deckschichten des Quartär, die Kalke des Zechstein sowie die geklüfteten Sandsteine des Karbon (BÄSSLER 1968). Tektonisch handelt es sich um ein Grabensystem, das aus Teilgräben, Staffelbrüchen und einer zentralen Horstscholle besteht. Diese tektonische Hochscholle prägt sich morphologisch an der Geländeoberfläche aus und wird als Gartenberg bezeichnet. Die jeweils tiefer liegenden Gebirgsschollen weisen eine außerordentlich intensive Klüftung und Zerrüttung des Gesteinsverbandes auf, wohingegen die Hochschollen bis unmittelbar vor den Hauptverwerfungen einen kompakten Verband aufweisen. Der Bockradener Graben wird durch den Strootbach im westlichen und den Polkenbach im östlichen Seitental des Gartenbergs nach Norden entwässert.

5.2 Hydrochemie

Generell passt sich das Grundwasser aufgrund seines Lösungsvermögens dem Chemismus des jeweiligen Gesteines an. Durch oberflächennahe Einträge und durch Wasseraustausch mit anderen Schichten kann es allerdings zur Vermischung kommen und damit der Grundwassertyp verändert werden. Diese Vermischungsprozesse können durch Störungen wie z. B. im Bereich des Vorlandes der Ibbenbürener Karbon-Scholle verstärkt werden.

Die im Bereich der Karbon-Scholle versickernden Niederschläge speisen das Grundwasser, das zunächst gering mineralisiert ist. Auf dem Fließweg nimmt dieses Wasser Mineralien aus den durchflossenen Gesteinen auf, wodurch sich dessen Mineralisation erhöht. Somit wird die bereits geogen vorhandene Salinität der Karbon-Wässer durch Auslaugung der Salinargesteine des Perm sowie der Trias (Röt) vergrößert.



Karbon

Das stark mineralisierte Formationswasser der tieferen Karbon-Schichten gehört dem Na-Ca-(Mg)-Cl- bzw. Na-Cl-Typ an. Diese Tiefenwässer enthalten (bei geringen Eisen-Konzentrationen) zudem überwiegend primäre Sulfat-Gehalte, die Barium/Strontium-Konzentrationen sind gering (Ca-Mg-SO₄-Typ).

Durch den Einfluss des bergmännischen Abbaus kommt es durch Pyrit-Oxydation sekundär zur zusätzlichen Bildung von Sulfat. Dies führt allerdings in den Grubenwasserzuflüssen nur sehr vereinzelt zur Verringerung des pH-Wertes, da überwiegend genügend Karbonat im Gestein zur Verfügung steht, um diese Säurebildung abzupuffern. Im Zuge des Grubenwasseranstiegs und der damit verbundenen Lösung der Oxidationsprodukte ist allerdings mit einer Verringerung der pH-Werte und Lösung von Oxidationsprodukten wie Eisen und Sulfat zu rechnen.

Generell handelt es sich um oberflächennahes, gering mineralisiertes und meteorisch beeinflusstes Wasser vom Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃-Typ.

Perm (Zechstein), Trias, Jura

Die Kalksteine des Zechstein und des Jura sowie die Sandsteine des Keuper, die Kalksteine des Muschelkalk und die Sandsteine des Buntsandstein sind durch tektonische Elemente wie Ab-, Auf- und Überschiebungen zerrüttet, dadurch ist ein guter geohydraulischer Kontakt gegeben, der den Stoffaustausch der verschiedenen Wässer ermöglicht. Es sind Wassertypen von Ca-Mg-(Na)-HCO₃-SO₄-(Cl)-(NO₃) bis Mg-Ca-HCO₃-SO₄-(Cl) (HK Ibbenbüren) anzutreffen. Salzgehalte aus Perm und Trias erhöhen den Chlorid-Anteil.

Kreide

In den kalkigen und tonigen Sandsteinen der Unterkreide findet sich Wasser vom Ca-Mg-SO₄-Cl-Typ und in den Kalksteinen und Kalkmergelsteinen der Oberkreide (Cenoman und Turon) Wasser vom Ca-HCO₃-(SO₄)-Typ.

Quartär

Generell handelt es sich bei dem Wasser im Quartär um einen Ca-Mg-HCO₃-Typ. Das Hydrogencarbonat (HCO₃) ist durch den Mineralbestand der umgebenden Gesteine bedingt.

Erhöhte Konzentrationen bestimmter Wasserinhaltsstoffe im Quartär lassen sich auf unterschiedliche Ursachen zurückführen. Die Sulfat-Konzentrationen sind z. B. auf die Zersetzung



pflanzlicher und torfiger Substanzen sowie auf die Einwirkung landwirtschaftlicher Düngung zurückzuführen. Die Chlorid-Konzentrationen liegen vielfach in der Abwasserversickerung im Bereich landwirtschaftlicher Anwesen begründet. Speziell im nördlichen Vorland der Ibbenbürener Karbon-Scholle treten aufgrund der natürlichen Moorböden erhöhte Eisen-Konzentrationen auf.

5.3 Grundwassernutzung

Im folgenden Kapitel werden das Auftreten von Quellen, die Nutzung des Grundwassers sowie dessen Schutz erläutert.

5.3.1 Quellen

Für die Darstellung der natürlich auftretenden Quellen wurden zahlreiche aktuelle als auch historische Informationsquellen ausgewertet (Anlage 10). Aufgrund der Detailfülle wurden hierzu separate Karten der einzelnen Datenquellen erstellt:

- Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks (WBK) und Quellenmonitoring der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, hierzu:
 - Blatt Recke Nr. 23 (1965),
 - Blatt Seeste Nr. 24 (1971),
 - Blatt Mettingen Nr. 33 (1966),
 - Blatt Bevergern Nr. 42 (1969),
 - Blatt Ibbenbüren Nr. 43 (1967),
- Geologischer Dienst NRW:
 - Hydrologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000, Blatt L 3712 Ibbenbüren,
 - Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000
 - Blatt 3611 Hopsten,
 - Blatt 3612 Mettingen,



- Blatt 3613 Westerkappeln,
- Blatt 3711 Bevergern,
- Blatt 3712 Tecklenburg,
- Informationssystem Quellen des GD NRW:
 - Quellen nach GD NRW,
 - Quellen nach Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz,
 - Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS).

Mit Ausnahme des westlichen Randes des Dickenberges treten natürliche Quellen in der gesamten Umrandung der Ibbenbürener Karbon-Scholle auf. Zahlreiche weitere natürliche Quellen treten entlang des Teutoburger Waldes, sowie in der östlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes oberhalb von Geländehöhen von +63 m NHN auf. Das Auftreten dieser großen Anzahl an Quellen ist auf die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten im Bereich der Karbon-Scholle und des Teutoburger Waldes zurückzuführen.

Die Schüttung der Quellen ist teilweise durch bergbauliche Tätigkeit beeinträchtigt worden (Schulenbach, Strootbach, Fahlbach, Ölmühlenbach). Einige Quellen haben nach der Stilllegung des Westfeldes ihre Schüttung wieder aufgenommen (z. B. Pötter'sche Quellen/Uffeln). Die nicht beeinflussten Quellen befinden sich hauptsächlich am Nord- und Nordostrand der Ibbenbürener Karbon-Scholle (DOMALSKI 1988).

Nach Auswertung aller oben genannten Informationsquellen treten im Untersuchungsgebiet natürliche Quellen – mit wenigen Ausnahmen – generell nur oberhalb des von RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH geplanten Grubenwasser-Anstiegsniveaus von +63 m NHN auf. Im Stadtgebiet Ibbenbüren existieren in einer Datenbank des GD NRW Hinweise auf drei Quellen unterhalb von +63 m NHN, die generell von einem Grundwasseranstieg betroffen sein könnten. Diese Quellen liegen am westlichen Stadtrand von Ibbenbüren, südlich des Püßelbürener Damms.



Die historischen und heute versiegten Quellen des Solbaches sowie der Plane im Stadtgebiet von Ibbenbüren befinden sich unmittelbar südlich der West-Ost verlaufenden Osnabrücker Straße. Aussagen über ein mögliches Wiederauftreten einer Schüttung an diesen beiden wie auch den drei darüber genannten Quellen sind in Kapitel 9 enthalten.

5.3.2 Grundwasserentnahmen

An einigen Lokalitäten im Modellgebiet wird Grundwasser durch die Industrie, das Gewerbe sowie private Haushalte gefördert. Die bewilligten Förderraten für die Grundwasserentnahmen wurden von der Kreisverwaltung Steinfurt (Umwelt- und Planungsamt) übermittelt und sind in Anlage 12 dargestellt. Diese Grundwasserentnahmen sind ein wichtiger Bestandteil des numerischen Grundwasserströmungsmodelles.

Von den Unternehmen mit den größten Grundwasserentnahmen wurden auf Anfragen die Entnahmeraten der letzten Jahre mitgeteilt und in das numerische Grundwasserströmungsmodell implementiert.

Die Conditorei Coppenrath & Wiese KG, Mettingen verfügt insgesamt über vier Förderbrunnen, für die eine Erlaubnis für eine Entnahme von 90.000 m³/a vorliegt. Im Jahr 2016 wurde ein Brunnen dauerhaft für die Produktion von Lebensmitteln betrieben und ein weiterer bei Bedarfsspitzen hinzugeschaltet. Zwei Brunnen wurden im Jahr 2016 nicht betrieben und stehen als Reserven bereit (Tabelle 5).

Von den erlaubten 90.000 m³/a wurde im Zeitraum 2013-2016 nur jeweils ca. 2/3 entnommen:

men:	2013:	66.560 m ³ /a
	2014:	67.523 m ³ /a
	2015:	63.579 m ³ /a
	2016:	64.616 m ³ /a.



Tabelle 5: Monatliche Förderraten der Conditorei Coppentrath & Wiese KG im Jahr 2016.

Datum	Förderraten (m ³ /Monat)				
	EB 1	EB 2/1	EB 2/2	EB 3	Gesamt
Januar	0	0	0	3.527	3.527
Februar	0	0	0	3.416	3.416
März	0	0	0	4.364	4.364
April	0	0	0	4.563	4.563
Mai	0	0	0	5.630	5.630
Juni	0	0	0	8.167	8.167
Juli	0	0	0	6.293	6.293
August	397	0	0	6.664	7.061
September	1.213	0	0	7.453	8.666
Oktober	191	0	0	4.397	4.588
November	28	0	0	4.911	4.939
Dezember	15	0	0	3.386	3.401
Summe	1.844	0	0	62.772	64.616

Die Stärkefabrik Crespel & Deiters GmbH & Co. KG, Ibbenbüren fördert derzeit aus zwei Förderbrunnen am Nordhang des Teutoburger Waldes, südlich der Bundesautobahn A30. Für die Brunnen liegen Erlaubnisse für Entnahmen von 250.000 m³/a bzw. 350.000 m³/a vor. Diese erlaubten Förderraten wurden im Zeitraum 2014 - 2016 jedoch in Summe nur zu ca. 5 % genutzt, wie die Auflistung der jährlichen Entnahmen in Tabelle 6 zeigt. Die Förderung des Brunnen 7 wurde ab Ende 2015 reduziert, was durch eine Steigerung der Entnahmen aus dem Brunnen 8 kompensiert wurde (Abbildung 13).

Tabelle 6: Jährliche Förderraten der Crespel & Deiters GmbH & Co. KG im Zeitraum 2014-2016.

Datum	Förderraten (m ³ /a)		
	Brunnen 7	Brunnen 8	Gesamt
Erlaubt	250.000	350.000	600.000
2014	7.650	22.513	30.163
2015	7.979	23.185	31.164
2016	1.530	30.629	32.159

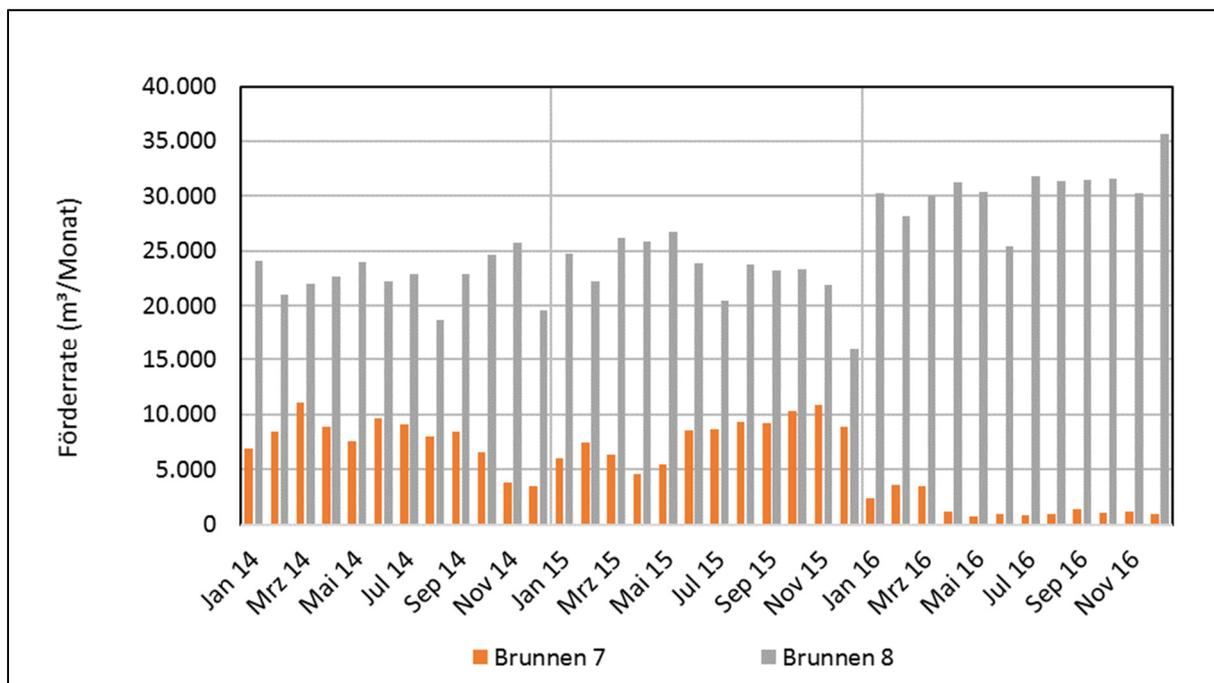


Abbildung 13: Monatliche Förderraten der Crespel & Deiters GmbH & Co. KG im Zeitraum 2014-2016.

Im Osten der Stadt Ibbenbüren finden größere Grundwasserentnahmen durch die Schäfer Wäsche-Vollservice GmbH, Gildestraße 69, statt. Die Summe der bewilligten Fördervolumina beträgt nach Angaben der Kreisverwaltung Steinfurt (Zweigstelle Tecklenburg) 100.000 m³/a. Nach Auskunft des Betriebes wurden im Jahr 2016 aus insgesamt drei Brunnen ca. 65.000 m³ gefördert.

Im Bereich des Bockradener Grabens wird durch landwirtschaftliche Betriebe Grundwasser entnommen, es liegen aber keine wasserrechtlichen Erlaubnisse vor.

Die Standorte der Grundwasserentnahmen sowie deren jährlich erlaubte Förderraten sind der Anlage 12 zu entnehmen.

Darüber hinaus existieren im Modellgebiet mehr als 250 Erdwärmesonden (geschlossenes System). Nach Angaben der Kreisverwaltung Steinfurt handelt es sich bei den in Anlage 12 dargestellten Erdwärmesonden um eine repräsentative Auswahl der vorhandenen Archivunterlagen. Eine vollständige Digitalisierung der Archivdaten liegt nicht vor.



5.3.3 Wasserschutzgebiete

Innerhalb der Grenzen des Modellgebietes sind von der Bezirksregierung Münster aktuell keine Wasserschutzgebiete ausgewiesen. In der Vergangenheit existierten allerdings in diesem Gebiet Wassergewinnungsanlagen, die durch den ehem. Kreiswasserversorgungsverband (heute: Wasserversorgungsverband Tecklenburger Land) und durch die ehemalige Preußischen Bergwerks- und Hütten-AG (PREUSSAG AG) betrieben wurden. Südlich des Modellgebietes finden sich Wasserwerke mit Schutzzonen, die der Vollständigkeit halber hier aufgeführt sind (Anlage 12).

Wasserwerk Lehen

Südlich der Stadt Ibbenbüren, am Nordhang des Teutoburger Waldes, befindet sich das Wasserschutzgebiet Ibbenbüren-Lehen. Es wird Trinkwasser aus zwei Vertikalfilterbrunnen mit Ausbautiefen von jeweils 100 m aus dem Bocketaler Sandstein (Valangin) gefördert. Die Förderraten der Brunnen liegen jeweils bei ca. 35 m³/h (THIERMANN et al. 1980). Nach Angaben des Hydrologischen Kartenwerkes der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (Blatt Ibbenbüren) (Anlage 10) befinden sich innerhalb des Wasserschutzgebietes drei Quellen, sowie weitere Quellen in der direkten Umrandung, die damit einen Wasserreichtum dieses Standortes belegen.

Wasserwerk Dörenthe

Südlich des Teutoburger Waldes befindet sich das Wasserschutzgebiet Dörenthe. Diese Wassergewinnungsanlage wurde 1952 durch die damalige Preußische Bergwerks- und Hütten-Aktiengesellschaft Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren (PREUSSAG AG 1959) zur Deckung des Betriebswasserbedarfes des 150-MW-Kraftwerkes Ibbenbüren auf dem Schafberg gebaut. Die Brunnen vom Wasserversorgungsverband Tecklenburger Land (WTL) weisen folgende technische Daten auf:

- 2 Horizontalfilterbrunnen, Ausbautiefe (Teufe): 15 m, Förderrate je Brunnen: im Mittel 120 m³/h (COLDEWEY et al. 2017),
- 4 Vertikalfilterbrunnen, Ausbautiefe (Teufe): 27 m, Förderrate je Brunnen: 40 m³/h,



- 14 Vertikalfilterbrunnen (Heberbrunnen), Ausbautiefe (Teufe): 27 m, Förderrate je Brunnen: 15 m³/h.

Das Grundwasser wird aus der Vorosning-Rinne gewonnen, die mit fast 30 m mächtigen Kiesen und Sanden erfüllt ist. Zur Steigerung der Förderrate werden 1,5 Mio. m³/a Flusswasser aus der ca. 8 km entfernten Glane, südlich von Saerbeck, herangeführt und in 10 Versickerungsbecken versickert (THIERMANN et al. 1980). Am 01.05.1997 kaufte der Wasserversorgungsverband Tecklenburger Land (WTL) die Wassergewinnungsanlage Dörenthe von der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH.

Wasserwerk Brochterbeck

Das Wasserwerk Brochterbeck wurde im Jahr 1984 errichtet und schließt sich direkt südöstlich an das WW Dörenthe an. Die Wassergewinnung erfolgt aus insgesamt 22 Vertikal- sowie 3 Horizontalfilterbrunnen. Die Brunnen vom Wasserversorgungsverband Tecklenburger Land (WTL) weisen folgende technische Daten auf:

- 3 Horizontalfilterbrunnen, Ausbautiefe (Teufe): 30 m, Förderrate je Brunnen: 120 - 180 m³/h.
- 22 Vertikalfilterbrunnen, Ausbautiefe (Teufe): 20 – 30 m, Förderrate je Brunnen: 30 - 50 m³/h.

Wasserwerk Schollbruch

Das Wasserwerk Schollbruch befindet sich nördlich der Stadt Lengerich. Es wurde 1913 errichtet und gewinnt Trinkwasser aus drei Vertikalfilterbrunnen mit Tiefen von 50 – 80 m (WASSERVERSORGUNGSVERBAND TECKLENBURGER LAND 2017).

5.3.4 Vorkommen und Nutzung mineralisierter Grundwässer

Im Untersuchungsgebiet treten vereinzelt mineralisierte Grundwässer mit erhöhten Sulfatgehalten auf, die balneologisch genutzt werden. Auf Grund der Zusammensetzung soll hier auf das Schwefelbad Steinbeck sowie das ehemalige Schwefelbad Holthausen eingegangen werden.



Schwefelbad Steinbeck

Im Norden des Modellgebietes, am westlichen Ortsrand von Recke, befindet sich eine weitere natürliche Quelle unterhalb des geplanten Grubenwasser-Anstiegsniveaus von +63 m NHN. Bei dieser handelt es sich um eine „Schwefel-Quelle“ mit erhöhten Sulfat-Gehalten, die seit dem Jahr 1823 balneologisch durch das Schwefelbad Steinbeck genutzt wird. Es ist die einzige staatlich anerkannte Heilquelle im Regierungsbezirk Münster und gehört zu den ältesten Heilbädern Westfalens.

Die Zusammensetzung des Wassers ist in Tabelle 7 dargestellt. Der Schwefel entsteht hier vermutlich durch die Reduktion des Sulfates, welches den Gipseinlagerungen des Oberen Malm (Münder Mergel) entstammt (GD NRW 2003). Der sehr niedrige $\delta^{34}\text{S}$ -Wert deutet auf eine intensive bakterielle Sulfat-Reduktion des Sulfat-haltigen Grundwassers hin (BÄSSLER 1970).

Schwefelbad Holthausen

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde westlich von Tecklenburg das Schwefelbad Holthausen gegründet. Grundlage war eine vorhandene Quelle, die auf Grund eines intensiven Geruches und Geschmackes für Trinkwasserzwecke nicht genutzt werden konnte (STROTHMANN 2001).

Das in einem Quellteich austretende Wasser zeigt eine deutliche Beeinflussung durch aufsteigende Tiefenwässer aus dem Oberen Malm (Münder Mergel). Aus dem Anhydrit und Gips dieser Gesteine stammen die hohen Konzentrationen an Calcium (ca. 350 mg/l) und Sulfat (ca. 800 mg/l) (Tabelle 7). Aber auch eine Oxidation von Pyrit in den Tonsteinen des Lias (Unteres Jura) oder die Reduktion von Sulfat zu Schwefel in größerer Tiefe könnten die Ursache für den Schwefelgeruch sein (GD NRW 2003).

Da der Wasserbedarf wegen steigender Gästezahlen aus der Quelle nicht mehr gedeckt werden konnte, wurden zusätzlich ein Schachtbrunnen (2,20 m Tiefe) und ein Bohrbrunnen (20 m Tiefe) erstellt. Mittlerweile ist die Anlage nicht mehr in Betrieb (STROTHMANN 2001).



Tabelle 7: Hydrochemische Analysen der Schwefelbäder Steinbeck und Holthausen (nach STROTHMANN 2001).

Parameter	Steinbeck	Holthausen	Holthausen
Jahr der Fassung	1836	1900	1900
Jahr der Analyse	1994	nach 1905	1993
Ionensumme (mg/l)	463	1698	1549
Na ⁺ (mg/l)	18	60	12
K ⁺ (mg/l)	2	2	k. A.
Mg ²⁺ (mg/l)	29	53	46
Ca ²⁺ (mg/l)	61	338	364
Cl ⁻ (mg/l)	55	25	20
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	66	745	824
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	207	472	281
Hydrochemischer Typ	HCO ₃ Sulfat-haltig	Ca-SO ₄ -HCO ₃ Sulfat-haltig	Ca-SO ₄ -HCO ₃ Sulfat-haltig

5.4 Grubenwasserhaltung

Aufgrund der besonderen Lagerstättensituation des Karbon-Horstes mit fehlendem Deckgebirge und einem Gebirgsaufbau, der überwiegend aus Sandsteinbänken und Konglomerat besteht, war der Steinkohlenabbau im BW Ibbenbüren stets mit hohen Wasserzuflüssen verbunden. Die Zuflussrate des Grubenwassers in die Gruben betrug bis zu 45 m³/min (PREUSSAG AG 1959). Das Grubenwasser wird aus versickernden Niederschlägen gespeist, die auf ihrer Sickerstrecke Mineralien aus den anstehenden Gesteinen aufnehmen. Durch Pyrit-Oxidation kann es zusätzlich zur Bildung von hohen Eisen- und Sulfat-Gehalten sowie niedrigen pH-Werten kommen.

Die Wasserhaltung am Standort Ibbenbüren gliedert sich in zwei Teilbereiche: das Ostfeld und das Westfeld. Das Westfeld stand bis zum 30.06.1979 in Förderung. Die Steinkohlenförderung im Ostfeld wird zum 31.12.2018 eingestellt (Abbildung 14).

Im Zuge der Rückbauarbeiten im Westfeld und der Einstellung der Wasserhaltung im Wilhelm-Schacht stieg ab dem Jahre 1980 das Grubenwasser in diesem Bereich wieder an. Die Entwässerung der Abbaufelder im Westfeld erfolgt über den sog. Dickenberger Stollen am Südwestrand des Dickenberges. Der Dickenberger Stollen befindet sich auf einem Niveau um +65 m NHN. Das Grubenwasser fließt aufgrund der topographischen Verhältnisse ohne Pumpbetrieb



drucklos über den Dickenberger Stollen aus dem Westfeld aus und wird über den sog. Stollenbach der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst zugeleitet. Nach der Behandlung wird das Grubenwasser in die Hörsteler Aa eingeleitet und fließt über die Speller Aa der Ems zu.

Im Ostfeld wird Grubenwasser an der Tagesanlage von Oeynhausens 1/2/3 gefördert. Dieses wird in die Sedimentationsanlage Püsselbürens abgeleitet und fließt anschließend der Ibbenbürener Aa zu. Die durchschnittliche Abflussrate liegt bei ca. $23 \text{ m}^3/\text{min}$ ($0,38 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Chlorid-Konzentration beträgt ca. 19.000 mg/l und die Sulfat-Konzentration ca. 737 mg/l . Diese Mittelwerte wurden im Zeitraum 2013 bis 2017 vom BW Ibbenbüren gemessen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in dem Ablauf auch Abwässer des Kraftwerkes Ibbenbüren und Oberflächenwässer der Tagesanlage von Oeynhausens 1/2/3 enthalten sind.

Daneben wird derzeit noch im Schacht Bockraden und im Nordschacht eine Wasserhaltung betrieben. Dem Nordschacht fließen Süßwässer aus geringer Teufe zu, die gefasst und teilweise in den Köllbach eingeleitet werden. Die Wasserführung in den Teilgräben des Bockradener Grabens beschränkt sich auf die Grundwasserleiter der Quartär-Sande, der Zechsteinkalke und der Karbon-Sandsteine. Auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle kommt es oberflächennah durch Verwitterung von Karbon-Gesteinen in einigen Bereichen zur Ausbildung einer schwer durchlässigen Schicht. Durch dieser Verwitterungsschicht bildet sich ein schwebendes Grundwasserstockwerk (DIN 4049-3), das von einer ungesättigten Zone unterlagert ist und in diesem Fall oberhalb des eigentlichen Grundwasserstockwerks liegt. Im Bereich der mittleren Horstscholle (Gartenberg) ist dieses schwebende Grundwasserstockwerk auf Grund unterschiedlicher Grundwasserstände dokumentiert (BÄSSLER 1968, COLDEWEY et al. 2007).

Die RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH plant, zukünftig das Grubenwasser auf das Niveau von +63 m NHN ansteigen zu lassen. Es soll nach Erreichung dieses Niveaus durch einen geplanten Grubenwasserkanal der Anlage zur Grubenwasseraufbereitung Gravenhorst zufließen. Dieser Grubenwasserkanal soll von der Tagesanlage von Oeynhausens 1/2/3 auf einer Länge von 7,2 km durch alle drei Feldesteile (Westfeld, Ostfeld, Bockradener Graben) bis zum Mundloch des heutigen Dickenberger Stollens verlaufen. Eine Einleitung von Grubenwasser in die Sedimen-



tationsanlage Püsselbüren findet dann nicht mehr statt. Die aus dem Ostfeld nach dem Grubenwasseranstieg zu erwartenden Grubenwasserabflüsse sind dem DMT-Bericht „Prognose zur optimierten Wasserannahme nach Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld)“ zu entnehmen. Die bisherige Abflussrate aus dem Westfeld von 4,1 Mio. m³/a ist weiterhin zu erwarten. Die derzeitige Grubenwasserhaltung im Westfeld und Ostfeld des BW Ibbenbüren ist in Abbildung 14 dargestellt.



Abbildung 14: Grubenwasserhaltung Ostfeld/Westfeld des BW Ibbenbüren.

Im Schacht Bockraden werden Zuflüsse gefasst, die früher für die Trinkwassergewinnung des Wasserversorgungsverbandes Tecklenburger Land genutzt wurden und heute überwiegend in das Brauchwassernetz des Bergwerkes eingespeist werden. Die Wasserzuflüsse treten aus Schichten des Karbon in den Schacht Bockraden ein und erreichten im Jahr 2014 eine maximale Zuflussrate von ca. 574.000 m³/a. Die höchsten Zuflussraten in den Schacht Bockraden wurden im Januar 2014 mit ca. 55.000 m³/Monat gemessen. Seitdem sinken die Zuflussraten und nähern sich dem langjährigen Mittel von ca. 42.000 m³/Monat an. Die Entwicklung der



Förderraten aus dem Schacht Bockraden sind in der Abbildung 15 für den Zeitraum 2009 bis 2015 dargestellt.

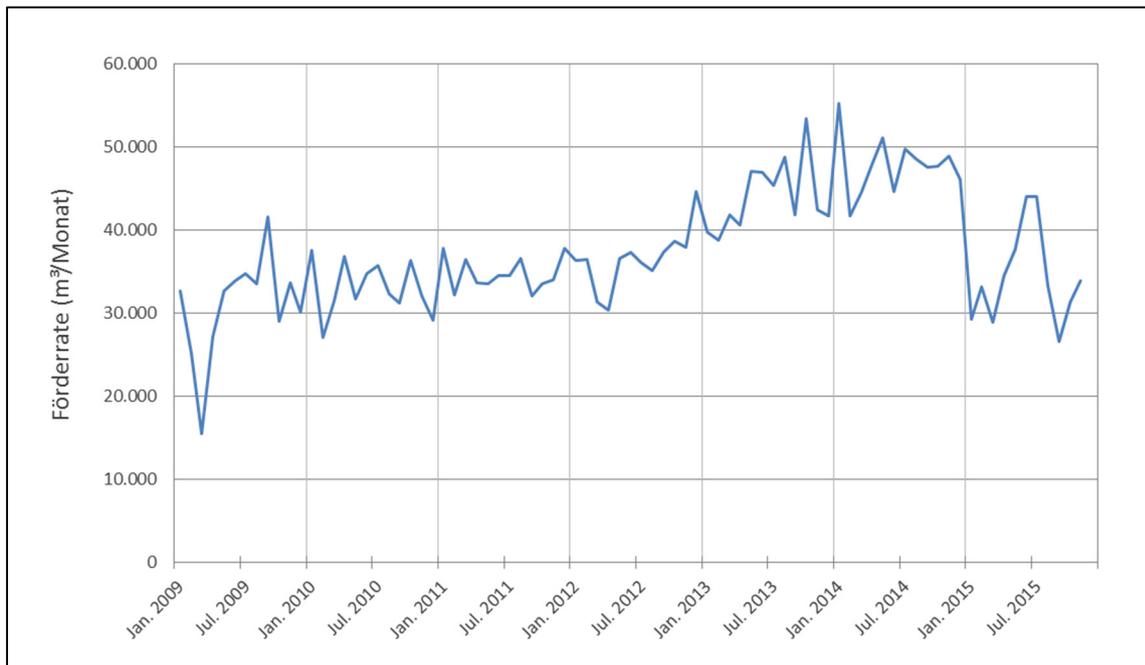


Abbildung 15: Förderrate aus dem Schacht Bockraden (RAG ANTHRAZIT IBBENBÜREN GMBH 2015).



6. Ermittlung der Grundlagen für das numerisches Grundwasserströmungsmodell

6.1 Grundlagen

Die geohydraulischen Verhältnisse wurden mittels einer numerischen Grundwasserströmungsmodellierung (Modellerstellung, Kalibrierung, Prognoserechnung) durch die DMT GmbH & Co. KG (DMT), Abteilung Hydrogeologie und Wasserwirtschaft, Essen simuliert. Die Sammlung und Auswertung der Modelleingangsdaten erfolgte durch die Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden durch geohydraulische Untersuchungen der Golder Associates GmbH, Isernhagen/Hannover ermittelt. Die Abschätzung der Grundwasserneubildung erfolgte durch die Lippe Wassertechnik GmbH, Essen.

6.1.1 Datenbeschaffung

Eine Vielzahl topographischer Daten werden von der Bezirksregierung Köln (Geobasis NRW) als Onlinedienst für die Verwendung im Geoinformationssystem zur Verfügung gestellt. Zumeist handelt es sich hierbei um Kartenmaterial, das als sog. Web Mapping Service (WMS) zwar eine Darstellung, nicht aber eine Bearbeitung, vorsieht. Seit dem 01.01.2017 werden von der Bezirksregierung Köln die sog. *Open Data*-Prinzipien für Geobasisdaten vom 08.08.2016 umgesetzt und die digitalen Geobasisdaten als Download zur Verfügung gestellt.

Weitere Fachdaten wurden von Landesbehörden in Form von Datenbankauszügen zur Verfügung gestellt.

6.1.2 Archiv

Für die Kartierung hydrogeologisch relevanter Strukturen wurde eine Vielzahl von Daten und Kartenmaterial sowohl aus dem Archiv der Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen als auch aus fremden Archiven erhoben und ausgewertet.



Folgende Fachdaten wurden als Grundlage für das numerische Grundwasserströmungsmodell herangezogen:

- Deutscher Wetterdienst
 - Auszug aus Datenbank „Wetterdaten und -statistiken express“ (WESTE-XL)
 - Auszug aus Datenbank „Wetterdaten und -statistiken express agrar“ (WESTE-agrar)
- European Environment Agency (EEA, Copenhagen)
 - CORINE Land Cover
 - Copernicus DEM (Digitales Höhenmodell)
- Geobasis NRW (Bezirksregierung Köln)
 - Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5.000 (DGK5)
 - Digitale Topographische Karten in den Maßstäben 1:10.000 (DTK10), 1:25.000 (DTK25), 1:50.000 (DTK50), 1:100.000 (DTK100)
 - Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM)
 - Digitales Geländemodell mit 1 m Gitterweite (DGM1L)
 - Digitale Orthophotos mit 20 cm Bodenauflösung (DOP20)
 - Digitale Verwaltungsgrenzen
 - Preußische Kartenaufnahme 1:25.000; Uraufnahme 1836 - 1850:
 - Preußische Kartenaufnahme 1:25.000; Neuaufnahme 1891 - 1912
- Geologischer Dienst NRW
 - Datenbankauszug aus dem Informationssystem Hydrogeologische Karte (ISHK)
- Landesamt für Natur- Umwelt und Verbraucherschutz NRW
 - Wasserschutzgebiete NRW
- Westfälische Berggewerkschaftskasse:
 - Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks
 - Blatt Recke Nr. 23,
 - Blatt Mettingen Nr. 33,
 - Blatt Ibbenbüren Nr. 43.



6.1.3 Geländearbeiten

Die Geländearbeiten umfassten die Kartierung des Gewässerzustandes und den Bau von Grundwassermessstellen zur Durchführung von geohydraulischen Tests.

6.1.3.1 Kartierungen und Vermessungen

Für die Erstellung eines Grundwassergleichenplanes wurde durch die Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen im Zeitraum 03/2017 – 05/2017 der Zustand der Fließgewässer innerhalb der Grenzen des Modellgebietes im Gelände untersucht und bewertet. Maßgeblich waren hierbei die Gewässerläufe nach dem Digitalen Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM, Geobasis NRW 2017). Hierbei wurden folgende Kategorien vergeben:

- Ständig fließendes Gewässer,
- Zweitweise fließendes Gewässer,
- Nicht mehr vorhandenes oder vorjährig trockenes Gewässer,
- Neuer Gewässerverlauf,
- Stehendes Gewässer,
- Trockener Graben.

Insgesamt wurden im Modellgebiet Fließgewässer mit einer Gesamtlänge von ca. 296 km bewertet und an 428 Punkten die Wasserstände gemessen. Die Klassifizierung der Fließgewässer ist aus Anlage 10 zu ersehen.

In der Darstellung wird zwischen den Hauptvorflutern und den untergeordneten Vorflutern unterschieden. Die Hauptvorfluter wie z. B. die Ibbenbürener Aa, Mettinger/Recker Aa oder der Hirschbach weisen ganzjährig eine Wasserführung auf und besitzen zumeist einen gefassten Flusslauf. Die untergeordneten Vorfluter weisen zumeist keine ganzjährige Wasserführung auf und sind in ihrem Abflussverhalten stark von Niederschlägen abhängig und daher sehr variabel. Von Landwirten wurde berichtet, dass auch zeitweise trocken gefallene Bäche nach



Niederschlagsereignissen in den letzten Jahren erhebliche Abflussvolumina aufwiesen. Generell ist somit für alle untersuchten Fließgewässer in Anlage 10 eine hydraulische Anbindung an den Grundwasserraum gegeben.

Des Weiteren wurden die in den Digitalen Topographischen Karten in den Maßstäben 1:10.000 (DTK10) und 1:25.000 (DTK25) verzeichneten Quellen in das Geoinformationssystem übertragen und im Gelände untersucht.

Die Wasserstände an den Gewässern und die Geländehöhen wurden vermessen und diese Werte zur Konstruktion der Grundwasserhöhen benutzt.

6.1.3.2 Bohrarbeiten

Von der Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen wurden im Modellgebiet insgesamt 30 Bohrsatzpunkte festgelegt, mit denen die Schichten des Perm, Trias, Jura, die liegenden Schichten der Oberkreide und des Quartär erschlossen wurden (Anlage 13).

Die Beantragung der Freigabe durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst sowie die Einholung der Betretungserlaubnis der Grundstückseigentümer und der Gestattungsverträge wurde von der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH durchgeführt.

Die Bohrarbeiten wurden von der Fluhme & Sohn GmbH, Bergkamen in den Zeiträumen 13.11.2017 bis 06.12.2017 sowie 22.02.2018 bis 16.05.2018 durchgeführt und die Bohrungen zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Als Maßgabe für den Ausbau der Grundwassermessstellen wurde eine Filterstrecke von 5 m Länge unterhalb der erbohrten Grundwasseroberfläche (Quartär), bzw. der grundwassererfüllten Festgesteinsoberfläche festgelegt. Diese Länge ist notwendig für die Durchführung von geohydraulischen Tests durch die Golder Associates GmbH, Isernhagen/Hannover zur Ermittlung der Gesteinsdurchlässigkeit.

Die Bohrungen im Locker- und Festgestein wurden im verrohrten Trockenbohrverfahren mit einem Durchmesser von 219,0 mm abgeteuft. Die Endteufe der Bohrungen lag zwischen 7,0 und 25,0 m, je nach Tiefe des vorliegenden Zielhorizontes (Quartär, Unterkreide, Jura, Trias,



Perm). Die Bohrtiefe in das anstehende Festgestein betrug mindestens fünf Meter, damit die Testgarnitur eingebaut werden konnte. Der Ausbau erfolgte in der Filterstrecke mit PVC-Filterrohren (DN 100, Schlitzweite 0,5 mm) in einer Länge von fünf Metern. Den unteren Abschluss der Filterstrecke bildet eine Bodenkappe. Oberhalb des Filterrohres wurde ein PVC-Vollrohr (DN 100) eingebaut. Überflur sind die Messstellen mit einer SEBA-Kappe und einem Stahldreieck als Umfahrerschutz ausgebaut. Der Ringraum um das Filterrohr wurde mit Filterkies verfüllt. Oberhalb des Filterrohres wurden die Messstellen mit Dämmen abgedichtet, um ein Eindringen von Oberflächenwasser zu verhindern. Nach den Bohrarbeiten wurden die Messstellen klargepumpt, um einen einwandfreien Verlauf der geohydraulischen Tests zu gewährleisten. Eine Übersicht der durchgeführten Bohrungen mit Angaben zum Ausbau ist der Tabelle 8 zu entnehmen.

Die Entnahme von Bohrproben erfolgte bei jedem erbohrten Meter. Die Bohrproben wurden in Kunststoffbehältern verwahrt und bei der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH im Kerndepot auf der Tagesanlage v. Oeynhausens gelagert, bis sie zur endgültigen Lagerung dem Geologischen Dienst NRW, Krefeld, übergeben worden sind. Die Fluhme & Sohn GmbH, Bergkamen stellte die Schichtenverzeichnisse und Ausbauezeichnungen zu allen Bohrungen zur Verfügung.

Von den 30 geplanten Bohrungen wurden wegen fehlender Gestattung durch die Grundstückseigentümer nur 27 Bohrungen mit einer Gesamtlänge von ca. 408 m abgeteuft. Zwei Bohrungen wurden im Perm, zehn in der Trias, neun im Jura, eine in der Kreide sowie fünf im Quartär abgesetzt.

Die Ergebnisse der Bohrungen in Form von Schichtenverzeichnissen und Ausbauplänen sind dem Anhang (Daten-CD) zu entnehmen.



Tabelle 8: Übersicht der durchgeführten Bohrungen.

Bohrungs-Nr.	Koordinaten (m)	MPH (+m NHN)	Bohrtiefe (m)	Abstich ¹ (m)	Tiefe der Filterstrecke (m)	Stratigraphischer Horizont
B 1	3414508 5794262	103,2	7,0	trocken	2,0 - 7,0	Trias (Muschelkalk)
B 2	3418364 5792978	95,6	12,0	5,00	7,5 - 12,5	Trias (Buntsandstein)
B 3	3416433 5794372	118,2	20,4	trocken	16,4 - 20,4	Jura (Perm)
B 4	3419447 5793364	138,7	7,5	trocken	2,50 - 7,50	Perm (Zechstein)
B 5	3418363 5791473	96,3	17,9	16,54	12,90 - 17,90	Trias (Muschelkalk)
B 6	-	-	-	-	-	Unterkreide
B 7	3419714 5798954	60,8	11,5	1,25	6,5 - 11,5	Trias (Buntsandstein)
B 8	3419881 5791700	107,3	9,0	5,62	4,0 - 9,0	Trias
B 9	3409710 5802249	52,2	20,4	6,30	15,4 - 20,4	Trias
B 10	3407328 5798163	55,9	15,0	2,10	10,0 - 15,0	Trias (Keuper)
B 11	3405062 5800116	45,5	21,5	3,17	16,5 - 21,5	Jura (Dogger)
B 12	3410633 5793332	63,7	18,9	2,84	13,9 - 18,9	Unterkreide
B 13	3414838 5792647	66,5	16,3	1,75	12,2 - 16,2	Jura (Malm)
B 14	3415251 5802098	54,2	15,0	2,20	9,8 - 14,8	Quartär
B 15	3415869 5799194	69,1	20,3	1,80	15,3 - 20,3	Jura (Dogger/Lias)
B 16	3405564 5803702	41,6	25,0	1,22	10,3 - 15,3	Quartär
B 17	3412457 5801687	59,9	23,0	4,02	18,0 - 23,0	Jura
B 18	-	-	-	-	-	Quartär
B 19	3407943 5795833	51,8	15,0	1,51	5,0 - 10,0	Quartär
B 20	3421153 5791348	96,4	10,8	1,94	5,8 - 10,8	Jura
B 21	3420376 5795196	83,5	15,5	4,90	10,5 - 15,5	Jura
B 22	3416966 5791685	91,1	10,4	trocken	5,4 - 10,4	Trias (Muschelkalk)
B 23	3420259 5790965	136,4	8,6	trocken	3,6 - 8,6	Trias (Keuper)
B 24	3421180 5793341	81,3	11,0	5,15	6,0 - 11,0	Trias
B 25	3421431 5794578	98,4	11,5	1,72	6,5 - 11,5	Jura
B 26	3418535 5799244	58,6	20,0	3,00	14,5 - 19,5	Jura (Dogger)
B 27	3415811 5800349	60,1	20,4	2,73	15,4 - 20,4	Quartär
B 28	3409146 5801713	69,9	9,0	8,27	5,0 - 9,0	Perm (Zechstein)



Bohrungs-Nr.	Koordinaten (m)	MPH (+m NHN)	Bohrtiefe (m)	Abstich ¹ (m)	Tiefe der Filterstrecke (m)	Stratigraphischer Horizont
B 29	-	-	-	-	-	Quartär
B 30	3405400 5801208	45,2	15,0	1,60	9,1 - 14,1	Quartär

¹ Messung am Tag der Bohrung

Die Bohrungen B 6, B 18 und B 29 konnten wegen fehlender Zustimmung der Eigentümer nicht niedergebracht werden.

6.1.3.3 Geohydraulische Untersuchungen

Die Golder Associates GmbH, Isernhagen/Hannover führte in 27 zu Grundwassermessstellen ausgebauten Bohrlöchern geohydraulische Slug- and Bail-Tests sowie Pulse-Tests zur Bestimmung der Gesteinsdurchlässigkeit durch. Die Auswertung der Testdaten erfolgte mit Hilfe des durch die Golder Associates GmbH, Isernhagen/Hannover entwickelten Analyseprogramms HydroBench. Die Druckdaten der Tests wurden anhand instationärer Fließmodelle analysiert. Hierdurch war es hinsichtlich der Analyse nicht erforderlich, bei den Versuchen einen quasi-stationären Zustand zu erreichen. Dies gilt sowohl für die aktiven Phasen (Injektion) als auch für die passiven Phasen (Druckerholung).

Die verwendete Software simuliert den einphasigen (z.B. Grundwasser) Fluss durch eine Formation mit mehr oder weniger komplexer Fließgeometrie (z.B. radialer, linearer oder sphärischer Fluss), ausgehend von einem Bohrloch, welches sich im Zentrum des modellierten Strömungssystems befindet. Der Modellbereich (d.h. die modellierte Formation) wird in eine Abfolge von um das Bohrloch zentrierter, konzentrischer Ringe diskretisiert. Das Modell simuliert instationäre Strömung in Formationen mit variabler Mächtigkeit, nimmt aber in der vertikalen Richtung konstante geohydraulische Eigenschaften an (keine Schichtung). Es kann mehrere radial zentrierte Heterogenitäten berücksichtigen, um Änderungen der Transmissivitäts- und des Speicherkoeffizienten und/oder der Fließgeometrie (d.h. der Fließdimension) in einer bestimmten Entfernung von der Bohrung zu simulieren; z. B. das Auftreten eines Skin-Effektes



an der Bohrlochwandung oder komplex zusammengesetzter geologischer Systeme (sogenannte Composite Modelle).

Die Software erlaubt die Definition komplexer Randbedingungen für das Bohrloch, wodurch die Simulation von Pulse-Tests (Injektion/Entnahme), variablen Druckbedingungen im Bohrloch, variablen Fließraten sowie Slug- and Bail-Tests (Injektion/Entnahme) möglich ist. Der kumulative Effekt aufeinanderfolgender Tests und Testphasen wird in den Simulationen berücksichtigt (GOLDER ASSOCIATES GMBH 2018). Die wichtigsten Ergebnisse der geohydraulischen Untersuchungen in den neu erstellten Grundwassermessstellen sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Die gesamten Messprotokolle und die Auswertung sind im Anhang (Daten-CD) zu finden.

Tabelle 9: Übersicht der Ergebnisse der geohydraulischen Untersuchungen.

Bohrungs-Nr.	Datum	Abstich (m)	GW-Höhe (+m NHN)	Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s)	Transmissivitätskoeffizient T (m ² /s)	Speicher-koeffizient S (1)
B 1	15.03.2018	7,55	95,64	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 2	12.03.2018	2,17	93,46	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 3	14.03.2018	>20	k. A.	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 4	01.12.2017	7,90	130,77	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,1
B 5	17.05.2018	14,40	81,90	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 6	-	-	-	-	-	-
B 7	15.03.2018	2,48	58,32	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 8	30.11.2017	2,45	104,88	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 9	27.03.2018	5,70	46,47	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 10	28.11.2017	2,54	53,39	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 11	29.11.2017	2,75	42,75	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 12	27.11.2017	2,17	61,56	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$
B 13	01.12.2017	1,80	64,73	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$
B 14	26.03.2018	1,97	52,22	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 15	16.03.2018	5,54	63,59	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 16	29.11.2017	1,82	39,77	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 17	27.03.2018	3,34	56,52	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 18	-	-	-	-	-	-
B 19	27.11.2017	1,92	49,92	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$



Bohrungs-Nr.	Datum	Abstich (m)	GW-Höhe (+m NHN)	Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s)	Transmissivitätskoeffizient T (m ² /s)	Speicher-koeffizient S (1)
B 20	30.11.2017	2,46	93,89	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 21	17.05.2018	5,45	78,05	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 22	12.03.2018	>10,4	k. A.	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 23	13.03.2018	>8,60	k. A.	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 24	14.03.2018	7,91	73,41	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 25	13.03.2018	2,81	95,59	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 26	16.03.2018	1,32	57,29	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 27	26.03.2018	3,26	56,82	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 28	28.03.2018	trocken	k. A.	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$
B 29	-	-	-	-	-	-
B 30	28.11.2017	1,84	43,31	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-6}$

6.1.4 Laborarbeiten

Im Zuge der geohydraulischen Tests wurden durch die Golder Associates GmbH, Isernhagen/Hannover Grundwasserproben aus den ausgebauten Grundwassermessstellen entnommen. Die Analytik erfolgte durch die UCL Umwelt Control Labor GmbH, Lünen. Die Ergebnisse der Laboranalytik sind in Anhang (Daten-CD) zusammengestellt.

Zudem wurden die Bohrproben aus dem Quartär von der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum (THGA) anhand von kombinierten Sieb-/ Schlämmanalysen untersucht und ihre Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) mit dem Computerprogramm GGU-Sieve berechnet. Bei dem Programm sind verschiedene Formeln zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes hinterlegt, z. B. nach SEELHEIM, HAZEN, BEYER, SEILER und USBR (LEINWEBER 2018).



6.1.5 Berechnung der Grundwasserneubildung

Die flächendifferenzierte Berechnung der langjährig mittleren Grundwasserneubildung erfolgte nach dem Verfahren GWneu (MEßER 2013). Grundlage der Berechnungen ist die Wasserhaushaltsgleichung. Diese wird für jede homogene Teilfläche gelöst. Die Einheit aller Größen ist mm/a. In Abbildung 16 sind die benötigten Eingangsdaten bzw. die verwendeten Grundlagen (eckige Rahmen) und die berechneten Größen (ovale Rahmen) sowie die Beziehungen zueinander angegeben. Die Berechnung der Verdunstung erfolgt nach dem Verfahren „BAGLUVA“ (Verfahren BAGROV und GLUGLA zur Bestimmung vieljähriger Mittelwerte von tatsächlicher Verdunstungs- und Abflusshöhe, ATV-DVWK 2002). Für die Berechnung von Verdunstung und Direktabfluss wird eine Flächenverschneidung der jeweils notwendigen Grundlagenparameter mit dem Programmsystem ArcInfo bzw. ArcView durchgeführt. Für jede in sich homogene Kleinfläche werden die beiden Größen in mm/a berechnet. Die Berechnung gliedert sich gemäß Abbildung 16 in vier Arbeitsschritte:

- Berechnung der Verdunstung,
- Berechnung des Gesamtabflusses,
- Abtrennung des Direktabflusses und
- Berechnung der Grundwasserneubildung.

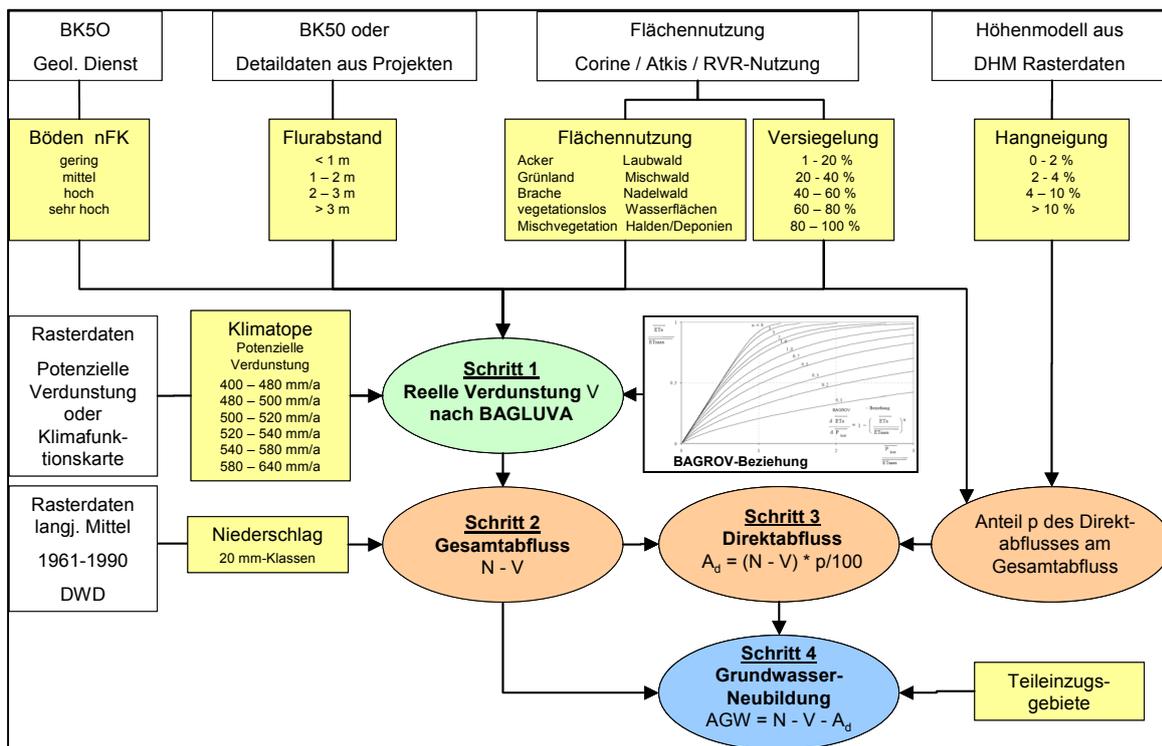


Abbildung 16: Parameter und Verfahrensgang zur Berechnung der Grundwasserneubildung (MEßER 2013).

Mit dem Verfahren GWneu wurde bereits die Grundwasserneubildung für den Westfalenatlas des Landschaftsverbands Westfalen (MEßER 2016) durchgeführt. Die darin betrachteten Eingangsgrößen wurden hier verwendet. Nur die Flurabstände wurden dem numerischen Grundwasserströmungsmodell entnommen und zur Berechnung berücksichtigt, da sie zuverlässiger sind als die „Grundwassertiefen“ der digitalen Bodenkarte BK50. Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 dargestellt und wurden der DMT GmbH & Co. KG, Essen für die numerische Grundwasserströmungsmodellierung digital übergeben.

Im Untersuchungsgebiet betragen - bei einer langjährig mittleren Niederschlagsrate von 795 mm/a - die Verdunstungsrate 487 mm/a (61,2 %), die Direktabflussrate 107 mm/a (13,5 %) sowie die Grundwasserneubildungsrate 201 mm/a (25,3 %).

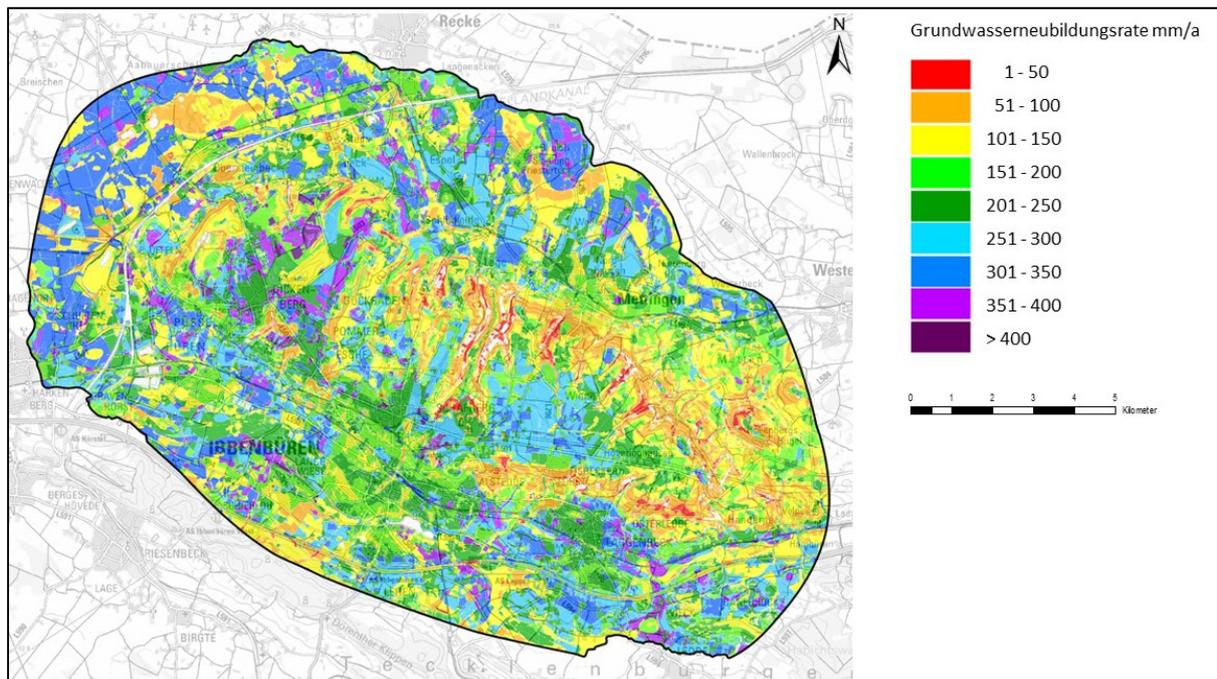


Abbildung 17: Grundwasserneubildungsraten im Modellgebiet (mm/a).

6.1.6 Erstellung des Grundwassergleichenplanes

Für die Erstellung des Grundwassergleichenplanes wurden folgende Daten verwendet:

- Ergebnisse der Gewässerkartierung (ca. 296 km Fließstrecke),
- Ergebnisse der Kartierung ehemaliger Fließgewässer (SCHMELZER – Die Ingenieure, Ibbenbüren),
- Vermessung der Wasserstände der Gewässer (Ing.-Büro Dirkes & Kuhlmann, Merzen, 428 Messpunkte),
- Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks i. M. 1:10.000 (Westfälische Berggewerkschaftskasse),
- Topographische Karten (DTK 10, DGK 5) mit Angaben der Geländehöhen (Bezirksregierung Köln, Abteilung 7, GeoBasis NRW)
- Digitales Geländemodell (Bezirksregierung Köln, Abteilung 7, GeoBasis NRW),
- Gemittelte Grundwasserhöhen in den Grundwassermessstellen (Landesamt f. Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV) (13 Messstellen), Wasserstraßen- und



Schiffahrtsamt (WSA) Minden) (9 Messstellen), RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH (117 Messstellen) (Anlage 11),

- Grundwasserhöhen an den neu erstellten Grundwassermessstellen und Bohrungen (Fluhme & Sohn GmbH, Bergkamen; RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH) (Anlage 13).

Aus den oben genannten Daten wurden im Geoinformationssystem ArcGIS die Grundwassergleichen konstruiert. Hierzu wurde unter Einbeziehung der mittleren Grundwasserstände und der Vorfluter – unter Berücksichtigung der Vorfluteigenschaften – eine Rasterfläche der Grundwasseroberfläche interpoliert. Für diese Grundwasseroberfläche wurden die Isolinien im Abstand von 5 m berechnet. Diese Linien wurden manuell in einem iterativen Vorgehen so nachbearbeitet, dass die Grundwasseroberfläche an die Vorfluter angebunden ist. Für die Geländeoberfläche, als maßgebliche Bezugshöhe zur Grundwasseroberfläche, wurden Höheninformationen aus der Digitalen Topographischen Karte DTK10 sowie dem hochauflösenden digitalen Geländemodell verwendet. In stark morphologisch geprägten Bereichen sowie Bereichen mit einem weit verzweigten Vorflutersystem wurden weitere Isolinien manuell konstruiert. Insbesondere im Bereich der Hauptvorfluter Ibbenbürener Aa, Mettinger Aa/Recker Aa, innerhalb des Bockradener Grabens sowie entlang der steil aufragenden Südflanke der Ibbenbürener Karbon-Scholle waren umfangreiche manuelle Anpassungen notwendig um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Auf Basis der so erstellten Grundwasseroberfläche wurden Grundwassergleichen im Abstand von 1 m erstellt, die als Modellparameter im numerischen Grundwasserströmungsmodell verwendet wurden.



7. Erstellung des numerischen Grundwasserströmungsmodelles

Zur Bewertung der Auswirkungen des geplanten Grubenwasseranstieges auf die Grundwasserhältnisse wurde ein angemessen abstrahiertes numerisches Grundwasserströmungsmodell für die Karbon-Scholle und einen bis zu 4 km breiten Saum erstellt. Vor der Durchführung der Modellrechnung oder Simulation zum Grubenwasseranstieg wurde dieses numerische Grundwasserströmungsmodell kalibriert, d. h. mit Grundwasserstandsmesswerten abgeglichen.

Die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen sind detailliert in den Kapiteln 2 bis 6 beschrieben. Um die Einflüsse der Grubenwasserhaltung auf die Grundwassersituation zu quantifizieren, wurden die benötigten Daten wie z. B. Zusickerungen aus dem tagesnahen Grundwasserleiter im Bereich der Karbon-Scholle oder Zusickerungen über die Karbon-Randstörungen in dem vorliegenden und 2018 überarbeiteten Grubenwassermodell (DMT) verwendet.

Für die numerische Grundwasserströmungsmodellierung wurde das Programmsystem Spring verwendet, das auf der Methode der Finite-Elemente basiert. Sowohl der Modellaufbau, als auch die Modellkalibrierung und Simulationen wurden für mittlere quasi-stationäre Grundwasserströmungsverhältnisse durchgeführt.

7.1 Generelle Vorgehensweise bei einer numerischen Grundwasserströmungsmodellierung

Die Grundwasserströmung lässt sich auf Grundlage der Potenzialtheorie mit dem Grundwasserstand als Potenzial berechnen. Sie lässt sich mathematisch durch eine partielle Differenzialgleichung, der sogenannten Fundamentalgleichung der Grundwasserströmung, beschreiben. Eine analytische Lösung dieser Differenzialgleichung ist nur unter sehr einschränkenden Bedingungen, wie etwa der Homogenität und der Unbegrenztheit des Grundwasserleiters, möglich.



Ein viel allgemeinerer Ansatz mit einem nahezu unbeschränkten Einsatzspektrum besteht in den numerischen Verfahren. Dabei wird der geeignet abgegrenzte hydrogeologische Körper in abstrahierter Form modellhaft digital abgebildet und anschließend in Teilkörper aufgeteilt (diskretisiert). Innerhalb der Teilkörper werden homogene Materialeigenschaften unterstellt.

Das hier vorgelegte 3D-Grundwasserströmungsmodell wurde entsprechend dem Verfahren der Finite-Elemente aufgebaut. Dieses Verfahren geht von einer Diskretisierung des Modellgebietes (genauer des Modellkörpers) in Pentaeder und Hexaeder mit beliebiger Kantenlänge aus. Diese Pentaeder bzw. Hexaeder sind die sogenannten Elemente, während die Eckpunkte als Knoten bezeichnet werden.

Ausgangspunkt einer numerischen Grundwasserströmungsmodellierung ist stets die Abgrenzung des Modellgebietes. Einerseits muss das Modellgebiet ausreichend groß gewählt werden, um die zu erwartenden Veränderungen in ihrer räumlichen Wirkungsweise richtig erfassen zu können. Andererseits muss das Modellgebiet an geohydraulisch stabilen Rändern abgegrenzt werden. Dies sind Ränder, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die auf dem Rand herrschenden Grundwasserverhältnisse nicht durch den zu untersuchenden Eingriff verändert werden. Auf dem Rand des Modellgebietes werden die Grundwasserverhältnisse durch die sogenannten Randbedingungen (RB) festgelegt. Dabei werden generell drei Arten von Randbedingungen unterschieden:

- vorgegebene Grundwasserstände (Festpotenziale oder RB 1. Art),
- vorgegebene Strömungsraten (z. B. Förderraten an Entnahmehäusern, Randedurchströmungsraten oder Versickerungsraten an Infiltrationsanlagen, RB 2. Art),
- Leakagebeziehungen (lineare Beziehungen zwischen den Randedurchströmungsraten und den Potenzialen bzw. den Potenzialdifferenzen z. B. zu einem Vorfluter, RB 3. Art).

Anschließend wird das Modellgebiet durch das Finite-Elemente-Netz diskretisiert. Dabei wird flexibel auf die geohydraulische Relevanz der verschiedenen Teilgebiete Rücksicht genommen. In Bereichen, die eine höhere Aussagegenauigkeit erfordern, wird im Vergleich zu etwas



weniger wichtigen Randbereichen generell ein kleinerer Knotenabstand im Sinne einer höheren Auflösungsgenauigkeit gewählt. Dem Finite-Elemente-Netz werden die für das Modell benötigten Eingangsdaten

- Geländehöhen,
- Höhenlage der Basis des Grundwasserleiters (entspricht der Modellunterkante),
- Höhenlage von hydrogeologisch relevanten Schichtgrenzen,
- Grundwasserstände des Ausgangszustandes,
- Randbedingungen (s.o.),
- Durchlässigkeitsbeiwerte,
- Grundwasserneubildungsraten,
- Leakagekoeffizienten für die Oberflächengewässer bzw. dränierenden Elemente sowie
- Vorflutniveaus für die Oberflächengewässer bzw. dränierenden Elemente

zugewiesen. Nach der Erstellung des Grundwasserströmungsmodells muss es mit den im Gelände gemessenen Grundwasserständen dahingehend abgeglichen werden, dass die gemessene Grundwassersituation von dem numerischen Modell ausreichend genau nachgebildet werden kann. Dieser Modellabgleich wird Kalibrierung genannt. Üblicherweise werden insbesondere Durchlässigkeitsbeiwerte und Leakagekoeffizienten im Zuge dieser Kalibrierung innerhalb plausibler Grenzen variiert. Erst nach erfolgter Kalibrierung können mit einem Modell belastbare Simulationen zur Auswirkungsprognose von Eingriffen in die Grundwassersituation wie z. B. Anhebung von Grubenwasserständen oder wasserbauliche Maßnahmen durchgeführt werden.

7.2 Hydrogeologische Modellvorstellung und geohydraulisches Gesamtsystem

Als Grundlage einer numerischen Grundwasserströmungsmodellierung muss im Vorfeld eine hydrogeologische Modellvorstellung über den Untergrund im Untersuchungsgebiet in abstrahierter Form entwickelt werden. Wie oben bereits beschrieben, setzt sich der oberste Grund-



wasserleiter i.d.R. aus den Deckschichten des Quartär und den obersten Partien des im Liegenden unmittelbar folgenden Mesozoikum oder Karbon zusammen. In der Umgebung der Karbon-Scholle weisen die Schichten (Perm, Trias, Jura) in Folge einer Verkippung eine sehr steile bis fast senkrechte Lagerung auf. Dort, wo die quartärzeitliche Überdeckung fehlt, besteht der oberste Grundwasserleiter aus den oberen Partien des Mesozoikum bzw. des Karbon. Auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle kommt es durch die Ausbildung einer gering durchlässigen Verwitterungsdecke bereichsweise zur Ausbildung eines schwebenden Grundwasserstockwerks. Großräumig voneinander geohydraulisch getrennte Grundwasserstockwerke konnten nicht erkannt werden.

Außerhalb der Ibbenbürener Karbon-Scholle wie auch im Bereich Bockradener Graben und Beustfeld wird die Grundwassersituation durch die als Vorfluter fungierenden Bäche und Gräben geprägt. Im Bereich der die Karbon-Scholle begrenzenden Karbon-Randstörungen steigen die Grundwasserstände zur Karbon-Scholle hin z.T. steil an. Auf der Karbon-Scholle liegen die Grundwasserstände z.T. mehrere Zehner-Meter oberhalb derer im Umland. In Folge des Steinkohlenbergbaus sind die Grundwasserstände auf der Karbon-Scholle und an deren Rändern bereichsweise deutlich abgesunken. Ursache hierfür sind die Versickerungen von Grundwasser zu den untertägigen Grubenwasserhaltungen.

Im Bereich der Karbon-Scholle gibt es trotz der Versickerungen zu den Grubenbauen, die mit ausgeprägten vertikalen Grundwasserströmungen verbunden sind, eine eigenständige horizontal orientierte Grundwasserströmung in den oberflächennahen Schichten (Quartär und oberste Partien des Karbon). Diese Grundwasserströmung kommt in den Grundwassergleichen in Anlage 16 zum Ausdruck. Die Grundwässer im Bereich Bockradener Graben und Beustfeld strömen in relevantem Umfang den dortigen Bächen wie z. B. dem Strootbach, Pölkenbach, Fahlbach und Ölmühlenbach zu. Die den Grubenbauen zusickernden Grundwässer strömen im Ostfeld den Grubenwasserhaltungen und im Westfeld den Grubenwasserüberläufen und schließlich dem Dickenberger Stollen zu.

Die vertikalen Strömungskomponenten bei der Zusickerung zu den Grubenbauen haben sowohl im Ist-Zustand als auch bei der anstehenden Simulation (Prognoserechnung) eine große



Bedeutung für die Grundwasserströmungssituation. Da außerdem der betrachtete Grundwasserleiter in weiten Teilen aus zumindest zwei Schichten (Quartär und Liegendes des Quartär) besteht, ist ein dreidimensionaler Modellansatz erforderlich, um die Strömung angemessen zu beschreiben und die Auswirkung des geplanten Grubenwasseranstiegs verlässlich zu prognostizieren. Aus diesem Grund wurde ein ausreichend mächtiger Gebirgskörper im Modell abgebildet, in dem die Vertikalbewegungen des Grundwassers berücksichtigt werden können. Die Unterkante des abgebildeten Gebirgskörpers liegt im gesamten Modellgebiet bei -200 m NHN. Die Geländehöhen variieren von +16 m NHN bis +192 m NHN, so dass sich im Modellgebiet eine Mächtigkeit des abgebildeten Gebirgskörpers von mindestens 216 m ergibt. Im Bereich der Karbon-Scholle, auf den sich die vertikalen Grundwasserströmungsrichtungen fokussieren, beträgt die Mächtigkeit des abgebildeten Gebirgskörpers sogar ca. 300 bis 400 m. Innerhalb dieses Gebirgsblocks werden die das Grundwasser annehmenden in Sohlen orientierten Grubenbaue niveaugerecht als Annahmebereiche berücksichtigt. Unterhalb der obersten Grundwasser annehmenden Sohlen setzen sich die Sickerströmungen vermindert fort, da beträchtliche Anteile nunmehr über Grubenbaue den Grubenwasserhaltungen zuströmen. Diese tieferen Sickerströmungen haben auf die tagesnahe Grundwassersituation keinen Einfluss.

Im Modellgebiet außerhalb der Karbon-Scholle nehmen die Durchlässigkeiten mit zunehmender Teufe ab. Es ist davon auszugehen, dass unterhalb von -200 m NHN höchstens vernachlässigbare Grundwasserbewegungen stattfinden.

Das wesentliche Ziel der Modelluntersuchungen und dieses Gutachtens besteht darin, die Auswirkungen des geplanten Grubenwasseranstiegs auf die Grundwassersituation sowohl für die Ibbenbürener Karbon-Scholle als auch für das weitere Umland verlässlich zu prognostizieren und bei Bedarf kritische Entwicklungen insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Verringerung der Flurabstände in bebauten oder auch landwirtschaftlich genutzten Bereichen aufzuzeigen. Da die maximalen Grundwasseranstiege erst nach vollständigem Anstieg des Grubenwassers zu erwarten sind, wurde im Sinne einer **worst-case-Betrachtung** dieser zukünftige Zustand nach Erreichen des geplanten Grubenwasserniveaus stationär in den Modellberechnungen simuliert. Die instationären Übergänge von der jetzigen Grubenwassersitua-



tion zum dauerhaften Zustand nach dem Grubenwasseranstieg werden geringere Auswirkungen auf die Grundwassersituation aufweisen als der Endzustand. Aus diesem Grund wird die Phase des Grubenwasseranstiegs nicht detailliert betrachtet.

7.3 Aufbau des numerischen Grundwasserströmungsmodelles

Das Grundwasserströmungsmodell bildet die hydrogeologischen Einheiten in angemessener Vereinfachung ab. Die Zuflüsse zum Bergbaubereich wurden aus dem vorliegenden Grubenwassermodell (Programmsystem Boxmodell) der DMT GmbH & Co. KG, Essen übernommen. Im Untersuchungsgebiet wurden im Wesentlichen die beiden hydrogeologischen Schichten Quartär und Liegendes des Quartär in Form von Modellschichten mit entsprechend angepassten Durchlässigkeiten abgebildet.

Das Modellgebiet wurde so gewählt, dass an den Modellrändern auch bei einer Beeinflussung der Grundwassersituation durch den geplanten Grubenwasseranstieg stabile geohydraulische Verhältnisse herrschen. Derartige stabile Verhältnisse finden sich insbesondere an Oberflächengewässern, die gut an den Grundwasserleiter angebunden sind. Sie regulieren den Grundwasserstand und halten ihn konstant auf einem Niveau. Darüber hinaus ist das Modellgebiet generell ausreichend groß zu wählen, so dass sich Veränderungen nicht bis zum Modellrand auswirken. Sofern möglich, verläuft der Modellrand entlang von Oberflächengewässern. Im Wesentlichen sind dies im Norden die Mettinger Aa und die Recker Aa, im Südwesten die Hörsteler Aa und im Südosten der Ledder Mühlenbach. Die Größe des Modellgebietes beträgt ca. 197 km², der Anteil für den Bereich der Karbon-Scholle beträgt 54 km².

7.3.1 Diskretisierung

Das Modellgebiet wurde unter Berücksichtigung aller hydrogeologisch relevanten geometrischen Strukturen diskretisiert, d. h. in kleine Teilflächen bzw. dreidimensionale Teilkörper zerlegt (Kapitel 7.1). Die Berücksichtigung geometrischer Strukturen erfolgt dadurch, dass zunächst ein horizontales Finite-Elemente-Netz erstellt wird, in dem linienhafte Strukturen wie



z. B. Bäche auf Elementrändern und punkthafte Strukturen wie z. B. Brunnen auf Knoten gelegt werden. Hierbei wurden alle der Lage nach bekannten Oberflächengewässer, Gräben, Brunnen, Stollen sowie der Verlauf der Karbon-Randstörungen und der geologischen Schichtgrenzen berücksichtigt. In Anlage 14 ist das horizontale Finite-Elemente-Netz dargestellt. Es besteht aus ca. 396.000 Knoten und ca. 428.000 Elementen. Dabei variiert der Knotenabstand zwischen ca. 1 m in hydrogeologisch sensitiven Bereichen und ca. 25 m in Randbereichen. Entlang von Oberflächengewässern beträgt der maximale Knotenabstand ca. 10 m.

Vertikal wurde das Modell in 8 Knoten- bzw. 7 Elementschichten aufgeteilt. Das Niveau der Quartär-Basis wurde durch Verwendung aller vorliegenden geologischen Daten wie z. B. Schichtenverzeichnissen ausgewertet. Wegen ihrer Bedeutung für die Grundwasserströmungsverhältnisse wurde die Quartär-Basis entsprechend dieser Auswertung genau im numerischen Grundwasserströmungsmodell als eigenständige Knotenschicht abgebildet. Sie bildet die 4. Knotenlage, so dass das Quartär über die darüber liegenden 3 Elementschichten und das Liegende des Quartär über die 4 Elementschichten darunter abgebildet ist. Auf diese Weise ist das Niveau der Quartär-Basis in den Höhenlagen der Modellschichten berücksichtigt.

Das 3D-Gesamtmodell besteht insgesamt aus 2,9 Mio. Knoten und 2,7 Mio. Elementen. Anlage 15 zeigt den dreidimensionalen Aufbau des numerischen Grundwasserströmungsmodelles anhand eines NW-SE durch die Ibbenbürener Karbon-Scholle verlaufenden Schnittes.

7.3.2 Randbedingungen

Entlang der Abschnitte des Modellrandes, die durch Oberflächengewässer gebildet werden, ist eine Leakage-Randbedingung (Randbedingung 3. Art) als äußere Randbedingung angesetzt (blaue Punkte, Anlage 14). Dies betrifft zum einen die bereits erwähnten Abschnitte des Modellrandes, die durch die Mettinger/Recker Aa im Norden sowie die Ledder/Ibbenbürener/Hörsteler Aa im Süden der Karbon-Scholle gebildet werden. Hinzukommen weitere kürzere Abschnitte des südwestlichen und südöstlichen Modellrandes, auf denen z.T. namenlose Gewässer liegen, sowie die Stellen, an denen der Mittellandkanal oder andere Oberflächengewässer den Modellrand queren.



Entlang der Abschnitte des Modellrandes, die nicht auf einem Gewässer verlaufen, sind Festpotenziale (Randbedingung 1. Art, rote Punkte, Anlage 14) als äußere Randbedingung angesetzt. Die numerische Fixierung der Festpotenziale basiert auf dem für den obersten zusammenhängenden Grundwasserleiter aus Grundwasserstandsmesswerten konstruierten Grundwassergleichenplan.

Innerhalb des Modellgebietes wurden alle Oberflächengewässer durch eine (innere) Randbedingung 3. Art abgebildet. Sie sind in Anlage 14 ebenfalls als blaue Punkte dargestellt.

Grundwasserentnahmen wurden entsprechend ihrer Förderraten als (innere) Volumenstromrandbedingung (Randbedingung 2. Art) im Modell berücksichtigt. Die im Modellgebiet liegenden Grundwasserentnahmen sind in Kapitel 5.3.2 beschrieben und in Anlage 12 dargestellt. Zusätzlich wurde die in Kapitel 5.4 beschriebene Brauchwasserhaltung am Schacht Bockraden mit einer langjährig mittleren Förderrate (2001 bis 2013) von 391.000 m³/a im Modell berücksichtigt. Die Randbedingungen 2. Art sind zusätzlich als grüne Punkte in Anlage 14 dargestellt.

Eine besondere Rolle spielen bei der Grundwassersituation die Versickerungen in den Bergbaubereich. Die Versickerungen sind in Abbildung 18 dargestellt. Gut zu beurteilen ist die Versickerungsrate im Westfeld. Wegen des dortigen Grubenwasserstands von +65 m NHN kann das zusickernde Grundwasser nur aus dem Hangenden, also dem im numerischen Grundwasserströmungsmodell abgebildeten obersten Grundwasserleiter stammen. Die Zusickerungsrate ist über den Abfluss aus dem Dickenberger Stollen mit 8,3 m³/min gut bekannt. Da diese Abflussrate um ca. 1 m³/min größer ist als die Grundwasserneubildungsrate im Bereich des Westfelds (7,26 m³/min), ist auch deutlich, dass über die an den Dickenberger Stollen angeschlossenen und entwässernden Grubenbaue auch Grundwässer außerhalb der Grenzen des Westfelds angenommen werden. Die Zusickerungsrate wurde mit 8,3 m³/min als feste Randbedingung 2. Art im numerischen Grundwasserströmungsmodell niveaugerecht abgebildet. In gleicher Weise wurde mit der tagesnahen Zusickerung zum Schacht Bockraden verfahren. Der dort gefasste und über Messungen quantifizierte Grundwasserzuflussrate in Höhe von 0,75 m³/min wird ebenfalls als feste Randbedingung 2. Art abgebildet.



Die Zusickerung zum Ostfeld, die aus dem tagesnahen Grundwasserkörper stammt, war nicht mit letzter Genauigkeit zu quantifizieren. Unter Auswertung der Mineralisation gab es aber konkrete Vorstellungen über die Größenordnung der Zusickerung. Die Zusickerung sollte im Zuge der Modellkalibrierung belastbarer unterlegt und fixiert werden. Insofern ist die in Abbildung 18 dargestellte Zusickerungsrate für das Ostfeld von $2,67 \text{ m}^3/\text{min}$ kein alleiniges Ergebnis aus der Bilanzierung der Grubenwasserzuflüsse, sondern es wurde im Zuge der Modellkalibrierung im Abgleich mit der Grundwassersituation erarbeitet. Diese Zusickerung wurde in Analogie zum Westfeld als Randbedingung 2. Art niveaugerecht im numerischen Grundwasserströmungsmodell abgebildet. Sie beträgt etwa $1/3$ der Grundwasserneubildung.

Es ist bekannt, dass dem Permer Stollen Grundwässer zuströmen, die aber nicht alle über den Stollen abfließen. Ein großer Teil der dem Permer Stollen zufließenden Grundwässer versickert über gut durchlässige und wasserführende Störungen in nördlicher Richtung in den Bergbaubereich des Ostfelds. Der Permer Stollen wurde als Randbedingung 3. Art mit dem Stollensohlniveau als Vorflutniveau im numerischen Grundwasserströmungsmodell abgebildet. Die Leakagekoeffizienten wurden im Zuge der Kalibrierung festgelegt. Die in Abbildung 18 dargestellte Zuflussrate von $0,85 \text{ m}^3/\text{min}$ ist in diesem Sinne ebenfalls ein Kalibrierergebnis.

Schließlich gab es aus der Auswertung der Grubenwasserzuflüsse Hinweise darauf, dass über bestimmte Abschnitte der Karbon-Randstörung Grundwässer aus dem tagesnahen Grundwasserleiter den Grubenwasserhaltungen zuströmen. Diese Zuflussraten wie auch die Lage der Zuflüsse waren aus den Grubenwasserzuflüssen nicht genau zu ermitteln. Aus diesem Grund wurden diese Zuflüsse ebenfalls im Zuge der Kalibrierung konkretisiert. Es konnte im Abgleich mit den tagesnahen Grundwasserverhältnissen ein Grundwasserzufluss über die Karbon-Randstörung plausibel ermittelt werden, wobei bewusst ein großer Grundwasserzufluss im Sinne eines konservativen Modellansatzes gewählt wurde. Die in Abbildung 18 dargestellten, auf die Karbon-Randstörung fokussierten Grundwasserzuflüsse sind ein Kalibrierergebnis. Sie sind im Modell als Randbedingung 3. Art mit dem Austrittsniveau in die Karbon-Randstörung als Vorflutniveau abgebildet. Im Ausgangszustand ist davon auszugehen, dass die Karbon-Randstörung in diesen Abschnitten nicht überstaut ist, sondern die zutretenden Wässer ohne



größere Widerstände in die Tiefe den Grubenwasserhaltungen zuleiten kann. Die Leakagekoeffizienten wurden im Zuge der Modellkalibrierung fixiert.

7.3.3 Modelleingangsdaten

Geländehöhen

Die Geländehöhen wurden von der Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen, als 10 m-Rasterdatensatz zur Verfügung gestellt. Die Zuweisung der Geländehöhen auf das Finite-Elemente-Netz erfolgte knotenweise durch eine lineare Interpolation. Die Geländehöhen variieren zwischen +16 m NHN (nordwestlich der Karbon-Scholle) und +192 m NHN im Bereich des Ostfelds.

Quartär-Basis

Basierend auf der ISGK100 des Landes Nordrhein-Westfalen und unter besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse der in Kapitel 6.1.3.2 beschriebenen Bohrarbeiten wurde durch die Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen, ein Höhenlinienplan der Quartär-Basis im Modellgebiet erarbeitet. Die Zuweisung der Höhenlage der Quartär-Basis erfolgte knotenweise durch eine lineare Interpolation. Die Mächtigkeiten des Quartär variieren zwischen 0 m (Quartär-freie Hochlagen) und 83 m. Größere Quartär-Mächtigkeiten sind im Erdfallbereich nordwestlich der Karbon-Scholle und im Bockradener Graben anzutreffen.

Basis des Grundwasserleiters/Modellunterkante

Wie oben bereits beschrieben wurde, die Modellunterkante vergleichsweise tief bei -200 m NHN festgelegt, um auch die vertikalen Grundwasserströmungen im Bereich der Karbon-Scholle berücksichtigen zu können.

Grundwasserstände

Einem numerischen Grundwasserströmungsmodell müssen knotenweise Grundwasserstände im Sinne eines Ausgangszustandes zugewiesen werden. Dazu wurde durch Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen, wie in Kapitel 6.1.6 beschrieben ein Grundwassergleichenplan für den obersten Grundwasserleiter erstellt und digital zur Verfügung gestellt. Dieser Grundwassergleichen-



plan wurde auf alle Knoten des numerischen Grundwasserströmungsmodells interpoliert. Somit liegen dem numerischen Grundwasserströmungsmodell langjährig mittlere Grundwasserstände für den obersten Grundwasserleiter zu Grunde.

Zusätzlich werden dem numerischen Grundwasserströmungsmodell auch noch die an den Grundwassermessstellen gemessenen Grundwasserstände zugewiesen. Diese Messdaten bilden die Grundlage für den Abgleich der berechneten Grundwasserstände mit den gemessenen Grundwasserständen und damit für die Modellgenauigkeit im engeren Sinne.

Grundwasserentnahmen

Die im Modellgebiet liegenden und jeweils mit ihrer mittleren jährlichen Förderrate im numerischen Grundwasserströmungsmodell berücksichtigten Grundwasserentnahmen sind in Kapitel 5.3.2 beschrieben und in Anlage 12 dargestellt. Zusätzlich wurde die in Kapitel 5.4 beschriebene Brauchwasserhaltung am Schacht Bockraden mit einer langjährigen mittleren Förderrate (2001 bis 2013) von 391.000 m³/a im Modell berücksichtigt (Kapitel 7.3.2).

Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Durchlässigkeitsbeiwerte sind neben den Leakagekoeffizienten die mit der größten Unsicherheit behafteten Modelleingangsdaten. Aus diesem Grunde wird ein Modell bei der Erstellung sowohl mit plausiblen Mittelwerten aber auch mit Ober- und Unterschranken für die Durchlässigkeitsbeiwerte versorgt. Innerhalb dieser Schranken werden dann im Zuge der Modellkalibrierung die Durchlässigkeitsbeiwerte dahingehend variiert, dass sich eine möglichst gute Übereinstimmung von Modellergebnissen und Messwerten ergibt. Die Mittelwerte dienen als Startwerte für den Kalibriervorgang.

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden für die verschiedenen geologischen Einheiten unterschiedliche Spannen angesetzt. Die zur Kalibrierung verwendeten Durchlässigkeitsbeiwerte ergaben sich aus den in den Kapiteln 5.1 und 6.1.3.3 genannten Werten. Im Modell wurden den einzelnen Schichten die Durchlässigkeitsbeiwerte gemäß dem vertikalen 3D-Aufbau zugeordnet. Dabei wurden die folgenden Mittelwerte und Spannen der Durchlässigkeitsbeiwerte verwendet (Tabelle 10).



Tabelle 10: Im Modell verwendete Durchlässigkeitsbeiwerte.

System	Stufe	Durchlässigkeitsbeiwerte		
		Untergrenze (m/s)	Mittelwert (m/s)	Obergrenze (m/s)
Quartär		$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Unterkreide		$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Jura	Malm	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Jura	Dogger	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Jura	Dogger/Lias	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Jura	ungegliedert	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Trias	Keuper	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Trias	Muschelkalk	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Trias	Buntsandstein	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Trias	ungegliedert	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Perm	Zechstein	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Karbon		$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Karbon-Randstörung		$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$

Die in Tabelle 10 aufgeführten Durchlässigkeitsbeiwerte verstehen sich als horizontale Durchlässigkeitsbeiwerte. Im Allgemeinen unterscheiden sich die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte in Folge der Bedingungen bei der Entstehung oder späteren Überprägung der Schichten von den vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten. Die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte sind meistens deutlich größer als die vertikalen. Der Quotient aus dem horizontalen zum vertikalen Durchlässigkeitsbeiwert wird als Anisotropiefaktor oder einfach Anisotropie bezeichnet. In einem dreidimensionalen numerischen Grundwasserströmungsmodell müssen die Durchlässigkeitsbeiwerte für beide Hauptrichtungen (horizontal/vertikal) oder schichtweise die Anisotropiefaktoren angegeben werden. Für das Quartär wurde aus zahlreichen generellen Erkenntnissen ein Anisotropiefaktor von 5 gewählt. Die Minderung der vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte ist vor allem auf die Lageorientierung der Sedimentpartikel bei der Ablagerung und Schichtungen innerhalb des Quartär zurückzuführen. Für die Schichten im Liegenden des Quartär wurde ein Anisotropiefaktor von 1 gewählt, da es sich bei diesen Schichten um geklüftete, häufig verkippte Festgesteinsschichten handelt, so dass eine aus der Phase der Sedimentation der Schichten resultierende Anisotropie überprägt wurde und nicht mehr wirksam ist.

Grundwasserneubildung

Die langjährig mittlere Grundwasserneubildung wurde flächendifferenziert nach dem Verfahren GWneu (MEBER 2013) berechnet (Kapitel 6.1.5). Die mittleren jährlichen Neubildungsraten



wurden jeweils den Finiten Elementen der obersten Elementschicht des numerischen Grundwasserströmungsmodells zugewiesen. In der Summe weist das Modell eine Gesamtneubildungsrate von ca. 38.770.000 m³/a (73,76 m³/min) und eine mittlere Neubildungsrate von 201 mm/a auf. Auf der Karbon-Scholle ist die mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate mit ca. 187 mm/a etwa 10% geringer als im Umland (ca. 206 mm/a). Die Grundwasserneubildungsrate beträgt im Bereich des Westfelds 7,26 m³/min, im Bereich des Bockradener Grabens 2,65 m³/min und im Bereich des Ostfelds inkl. des Beustfelds 7,83 m³/min. Aus diesen Grundwasserneubildungsraten speist sich zu einem erheblichen Teil die Zusickerung zu den Grubenwasserhaltungen. Weitere Details zur Grundwasserneubildung sind in Kapitel 6.1.5 enthalten.

Leakagekoeffizienten

Allen Oberflächengewässern müssen wegen der dort festgesetzten RB 3. Art Leakagekoeffizienten zugewiesen werden. Diese repräsentieren den Strömungswiderstand in unmittelbarer Umgebung des Vorfluters. Im Zuge der Modellkalibrierung wurden diese Leakagekoeffizienten so variiert, dass sich eine möglichst gute Übereinstimmung von Modellergebnissen und Messwerten ergab. Die Leakagekoeffizienten errechnen sich als Quotient aus dem vertikalen Durchlässigkeitsbeiwert und der Mächtigkeit der Leakageschicht. Die Leakageschicht entspricht im Allgemeinen der Grenzschicht an der Gewässersohle. Bei befestigten bzw. ausgebauten Gewässern kann jedoch auch die in die Sohle eingebrachte Sohlbefestigung als Leakageschicht angesehen werden. Generell beschreibt die Leakagebeziehung einen Grundwasserkontakt, der eine Exfiltration von Grundwasser in das Gewässer (effluente Verhältnisse) bzw. eine Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter hinein (influente Verhältnisse) ermöglicht. Dabei ist zu beachten, dass bei effluenten Verhältnissen die Leakagekoeffizienten im Allgemeinen größer sind als im Falle influenter Verhältnisse. Dies ist auf die Entlastung bzw. Kompression der Sohlsedimente je nach Art des Grundwasserkontaktes zurückzuführen.



Für die im Modell linienhaft abgebildeten Gewässer wie z. B. die Bäche wird das Produkt aus Leakagekoeffizient und Gewässerbreite vorgegeben. Dieser Wert hat entsprechend die Einheit m/s. Nach Beendigung der Kalibrierung liegen die für diese Gewässer angesetzten breitenintegrierten Leakagekoeffizienten zwischen $2 \cdot 10^{-6}$ m/s und $2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Für flächenhaft im Modell abgebildete Strukturen (Kanäle, Teiche) wird der Leakagekoeffizient in unveränderter Form in der Einheit 1/s eingegeben. Für die Kanalsole des Mittellandkanals sind Leakagekoeffizienten zwischen $3 \cdot 10^{-7}$ 1/s und $2 \cdot 10^{-6}$ 1/s kalibriert worden. Für die verschiedenen im Modellgebiet gelegenen Teiche enthält das Modell Leakagekoeffizienten zwischen $3 \cdot 10^{-6}$ 1/s und $3 \cdot 10^{-5}$ 1/s.

Vorflutniveaus

Allen im numerischen Grundwasserströmungsmodell abgebildeten Oberflächengewässern und dränierenden Elementen (z.B. Stollen) müssen Vorflutniveaus im Sinne einer Wasserspiegellage zugewiesen werden. Dies resultiert aus der Verwendung der RB 3. Art. Für die vorflutwirksamen Bäche, Gräben und Teiche wurden im Modell wie bereits bei der Konstruktion des Grundwassergleichenplans aktuelle Vermessungsdaten verarbeitet (Kapitel 6.1.3.1). Darüber hinaus sind im Modell folgende Vorflutniveaus berücksichtigt:

- Mittellandkanal: +50,30 m NHN, lang-jährig mittlerer Wert, entspricht der Wasserspiegellage,
- Permer Stollen: +70 bis +75 m NHN, nach Westen ansteigend, entspricht näherungsweise dem Stollensohlniveau.



8. Modellkalibrierung

Wie in Kapitel 7.1 beschrieben muss nach der Zuweisung aller Modelldaten ein numerisches Grundwasserströmungsmodell zunächst kalibriert werden, bevor von einem prognosefähigen Modell gesprochen werden kann, mit dem belastbare Aussagen herbeigeführt werden können.

Bei dem vorliegenden Grundwasserströmungsmodell wurden neben den Durchlässigkeitsbeiwerten auch die Leakagekoeffizienten aller vorflutwirksamen Elemente, also z. B. der Bäche und des Permer Stollens, variiert, um eine möglichst gute Übereinstimmung der gemessenen mit den vom Modell berechneten Grundwasserständen zu erhalten.

Insgesamt konnte das numerische Grundwasserströmungsmodell sehr präzise kalibriert werden. In der Anlage 16 ist die Qualität der Kalibrierung für den oberen Grundwasserleiter abgebildet. Dargestellt sind die mit dem numerischen Grundwasserströmungsmodell berechneten Grundwassergleichen (blaue Isolinien) sowie die Abweichungen zwischen den vom Modell berechneten und den an den Grundwassermessstellen gemessenen Grundwasserständen in Form von Werten. Rote Werte markieren Grundwassermessstellen, an denen das Modell niedrigere Grundwasserstände und grüne Werte markieren Messstellen, an denen das Modell höhere Grundwasserstände als die Messwerte berechnet. Positive und negative Abweichungen halten sich die Waage und sind lagemäßig in etwa gleich über das Modellgebiet verteilt. Dadurch kommt zum Ausdruck, dass es keine Bereiche gibt, in denen durch das Grundwasserströmungsmodell durchweg höhere oder niedrigere Grundwasserstände im Vergleich zu den Messwerten berechnet werden. Ein im mathematischen Sinne genaues Nachrechnen der Grundwasserstandsmesswerte ist weder möglich noch sinnvoll, da die Ableitung mittlerer Grundwasserstandsmesswerte mit gewissen Unsicherheiten verbunden ist und das Modell nicht jede lokale geologische und hydrogeologische Besonderheit präzise, sondern stets mit Vereinfachungen abbildet. Die Abweichungen variieren bis auf wenige Ausnahmen um bis zu einem Meter in beide Abweichungsrichtungen.



Es standen 117 Messstellen zur Verfügung. Davon waren 8 trocken gefallen und 17 wurden im Zuge der Kalibrierung als Messstellen eingestuft, die schwebendes Grundwasser repräsentieren, so dass insgesamt 92 Messstellen für die Kalibrierung verblieben. Die mittlere absolute Abweichung der Modellergebnisse von den 92 gemessenen Grundwasserständen beträgt 0,40 m. Dies ist in Anbetracht der Modellgebietsgröße und Grundwasserständen, die sich im Modellgebiet zwischen +40 m NHN und +160 m NHN bewegen, eine sehr gute Anpassung. Die maximale negative Abweichung (das Modell rechnet niedriger als der Grundwasserstandsmesswert) beträgt -4,96 m und befindet sich an einer Messstelle an der südöstlichen Flanke der Ibbenbürener Karbon-Scholle in unmittelbarer Nähe der Karbon-Randverwerfung. Diese auffällig große Abweichung ist vor dem Hintergrund der in diesem Bereich sehr großen Grundwassergradienten zu bewerten und aus unserer Sicht hinnehmbar. Eine solche Situation deutet häufig auf eine lokale hydrogeologische Besonderheit hin, die nur in einer groben Näherung im Grundwasserströmungsmodell abgebildet werden kann. Möglicherweise deutet der für dieses Umfeld sehr hohe gemessene Grundwasserstand auf ein schwebendes Grundwasserstockwerk hin. In der Regel schränkt eine solche Abweichung die Aussagekraft des numerischen Grundwasserströmungsmodells nicht ein. Die maximale positive Abweichung (das Modell rechnet höher als der Grundwasserstandsmesswert) beträgt 1,04 m und befindet sich an einer Messstelle auf der Karbon-Scholle westlich des Strootbachs.

In Tabelle 11 sind die Grundwassermessstellen im Modellgebiet mit den gemittelten Grundwasserstandsmesswerten, den vom Grundwasserströmungsmodell berechneten Grundwasserständen, den entsprechenden Differenzen und Anmerkungen zur Verwendbarkeit zusammengestellt. Bei den 8 trocken gefallenen Messstellen wurde im Zuge der Kalibrierung darauf geachtet, dass die vom Grundwasserströmungsmodell berechneten Grundwasserstände unterhalb der Filterstrecke lagen. Für diese 8 trocken gefallenen wie auch für die 17 schwebendes Grundwasser repräsentierenden Messstellen wurden keine vom Modell berechneten Grundwasserstände aus den Modellergebnissen ausgelesen und in Tabelle 11 dargestellt, da sie keinen Bezug zu den Messstellen bzw. den entsprechenden Grundwasserstandsmesswerten haben.



Tabelle 11: Grundwassermessstellen im Modellgebiet.

	Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	vom Modell berechneter Grundwasserstand (+ m NHN)	gemessener Grundwasserstand (+ m NHN)	Abweichung (m)	Bemerkungen
1	D202	3409644,20	5799103,10	-	122,11	-	schwebendes GW
2	D203	3409595,07	5799227,06	-	129,13	-	schwebendes GW
3	D204	3409604,43	5799201,48	-	124,12	-	schwebendes GW
4	D205	3409525,16	5799427,06	-	123,24	-	schwebendes GW
5	D206	3409530,58	5799415,63	-	122,89	-	schwebendes GW
6	D207	3409676,37	5798972,09	-	129,08	-	schwebendes GW
7	D208	3409676,37	5798988,11	-	123,11	-	schwebendes GW
8	E102	3407472,87	5800294,31	55,39	57,15	-1,76	
9	E116	3407278,94	5800988,02	47,76	48,55	-0,79	
10	E119	3407682,53	5801116,01	48,68	48,82	-0,14	
11	F101	3406493,49	5796838,23	48,72	49,19	-0,47	
12	F102	3406408,97	5796773,18	49,06	49,12	-0,06	
13	F106	3407136,67	5796522,33	49,44	49,63	-0,19	
14	F107	3407237,38	5796496,62	49,56	49,55	0,01	
15	F109	3406987,31	5796506,13	48,50	49,12	-0,62	
16	F115	3406827,21	5796414,72	48,62	49,30	-0,68	
17	F116	3407016,66	5797605,92	50,46	51,40	-0,94	
18	F117	3407118,77	5797453,23	51,16	51,89	-0,73	
19	F118	3407062,31	5797417,94	50,96	51,48	-0,52	
20	F119	3406933,13	5797342,58	50,50	50,22	0,28	
21	F120	3407005,32	5797224,07	50,74	50,46	0,28	
22	F121	3406714,92	5797273,53	49,44	50,08	-0,64	
23	F122	3406629,65	5797402,63	49,79	50,40	-0,61	
24	F123	3406609,42	5797635,53	49,40	50,56	-1,16	
25	F124	3407075,74	5796571,17	49,46	49,67	-0,21	
26	F125	3407216,07	5796856,89	50,68	51,69	-1,01	
27	F126	3406457,34	5796610,83	48,50	48,94	-0,44	
28	F127	3406607,91	5796443,10	48,42	48,79	-0,38	
29	F128	3406914,37	5796548,56	48,98	48,74	0,24	
30	F98	3406644,36	5796565,19	48,57	48,85	-0,28	
31	F99	3406427,75	5796512,55	48,36	48,57	-0,21	
32	G112	3413104,48	5797634,10	-	105,35	-	schwebendes GW
33	G123	3413081,78	5798360,36	-	101,19	-	schwebendes GW
34	G128	3413551,59	5798517,54	88,71	87,87	0,84	
35	G147	3414693,13	5799888,68	63,77	63,89	-0,12	
36	G156	3414044,75	5799784,84	-	-	-	trocken
37	G175	3413035,95	5798773,11	-	102,68	-	schwebendes GW
38	G176	3412969,28	5799154,15	-	109,52	-	schwebendes GW
39	G213	3413850,86	5800365,95	59,45	59,47	-0,02	
40	G216	3413590,83	5800240,92	60,63	60,73	-0,10	
41	G22	3411973,89	5796868,46	103,10	103,37	-0,27	
42	G224	3413052,26	5800163,54	63,44	63,63	-0,19	
43	G225	3412989,83	5799988,12	64,47	64,53	-0,06	
44	G232	3412741,11	5800617,79	69,17	68,13	1,04	
45	G24	3411941,99	5796690,17	109,64	109,53	0,11	
46	G31	3412353,17	5796606,61	110,86	110,46	0,40	
47	G340	3412822,21	5800917,06	60,71	60,63	0,08	
48	G341	3413816,71	5799962,61	62,60	62,51	0,09	
49	G345	3412444,74	5799644,16	71,19	71,10	0,09	
50	G346	3412114,80	5799280,19	75,20	76,94	-1,74	
51	G48	3412655,61	5796914,04	116,61	116,54	0,07	
52	G55	3412526,21	5797058,87	106,56	106,71	-0,15	
53	G56	3412332,34	5797063,81	100,71	100,64	0,07	
54	G60	3411550,06	5797689,79	-	96,35	-	schwebendes GW
55	G63	3411298,33	5797514,90	-	102,22	-	schwebendes GW
56	G71	3412197,71	5798598,49	77,28	77,15	0,13	
57	G77	3412602,43	5798616,23	-	93,12	-	schwebendes GW
58	G78	3412613,28	5798087,97	-	109,16	-	schwebendes GW



	Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	vom Modell berechneter Grundwasserstand (+ m NHN)	gemessener Grundwasserstand (+ m NHN)	Abweichung (m)	Bemerkungen
59	G83	3412398,02	5797899,15	95,82	96,17	-0,35	
60	G84	3412415,73	5797659,02	98,45	98,65	-0,21	
61	G96	3413013,42	5797458,23	-	105,65	-	schwebendes GW
62	H100	3414823,09	5796177,05	145,63	146,21	-0,58	
63	H48	3415530,03	5798823,28	76,79	77,12	-0,33	
64	H49	3415537,84	5798795,58	77,41	77,56	-0,16	
65	H64	3415392,08	5799326,36	72,48	72,79	-0,31	
66	H91	3415396,16	5798245,73	-	-	-	trocken
67	L133	3415768,22	5798297,11	-	108,76	-	schwebendes GW
68	L151	3417793,18	5797856,59	76,12	75,73	0,39	
69	L158	3416525,13	5796349,58	144,43	144,70	-0,27	
70	L21	3416474,07	5796498,76	141,63	141,63	0,00	
71	L24	3416451,78	5796282,78	144,90	144,99	-0,09	
72	L27	3416675,45	5796278,74	-	-	-	trocken
73	L33	3417569,54	5796211,53	-	-	-	trocken
74	L35	3416577,35	5796146,54	148,31	148,24	0,07	
75	L51	3417936,79	5798202,84	72,85	73,58	-0,73	
76	L7	3415635,19	5795818,64	160,54	161,15	-0,61	
77	P2	3417914,84	5795207,05	155,84	156,52	-0,68	
78	Teepe1	3414390,95	5799682,10	64,05	63,69	0,36	
79	Teepe3	3413720,04	5799322,13	65,35	65,13	0,22	
80	Teepe4	3413585,69	5798927,47	66,52	66,00	0,52	
81	Teepe5	3414013,48	5798960,55	69,65	69,44	0,21	
82	Teepe7	3414449,22	5798957,61	79,20	78,78	0,42	
83	H101	3415847,18	5799034,59	72,34	72,36	-0,02	
84	Bohrung 01	3414508,13	5794262,20	93,74	95,64	-1,90	
85	Bohrung 02	3418364,30	5792978,14	93,55	93,46	0,10	
86	Bohrung 03	3416432,90	5794372,03	-	-	-	trocken
87	Bohrung 04	3419446,52	5793363,78	125,81	130,77	-4,96	
88	Bohrung 07	3419713,46	5798953,68	58,27	58,32	-0,05	
89	Bohrung 08	3419881,03	5791700,26	104,72	104,88	-0,16	
90	Bohrung 10	3407328,10	5798162,86	53,40	53,39	0,00	
91	Bohrung 11	3405062,35	5800115,64	43,45	42,75	0,70	
92	Bohrung 12	3410633,39	5793331,90	61,57	61,56	0,01	
93	Bohrung 13	3414838,76	5792647,38	64,77	64,73	0,04	
94	Bohrung 14	3415250,80	5802097,65	52,17	52,22	-0,05	
95	Bohrung 17	3412457,12	5801687,24	56,59	56,52	0,07	
96	Bohrung 19	3407942,91	5795833,39	49,88	49,92	-0,04	
97	Bohrung 20	3421152,49	5791347,50	93,85	93,89	-0,05	
98	Bohrung 22	3416965,77	5791684,53	-	-	-	trocken
99	Bohrung 23	3420258,88	5790965,04	-	-	-	trocken
100	Bohrung 24	3421180,13	5793340,56	73,47	73,41	0,06	
101	Bohrung 25	3421431,35	5794578,28	95,29	95,59	-0,31	
102	Bohrung 26	3418534,91	5799244,18	57,14	57,29	-0,15	
103	Bohrung 27	3415811,20	5800349,26	56,83	56,82	0,01	
104	Bohrung 28	3409145,82	5801713,34	-	-	-	trocken
105	Bohrung 30	3405399,67	5801208,11	43,31	43,31	0,00	
106	4/68 BLATT HOPSTEN	3407127,00	5798365,00	54,82	54,81	0,01	
107	5/40 TK METTINGEN	3413845,00	5800367,00	59,46	58,89	0,57	
108	12/11 TK TECKLENB	3414969,00	5795762,00	159,30	160,12	-0,82	
109	13/10 TK HASBERGEN	3420890,00	5794910,00	91,28	91,79	-0,51	
110	13/21 TK HASBERGEN	3421679,00	5793319,00	72,40	72,98	-0,58	
111	TE/13-LAGGENBECK-	3416090,00	5791850,00	71,80	72,14	-0,34	
112	TE/14 -LEHEN-	3413239,00	5792165,00	67,67	67,71	-0,04	
113	TE/24 - ESPEL -	3413792,00	5802666,00	51,14	51,11	0,03	
114	TE/25 IBBENBUEREN	3409058,00	5795236,00	52,55	52,59	-0,04	
115	TE/46 Laggenbeck	3416054,00	5793016,00	78,47	78,62	-0,15	
116	TE/33 Schlickelde	3412992,72	5800737,72	59,67	59,72	-0,05	
117	TE/26 METTINGEN	3416573,86	5801738,16	51,91	52,13	-0,22	



Die in Kapitel 7.3.3 genannten Plausibilitätsspannen für die Durchlässigkeitsbeiwerte der einzelnen Schichten werden durch die Kalibrierung vollständig eingehalten. Auch dies ist ein Beleg für die Belastbarkeit des numerischen Grundwasserströmungsmodelles. In Anlage 18.1 ist die Verteilung der über die Modellschichten gemittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im Quartär und in Anlage 18.2 die Verteilung der über die Modellschichten gemittelten Durchlässigkeitsbeiwerte in den Schichten des Mesozoikum bzw. des Karbon dargestellt. Der Vergleich der Anlagen macht deutlich, dass im Quartär insgesamt größere Durchlässigkeitsbeiwerte vorherrschen als in den Schichten des Mesozoikum oder des Karbon.

Die im Zuge der Kalibrierung festgelegten Leakagekoeffizienten sind bereits in Kapitel 7.3.3 beschrieben worden.

In der Anlage 16 sind die vom Grundwasserströmungsmodell berechneten Grundwassergleichen dargestellt. Der Grundwassergleichenplan entspricht weitgehend den konstruierten Grundwassergleichen. In einigen Bereichen ergaben sich im Zuge der Kalibrierung etwas modifizierte Grundwassergleichen. Die Grundwassersituation, auf die das Grundwasserströmungsmodell kalibriert wurde, kann zur Unterscheidung von der in Kapitel 9 beschriebenen Simulation als Ausgangszustand oder auch Kalibrierzustand bezeichnet werden.

Die Grundwassersituation im Modellgebiet lässt sich in einem Überblick so charakterisieren, dass die höchsten Grundwasserstände im Bereich der Karbon-Scholle und dort im Bereich des Ostfelds anzutreffen sind. Die Grundwässer im Bereich der Karbon-Scholle strömen überwiegend dem Grubenwasserbereich zu. Daneben findet aber auch eine laterale Grundwasserströmung zu den Bächen wie z. B. dem Strootbach oder Pölkenbach und allseitig über die Karbon-Randstörung in das Umfeld statt. Ein Teil der über die Karbon-Randstörung Richtung Umfeld abströmenden Grundwässer versickern im Störungsbereich und strömen den Grubenwasserhaltungen zu. Die höchsten Grundwasserstände im Bereich der Karbon-Scholle werden im Bereich der südlichen Höhen im Ostfeld wie z. B. des Schafbergs mit über +150 m NHN oder gar +160 m NHN angetroffen.



Die Grundwassersituation nordöstlich und nordwestlich der Karbon-Scholle ist generell durch kontinuierlich nach außen gerichtete Strömungsrichtungen geprägt. Das engmaschige Gewässernetz führt zu kleinteiligen Grundwasserströmungen, die aber die Hauptstromrichtungen nach außen nicht grundsätzlich verändern. Das östlich bis südöstlich der Karbon-Scholle gelegene Umfeld ist sehr bewegt und durch mehrere ausgeprägte eigenständige Grundwasserhochlagen in die unterschiedlichsten Abstromrichtungen aufgegliedert. Die genannten Grundwasserhochlagen erreichen Grundwasserstände um +80 m NHN (Bereich Merten) bis über +100 m NHN (südöstliches Laggenbeck). Die von der Karbon-Scholle nach außen gerichteten Grundwasserströmungsrichtungen reichen in diesem Bereich im Allgemeinen nur bis an die Bäche, die der Karbon-Scholle am nächsten gelegenen sind. Südwestlich der Karbon-Scholle ist die Grundwassersituation durch die Ibbenbürener Aa geprägt, die in der Talung zwischen Karbon-Scholle und Teutoburger Wald verläuft. Die Ibbenbürener Aa nimmt als dominierender Vorfluter die von beiden Höhenrücken abströmenden Grundwässer auf. Im Modellgebiet werden im Bereich des Teutoburger Walds Grundwasserstände bis ca. +80 m NHN erreicht.

Im Umfeld der Ibbenbürener Karbon-Scholle kommt es in verschiedenen Bereichen zu Zuflüssen oberflächennahen Grundwassers zum Bergbaubereich. Einige dieser Zuflüsse sind durch Messwerte dokumentiert (Abfluss Dickenberger Stollen, Grundwasserentnahme Schacht Bockraden) und konnten somit direkt über eine Randbedingung 2. Art im Grundwasserströmungsmodell berücksichtigt werden (Kapitel 7.3.2). In einigen Bereichen liefert die Grubenwassermodellierung (Boxmodell) zwar konkrete Hinweise auf derartige Zuflüsse, eine exakte Bilanzierung der aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter stammenden Wasservolumina ist jedoch aufgrund der Vermischung mit tieferem, höher mineralisiertem Grundwasser nicht immer möglich. Die Verortung dieser Zusickerungen aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter und die endgültige Bestimmung der Zuflussraten sind daher, wie in Kapitel 7.3.2 beschrieben, Ergebnisse dieser Kalibrierung.

In Abbildung 18 sind die im kalibrierten Grundwasserströmungsmodell abgebildeten Versickerungsraten in den Bergbaubereich dargestellt. Neben den bereits erwähnten Abflüssen aus dem Westfeld über den Dickenberger Stollen und der tagesnahen Entnahme am Schacht Bock-



raden erfolgen weitere Zusickerungen oberflächennahen Grundwassers in den Bergbaubereich entweder als mehr oder weniger vertikale Sickerströmung im Ostfeld ($2,67 \text{ m}^3/\text{min}$) oder als randlicher Zustrom über Störungen, wobei alte Grubenbaue und Entwässerungsstollen wie der Permer Stollen als Sammler fungieren können. Den Grubenwasserhaltungen strömt über einen Abschnitt der Karbon-Randstörung bei Ibbenbüren $0,22 \text{ m}^3/\text{min}$ Grundwasser und über einen Abschnitt östlich von Alstedde $0,11 \text{ m}^3/\text{min}$ Grundwasser zu. Dem Permer Stollen und den benachbarten Grubenbauen strömt $0,74 \text{ m}^3/\text{min}$ Grundwasser zu.

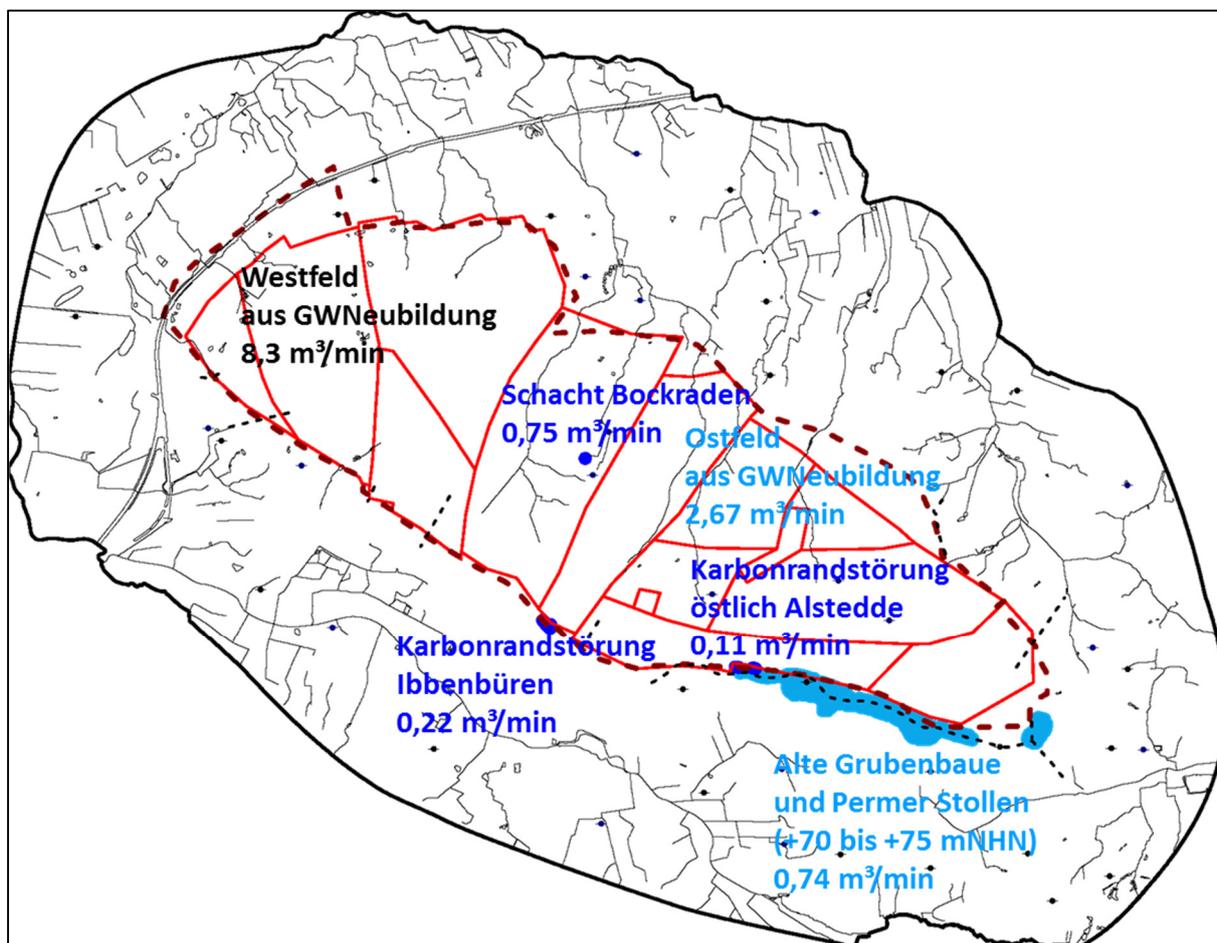


Abbildung 18: Im Grundwasserströmungsmodell berücksichtigte Versickerungsraten in den Bergbaubereich.

Die mit dem Grundwasserströmungsmodell für den Ausgangszustand berechneten mittleren Flurabstände sind in Anlage 17 dargestellt. Aus dieser wird deutlich, dass auf der Ibbenbürener



Karbon-Scholle in großen Teilen (ca. 90 %) Flurabstände von über 5,0 m vorherrschen. Geringere Flurabstände treten nur in Tälern und im unmittelbaren Umfeld von Oberflächengewässern auf. Besonders hervorzuheben sind hierbei der Strootbach und seine südlichen Zuflüsse, in deren Umfeld verbreitet Flurabstände unter 2,5 m auftreten. In diesen Bereichen sind verschiedentlich Geländevernässungen anzutreffen, die auch durch Untersuchungen des Büros SCHMELZER – Die Ingenieure belegt sind. Außerhalb der Ibbenbürener Karbon-Scholle sind Flurabstände unter 2,5 m deutlich weiter verbreitet. Im westlichen Teil des Modellgebietes macht der Anteil der Flächen mit Flurabständen unter 2,5 m schätzungsweise 80% der Gesamtfläche aus. Im Osten des Modellgebiets sind die Bereiche mit geringeren Flurabständen enger auf das Umfeld der Oberflächengewässer in den Tallagen begrenzt. In Verbindung mit morphologischen Hochlagen treten hier jedoch auch verbreitet Flurabstände über 5,0 m auf (etwa 50%).

Im Hinblick auf mögliche Grundwasseranstiege als Folge des geplanten Grubenwasseranstiegs können insbesondere Bereiche mit bereits im Ausgangszustand geringen Flurabständen im potenziellen Einzugsgebiet der Zusickerungen zum Bergbaubereich als sensibel angesehen werden. Solche Bereiche befinden sich vor allem südlich und östlich des Schachtes Bockraden, an dem auf Grund der Schachtverfüllung der Grundwasserzufluss entfällt.



9. Modellrechnung zum Grubenwasseranstieg

Nach Beendigung des Steinkohlenbergbaus im Ostfeld des Bergwerkes Ibbenbüren ist geplant, das Grubenwasser auf ein Niveau von +63 m NHN ansteigen zu lassen. Dieses Grubenwasser-Anstiegsniveau wurde so gewählt, dass alle bekannten technischen Tagesöffnungen (Stollen, Schächte etc.) (Anlage 2, Anlage 3) oberhalb davon liegen. Ein Austritt von Grubenwasser an diesen Tageöffnungen ist somit nicht gegeben.

Die nach dem Grubenwasseranstieg zu erwartende Grundwassersituation wurde mit dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell in einer stationären Modellvariante simuliert. **Diese Situation stellt im Hinblick auf die zu erwartenden Auswirkungen den denkbar ungünstigsten Fall (*worst case*) dar.**

Entsprechend der vorliegenden Planung wird das Grubenwasser nach Einstellung der aktiven untertägigen Wasserhaltungsmaßnahmen bis auf das Niveau von +63 m NHN ansteigen und auf diesem Niveau über eine noch zu errichtende Wasserableitungsstrecke, analog der aktuellen Situation im Westfeld, abgeleitet. Darüber hinaus entfällt der Grundwasserzufluss in den Schacht Bockraden auf Grund der Schachtverfüllung.

Das geplante Grubenwasserniveau von +63 m NHN liegt tiefer als die Grundwasserstände im obersten Grundwasserleiter auf der Ibbenbürener Karbon-Scholle sowie in deren näheren Umfeld. Ein direkter Einfluss des auf die oberflächennahe Grundwassersituation im Sinne einer Übertragung der zukünftigen Grubenwasserstände auf das Umland ist daher nicht zu erwarten. Indirekt ist eine Beeinflussung der Grundwassersituation durch den Anstieg des Grubenwassers jedoch insofern möglich, da die dem Bergbaubereich zusickernden Grundwasservolumina mit steigendem Grubenwasserniveau möglicherweise abnehmen.

Der Grubenwasseranstieg bzw. die Verfüllung des Schachtes Bockraden wurde in der Modellvariante auf verschiedene Weise berücksichtigt. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Der Grubenwasserstand im **Westfeld** beträgt +65 m NHN. Er soll durch den geplanten Grubenwasserkanal auf annähernd gleichem Niveau gesichert werden. Aus diesem Grund wurde



die Zusicke-
rung zum Grubenwasserbereich im Westfeld ($8,3 \text{ m}^3/\text{min}$), die als fixe Zusicke-
rungrate im Sinne einer Randbedingung 2. Art abgebildet ist, in der Modellvariante unverän-
dert gelassen.

Die Zusicke-
rung zu den Grubenbauen im **Ostfeld** erfolgt auch in Zukunft über eine große Si-
ckerstrecke von bis zu 100 m. Da zudem dieser durchsickerte Gebirgsbereich mit Gruben-
bauen durchsetzt ist, sind keine nennenswerten Änderungen der Grundwasserversickerungs-
raten zum Grubenwasserbereich im Ostfeld ($2,67 \text{ m}^3/\text{min}$ gemäß Kalibrierung) zu erwarten.
Aus diesem Grund wurde auch die Grundwasserversickerung zum Grubenwasserbereich im
Ostfeld, die ebenfalls als fixe Versickerungsrate im Sinne einer Randbedingung 2. Art abgebil-
det ist, in der Modellvariante unverändert gelassen.

Der Grundwasserzufluss zum **Schacht Bockraden** (Randbedingung 2. Art) entfällt. In Folge des-
sen werden für diesen Bereich steigende Grundwasserstände mit einer Aufhebung des Grund-
wasserabsenkungstrichters erwartet.

Die Versickerung von Grundwasser zur **Karbon-Randstörung** wird erwartungsgemäß zurück-
gehen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass den Grundwasseraustritten in die Karbon-Rand-
störung hinein nach erfolgtem Grubenwasseranstieg kein un- oder teilgesättigter Störungsbe-
reich mehr für die Versickerung in tiefe Schichten zur Verfügung steht. Es ist davon auszuge-
hen, dass sich etwa bis zum Niveau von +63 m NHN der zukünftige Grubenwasserspiegel in
die Karbon-Randstörung hineinpaust und damit für die unterhalb dieses Niveaus zutretenden
Grundwässer einen entsprechenden Gegendruck darstellt. Dies führt nach den Gesetzen der
Geohydraulik zu einer Verringerung der Potenzialdifferenz, damit zu einer Verkleinerung der
hydraulischen Gradienten und Versickerungsraten. Als Konsequenz sind Grundwasseranstiege
zu erwarten. Die Versickerungen zur Karbon-Randstörung sind im kalibrierten Grundwas-
serströmungsmodell als Randbedingungen 3. Art mit einem Vorflutniveau entsprechend dem
Aussickerungsniveau zur Karbon-Randstörung abgebildet. Für die Knoten mit einer Lagehöhe
unterhalb von +63 m NHN wird das Vorflutniveau auf +63 m NHN angehoben.



Der **Permer Stollen mit den angeschlossenen Grubenbauen** bleibt unverändert in der Modellvariante abgebildet. Durch in der Umgebung ansteigende Grundwasserstände ist mit einem gewissen Anstieg der Grundwasserzusickeung zu rechnen.

In Anlage 19 sind die in Folge des Grubenwasseranstiegs zu erwartenden, mit der Modellvariante berechneten Grundwasserstände als blaue Isolinien und die Grundwasseranstiege in Form von Farbflächen dargestellt. Der Großteil des Modellgebietes weist keine nennenswerten Grundwasseranstiege auf. Lediglich im Bereich der Karbon-Randstörung bei Ibbenbüren, im Gebiet östlich von Alstedde und im großräumigen Umfeld des Schachtes Bockraden ist mit Grundwasseranstiegen zu rechnen. Die maximalen Grundwasseranstiege, die für den Bereich Bockraden errechnet wurden, erreichen ca. 15 m. In Abbildung 19 sind die Modellergebnisse für den Änderungsbereich vergrößert dargestellt. Die Versickerungsrate von Grundwasser zur Karbon-Randstörung geht im Abschnitt bei Ibbenbüren von $0,22 \text{ m}^3/\text{min}$ auf $0,16 \text{ m}^3/\text{min}$ und im Abschnitt östlich von Alstedde von $0,11 \text{ m}^3/\text{min}$ auf $0,05 \text{ m}^3/\text{min}$ zurück. Dies führt zu den oben genannten Grundwasseranstiegen, die eine gewisse Vergrößerung der Zusickeungsrate zu dem benachbarten Permer Stollen und den angeschlossenen Grubenbauen bewirken (von $0,74 \text{ m}^3/\text{min}$ auf $0,76 \text{ m}^3/\text{min}$). Die daraus resultierenden Änderungen des Abflusses im Permer Stollen werden sich innerhalb der natürlichen Abflussschwankungen bewegen. Die Vergrößerung der Zusickeung hat wiederum eine dämpfende Wirkung auf den Grundwasseranstieg im Bereich der Karbon-Randstörung.

In Kapitel 5.3.1 werden fünf Quellen genannt. Für die Quellen im Bereich am westlichen Stadtrand von Ibbenbüren, südlich des Püsselbürener Damms ist gemäß den Ergebnissen der Grundwassermodellierung kein Grundwasseranstieg zu erwarten.

Für die historischen Quellen des Solbaches und der Plane sind gemäß den Ergebnissen der Grundwassermodellrechnung Grundwasseranstiege von ca. 1 m bei Flurabständen von mehr als 5 m zu erwarten (Abbildung 21, Abbildung 22). Ein Wiederauftreten einer Schüttung an diesen beiden Quellen kann ausgeschlossen werden.



In Anlage 20 sind die mit der Modellvariante berechneten Flurabstände in Form von Farbflächen dargestellt. Die Flurabstände werden überlagert mit der Umhüllenden des Änderungsbereiches, der sich an Grundwasseranstiegen $> 0,25$ m festmachen lässt. Grundwasserstandsveränderungen $< 0,25$ m werden als vernachlässigbar eingestuft, da sie sich in Anbetracht der natürlichen Grundwasserstandsschwankung über Grundwasserstandsmessungen im Allgemeinen nicht belegen lassen. Es ist zu erkennen, dass auch nach dem Grubenwasseranstieg im weit überwiegenden Teil des Änderungsbereichs weiterhin mit großen Flurabständen zu rechnen ist. Verringerte Flurabstände mit großflächigeren Geländevernässungen sind nur im Bereich Bockraden zu erwarten. In Abbildung 20 sind die Flurabstände für den Änderungsbereich vergrößert dargestellt.

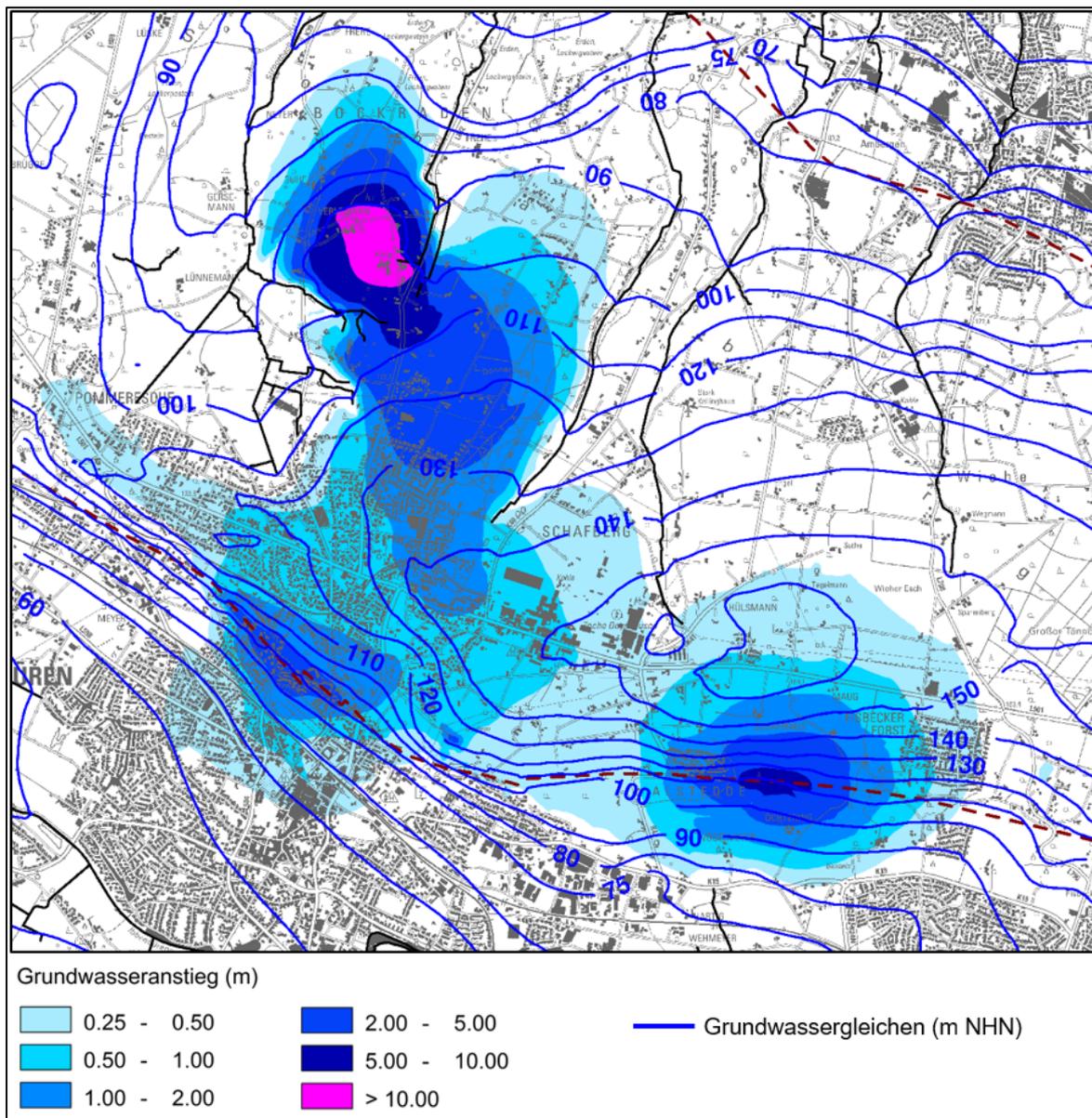


Abbildung 19: Grundwassergleichen und Grundwasserstandsveränderungen - Übersicht.

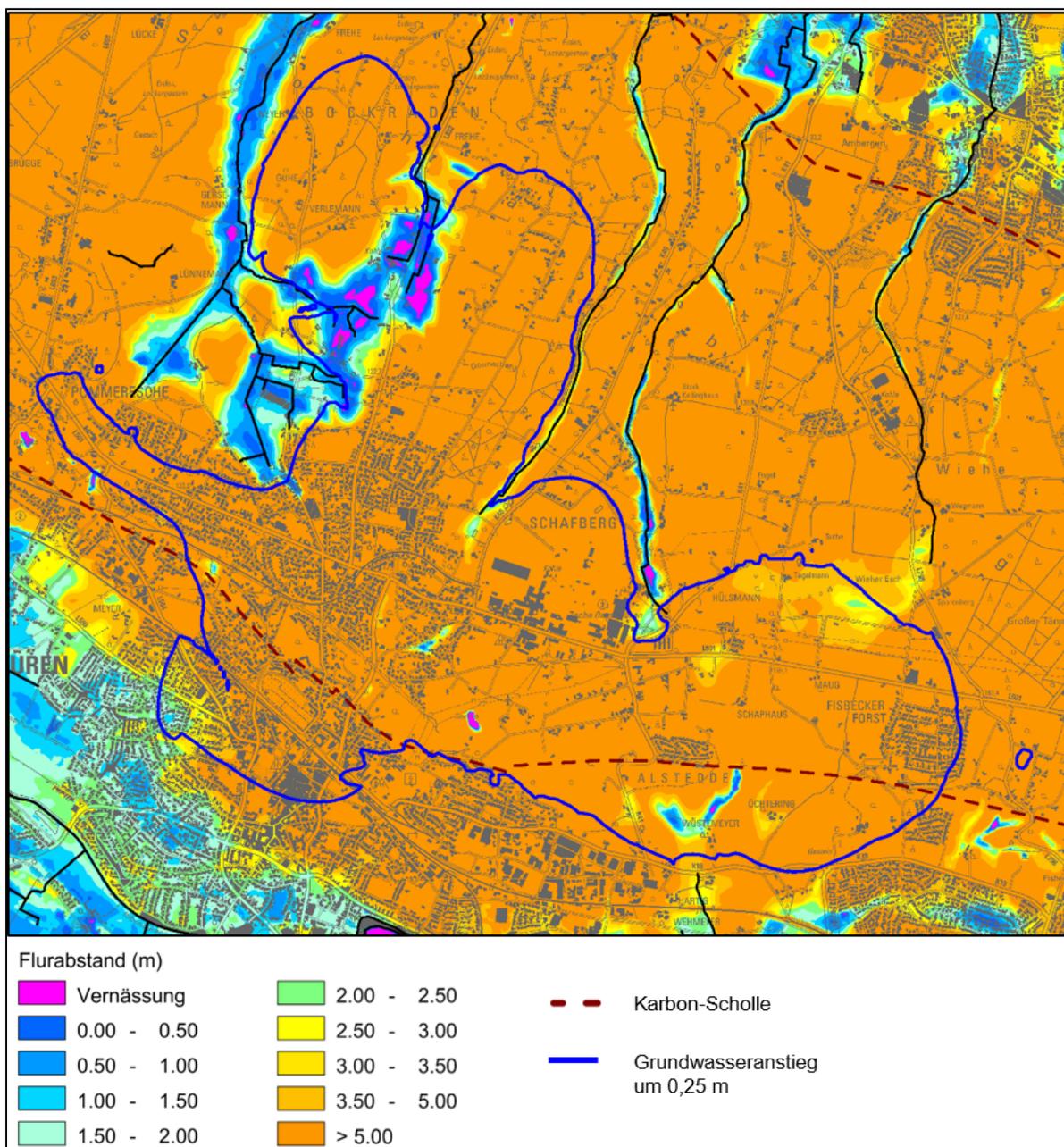


Abbildung 20: Flurabstände und Veränderungsbereiche - Übersicht.

Im Folgenden werden die drei genannten Änderungsbereiche in Form von Detailabbildungen dargestellt, wobei den zu erwartenden Flurabständen jeweils die Flurabstände des Ausgangszustands gegenübergestellt werden. In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Modellergebnisse für den Bereich der Karbon-Randstörung im Abschnitt Ibbenbüren dargestellt. Die größ-



ten Grundwasseranstiege sind im unmittelbaren Bereich der Karbon-Randstörung mit maximal 2,8 m berechnet worden. Wegen der überwiegend großen Flurabstände $> 5,0$ m sind die Grundwasseranstiege generell nicht mit für Bebauung kritischen Flurabständen verbunden. Nur im südwestlichen Änderungsbereich sind bei heute schon für Bebauung als generell knapp einzuschätzenden geringen Flurabständen von ca. 1,5 m Grundwasseranstiege von ca. 0,3 m errechnet worden. Der Vergleich mit den Flurabständen des Ausgangszustands belegt, dass sich die Verteilung der Flurabstände nicht nennenswert ändert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Grundwasseranstiege > 1 m in Bereichen mit großen Flurabständen zu erwarten sind.

Über ein Grundwassermonitoring hinausgehende Maßnahmen werden für diesen Bereich zunächst nicht vorgeschlagen.

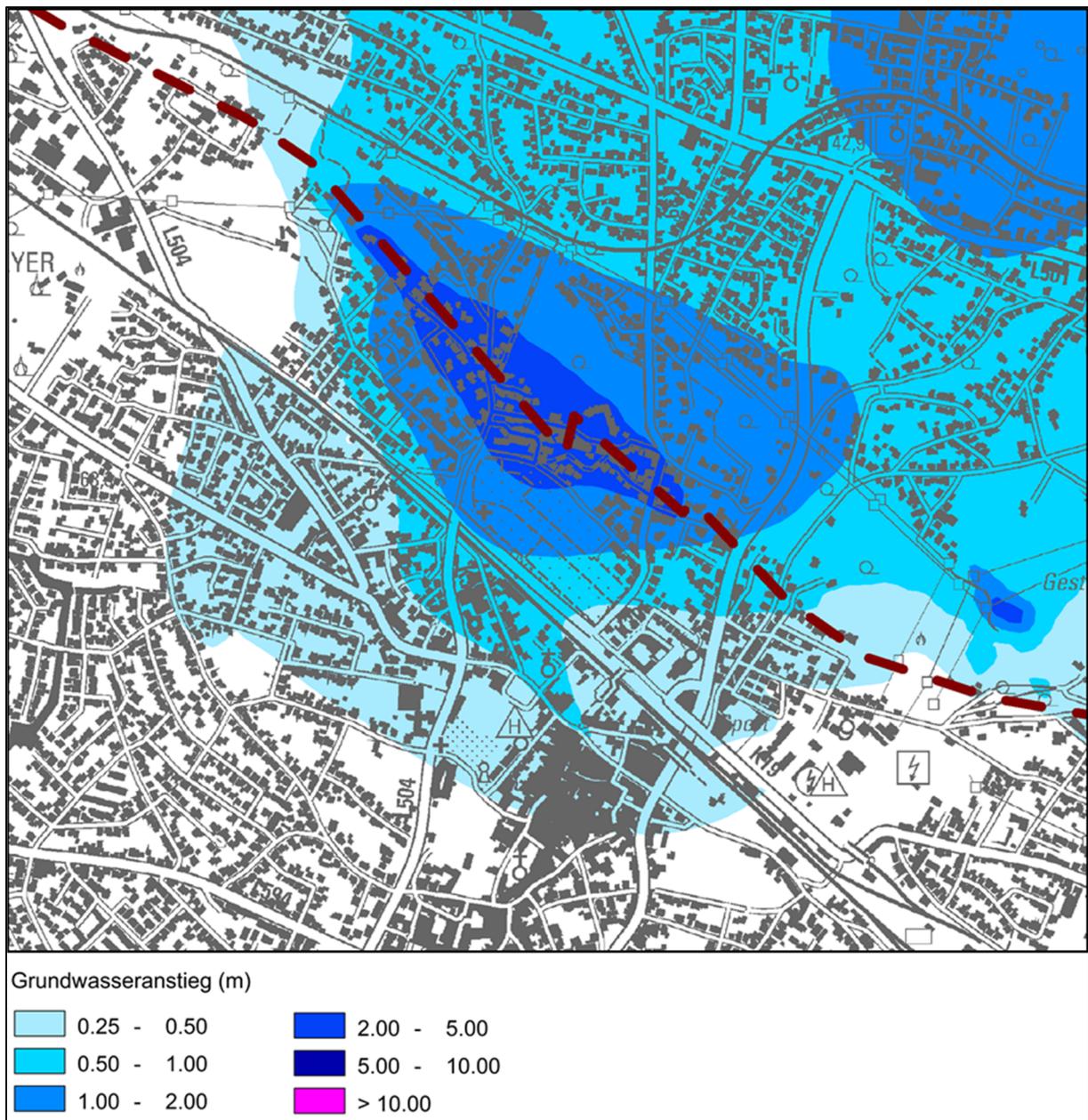


Abbildung 21: Grundwasserstandsveränderungen - Bereich Ibbenbüren.

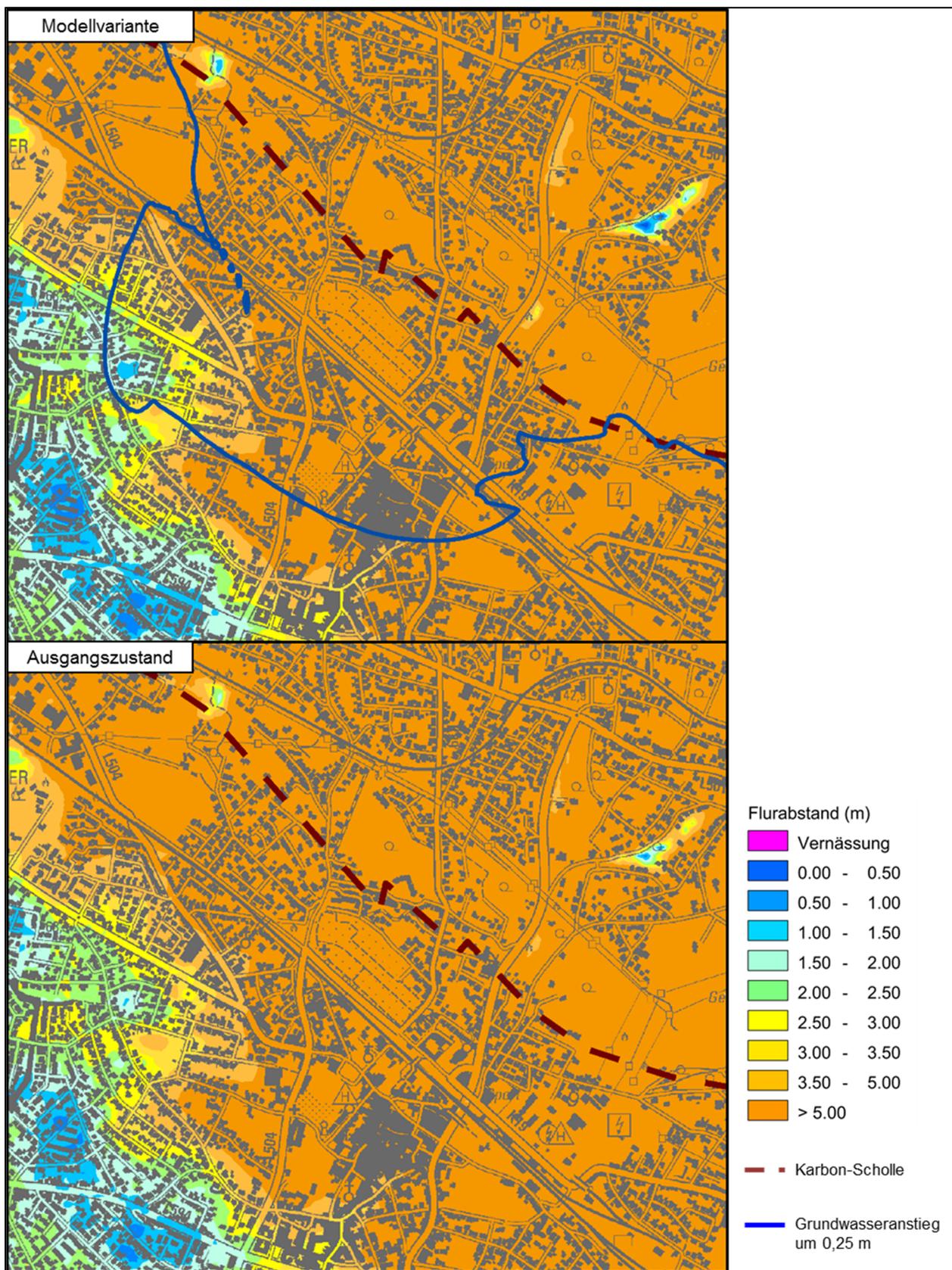


Abbildung 22: Flurabstände und Veränderungsbereiche - Bereich Ibbenbüren.



In Abbildung 23 und Abbildung 24 sind die Modellergebnisse für den Bereich der Karbon-Randstörung im Abschnitt östlich von Alstedde dargestellt. Die größten Grundwasseranstiege sind im unmittelbaren Bereich der Karbon-Randstörung mit maximal 6,5 m berechnet worden. Wegen der überwiegend großen Flurabstände $> 5,0$ m sind die Grundwasseranstiege generell nicht mit für Bebauung oder Landwirtschaft kritischen Flurabständen verbunden. Der Vergleich mit den Flurabständen des Ausgangszustands belegt, dass sich die Verteilung der Flurabstände nicht grundsätzlich ändert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Grundwasseranstiege > 1 m mit wenigen Ausnahmen in Bereichen mit großen Flurabständen zu erwarten sind. Nur in den beiden Taleinschnitten nördlich von Wöstemeyer, sind geringe Flurabstände bis zu einer kleinräumigen Geländevernässung im östlichen Taleinschnitt errechnet worden. Die Situation ist so einzuschätzen, dass die möglicherweise an den Talflanken austretenden Grundwässer dem Taltiefsten zufließen und dort abströmen werden. Die tief eingeschnittenen Täler weisen in historischen Karten (Abbildung 12) Fließgewässer auf. Diese hydrologische Situation spiegelt sich auch in den geringen Flurabständen des Ausgangszustands wie auch des Prognosezustands nach Grubenwasseranstieg (Abbildung 24) wider.

Über ein Grundwassermonitoring hinausgehende Maßnahmen werden für diesen Bereich zunächst nicht vorgeschlagen. Sollten sich größere für die Flächennutzung nicht akzeptable Vernässungen einstellen, können diese unter Berücksichtigung ökologischer Belange durch Vertiefung vorhandener oder Erstellung neuer Drainagegräben verhindert werden.

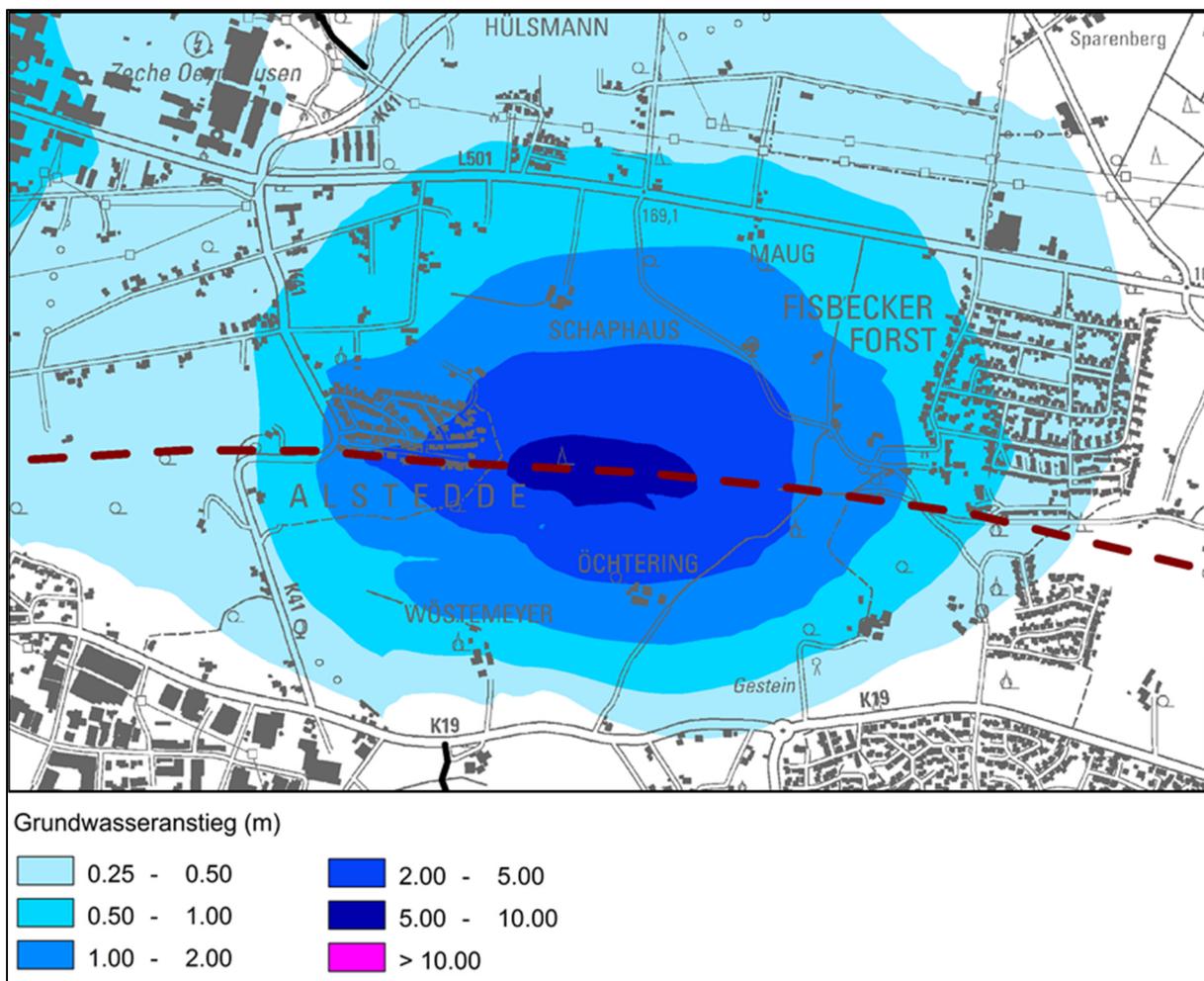


Abbildung 23: Grundwasserstandsveränderungen - östlich Alstedde.



belegt, dass mit zunehmenden Geländeversäunungen im unmittelbaren Umfeld der zahlreichen Gräben und Bäche zu rechnen ist. In Folge dessen sind Betroffenheiten von Gebäuden (z. B. in Form von Kellerversäunungen) und Nutzungseinschränkungen von Flächen nicht auszuschließen.

Für diesen Bereich wird empfohlen, das zurzeit durchgeführte Grundwassermonitoring zu erweitern. Das Gebiet zeichnet sich durch eine erhöhte Gewässerdichte aus und ist zudem mit zahlreichen Grundwassermessstellen ausgestattet. Auf Grund der bereits durchgeführten Höhenmessungen an den Gewässern und der Grundwasserstandsmessungen an den Grundwassermessstellen lassen sich im Rahmen des erweiterten Grundwassermonitorings die Notwendigkeit baulicher Gegenmaßnahmen frühzeitig erkennen und diese gegebenenfalls umsetzen. Im Rahmen des Monitorings kann das numerische Grundwasserströmungsmodell verfeinert werden. Mit dem verfeinerten Modell können durch zusätzliche Prognoserechnungen Gegenmaßnahmen optimiert werden. An Gegenmaßnahmen bieten sich wegen des dichten Gewässernetzes die Vertiefung vorhandener oder die Erstellung neuer Drainagegräben an, wobei ökologische Belange zu berücksichtigen sind.

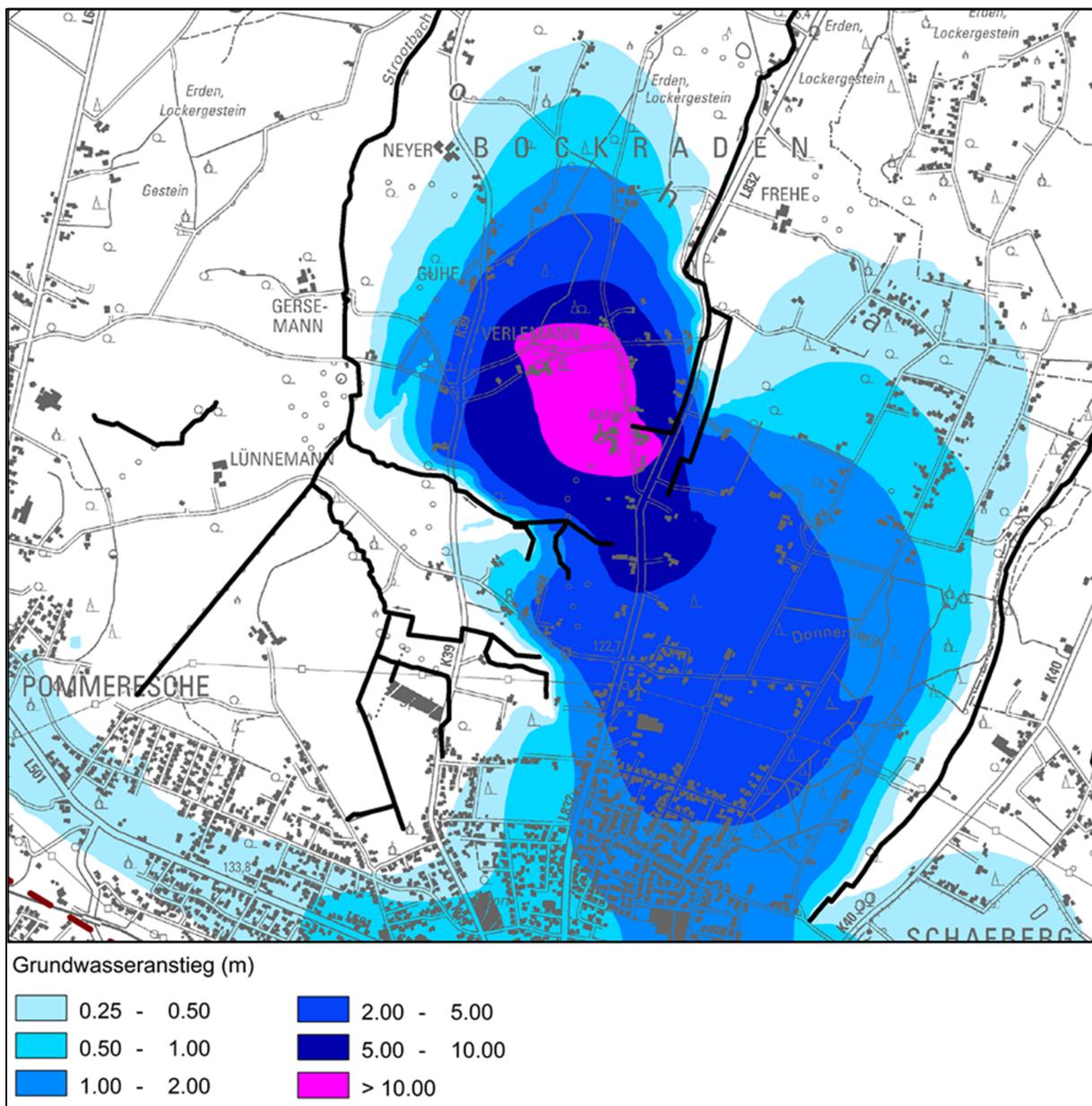


Abbildung 25: Grundwasserstandsveränderungen - Bockraden.

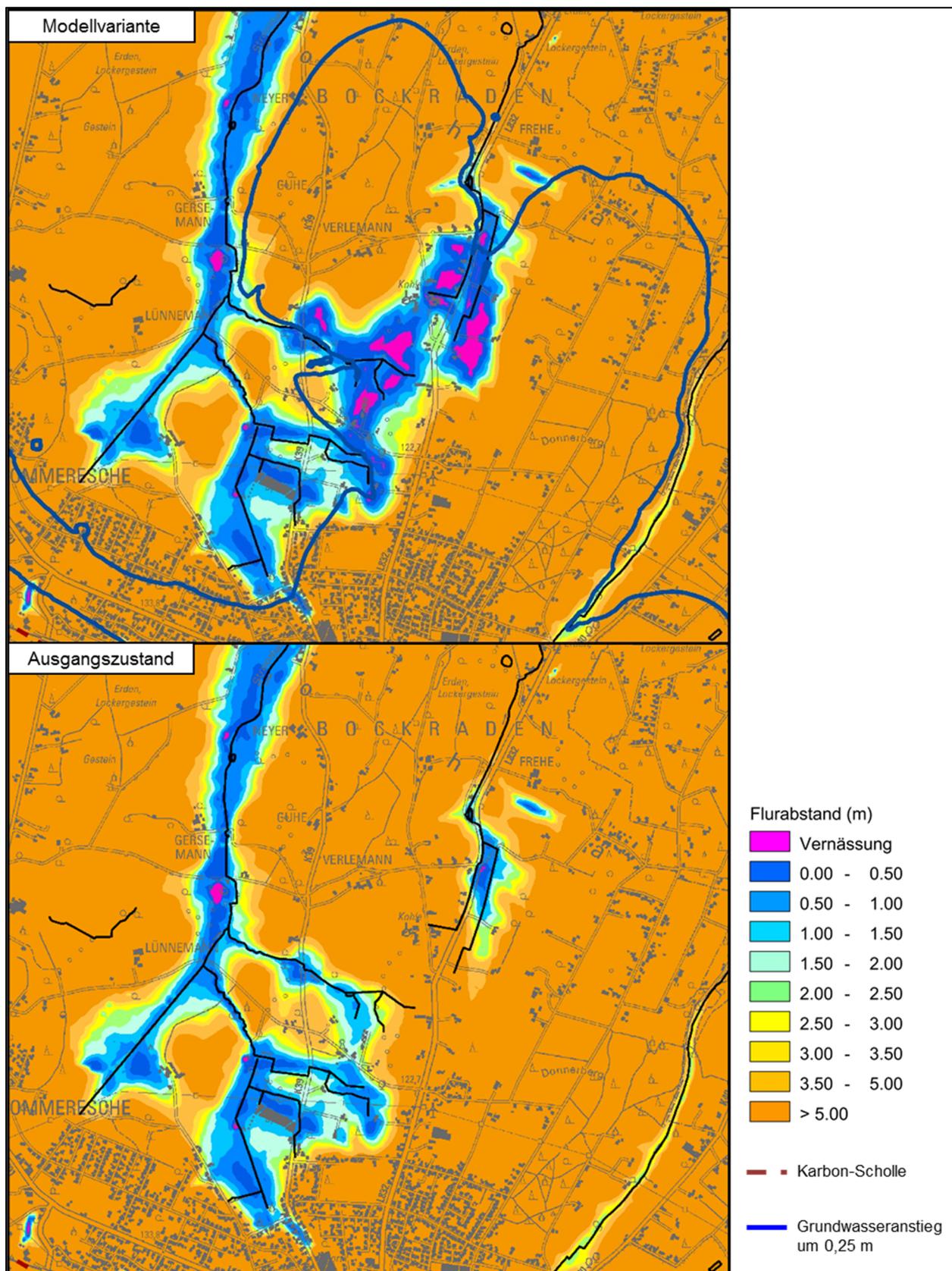


Abbildung 26: Flurabstände und Veränderungsgebiete - Bockraden.



10. Zusammenfassung und Empfehlungen

Ende 2018 wird der Steinkohlenabbau im Ostfeld des Bergwerkes (BW) Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH eingestellt. Es ist geplant, durch eine angepasste Grubenwasserhaltung das Grubenwasser auf ein Niveau von +63 m NHN ansteigen zu lassen.

Mit Schreiben vom 16.01.2017 wurde die Prof. Dr. Coldewey GmbH, Dülmen von der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH beauftragt, die Auswirkungen des Grubenwasseranstieges auf die Grundwasserverhältnisse zu untersuchen. Das numerische Grundwasserströmungsmodell (Programmsystem Spring) wurde von der DMT GmbH & Co. KG, Abteilung Hydrogeologie & Wassermanagement, Essen erstellt.

Sämtliche relevante Unterlagen zur Hydrologie, Geologie, Hydrogeologie und Grundwassernutzung wurden gesammelt und ausgewertet. Grundwassermessstellen, Gewässerläufe und Quellen wurden kartiert und anschließend höhenmäßig vermessen. Das Grundwassermessstellennetz wurde durch 27 Bohrungen in den verschiedenen geologischen Schichten erweitert. An diesen Bohrungen wurden Boden- und Wasserproben für Laboruntersuchungen entnommen und geohydraulische Untersuchungen durchgeführt.

Die für das numerische Grundwasserströmungsmodell benötigten Daten wie Geländehöhen, Grundwasserhöhen und Durchlässigkeitsbeiwerte wurden in Form von Datenbanken und Plänen zusammengestellt.

Für den Bereich der Karbon-Scholle und eines bis zu ca. 4 km breiten Umfelds wurde ein dreidimensionales numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt, in dem die Versickerungen von Grundwasser zum Grubenwasserbereich berücksichtigt wurden. Für die Abbildung dieser Versickerungen standen Ergebnisse des Grubenwassermodelles der DMT GmbH & Co. KG (Programmsystem Boxmodell) zur Verfügung. Das Grundwasserströmungsmodell konnte sehr präzise kalibriert, d. h. mit den Grundwasserstandsmesswerten an den Grundwassermessstellen abgeglichen, werden.



Mit dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell wurden die zu erwartenden Auswirkungen des Grubenwasseranstieges bzw. der Verfüllung des Schachtes Bockraden auf die Grundwassersituation in einer Modellvariante berechnet. Der Großteil des Modellgebietes weist keine nennenswerten Grundwasseranstiege auf, lediglich im Bereich der Karbon-Randstörung bei Ibbenbüren und im Gebiet östlich von Alstedde sowie im großräumigen Umfeld des Schachtes Bockraden ist mit Grundwasseranstiegen zu rechnen. Hierbei handelt es sich um Anstiege tagesnahen Grundwassers. Wegen der generell großen Flurabstände sind geringe Flurabstände oder gar Geländevernässungen in Folge des Grundwasseranstiegs nur in Talungsbereichen wie z. B. südlich von Alstedde oder im Bereich des Schachtes Bockraden an den oberen Zuläufen zum Strootbach und Pölkenbach zu erwarten. Sollten sich größere für die Flächennutzung nicht akzeptable Vernässungen einstellen, können diese unter Berücksichtigung ökologischer Belange durch Vertiefung vorhandener oder Erstellung neuer Drainagegräben verhindert werden.

Es wird empfohlen, die Effizienz der technischen Maßnahmen mittels zusätzlicher Modellläufe des numerischen Grundwasserströmungsmodelles zu prognostizieren.

Münster, den 21.12.2018


Prof. Dr. W. G. Coldewey


Dipl.-Math. H. Kories



11. Quellenverzeichnis

- ATV-DVWK (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. – Merkblatt M 504, 144 S.; Hennef.
- BÄSSLER, R. (1968): Hydrogeologie und Grundwassernutzung im zentralen Bereich des Schafberges bei Ibbenbüren/Westfalen. – Keller-Festschrift, Beih. Ber. Naturh. Ges., 5: 93-108, 7 Abb.; Hannover.
- BÄSSLER, R. (1970): Hydrogeologische, chemische und Isotopenuntersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers. – Z. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem.; 209-286, 28 Abb., 1 Tab.-Anh., Hannover.
- BALDSCHUHN, R. & KOCKEL, F. (1999): Das Osning-Lineament am Südrand des Niedersachsen-Beckens. – Z. dt. geol. Ges., 150(4): 673-695, 15 Abb., Stuttgart.
- CRAMER, W. (1940): Anfänge des Kohlen- und Eisenerzbaues und der Industrie bei Ibbenbüren. - Archiv für Landes- und Volkskunde von Niedersachsen, Bd. 3: 117-130; Oldenburg.
- COLDEWEY, W. G., KRUSE, B. & BANNING, A. (2007): Hydrologische, hydrogeologische und geologische Voruntersuchungen im Bockradener Graben sowie Empfehlungen für ein Wasserhaushalts-Monitoring zum Rahmenbetriebsplan 2009-2020. – 23 S., 3 Abb., 1 Tab., 6 Anl.; Münster.
- COLDEWEY, W.G., GOERKE-MALLET, P. & RADKE, B. (2017): Erstmalige Anwendung des Preussag-Kiesmantel-Verfahrens im Horizontalfilterbrunnenbau. – gwf-Wasser | Abwasser, 10: 69-70, 2 Abb.; Essen (DIV Deutscher Industrieverlag GmbH).
- DMT GMBH & Co.KG (2018): Bergwerk Ibbenbüren - Auswertung der Grubenbilder der Erzgruben südlich und östlich der Karbonrandverwerfung. – 20 S., 5 Abb., 9 Tab., 6 Anl.; Essen.
- DOMALSKI, R. F. (1988): Bergmännische Wasserwirtschaft der Steinkohlenbergwerke Preussag AG Kohle/Ibbenbüren und Gewerkschaft Sophia-Jacoba/Hückelhoven – Ein Vergleich –. – Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, H. 60: 174 S., 12 Abb., 18 Tab. + 40 Tab. im Anh., 48 Anl.; Bochum (WBK).
- DROZDZEWSKI, G. (1985): Tiefentektonik der Ibbenbürener Karbonscholle. - Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlenlagerstätten: Tafel 27.; Krefeld (GLA).
- DROZDZEWSKI, G. (2003): Geologische Entwicklung und tektonischer Bau. – In: GD NRW (2003): Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland. – 16-30, 6 Abb.; Krefeld.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2017): WESTE Wetterdaten und –statistiken express. – Niederschlagshöhen der Wetterstationen Hörstel und Hörstel-Riesenbeck; Offenbach.



- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – 80 S., 20 Abb., 2 Tab.; Berlin (Beuth).
- DIN 18130-1 (1998): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche. – 20 S., 11 Abb., 11 Tab.; Berlin (Beuth).
- DSK ANTHRAZIT IBBENBÜREN GMBH (2007): Kurzcharakteristik des Untersuchungsraumes. – In: Umweltverträglichkeitsuntersuchung zum Rahmenbetriebsplan 2009 – 2020, Kap. 5.1: 9 S., 1 Abb.; Ibbenbüren.
- EBERT, A. (1954): Geologie der Ibbenbürener Karbonscholle. - Beih. Geol. Jb., 14: 11 S., 23 Abb., 6 Taf., 2 Tab.; Hannover.
- FRICKE, K. (1954): Die Lagerstätten und ihre Bewirtschaftung, 3. Abteilung: Die Unterirdischen Lagerstätten. – Niedersächsisches Amt für Landesplanung und Statistik [Hrsg.]: Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, Reihe A 1, Band 5, 3. Abteilung: 187 S., 26 Abb.; Bremen-Horn (Walter Dorn Verlag).
- FURTKAK, H. & LANGGUTH, H.-R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. – Mem. IAH-Congress, 1965, 7: 89–96, 5 Abb.; Hannover.
- GEOLOGISCHER DIENST NRW (2001): Hydrogeologischer Karte von Nordrhein-Westfalen 1:50 000, L 3712 Ibbenbüren. - 3 Kt.; Krefeld.
- GEOLOGISCHER DIENST NRW (2003): Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland. – Geologischer Dienst NRW, 219 S., 59 Abb., 18 Tab., 6 Taf.; Krefeld.
- GOERKE-MALLET, P. (2000): Untersuchungen zu raumbedeutsamen Entwicklungen im Steinkohlenrevier Ibbenbüren unter besonderer Berücksichtigung von Wechselwirkungen von Bergbau und Hydrologie. - 226 S., 92 Abb., 25 Tab.; Aachen (Verlag Mainz).
- HÄDICKE, M. (1972): Titelblatt 1 (Blatt 1) des Bergmännischen Risswerks der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. Inhalt: Geologische Übersicht, Hauptschnitt, Chronik, Topographische Übersicht und Blatteinteilung. Angefertigt im Februar 1972, unterzeichnet von Markscheider Manfred Hädicke, Nachtragsstand von 1/99, Behördenausfertigung.
- KELLER (1953): Der Schafberg bei Ibbenbüren und sein Verhältnis zur Osningtektonik. – Geotekt. Forschungshefte, 9/10: 100-115, 7 Abb., 1 Tab., Stuttgart.
- KLINGER, C., RÜTERKAMP, P. & ECKART, M. (2019): Prognose zur optimierten Wasserannahme nach Stilllegung des Steinkohlenbergwerkes Ibbenbüren (Ostfeld). – DMT GmbH & Co. KG, Essen.
- KOCH, M. (1987): Grundwasser. – In: THIERMANN, A. (1987): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000 – Erläuterungen C 3910 Rheine: 29-37, 1 Abb., 1 Tab.; Krefeld (GLA).
- LANUV (2001): Gewässergütebericht 2000 - 30 Jahre Biologische Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen. – Sonderbericht: 346 S.; Essen.



- LANUV (2002): Gewässergütebericht 2001 Nordrhein-Westfalen – Berichtszeitraum 1995-2000. – 273 S.; Essen.
- LEINWEBER, C. (2018): Vergleich der Durchlässigkeitsbestimmung an Sedimenten des Quartärs. – Bachelorarbeit Technische Hochschule Georg Agricola: 48 S., 16 Abb., 10 Tab.; Bochum [unveröffentl.].
- LOTZE, F., SEMMLER, W., KÖTTER, K. & MAUSOLF, F. (1962): Hydrogeologie des Westteils der Ibbenbürener Karbonscholle. – Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 999: 113 S., 45 Abb., 8 Tab.; Köln und Opladen (Westdeutscher Verlag).
- MEßER, J. (2013): Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa. – Lippe Gesellschaft für Wassertechnik mbH, 61 S., www.gwneu.de; Essen.
- MEßER, J. (2016): Grundwasserneubildung im nördlichen Westfalen. – In: Westfalen Regional, Band 3, Hrsg.: GROTHUIS, R. & OTTO, K.-H. & WIENEKE, M.: Geographisch-landeskundliche Themen und Wissenswertes über die Region Westfalen-Lippe; S.14-15; Münster.
- NWUA (1980): Belastung der niedersächsischen Fließgewässer mit Chlorid. – Niedersächsisches Wasseruntersuchungsamt Hildesheim.
- OBERMANN, P. (1968): Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks, Maßstab 1:10 000. – Westfälische Berggewerkschaftskasse zu Bochum [Hrsg.]: Erläuterungen zum Blatt Mettingen, Nr. 33: 72 S., 4 Abb., 8 Tab.; Bochum.
- PREUSSAG AG - PREUSSISCHE BERGWERKS- UND HÜTTEN-AKTIENGESELLSCHAFT STEINKOHLBERGWERKE IBBENBÜREN (1959): Festschrift zur Einweihung des Kraftwerks und des Wasserwerks. – 36 Abb., 33 Abb., 13 Tab.; Ibbenbüren.
- RAG AG (2014): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen gemäß §4 Erblastenvertrag zur Bewältigung der Ewigkeitslasten des Steinkohlenbergbaus der RAG AG im Rahmen der sozialverträglichen Beendigung des subventionierten Steinkohlenbergbaus in Deutschland vom 14.08.2007. – 29 S., 8 Abb., 1 Tab.; Herne (RAG AG).
- RICKELMANN, H. (1987): Der Ibbenbürener Steinkohlenbergbau von den Anfängen bis zur Gegenwart. – 2. Aufl., 350 S.; Paderborn (Schöningh).
- RÖHRS, H. (1987): Der frühe Erzbergbau und die Hüttenindustrie im Tecklenburger Land. - 2. Aufl.: 134 S., 89 Abb., 5 Tab., 10 Anl.; Ibbenbüren.
- RÖMHILD, G. (1974): Die Forst- und Industrielandschaft des Dickenberger Bergbaubezirkes bei Ibbenbüren. Wandel und räumliche Differenzierung unter besonderer Berücksichtigung berg- und steinwirtschaftlicher Zustände sowie raumordnerischer Maßnahmen. - Diss. Univ. Münster: 341 S, 43 Abb., 43 Kt.; Münster.



- RÖMHILD, G. (1976): Der Ibbenbürener Steinkohlenbezirk. – Geographische Rundschau, 28(11): 445-453; Braunschweig.
- SCHOELLER, H. (1962): Les eaux souterraines. – 642 S., 187 Abb.; Paris (Masson).
- STROTHMANN, H. (2001): Wasserversorgung im Tecklenburger Land einst und heute. – Historischer Verein Ibbenbüren e. V., 359 S., zahlreiche Abb.; Ibbenbüren.
- THIERMANN, A. (1975): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Feldes“ im Tecklenburger Land/Westfalen. – Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 44: 517-530, 8 Abb.; Hamburg.
- THIERMANN, A. & KOCH, M. (1987): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000 - Erläuterungen zu Blatt Rheine C 3910. – 68 S., 14 Abb., 2 Tab.; Krefeld (GLA NRW).
- THIERMANN, A., mit Beitr. von BRAUN, F.J., KALTERHERBERG, J., REHAGEN, H.-W., SUCHAN, K.H., WILL, K.-H. & WOLBURG, J. (1975): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 – Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. – 214 S., 21 Abb., 9 Tab., 5 Taf.; Krefeld.
- THIERMANN, A., mit Beitr. DUBBER, H.-J., KALTERHERBERG, J., REHAGEN, H.-W. & SUCHAN, K.H. (1980): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000 – Erläuterungen zu Blatt 3612 Mettingen. – 200 S., 23 Abb., 12 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- WEGNER, Th. (1913): Der Erdfall bei Hopsten vom 14. April 1913. – Petermanns Geogr. Mitteilungen, 59(2): 69-71, 2 Abb., 1 Kt.; Gotha (Justus Perthes).
- WOLTERS, R., THOME, K. & MEINICKE, K. (1958): Gutachten des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen über die Baugrundverhältnisse im Bereich des geplanten Flugplatzes Hopsten. - Ber. Arch. Geol. L.-Amt, 25 S., 11 Anl. ; Krefeld. - [unveröff., zitiert in THIERMANN 1975]



Anlagen (Karten)