

Grundwassermodell Heinsberg

Aufbau und Kalibrierung sowie Durchführung von Simulationsrechnungen zu hydraulischen Lösungsansätzen der Grundwasserproblematik

> Stefan Simon Dr. Stephan Lenk Holger Diez

> > Erftverband

Juni 2019

Inhaltsverzeichnis

Abb	oildu	ngsverzeichnis	3
Tab	eller	iverzeichnis	6
Anl	agen	verzeichnis	7
1	Ver	anlassung und Aufgabenstellung	8
2	Dat	engrundlagen	9
3	Geo	ologisch-hydrogeologische Situation im Untersuchungsgebiet	11
3.1	Allg	emeines	11
3.2	Geo	ologische Schichtenfolge	11
3.3	Aktı	uelle Grundwassersituation im obersten Grundwasserstockwerk	17
3.4	Zeit	liche Entwicklung der Grundwassersituation und der Grundwasserflurabstände	19
3.5	Höc	hste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände)	28
4	Мо	dellaufbau	34
4.1	Abg	renzung des Modellgebietes	34
4.2	Мос	dellansatz	35
4.3	Мос	dellgeometrie	35
4.4	Anf	angsbedingungen	37
4.5	Мос	dellparameter	38
4	.5.1	Durchlässigkeitsbeiwerte	38
4	.5.2	Porosität und Speicherkoeffizienten	40
4.6	Rar	dbedingungen	40
4	.6.1	Modellränder	41
4	.6.2	Gewässer	41
4	.6.3	Grundwasserentnahmen	42
4.7	Gru	ndwasserneubildung	43
5	Мо	dellkalibrierung	46
5.1	Vor	gehensweise	46

5.2	Para	ametrisierung	46
5	.2.1	Durchlässigkeitsbeiwerte	46
5	.2.2	Porositäten und Speicherkoeffizienten	49
5	.2.3	Transferraten	49
5.3	Erge	ebnisse der Kalibrierung	50
5	.3.1	Grundwasserstandsentwicklung	50
5	.3.2	Grundwassergleichen	60
5	.3.3	Bilanzierung	64
5.4	Мос	lellierung höchster zu erwartender Grundwasserstände	66
6	Мос	dellszenarien	68
6.1	Null	variante	69
6.2	2 Simulationsvariante 1		69
6.3	Sim	ulationsvariante 2	76
7	Zus	ammenfassung	79
Lite	ratu	verzeichnis	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage und Abgrenzung des Modellgebietes Heinsberg (Modell Erftverband)

Abbildung 2: Schematischer geologischer Profilschnitt durch das Untersuchungsgebiet und vertikaler Aufbau des Grundwassermodells

Abbildung 3: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 13) im Modellgebiet

Abbildung 4: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 11) im Modellgebiet

Abbildung 5: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 9 C) im Modellgebiet

Abbildung 6: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 9 A) im Modellgebiet

Abbildung 7: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2017)

Abbildung 8: Grundwasserdifferenzenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2017 – Oktober 1955)

Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserentnahmemengen am Industriepark Oberbruch

Abbildung 10: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 1988)

Abbildung 11: Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet (Situation für Oktober 1988)

Abbildung 12: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2012)

Abbildung 13: Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet (Situation für Oktober 2012)

Abbildung 14: Grundwasserganglinien der Grundwassermessstellen 600080, 600098 und 600070 (oberstes Grundwasserstockwerk; rot = Grundwasserflurabstände)

Abbildung 15: Detail-Grundwassergleichenplan für den Nahbereich des Industrieparks Oberbruch mit Lage ausgewählter Grundwassermessstellen (oberstes Grundwasserstockwerk, Stand Oktober 1988)

Abbildung 16: Höchste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände) im Kernuntersuchungsgebiet und herangezogene Grundwassermessstellen

Abbildung 17: Grundwasserflurabstände bei höchsten zu erwartenden Grundwasserständen im Untersuchungsgebiet

Abbildung 18: Grundwasserflurabstände an Kanaldeckeln bei höchsten zu erwartenden Grundwasserständen zur Abschätzung der Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet

Abbildung 19: Modellnetz mit Darstellung der Gewässerverläufe, der Grundwasserentnehmer und der geologischen Kennlinien (Störungen und Tonausstriche)

Abbildung 20: Netzanpassung und -verfeinerung im Bereich der Gewässer

Abbildung 21: Grundwassergleichen zum Zeitpunkt Oktober 1990 zur Belegung der Anfangswasserstände für das oberste Grundwasserstockwerk

Abbildung 22: Anfangsbelegung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1 - 2 (Leiter 1), 4 - 6 (Leiter 2), 10 - 12 (Leiter 3) und 14 - 16 (Leiter 4)

Abbildung 23: Vertikalaufbau des Modells als 3D-Schnitt mit Anfangsbelegung der Durchlässigkeitsbeiwerte

Abbildung 24: Belegung der Wasserspiegellagen mit Anpassung an die Sohlgleiten

Abbildung 25: Lage der im Modell berücksichtigten Grundwasserentnahmestellen mit Darstellung der mittleren Fördermengen 1990-2015

Abbildung 26: Flächendifferenzierte Verteilung der langjährigen, mittleren Grundwasserneubildung nach Schroeder & Wyrwich

Abbildung 27: Monatsfaktoren der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Flurabstand

Abbildung 28: Ergebnisse der Kalibrierung zur Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1 - 2, 3, 4 - 6 und 7 - 9

Abbildung 29: Ergebnisse der Kalibrierung zur Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 10 - 12, 13 und 14 - 16

Abbildung 30: Angesetzte Porosität für das oberste Grundwasserstockwerk nach Helmbold (1978)

Abbildung 31: Ergebnisse der Kalibrierung der Transferraten der Gewässer

Abbildung 32: Lage der Kalibrierungsmessstellen mit Zuordnung zu den Horizonten

Abbildung 33: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21967041, 21960261 und 21967061

Abbildung 34: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21960471, 1040319 und 21960071

Abbildung 35: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1600066, 1600064 und 1600027

Abbildung 36: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1600025, 1600024 und

1600061

Abbildung 37: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1020306, 1040306 und 21869361

Abbildung 38: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21967101 und 21869351

Abbildung 39: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1044666 und 21866131

Abbildung 40: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21866142 und 21967113

Abbildung 41: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2006 mit den Modellergebnissen im oberen Grundwasserstockwerk

Abbildung 42: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2014 mit den Modellergebnissen im oberen Grundwasserstockwerk

Abbildung 43: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2012 der RWE Power AG mit den Modellergebnissen im Horizont 9 B

Abbildung 44: Darstellung der Bilanzierungsabschnitte an den Modellrändern

Abbildung 45: Gegenüberstellung der Grundwassergleichen "Höchste zu erwartende Grundwasserstände" mit den Modellergebnissen sowie Darstellung der Zonen der Grundwasserneubildungserhöhung

Abbildung 46: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 1 bis 3

Abbildung 47: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 4 und 5

Abbildung 48: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 6 bis 8

Abbildung 49: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 9 bis 11

Abbildung 50: Grundwasserganglinie während und außerhalb der Betriebsphasen am Brunnen 12

Abbildung 51: Fördermengen aller Wasserhaltungsbrunnen in der Simulationsvariante 1

Abbildung 52: Entnahmemengen des Industrieparks Oberbruch mit den aufgeschlagenen Fördermengen der Wasserhaltung im Simulationsjahr 2011 aus Simulationsvariante 1

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundwasserwiederanstieg an ausgewählten Grundwassermessstellen (GWMS) im Stadtgebiet von Heinsberg, Angaben in Meter

Tabelle 2: Vertikaler Modellaufbau (Bezeichnung der Schichten nach Schneider & Thiele 1965)

Tabelle 3: Eingangswerte der Porositäten [Einheit: -]

Tabelle 4: Bilanzierung der mittleren Zu- und Abflüsse im Modellgebiet bezogen auf den Simulationszeitraum 1990 bis 2015

Tabelle 5: Berechnete Modellszenarien

Tabelle 6: Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern in der Simulationsvariante 1

Tabelle 7: Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern in der Simulationsvariante 2

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Lage der Grundwasserhaltungsbrunnen und Ergebnis der Verschneidung der Kanaldeckelhöhen (3m unter Kanaldeckeloberkante) mit der Grundwasseroberfläche zum Zeitpunkt höchster Grundwasserstände in der Simulationsvariante 1

Anlage 2: Differenzen des Grundwasserstands zur Basisvariante, Simulationsvariante 1, Zeitpunkt April 2011, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung

Anlage 3: Fördermengen der einzelnen Wasserhaltungsbrunnen in der Simulationsvariante 1

Anlage 4: Stationäre Stromlinienberechnungen der Grundwasserhaltungsbrunnen und der Werksbrunnen des Industrieparks Oberbruch im obersten Grundwasserstockwerk zum Zeitpunkt April 2011

Anlage 5: Feuchtgebietskulisse aus dem Monitoring Inden mit den Differenzen zur Basisvariante, Simulationsvariante 1, Zeitpunkt April 2011, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung

Anlage 6: Differenzen des Grundwasserstands zur Basisvariante, Simulationsvariante 2, Zeitpunkt April 2011, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung

Anlage 7: Ergebnis der Verschneidung der Kanaldeckelhöhen (3m unter Kanaldeckeloberkante) mit der Grundwasseroberfläche zum Zeitpunkt höchster Grundwasserstände bei einer erhöhten Fördermenge des Industrieparks Oberbruch in der Simulationsvariante 2

Anlage 8: Stationäre Stromlinienberechnungen der Grundwasserentnahme des Industrieparks Oberbruch mit den erhöhten Entnahmemengen im obersten Grundwasserstockwerk zum Zeitpunkt April 2011

Anlage 9: Feuchtgebietskulisse aus dem Monitoring Inden mit den Differenzen zur Basisvariante, Simulationsvariante 2, Zeitpunkt April 2011, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung

Anlage 10: Bilanzierte Zu- und Abstrommengen an den Modellrandbereichen

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Stadtgebiet von Heinsberg ist es durch erhebliche Rückgänge der industriellen Grundwasserförderung im Industriepark Oberbruch (heute BIZZPARK Oberbruch) zu deutlichen Anstiegen des Grundwassers und lokal zu Vernässungen von Kellern und Bauwerken gekommen, die nicht sachgemäß gegen drückendes Grundwasser abgedichtet worden sind. Auf Bitten des Kreises Heinsberg und der Stadt Heinsberg hat der Erftverband in den Jahren 2012-2016 die hydrogeologische Situation und die Entnahmeentwicklung in diesem Bereich umfangreich aufgearbeitet (siehe Kapitel 3). Darüber hinaus wurden höchste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände nach BWK-M8) abgeleitet und anhand von Kanaldeckelhöhen potenzielle Betroffenheiten von unterkellerten Gebäuden abgeschätzt, sofern keine baulichen Vorkehrungen gegen drückendes Grundwasser getroffen worden sind (siehe Kapitel 3.5).

Auf der Grundlage konzeptioneller Vorüberlegungen hat der Erftverband am 12.01.2017 der Stadt Heinsberg ein Angebot für den Aufbau eines Detailgrundwassermodells und die Durchführung von Simulationsrechnungen zu hydraulischen Lösungsansätzen der Grundwasserproblematik in Heinsberg unterbreitet. Mit Schreiben vom 30.05.2017 wurde der Erftverband beauftragt, die angebotenen Leistungen durchzuführen.

In diesem Bericht werden der Aufbau und die Kalibrierung des Grundwassermodells sowie die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsrechnungen dargestellt.

2 Datengrundlagen

Für den Aufbau und die Kalibrierung des Grundwassermodells Heinsberg sowie für die Durchführung von Simulationsrechnungen wurden folgende Datengrundlagen verwendet:

- Geländeoberfläche
 - Laserscan-Daten in 1 m Auflösung (Zeitpunkt: 2016) (Datenquelle: Geobasis NRW)
- Geologie
 - Digitale Datenbestände der Ober- und Unterkante von Modellleitern/-stauern aus dem großräumigen Grundwassermodell der RWE Power AG (Stand: 2012) (Datenquelle: RWE Power AG)
 - Verlauf tektonischer Störungen (Datenquelle: RWE Power AG)
- Grundwassermessstellen
 - Stammdaten und Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung repräsentativer Grundwassermessstellen (Datenquelle: Erftverband)
 - Bohrprofile repräsentativer Grundwassermessstellen (Datenquelle: RWE Power AG, Erftverband)
- Grundwasserneubildung
 - Flächendifferenzierte Grundwasserneubildung nach Schroeder & Wyrwich (1990) mit Flurabstandsklassen (Datenquelle: Erftverband)
 - Monatsfaktoren der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit der Flurabstandsklasse (Datenquelle: Erftverband)
- Grundwasserentnehmer
 - Stammdaten aller aktiven Grundwasserentnehmer sowie Jahresfördermengen für den Zeitraum 1990-2015 (Datenquelle: Erftverband)
 - Brunnenstandorte der Stadt Heinsberg (Datenquelle: Stadt Heinsberg)
- Gewässer
 - Ist-Verlauf relevanter Gewässer und Gräben (Datenquelle: LANUV NRW, Wasserverband Eifel-Rur)
 - Mittelwasserstände der relevanten Gewässer und Gräben (Datenquelle: LANUV NRW, Wasserverband Eifel-Rur)
 - Staustufen, Wehre (Wasserverband Eifel-Rur)
 - Vermessungsdaten relevanter Gewässer (Datenquelle: Wasserverband Eifel-Rur)

- Mittelwasserstände relevanter Seen (Datenquelle: Kreis Heinsberg)
- Materialparameter
 - Durchlässigkeitsbeiwerte/Porositäten der Modellleiter/-stauer und Leakageparameter von Gewässern als Anfangswerte (Datenquelle: RWE Power AG)
- Grundwassergleichen
 - Grundwassergleichen für verschiedene Horizonte und Zeitpunkte und für höchste zu erwartende Grundwasserstände (Datenquelle: Erftverband, RWE Power AG)
- Gebäudedaten / Kanalkataster
 - Kanaldeckelhöhen der Stadt Heinsberg (Datenquelle: Stadt Heinsberg)
 - Gebäudedaten (ohne Höhenangaben) für die Stadtteile Schafhausen, Grebben und Oberbruch (Datenquelle: Stadt Heinsberg)

3 Geologisch-hydrogeologische Situation im Untersuchungsgebiet

3.1 Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Kreis Heinsberg im äußersten Westen Nordrhein-Westfalens und umfasst das Stadtgebiet Heinsberg. Die Niederungsgebiete von Rur und Wurm zeichnen sich durch natürlicherweise zum Teil sehr geringe Grundwasserflurabstände aus. Die Lage und Abgrenzung des im Rahmen der Projektbearbeitung abgegrenzten Modellgebietes sind in Abbildung 1 dargestellt (siehe Kapitel 4.1).



Abbildung 1: Lage und Abgrenzung des Modellgebietes Heinsberg (Modell Erftverband)

3.2 Geologische Schichtenfolge

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet in der nördlichen Rurscholle, die selbst Teil der Niederrheinischen Bucht ist und innerhalb dieser das westlichste Strukturelement darstellt. Im Nordosten und Osten wird die Rurscholle durch die Rurrand-Verwerfung von der Venloer Scholle und der Erftscholle getrennt. Aufgrund der hydraulischen Wirksamkeit stellt die Rurrand-Verwerfung gleichzeitig die östliche Modellgrenze dar.

Die Schichtenfolge der Rurscholle ist wie die gesamte Niederrheinische Bucht geprägt durch einen zyklischen Wechsel der Sedimentationsbedingungen, so dass sich marine und festländische Lockersedimente übereinander ablagern konnten. In der Folge ist in der Rurscholle durch die Wechsellagerung von grundwasserleitenden (Kiese, Sande) und grundwasserstauenden Schichten (Tone, Schluffe, Braunkohleflöze) ein typischer Grundwasserstockwerksbau mit übereinander liegenden Aquiferen entstanden. Da die Scholle während der Sedimentation an ihren nordöstlichen Rändern stärker abgesunken ist als an den südwestlichen, sind die Schichten nach Nordosten geneigt, wo sie in der Regel auch ihre größten Mächtigkeiten erreichen.

Die im Untersuchungsgebiet im Untergrund anstehenden Lockergesteine werden an der Oberfläche größtenteils von Parabraunerden aus feinsandigem Löß und Lößlehm überdeckt. In den Niederungen der Rur und der Wurm sind weiträumig Aueböden und Gleye, örtlich auch Niedermoore verbreitet, die sich als sog. semiterrestrische Böden unter dem direkten Einfluss von Grundwasser entwickelten. Diese Bodentypen zeigen somit natürlicherweise hoch anstehendes Grundwasser an. Die von hohen Grundwasserständen betroffenen Ortslagen liegen weit überwiegend im Verbreitungsgebiet der grundwasserbeeinflussten Böden und damit in Gebieten, die von jeher durch geringe Grundwasserflurabstände geprägt sind.

Unterhalb des Oberbodens folgen die quartären Terrassensedimente, die das oberste, meist kiesig-sandige Grundwasserstockwerk bilden. Die Grundwasserentnahme des Industrieparks Oberbruch erfolgt überwiegend aus dem obersten Grundwasserstockwerk, das aufgrund seiner hohen hydraulischen Durchlässigkeit für die Grundwasserentnahme besonders gut geeignet ist.

Im Modellgebiet umfasst das oberste Grundwasserstockwerk je nach Verbreitung der stockwerkstrennenden Tonschichten verschiedene Schichtglieder. So wird das oberste Grundwasserstockwerk im Verbreitungsgebiet der jüngsten Tonschicht, dem Tegelen-Ton (Horizont 13), von den Jüngeren und Älteren Hauptterrassensedimenten des Rheins und der Maas aufgebaut (Horizonte 16 und 14), die im Rurtal von den Terrassensedimenten der Rur überlagert werden. Dies ist beispielsweise im Bereich des Industrieparks sowie in den Ortslagen Dremmen und Porselen der Fall.

Dort, wo der Tegelen-Ton fehlt und der tertiäre Reuver-Ton (Horizont 11) die Basis des obersten Stockwerks bildet, umfasst das oberste Grundwasserstockwerk neben den Horizonten 16/14 auch die Prätegelen-Schichten (Horizont 12 als älteste Hauptterrasse), wobei die Schichtmächtigkeit des obersten Grundwasserstockwerks mit dem Auskeilen des Tegelen-Tons i.d.R. deutlich ansteigt. Der Reuver-Ton bildet im größten Teil des Modellgebietes die Basis des obersten Grundwasserstockwerks; insbesondere in der Nordhälfte, wo der Ton bis in die Niederlande flächendeckend verbreitet ist.

Im südlichen Stadtzentrum von Heinsberg sowie im Umfeld der Ortslagen Schleiden, Laffeld und Langbroich sind sowohl der Tegelen-Ton als auch der Reuver-Ton nicht verbreitet. In diesem südwestlichen Modellgebiet bildet der Obere Rotton (Horizont 9 C) die Basis des obersten Grundwasserstockwerks, so dass das oberste Grundwasserstockwerk in diesem Bereich alle Sedimente bis hin zu dem Zwischenmittel der Reuver-Serie umfasst (Horizonte

16,14,12 und 10).

Die geologische Situation zeigt, dass die Gliederung der Grundwasserstockwerke grundsätzlich abhängig ist von der Tonverbreitung. Bei vollständiger Ausbildung aller Tonschichten bilden die Horizonte 16 und 14 das oberste Grundwasserstockwerk, der Horizont 12 das zweite und der Horizont 10 das dritte lokale Grundwasserstockwerk. Eine solche Konstellation besteht wie oben dargelegt beispielsweise im Bereich des Industrieparks. Mit dem Ausstreichen einer Tonschicht gehen dann zuvor getrennte Stockwerke in ein gemeinsames Grundwasserstockwerk über, und es bestehen im Randbereich der Tonverbreitung entsprechende hydraulische Kopplungsbereiche zwischen den Stockwerken. Im Südwesten des Modellgebietes, wo die Tegelen- und Reuver-Tone fehlen, führt dies dazu, dass der Horizont 10 Bestandteil des obersten Grundwasserstockwerks ist, während der Horizont 10 im Umfeld des Industrieparks das dritte lokale Grundwasserstockwerk aufbaut. Dementsprechend ergibt sich im Grundwassermodell Heinsberg je nach Lage eine unterschiedliche Anzahl an Grundwasserstockwerken.

Der Obere Rotton (Horizont 9 C) ist im Modellgebiet als weiterer wichtiger Stockwerksbildner weiträumig verbreitet und weist nur im Umfeld der Ortslage Oberbruch sowie im nördlichen Grenzbereich zu den Niederlanden größere geologische Fenster auf, wo entsprechende Kopplungsbereiche zwischen den angrenzenden Grundwasserstockwerken bestehen.

Unterhalb des Oberen Rottons folgt das sandige Zwischenmittel der Rotton-Serie (Horizont 9 B), das bei vollständiger Tonverbreitung das vierte lokale Grundwasserstockwerk bildet. Ein geringer Anteil der Grundwasserentnahme des Industrieparks erfolgt aus dem Horizont 9 B. Aufgrund der beschriebenen Tonüberdeckung hat die Tiefbrunnenentnahme allerdings keinen Einfluss auf die Grundwasserflurabstände bzw. die Grundwassersituation in den betroffenen Ortslagen.

Die hydrogeologische Basis des Horizontes 9 B bildet schließlich der Untere Rotton (Horizont 9 A), der als einzige Tonschicht flächendeckend im gesamten Modellgebiet verbreitet ist. Über das gesamte Modellgebiet besteht daher eine hydraulische Trennung zwischen dem Horizont 9 B und dem nächsttieferen Grundwasserstockwerk, der Hauptkies-Serie (Horizont 8). Das Grundwasserpotenzial ist in den beiden Schichten zudem seit den 1990er Jahren praktisch identisch, so dass ein Wasseraustausch zwischen den Horizonten 8 und 9 B bei der hydraulischen Modellierung vernachlässigt werden konnte. Der Horizont 9 A wurde daher wie im Modell NUON der RWTH Aachen (Becker et al., 2006 und Becker, 2009) als untere Modellgrenze angesetzt.

Die oben beschriebene geologische Schichtenfolge ist schematisch anhand eines Südwest – Nordost – Profils in Abbildung 2 dargestellt. Die Abbildungen 3, 4, 5 und 6 zeigen die Tonverbreitung innerhalb des Modellgebietes. Die geologische Schichtenfolge wurde in dieser Form in das Grundwassermodell Heinsberg übertragen und basiert auf Daten des Geologischen Dienstes NRW, die auch Bestandteil des Reviermodells der RWE Power AG sind.

Im rechten Teil der Abbildung 2 ist der entsprechende Vertikalaufbau des Grundwassermodells beispielhaft für die komplette Schichtenfolge dargestellt (Ausbildung aller Tonschichten mit der maximalen Anzahl an Grundwasserstockwerken).



Abbildung 2: Schematischer geologischer Profilschnitt durch das Untersuchungsgebiet und vertikaler Aufbau des Grundwassermodells



Abbildung 3: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 13) im Modellgebiet



Abbildung 4: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 11) im Modellgebiet



Abbildung 5: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 9 C) im Modellgebiet



Abbildung 6: Tonverbreitung (Oberkante Horizont 9 A) im Modellgebiet

3.3 Aktuelle Grundwassersituation im obersten Grundwasserstockwerk

Die aktuelle Grundwassersituation sowie die auf die vorbergbauliche Situation von Oktober 1955 bezogenen Grundwasserdifferenzen sind für das oberste Grundwasserstockwerk in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

Die Grundwassermorphologie und das Grundwasserfließgeschehen werden innerhalb des Modellgebietes im Wesentlichen durch die Geländemorphologie und die Rur, die großen lokalen Grundwasserentnahmen sowie durch den Einfluss der bergbaulichen Sümpfungsmaßnahmen bestimmt. Dabei sind der Industriepark Oberbruch (Veolia Industriepark Deutschland GmbH) und die Wassergewinnungsanlage Heinsberg-Kirchhoven der Stadtwerke Heinsberg GmbH die größten Grundwasserentnehmer im Untersuchungsgebiet.

Die Grundwasseroberfläche folgt im Untersuchungsgebiet im Wesentlichen der Geländeoberfläche. Der Grundwassergleichenplan für Oktober 2017 lässt erkennen, dass im Modellgebiet eine nach Norden gerichtete Grundwasserströmung vorherrscht und die Grundwasserströmung überwiegend auf die Rur ausgerichtet ist. Dabei bestehen die höchsten Grundwasserstände im äußersten Süden des Modellgebietes. So folgt der südliche Modellrand von Ost nach West dem Verlauf der 55 m NHN-Grundwassergleiche und endet in der Süd-West-Ecke im Bereich der Ortslage Langbroich, wo sich auf ca. 58 m NHN ein Hochpunkt der freien Grundwasseroberfläche ausgebildet hat.

Ausgehend von den Hochlagen der freien Grundwasseroberfläche fließt das Grundwasser in nördliche Richtung der Rur zu, welche den Hauptvorfluter des Untersuchungsgebietes und damit das geohydraulische Bezugsniveau darstellt. An der deutsch-niederländischen Grenze reduzieren sich die Grundwasserstände bis auf ca. 27,5 m NHN, so dass der gesamte Potenzialunterschied von der südlichen bis zur nördlichen Modellgrenze aktuell ca. 31 m beträgt (Abbildung 7).

Anhand des geschwungenen Verlaufs der Grundwassergleichen im Niederungsgebiet der Rur ist die Anbindung der Rur an das Grundwasser, v.a. südlich und nördlich des Industrieparks, erkennbar. In diesen Bereichen wird die Rur durch den Zustrom von Grundwasser gespeist, d.h. das Oberflächengewässer nimmt Grundwasser auf und hat damit auch einen wesentlichen Einfluss auf die Grundwasserstände im nahen Umfeld. Im Bereich der Ortslage Oberbruch führt die Entnahme des Industrieparks hingegen zu einer deutlichen Infiltration von Rur- und auch Wurmwasser in den Grundwasserleiter, d.h. die Oberflächengewässer verlieren in diesen Bereichen Wasser infolge der Grundwasserentnahme (Uferfiltration). Im Vergleich zur Vergangenheit hat sich der Absenkungstrichter des Industrieparks infolge des deutlichen Entnahmerückgangs allerdings weitgehend aufgefüllt, so dass sich dieser im geschwungenen Verlaufs heutigen Gleichenbild anhand des der 36 m NHN-Grundwassergleiche nur noch andeutet (Abbildung 7). Dementsprechend zurückgegangen sind auch die Mengen an Rur- bzw. Wurm-Uferfiltrat und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Fließgewässer.



Abbildung 7: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2017)



Abbildung 8: Grundwasserdifferenzenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2017 – Oktober 1955)

Die Entnahme der Stadtwerke Heinsberg GmbH an der Wassergewinnungsanlage Kirchhoven bewirkt eine Versteilung des Grundwassergefälles in Richtung der Fassungsanlage und eine geringfügige Grundwasserabsenkung, die im unmittelbaren Nahbereich der Brunnen einige Meter betragen kann.

Der bergbauliche Sümpfungseinfluss auf die Grundwasserstände ist in der Nordhälfte des Modellgebietes gering und beträgt weniger als 1 m (Abbildung 8). Nördlich von Heinsberg und in den Niederungsgebieten der Rur und der Wurm unterhalb von Dremmen läuft die bergbauliche Beeinflussung im obersten Grundwasserstockwerk ganz aus. Im Süden des Modellgebietes besteht trotz der großen Distanz zu den Sümpfungszentren am Tagebau Inden hingegen eine deutliche bergbauliche Grundwasserabsenkung, die am südlichen Modellrand gegenüber der vorbergbaulichen Situation von Oktober 1955 bis zu ca. 7 m beträgt. Dass die bergbauliche Grundwasserabsenkung mit dieser Intensität bis in das südliche Modellgebiet hineinreicht, ist auf die im Bereich Gangelt und Geilenkirchen bestehende Kopplung zu tieferen Grundwasserstockwerken zurückzuführen (geologische Fenster in den Tonhorizonten 11, 9 C und 9 A). Richtung Norden verringert sich die bergbauliche Beeinflussung dann kontinuierlich, so dass sie im südlichen Stadtgebiet von Heinsberg noch ca. 1 - 2 m beträgt. Entlang des Wurmtals läuft der Bergbaueinfluss aufgrund der stabilisierenden Wirkung der Wurm deutlich schneller aus, was die südliche Verschwenkung der -1 bis -3 m – Differenzenlinien verursacht. Im Südosten bei Körrenzig und Rurich setzt sich der Einfluss der Erftschollenentwässerung bis in das Modellgebiet über den Rurrand fort, so dass am südöstlichen Modellrand Absenkungsbeträge von bis zu ca. 4 m erreicht werden. Mit Annäherung an die Rur geht der Bergbaueinfluss aufgrund der stabilisierenden Wirkung des Oberflächengewässers dann auch hier schnell zurück (Abbildung 8).

Dort, wo der Bergbaueinfluss im Modellgebiet vorhanden ist, ist dieser in den letzten Jahren weitgehend konstant geblieben. Zukünftig ist nicht mit einer Zunahme der bergbaulichen Grundwasserabsenkung zu rechnen. Der mit dem Ende des Braunkohlenbergbaus in der Rurscholle verbundene Grundwasserwiederanstieg wird nach den aktuellen Prognosen ab ca. 2035/2040 verstärkt einsetzen und erst gegen Ende dieses Jahrhunderts abgeschlossen sein.

Auf die Grundwasserflurabstände im Kernuntersuchungsgebiet haben die bergbaulichen Sümpfungsmaßnahmen keinen relevanten Einfluss (vgl. Abbildung 8). In den von hohen Grundwasserständen betroffenen Ortslagen der Stadt Heinsberg wurde und wird die Grundwasserdynamik vorwiegend von der Entnahmeentwicklung am Industriepark Oberbruch bestimmt.

3.4 Zeitliche Entwicklung der Grundwassersituation und der Grundwasserflurabstände

Die Veolia Industriepark Deutschland GmbH (früher: NUON Energie und Service GmbH) verfügte bis zum Jahr 2009 über eine wasserrechtliche Erlaubnis zur Grundwasserentnahme in Höhe von 12 Mio. m³/a aus dem obersten Grundwasserstockwerk und bis zu

1 Mio. m³/a aus dem Horizont 9 B. Aufgrund des deutlich zurückgegangenen Wasserbedarfs wurde das Wasserrecht ab 2010 in der Form einer Zulassung des vorzeitigen Beginns von Seiten der Bezirksregierung Köln auf maximal 6,5 Mio. m³/a für beide Förderhorizonte reduziert und damit dem aktuellen Bedarf angepasst. Das gehobene Grundwasser dient der Brauch- und Kühlwasserversorgung des BIZZPARK Oberbruch.

Zur Grundwasserentnahme wurden am Industriepark insgesamt 26 Flachbrunnen (oberstes Grundwasserstockwerk) und vier Tiefbrunnen (Horizont 9 B) hergestellt. Aufgrund der erheblich zurückgegangenen Fördermengen werden die Brunnen aktuell allerdings nur noch teilweise betrieben. Die zeitliche Entwicklung der Entnahmemengen ist für die beiden Förderhorizonte in Abbildung 9 dargestellt.





Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserentnahmemengen am Industriepark Oberbruch Wurden im Erfassungsjahr 1988/89 noch ca. 14 Mio. m^3 aus dem obersten Stockwerk gefördert, hat sich die Entnahmemenge auf ca. 3,3 Mio. m^3 im Erfassungsjahr 2017/18 reduziert. Die Tiefbrunnenentnahme aus dem Horizont 9 B betrug in den Jahren 1985 - 1989 noch ca. 5 Mio. m^3 /a und wurde im Zeitraum 2002 - 2008 nahezu ganz eingestellt. Aktuell werden aus den Tiefbrunnen ca. 0,35 Mio. m^3 /a Grundwasser entnommen.

Die Tiefbrunnenentnahme hat praktisch keinen Einfluss auf die Grundwasserflurabstände. Der erhebliche Rückgang der Flachbrunnenentnahme hat jedoch einen deutlichen Grundwasserwiederanstieg im obersten Grundwasserstockwerk und eine entsprechende Verringerung der Flurabstände bewirkt. Damit verbunden ist es bereits lokal zur Vernässung von Kellern und Bauwerken gekommen, die nicht sachgerecht gegen drückendes Grundwasser abgedichtet worden sind.

In den Zeiten der maximalen Grundwasserentnahme hat sich der Absenkungstrichter der Förderbrunnen des Industrieparks über weite Bereiche des Stadtgebietes von Heinsberg ausgedehnt. Dabei lagen insbesondere die Stadtteile Dremmen, Grebben, Schafhausen und Oberbruch im Kernbereich des Entnahmetrichters, wo die förderinduzierte Grundwasserabsenkung örtlich mehrere Meter betrug. Auf diese Weise wurden die Ortslagen gewissermaßen künstlich trocken gehalten. So lag der Grundwasserspiegel im Oktober 1988 im Zentrum des Absenkungstrichters im Bereich des Industrieparks bei ca. 30 m NHN. In der Ortslage Oberbruch wurden in dieser Zeit Grundwasserstände von ca. 33 - 37 m NHN beobachtet (Abbildung 10). Obwohl das Jahr 1988 witterungsbedingt durch besonders hohe Grundwasserstände geprägt war, bestanden in diesem Gebiet weiträumig hohe Grundwasserflurabstände zwischen ca. 4 - 10 m. In den Ortslagen Dremmen, Grebben und Schafhausen wurden Grundwasserflurabstände von 2 m nur in den quelligen Bereichen an der Terrassenkante unterschritten, die von jeher durch besonders hoch anstehendes Grundwasser geprägt waren (Abbildung 11).



Abbildung 10: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 1988)



Abbildung 11: Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet (Situation für Oktober 1988)

Mit dem Rückgang der Grundwasserentnahme am Industriepark ist das Grundwasser im obersten Grundwasserstockwerk im Stadtgebiet flächenhaft angestiegen. Der Absenkungstrichter hat sich dabei weitgehend aufgefüllt, und es bestehen heute überwiegend geringe Grundwasserflurabstände, die bis in die Gründungstiefe normaler Wohnbebauung hineinreichen (Abbildung 12 und Abbildung 13). So ist das Grundwasser in den Grundwassermessstellen 600080 und 600098 bei Schafhausen im Beobachtungszeitraum im Mittel um ca. 1 m angestiegen, so dass an der Messstelle 600080 in den letzten Jahren Grundwasserflurstände von 1 m mehrfach unterschritten wurden. In der Grundwassermessstelle 600070 nördlich von Grebben wurde seit den 1970er Jahren ein Grundwasser aktuell ca. 2,3 m unter Gelände an (Abbildung 14).



Abbildung 12: Grundwassergleichenplan für das oberste Grundwasserstockwerk (Stand Oktober 2012)



Abbildung 13: Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet (Situation für Oktober 2012)



Abbildung 14: Grundwasserganglinien der Grundwassermessstellen 600080, 600098 und 600070 (oberstes Grundwasserstockwerk; rot = Grundwasserflurabstände)

Höhere Grundwasserflurabstände von deutlich über 3 m sind heute letztlich nur südlich der Terrassenkante außerhalb des Niederungsbereiches der Rur und der Wurm sowie im nahen Umfeld der Entnahmebrunnen des Industrieparks erhalten geblieben (Abbildung 13).

Die Tabelle 1 zeigt den Wiederanstieg des Grundwassers für ausgewählte Grundwassermessstellen geordnet nach Teilbereichen im Überblick. Die Lage der in der Tabelle aufgeführten Grundwassermessstellen ist im Überblick in den vorgenannten Grundwassergleichenplänen (Abbildung 10 und Abbildung 12) und im Detail in dem Kartenausschnitt der Abbildung 15 dargestellt.

Förderbrun (1962 -	nen (OSTW) - 2011)	GWMS naher Umring (1975 – 2011)	
600031	10	600078	4
600033	9,5	600070	4,2
600034	12	600064	4
600035	10,5	600061	4
600038	9,5		
600041	10		
Mittel	10,3	Mittel	4,1
GWMS Na (1962 -	ahbereich - 2011)	GWMS weite (1975 –	rer Umring 2011)
GWMS Na (1962 - 600024	ahbereich - 2011) 8,5	GWMS weite (1975 – 600080	rer Umring 2011) 1,8
GWMS Na (1962 - 600024 600025	ahbereich - 2011) 8,5 7,5	GWMS weite (1975 – 600080 600071	rer Umring 2011) 1,8 3
GWMS Na (1962 - 600024 600025 600028	ahbereich - 2011) 8,5 7,5 7,5	GWMS weite (1975 – 600080 600071 600065	rer Umring 2011) 1,8 3 3
GWMS Na (1962 - 600024 600025 600028 600026	ahbereich - 2011) 8,5 7,5 7,5 6,5	GWMS weite (1975 – 600080 600071 600065 600060	International 1,8 3 3 3 3 3
GWMS Na (1962 - 600024 600025 600028 600026 600027	ahbereich - 2011) 8,5 7,5 7,5 6,5 7,5	GWMS weite (1975 – 600080 600071 600065 600060	rer Umring 2011) 1,8 3 3 3,3
GWMS Na (1962 - 600024 600025 600028 600026 600027 600022	ahbereich - 2011) 8,5 7,5 7,5 6,5 7,5 6,5 7,5 6,8	GWMS weite (1975 – 600080 600071 600065 600060	rer Umring 2011) 1,8 3 3 3,3

Tabelle 1: Grundwasserwiederanstieg an ausgewählten Grundwassermessstellen (GWMS)im Stadtgebiet von Heinsberg, Angaben in Meter



Abbildung 15: Detail-Grundwassergleichenplan für den Nahbereich des Industrieparks Oberbruch mit Lage ausgewählter Grundwassermessstellen (oberstes Grundwasserstockwerk, Stand Oktober 1988)

3.5 Höchste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände)

Die Grundwasserneubildung in der Kölner Bucht lag in den vergangenen 10 - 15 Jahren geringfügig unterhalb des langjährigen Mittels. Im Hinblick auf den reinen Witterungseinfluss ist die heutige Situation daher grundsätzlich durch mittlere bis leicht unterdurchschnittliche Grundwasserstände geprägt. Der Grundwasserwiederanstieg, der infolge des Entnahmerückgangs am Industriepark im Stadtgebiet von Heinsberg zu beobachten ist, wurde demnach witterungsbedingt teilweise kompensiert bzw. abgeschwächt. Bei einer Aufeinanderfolge von Jahren mit besonders hoher Grundwasserneubildung und/oder einem weiteren Entnahmerückgang am Industriepark ist daher im Stadtgebiet mit weiter steigenden Grundwasserständen und einer damit verbundenen Verschärfung der Vernässungsproblematik zu rechnen.

Vor diesem Hintergrund wurden für das Stadtgebiet Heinsberg durch den Erftverband im Jahr 2014 höchste zu erwartende Grundwasserstände (sog. Bemessungsgrundwasserstände gemäß Merkblatt BWK-M8) ermittelt. Für die Ermittlung von Bemessungsgrundwasserständen gibt das Merkblatt BWK-M8 folgende Vorgaben und Definitionen:

"Der Bemessungsgrundwasserstand ist der Grundwasserhöchststand, der sich witterungsbedingt einstellen kann. Bei der Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes sind die dauerhaft verbindlich festgeschriebenen und die nicht dauerhaft verbindlich festgeschriebenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zu unterscheiden und mit ihren Auswirkungen auf den Grundwasserstand zu berücksichtigen."

Die Grundwasserentnahme am Industriepark ist weder dauerhaft noch verbindlich, weil das Wasserrecht zur Grundwasserentnahme nicht die Pflicht beinhaltet, das Grundwasser zu entnehmen und somit den Grundwasserspiegel im Stadtgebiet Heinsberg dauerhaft abzusenken. Die Bemessungsgrundwasserstände wurden daher für den Fall einer vollständigen Einstellung der Grundwasserentnahme am Industriepark ermittelt.

Um die entsprechenden Grundwasserhöchststände abzuleiten, wurden langjährige Grundwasserganglinien ausgewertet, die insbesondere die besonders hohen Grundwasserstände Ende der 1960er Jahre erfassen (dies waren am gesamten Niederrhein die Jahre mit den höchsten Grundwasserständen). Sofern die Beobachtung an Grundwassermessstellen erst später begann, erfolgte für nach Lage und Datenqualität geeignete Grundwassermessstellen eine Berechnung der Grundwasserhöchststände mit dem sog. Wiener-Filter-Verfahren (Bucher 1998). Auf diese Weise konnten die punktuellen Informationen für die anschließende Konstruktion der Grundwassergleichen verdichtet werden. Die Abbildung 16 zeigt die konstruierten Grundwasserhöchststände für das Kernuntersuchungsgebiet anhand von Grundwassergleichen sowie die für die Konstruktion genutzten Grundwassermessstellen.



Abbildung 16: Höchste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände) im Kernuntersuchungsgebiet und herangezogene Grundwassermessstellen

Im nachfolgenden Schritt wurden die Grundwasserhöchststände mit den aktuellen Laser-Scan-Daten der Geländeoberfläche (Stand 2011) verschnitten und auf diese Weise die Flurabstände bei höchsten Grundwasserständen für das Kernuntersuchungsgebiet ermittelt (Abbildung 17). Um auf dieser Basis auch konkrete Betroffenheiten abschätzen zu können, wurden die ermittelten Grundwasserhöchststände ergänzend mit den von der Stadt Heinsberg gelieferten Kanaldeckelhöhen verschnitten (Abbildung 18). Ein Gebäudekataster mit Einmessungen der Eingangshöhe sowie der Oberkante des Kellerfußbodens liegt für das Stadtgebiet Heinsberg bislang nicht vor.



Abbildung 17: Grundwasserflurabstände bei höchsten zu erwartenden Grundwasserständen im Untersuchungsgebiet



Abbildung 18: Grundwasserflurabstände an Kanaldeckeln bei höchsten zu erwartenden Grundwasserständen zur Abschätzung der Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet

Die Abbildung 17 lässt verbreitet sehr flurnahe Grundwasserverhältnisse entlang der Terrassenkante von Dremmen und Grebben über Schafhausen bis in den Kernbereich der Stadt Heinsberg erkennen. In diesen Bereichen kann das Grundwasser bei Grundwasserhöchstständen teilweise bis in den Bereich der Geländeoberfläche ansteigen. In entsprechender Weise sind für diesen Streifen entlang der Terrassenkante in der amtlichen Bodenkarte BK 50 verbreitet Grundwasserböden wie Niedermoore und Gleye ausgewiesen, die sich unter dem direkten Einfluss von Grundwasser entwickelten. Dies zeigt, dass in dem Gebiet von jeher sehr flurnahe Grundwasserverhältnisse bestanden.

Besonders betroffen erscheinen auf dieser Basis insbesondere die Ortslage Schafhausen sowie der südöstliche Teil des Stadtkerns, wo sich ausgedehnte bebaute Gebiete in Bereichen mit Grundwasserflurabständen < 0,5 m befinden. Im Gewerbegebiet Dremmen zwischen der A 46 und der L 227 sowie in den bebauten Bereichen von Dremmen und Grebben nördlich der Terrassenkante bestehen bei Grundwasserhöchstständen zwar etwas höhere Grundwasserflurabstände. Allerdings kann das Grundwasser auch hier bis auf ca. 1 - 2 m unter Gelände und damit bis in den Bereich der normalen Gründungstiefe ansteigen. Der Industriepark Oberbruch selbst liegt höher, so dass dort auch bei Grundwasserhöchstständen noch Flurabstände von ca. 2 - 4 m vorherrschen (Abbildung 17).

Die typische Gründungstiefe eines normalen Wohnhauses mit einem Kellergeschoss beträgt ca. 2,5 - 3,0 m. Die Abbildung 18 zeigt, dass die Kanaldeckel nördlich der Terrassenkante im Niederungsbereich weit überwiegend in die Kategorien < 0 m – 2,5 m fallen. Bei höchsten zu erwartenden Grundwasserständen sind in Kombination mit einer vollständigen Einstellung der Grundwasserentnahme am Industriepark somit entsprechende Betroffenheiten für den größten Teil der Stadt Heinsberg zu erwarten, sofern die Keller nicht sachgerecht gegen drückendes Grundwasser abgedichtet worden sind.

4 Modellaufbau

4.1 Abgrenzung des Modellgebietes

Das Modellgebiet umfasst praktisch das gesamte Stadtgebiet Heinsberg (vgl. Abbildung 1). Die von hohen Grundwasserständen besonders betroffenen Ortsteile Schafhausen, Grebben, Dremmen, Ober- und Unterbruch sowie das Stadtzentrum von Heinsberg befinden sich als Kernuntersuchungsgebiet im zentralen Teil der Modellfläche. An den Rändern umfasst das Modell die Randgebiete der Nachbargemeinden bzw. Städte Wassenberg, Hückelhoven, Geilenkirchen, Gangelt und Waldfeucht. Im Norden reicht das Modell ca. 2 km weit in das niederländische Staatsgebiet hinein. Die Modellfläche beträgt 193 km². Der südliche Modellrand folgt, wie in Kapitel 3.3 dargelegt, im Wesentlichen dem Verlauf der 55 m NHN-Grundwassergleiche. Von hier aus erfolgt im obersten Grundwasserstockwerk hauptsächlich der Grundwasserzustrom in das Modellgebiet.

Die westliche Modellgrenze folgt dem Grundwassergefälle in nördlicher Richtung und schneidet die Grundwassergleichen senkrecht. In diesem Bereich gibt es daher keine Randüberströme, die bei der Modellierung im obersten Grundwasserstockwerk berücksichtigt werden müssen.

Im Osten bildet die Rurrand-Verwerfung aufgrund ihrer hydraulischen Wirksamkeit den Modellrand. Gleichzeitig bildet der Rurrand die hydrogeologische Grenze zur benachbarten Erftscholle.

In dem Abschnitt der östlichen Modellgrenze zwischen den Ortslagen Körrenzig und Doveren stoßen die Grundwassergleichen 55 m NHN bis 48 m NHN senkrecht auf den Rurrand. Grundwasserübertritte zwischen Erft- und Rurscholle sind für diesen Abschnitt des Rurrandes daher nicht erkennbar, der Rurrand ist dort weitgehend dicht. Weiter nördlich im Übergang zur Venloer Scholle wird der Rurrand dann jedoch zunehmend durchlässiger. So lässt der aktuelle Grundwassergleichenplan ab der Stadt Hückelhoven einen zunehmenden Grundwasserzustrom aus der Venloer Scholle über den östlichen Modellrand in die Rurscholle und damit in das Modellgebiet erkennen. Während der Grundwasserüberstrom auf Höhe von Hückelhoven noch nicht vollständig ungehindert erfolgt, ist der Rurrand im Bereich der Ortslagen Millich und Ratheim weitgehend offen und es erfolgt ein nahezu ungehinderter Grundwasserzustrom aus der Venloer Scholle ist darüber hinaus für den Bereich der Stadt Wassenberg erkennbar. In diesem Abschnitt des östlichen Modellrandes strömt das in der Venloer Scholle oberhalb der Ratinger Tone anstehende Grundwasser kaskadenartig über den Modellrand dem obersten Grundwasserstockwerk der Rurscholle zu (vgl. Abbildung 7).

Im Norden wurde der Modellrand im Grundwasserabstrom des Untersuchungsgebietes ca. 2 km in das niederländische Staatsgebiet gelegt, um Randeffekte bei der hydraulischen Modellierung im Bereich der von hohen Grundwasserständen betroffenen Ortslagen zu minimieren.

4.2 Modellansatz

Das dreidimensionale, instationäre Grundwassermodell wurde mit der Simulationssoftware FEFLOW 7.1 der Firma DHI-WASY GmbH aufgebaut. Die Grundwasserströmung ist dabei vollständig gesättigt und die Modellschichten sind - abhängig von der Grundwasseroberfläche - frei beweglich.

Die Simulation hat eine Laufzeit von 26 Jahren (1990-2015) und bildet die typische Dynamik nasser, normaler und trockener Jahre in hoher zeitlicher Auflösung (Monatsschritten) im Raum Heinsberg nahezu ab. Die Zeitschritte wurden in Abhängigkeit der Dynamik im System über eine automatische Zeitschrittsteuerung angepasst, wobei die maximale Zeitschrittlänge nicht begrenzt wurde.

4.3 Modellgeometrie

Das Modellgebiet mit einer Fläche von 193 km² wurde durch das Finite-Elemente-Netz mit 147.632 Modellknoten und 273.600 Dreieckselementen diskretisiert. Die vernetzten Knoten und Elemente stellen nach der Parametrisierung die Berechnungsbasis des numerischen 3D-Grundwassermodells dar und sind in Abbildung 19 dargestellt.



Abbildung 19: Modellnetz mit Darstellung der Gewässerverläufe, der Grundwasserentnehmer und der geologischen Kennlinien (Störungen und Tonausstriche)
In den flurnahen Bereichen des Stadtgebietes Heinsberg wurde das Netz verdichtet, und der Knotenabstand liegt zwischen 10 und 100 m, so dass die Gewässer und Gräben lagescharf abgebildet werden konnten (siehe Abbildung 20). Neben den Gewässern wurden, soweit möglich, die vorhandenen Förderbrunnen, die Staustufen der Gewässer, die relevanten Störungen und Tonausstriche im Modellnetz fixiert.



Abbildung 20: Netzanpassung und -verfeinerung im Bereich der Gewässer

Grundlage für die vertikale Diskretisierung bildete der digitale Datenbestand aus dem großräumigen Reviermodell der RWE Power AG. Es wurden die Ober- und Unterkanten der geologischen Trennflächen der Stauer 13, 11 E, 11 A und 9 C (Kapitel 3.2) in das Modell übernommen. Um Verfälschungen der Leakagemengen zwischen den Grundwasserleitern auszuschließen, wurden weitere Slices im Abstand von 10 cm an den Aquiferunterkanten bzw. -oberkanten eingezogen. Der vertikale Modellaufbau ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Modellschicht	Geologie
1 - 2	Leiter 1
3	Leiter 1 mit Ton 13 (Tegelen Ton)
4 - 6	Leiter 2
7 - 9	Leiter 2 mit Ton 11 (Reuver Ton)
10 - 12	Leiter 3
13	Leiter 3 mit Ton 9 C (Oberer Rotton)
14 - 16	Leiter 4

Tabelle 2: Vertikaler Modellaufbau (Bezeichnung der Schichten nach Schneider & Thiele 1965)

4.4 Anfangsbedingungen

Für das oberste Grundwasserstockwerk wurde das Modell mit den Grundwasserständen aus den Grundwassergleichen zum Zeitpunkt Oktober 1990 des Erftverbandes belegt (Abbildung 21). Für die tieferen Grundwasserstockwerke lagen für den Anfangszeitpunkt 1990 keine Grundwassergleichen vor. Für das zweite Grundwasserstockwerk im Modell (Horizont 10) wurden die Grundwassergleichen aus dem obersten Grundwasserstockwerk verwendet, die im Bereich der Ausbreitung des Reuvertons (Horizont 11) modifiziert wurden. Für das dritte Grundwasserstockwerk (Horizont 9 B) wurde das Modell mit den Grundwasserständen aus den Grundwassergleichen zum Zeitpunkt Oktober 2001 der RWE Power AG belegt. Aufgrund des Braunkohlenbergbaus sind die Anfangswasserstände gebietsweise tiefer als zum Simulationsbeginn. Bei der späteren Kalibrierung zeigte sich aber, dass die Initialwasserstände nach etwa einem Jahr Modelllaufzeit keinen direkten Einfluss mehr auf die Grundwasserstandsentwicklung im weiteren Verlauf der Simulation haben.



Abbildung 21: Grundwassergleichen zum Zeitpunkt Oktober 1990 zur Belegung der Anfangswasserstände für das oberste Grundwasserstockwerk

4.5 Modellparameter

4.5.1 Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Durchlässigkeitsbeiwerte für die Anfangsbelegung der einzelnen Grundwasserleiter und -stauer im Modell wurden aus dem Reviermodell der RWE Power AG übernommen. In der Abbildung 22 sind die Anfangswerte der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1, 2, 3 und 4 dargestellt. In der Abbildung 23 ist der Vertikalaufbau als 3D-Schnitt dargestellt. In FEFLOW sind alle Schichten über das gesamte Modell durchgängig vorhanden und bei Nicht-Verbreitung mit einer geringen Mächtigkeit angesetzt und mit den k_{f} . Werten ober- und unterhalb der Schicht belegt. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse und der Kalibrierung des Modells wurde die k_{f} -Wert-Belegung optimiert. Die angepassten Werte werden in Kapitel 5.2 dokumentiert.



Abbildung 22: Anfangsbelegung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1 - 2 (Leiter 1), 4 - 6 (Leiter 2), 10 - 12 (Leiter 3) und 14 - 16 (Leiter 4)



Abbildung 23: Vertikalaufbau des Modells als 3D-Schnitt mit Anfangsbelegung der Durchlässigkeitsbeiwerte

4.5.2 Porosität und Speicherkoeffizienten

Für die Ermittlung der Porosität wurde die Formel nach Helmbold (1978) ($n_e = 1.33 \cdot k_f^{0.22}$) verwendet, die abhängig vom Durchlässigkeitsbeiwert des anstehenden Materials ist und auch bei gering durchlässigen Schichten belastbare Werte liefert. In Tabelle 3 ist die Spanne der Porosität der einzelnen Modellleiter aufgelistet. Der Speicherkoeffizient ist einheitlich 1 e⁻⁵/m.

Modellschicht	Leiter	Porosität
1 - 2	Leiter 1	0,1 – 0,46
4 – 6	Leiter 2	0,1 – 0,46
10 – 12	Leiter 3	0,02 - 0,2
14 – 16	Leiter 4	0,12 – 0,25

Tabelle 3: Eingangswerte der Porositäten [Einheit: -]

4.6 Randbedingungen

An den Modellrändern des Grundwassermodells Heinsberg wurden Grundwasserganglinien von repräsentativen Grundwassermessstellen für die Ableitung von Randbedingungen 1. Art (Grundwasserstände) berücksichtigt. Ausschlaggebend für die Grundwasserstände

zwischen den Messstellen war die Grundwasserfließrichtung, die in den jährlich konstruierten Grundwassergleichen dargestellt wird. Die Grundwasserneubildung wird als flächenhafte und zeitabhängige Randbedingung im Modell realisiert, die elementweise im Leiter 1 implementiert worden ist. Wasserstände aller kolmatierenden Gewässer sind modelltechnisch über Randbedingungen 3. Art abgebildet. Die Wasserspiegellagen wurden für alle derzeit bespannten Gewässer (z.B. Rur, Wurm) und Gräben, die bei einer eventuellen Wasserhaltung Wasser führen könnten, in das Modell eingebunden. Die Grundwasserentnahmen wurden als Randbedingung 4. Art (Brunnen) berücksichtigt.

4.6.1 Modellränder

Die Abgrenzung des Modellraums wurde im Kapitel 4.1 beschrieben. Um die Modellränder als Festpotentiale mit Monatswerten (Randbedingung 1. Art) zu belegen, wurden 26 repräsentative Grundwassermessstellen im Umfeld des geplanten Modellrandes ausgewählt und die Werte der Zeitreihen - mithilfe der konstruierten Grundwassergleichen von 1990 bis 2015 - auf den Modellrand verschoben. Bei einigen Messreihen wurden monatliche Mittelwerte für den 26-jährigen Kalibrierungszeitraum gebildet und vorhandene Messfehler aus den Zeitreihen herausgefiltert.

Zwischen den Messstellen wurden die Messreihen unter Berücksichtigung der Grundwassergleichen linear interpoliert. In der vertikalen Belegung wurden innerhalb eines Grundwasserleiters dieselben Messreihen genutzt. In den Bereichen, in denen Stauer vorhanden sind, wurden die Modellknoten nicht belegt.

4.6.2 Gewässer

Im Modell wurden die Fließgewässer und Seen als Randbedingung 3. Art (Transfer zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser) mit Vorgabe des Wasserspiegels und des Übergangswiderstandes (Kolmation) berücksichtigt. Die Transferrate (Infiltration und Exfiltration) wird über die Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Kolmationsschicht bestimmt. In FEFLOW beziehen sich die Transferraten entweder auf die vertikale Transferfläche (Austauschfläche) bei linienförmigem Ansatz der Randbedingungen, die einen Wasseraustausch über die Gewässerböschung ermöglicht oder die horizontale Transferfläche, bei der der Wasseraustausch über die Gewässersohle erfolgt. Aufgrund der geringen Breite der Gewässer im Raum Heinsberg und dem Knotenabstand von 10 bis 100 m im zentralen Modellgebiet wurden im Modell Heinsberg ausschließlich vertikale Transferflächen verwendet.

Für die Hauptgewässer (Rur, Wurm) im Modell erfolgte durch den Wasserverband Eifel-Rur (WVER) eine hydraulische Berechnung der Wasserspiegellagen bei mittlerem Abfluss (MQ). Die Daten wurden als Punkt-Shape dem Erftverband übergeben. Die Gewässerknoten im Modell wurden mit den Wasserspiegellagen im Punkt-Shape des WVER belegt und die zwischenliegenden Bereiche der gelieferten Wasserspiegel linear interpoliert. Nachträglich wurden die Wasserhöhen an den Sohlgleiten und Wehren überprüft und ggfs. nach Absprache mit dem WVER angepasst (Abbildung 24). Die Nebengewässer und Gräben wurden mit dem Datensatz des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW

(LANUV) aus dem Jahr 2010 belegt. Da die Daten aus Laserscan-Überfliegungen resultieren und erheblich von den Mittelwasserabflüssen abweichen (Vergleich LANUV- und WVER-Daten zur Rur), wurden die Wasserspiegel auf ihre Plausibilität überprüft und ggfs. angepasst.



Abbildung 24: Belegung der Wasserspiegellagen mit Anpassung an die Sohlgleiten

Die In- und Out-Transferraten an den Gewässern wurden mit den Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f-Werte) der Kolmationsschicht aus dem Reviermodell der RWE Power AG belegt. Um die Transferraten zu erhalten [Einheit: 1/s], wurden die k_f-Werte durch die angenommene Mächtigkeit der Kolmationsschicht dividiert. Da es keine Untersuchungen zur Dicke der Kolmationsschicht der Gewässer im Modellgebiet gibt, wurde nach Rücksprache mit dem WVER eine einheitliche Mächtigkeit von 0,5 m angenommen. Diese wurde im Modell an den angrenzenden Elementen zu den Flussrandbedingungen flächenhaft interpoliert. In der nachfolgenden Kalibrierung wurden die Transferraten wieder angepasst.

4.6.3 Grundwasserentnahmen

Im Modell wurden alle Entnahmestandorte integriert, die innerhalb des Simulationszeitraumes Grundwasser gefördert haben. Die Entnahmemengen der Brunnen des Industrieparks Oberbruch wurden als Monatsmengen, alle anderen Entnehmer mit Jahresmengen im Modell hinterlegt. In Abbildung 25 sind zur Veranschaulichung die Standorte der Entnehmer mit den mittleren Fördermengen im Betrachtungszeitraum 1990 – 2015 dargestellt.



Abbildung 25: Lage der im Modell berücksichtigten Grundwasserentnahmestellen mit Darstellung der mittleren Fördermengen 1990-2015

Jeder Brunnen wird im Modell gemäß seiner Lage durch einen Modellknoten repräsentiert. Die vertikale Belegung der Randbedingung in den jeweiligen Slices (Modellebene) erfolgt gemäß der Filterlage der Brunnen. In FEFLOW wird die Randbedingung als Multi-Layer-Brunnen-Funktion auf die Modellknoten platziert. Dabei wird die Förderrate je Brunnenstandort jeweils auf den Slice gesetzt, in der die Filterunterkante liegt.

4.7 Grundwasserneubildung

Für den Kalibrierungszeitraum 1990 bis 2015 wurde die flächendifferenzierte Verteilung der langjährigen, mittleren Grundwasserneubildung berücksichtigt (Erftverband 2012). Sie liegt als Ergebnis einer Berechnung nach Schroeder & Wyrwich (1990) unter Berücksichtigung der Eingangsgrößen Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenabfluss vor (Abbildung 26). Die Grundwasserneubildungsraten schwanken zwischen 0 und 12,1 l/(s*km²). Das Flächenmittel der Grundwasserneubildung für das Modellgebiet beträgt 6,2 l/(s*km²).



Abbildung 26: Flächendifferenzierte Verteilung der langjährigen, mittleren Grundwasserneubildung nach Schroeder & Wyrwich

Um die typische Witterungscharakteristik von trockenen, nassen und durchschnittlichen Wasserwirtschaftsjahren zu berücksichtigen, wurden Monatsfaktoren der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Flurabstand verwendet. Diese Werte wurden aus den am Lysimeter Rheindahlen der NEW NiederrheinWasser GmbH erhobenen Wasserhaushaltsgrößen Sickerwasserrate, Niederschlag und Verdunstung abgeleitet. Die Faktoren wurden mit Hilfe von Übertragungsfunktionen für vier Flurabstandsklassen (0 - 1 m, 1 – 3 m, 3 – 10 m, > 10 m) ermittelt. In FEFLOW wurden die monatlichen Grundwasserneubildungswerte für jedes Element des obersten Leiters übernommen. Abbildung 27 zeigt die zeitliche Dynamik der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von der jeweiligen Flurabstandsklasse als Monatsfaktoren des langjährigen Mittelwertes. Innerhalb der Flurabstandsklasse 0 – 1 m wirkt die Verdunstung in den Sommermonaten zehrend auf den Grundwasserhaushalt (negative Grundwasserneubildung).



Abbildung 27: Monatsfaktoren der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Flurabstand

Da im Simulationszeitraum 1990 bis 2015 die vor allem Ende der 1960er Jahre gemessenen höchsten Grundwasserstände nicht aufgetreten sind, wurde die Grundwasserneubildung für die Monate Februar bis April 2011 im Bereich des Stadtgebietes Heinsberg im Modell künstlich auf das 2 bis 10-fache (sehr lokal) der ermittelten Rate erhöht. Durch diesen "Kunstgriff" ist es möglich, mit dem Modell die höchsten zu erwartenden Grundwasserstände nachzubilden, um die maximalen Auswirkungen der Kappungsmaßnahmen (Bewertung, Bemessung) zu ermitteln.

5 Modellkalibrierung

5.1 Vorgehensweise

Um die Grundwasserströmungsdynamik im Grundwassermodell Heinsberg zutreffend nachzubilden, ist eine instationäre Modellkalibrierung unter Berücksichtigung von zeitabhängigen Grundwasserneubildungsmengen, zeitabhängigen Grundwasserentnahmen sowie Wasserständen in den Gewässern Voraussetzung. Es wurde ein Kalibrierungs- und Simulationszeitraum von 26 Jahren (1990 - 2015) mit einer typischen Witterungscharakteristik betrachtet.

Die Kalibrierung des Modells und damit die Bewertung der Modellanpassung erfolgten vor allem durch den Vergleich der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung der Kalibrierungsmessstellen. Weiterhin wurden den berechneten Grundwassergleichen aus dem Modell konstruierte Grundwassergleichen aus verschiedenen Zeitpunkten gegenübergestellt. Zum einen wurde anhand der Grundwassergleichen überprüft, ob die generelle Grundwasserfließrichtung, die hydraulischen Gradienten sowie die Interaktion mit den Vorflutern im Modell abgebildet werden. Zum anderen wurden Bereiche identifiziert, die größere Abweichungen zwischen den simulierten und den gemessenen Zuständen aufweisen.

In der Modellkalibrierung wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte, die Transferraten der Fließgewässer und die Porosität angepasst.

5.2 Parametrisierung

5.2.1 Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1 - 2, 3, 4 - 6, 7 - 9, 10 - 12, 13 und 14 - 16 sind in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt. Die geologische Schichtenfolge ist in Kapitel 3.2 beschrieben.

Die gut durchlässigen Terrassensedimente mit k_{f} -Werten zwischen 1 e⁻³ und 3 e⁻⁴ m/s im Bereich der Rur- und Wurmaue wurden in den Modellschichten 1 und 2 parametrisiert. Die mittel- bis grobsandigen und mittelkiesigen Schichten im Bereich des Industrieparks Oberbruch wurden mit k_{f} -Werten von 5 e⁻⁴ bis 3 e⁻⁴ m/s abgebildet. Im städtischen Bereich von Heinsberg und am See Lago Laprello wurde die Modellschicht mit k_{f} -Werten von 1,5 e⁻³ bis 8 e⁻⁴ m/s belegt. Im nördlichen Modellgebiet bis in das niederländische Staatsgebiet wurden k_{f} -Werte von 8 e⁻⁴ bis 1 e⁻⁵ m/s angesetzt. Im Bereich des Saeffeler Bachs am südwestlichen Modellrand weisen die Schichten k_{f} -Werte bis zu 8 e⁻³ m/s auf.

In der Modellschicht 3 ist neben dem Leiter 1 auch der Tegelen Ton (Ton 13) mit dem k_{r} Wert von 2 e⁻⁹ m/s im südöstlichen Bereich des Modells ausgebreitet. Dort, wo der Tegelen Ton nicht ausgebreitet ist, sind die gleichen k_r Werte wie in der Modellschicht 1 hinterlegt worden. Das zweite Grundwasserstockwerk (Horizont 12) wurde in den Modellschichten 4 bis 6 abgebildet. Im Gegensatz zum 1. Grundwasserstockwerk sind die Durchlässigkeiten im Bereich des Industrieparks und im südöstlichen Raum des Modells mit k_{f} -Werten von 3 e⁻⁴ bis 1 e⁻⁵ m/s deutlich geringer.

Die Modellschichten 7 bis 9 sind geprägt vom Reuverton (Ton 11) mit k_r -Werten von 1 e⁻⁸ bis 1 e⁻¹⁰ m/s und der geringleitenden Zwischenschicht (Modellschicht 8) mit Werten um 1 e⁻⁷ m/s. Wie im Kapitel 3.2 beschrieben, ist im Umfeld der Ortslagen Schleiden, Laffeld und Langbroich der Reuverton nicht verbreitet, und im Modell wurden k_r -Werte von 5 e⁻⁴ bis 4 e⁻⁶ m/s angesetzt.



Abbildung 28: Ergebnisse der Kalibrierung zur Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 1 - 2, 3, 4 - 6 und 7 - 9

Das 3. Grundwasserstockwerk (Horizont 10) wurde in den Modellschichten 10 bis 12 nachgebildet. Im Bereich der Wurm und Rur wurden großflächig k_r Werte von ca. 1 e⁻⁶ m/s implementiert. Um das Grundwassergefälle zur Wurm- und Ruraue besser abbilden zu können wurden im Kalibrierungsprozess im Umfeld der Ortslagen Schleiden, Laffeld und Langbroich die Durchlässigkeiten im Grundwasserleiter auf einen k_r-Wert von 3,5 e⁻⁵ m/s erhöht.

Die Modellschicht 13 bildet den Oberen Rotton (Horizont 9 C) nach. Nur im nördlichen Bereich ab der Ortslage Karken ist der Obere Rotton nicht mehr verbreitet. Der Bereich wurde mit einem k_{f} -Wert von 1 e⁻⁶ m/s parametrisiert.

Das 4. Grundwasserstockwerk (Horizont 9 B) wurde in den Modellschichten 14 und 15 abgebildet. Entlang der Wurm und Rur wurden großflächig k_r-Werte zwischen 3,3 e⁻⁵ und 1,5 e⁻⁵ m/s angesetzt. Im südwestlichen Modellgebiet wurden die Durchlässigkeiten um eine Zehnerpotenz erhöht und die Schicht weist k_r-Werte zwischen 3,5 e⁻⁴ und 2 e⁻⁴ m/s auf.



Abbildung 29: Ergebnisse der Kalibrierung zur Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte in den Modellschichten 10 - 12, 13 und 14 - 16

5.2.2 Porositäten und Speicherkoeffizienten

Für die Porosität wurde im Modell die Formel nach Helmbold 1978 verwendet. Im Zuge der Kalibrierung der Durchlässigkeiten ändert sich somit auch die Porosität in den einzelnen Schichten. Abbildung 30 zeigt exemplarisch die angesetzte Porosität für das oberste Grundwasserstockwerk. Der Speicherkoeffizient wurde einheitlich im Modell bei 1 e^{-5} /m belassen.



Abbildung 30: Angesetzte Porosität für das oberste Grundwasserstockwerk nach Helmbold (1978)

5.2.3 Transferraten

Die Kalibrierung der Transferraten erfolgte vor allem durch die Identifikation infiltrierender und exfiltrierender Flussabschnitte in den jährlich konstruierten Grundwassergleichen. Im Rahmen der Kalibrierung wurden die Werte zu den Austauschraten der einzelnen Flussabschnitte erhöht oder verringert. Die In- und Out-Transferraten sind in Abbildung 31 dargestellt.

Im Rahmen des Kalibrierungsprozesses wurden südlich und nördlich des Industrieparks die Transferraten der Hauptgewässer Wurm und Rur heraufgesetzt. Um die Grundwasserverhältnisse im näheren Umfeld des Industrieparks gut abbilden zu können, wurden die Austauschraten verringert. Im Bereich des Adolfo Sees wurden die Transferraten deutlich erhöht. Die deutlich erhöhte Interaktion der Gewässer mit dem Grundwasser spiegelt sich auch in den Grundwassergleichen wieder. Die Transferraten des Grabensystems in den flurnahen Bereichen wurden aufgrund des erhöhten Austausches heraufgesetzt. Für die Gewässer und Gräben in den flurfernen Bereichen des Modells wurden nur sehr geringe Transferraten angesetzt.



Abbildung 31: Ergebnisse der Kalibrierung der Transferraten der Gewässer

5.3 Ergebnisse der Kalibrierung

5.3.1 Grundwasserstandsentwicklung

Es wurden insgesamt 59 Kalibrierungsmessstellen ausgewertet. Davon sind 12 Messstellen in den tieferen Grundwasserleitern verfiltert. Für jede Kalibrierungsmessstelle wurde ein Beobachtungspunkt auf der Höhe der Oberkante des Filters in FEFLOW eingebaut. Die Lage der Kalibrierungsmessstellen mit Zuordnung zu den Horizonten ist in

Abbildung 32 dargestellt.

Um die erreichte Modellgüte aufzuzeigen, werden in den folgenden Abbildung 33 bis Abbildung 40 simulierte und gemessene Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung von ausgewählten Kalibrierungsmessstellen gegenübergestellt.

Abbildung 33 zeigt die simulierten und gemessenen Grundwasserganglinien der Kalibrierungsmessstellen 21967041, 21960261 und 21967061, die die Grundwassersituation im südöstlichen Modellgebiet charakterisieren. Im weiteren Umfeld der Kalibrierungsmessstellen befinden sich die Rur und eine großflächige Naßabgrabung, die vor allem die Grundwasserschwankungen beeinflussen. Da die Gewässer im Modell Festpotentiale aufweisen, kann die Wasserstandsdynamik der Gewässer mit dem Modell nicht wiedergegeben werden. Der berechnete Grundwasserspiegel an der Messstelle 21960261 wird im Modell hingegen sehr gut abgebildet, bei den beiden anderen Messstellen nur um wenige Zenti- bis Dezimeter (21967061) verfehlt.

Abbildung 34 zeigt die Gegenüberstellung der Modell- und Messwerte der Kalibrierungsmessstellen 21960471, 1040319 und 21960071. Diese Messstellen wurden zur Charakterisierung der Grundwasserstandsentwicklung im Süden des Modellgebietes ausgewählt. Der Bereich ist beeinflusst durch den Braunkohlenbergbau, und die Grundwasserstände sind größtenteils flurfern. Die jährliche Dynamik der simulierten Grundwasserstände ist deutlich ausgeprägter als die natürlichen Grundwasserschwankungen. Die bergbaubedingte Absenkung wird im Modell sehr gut getroffen. Die berechneten Grundwasserstände am Beobachtungspunkt 21960471 werden recht gut abgebildet. Die simulierten Wasserspiegel an den Messstellen 1040319 und 21960071 liegen in der ersten Hälfte des Simulationszeitraumes des Modells 1 bis 2 m unter den Messwerten, weisen aber zum Ende des Modelllaufes nur noch wenige Dezimeter Abweichung auf.

Abbildung 35 zeigt die Gegenüberstellung der Modell- und Messwerte der Kalibrierungsmessstellen 1600066, 1600064 und 1600027, die die Grundwassersituation im östlichen Bereich des Industrieparks Oberbruch aufzeigen. Die Messstelle 1600066 liegt im Nahbereich des Adolfo Sees. Das Modell kann hier aufgrund der festen Gewässerrandbedingungen des Sees das natürliche Schwankungsverhalten der Grundwasserstände nicht optimal wiedergeben. Die mittleren Grundwasserstände werden im Modell aber sehr gut erfasst. Die Beobachtungspunkte 1600064 und 1600027 sind stark beeinflusst von den Entnahmebrunnen des Industrieparks Oberbruch. Sowohl die Grundwasseranstiege im Modellzeitraum, als auch die Dynamik der Grundwasseroberfläche werden sehr gut abgebildet.

Abbildung 36 zeigt die simulierten und gemessenen Grundwasserganglinien der Kalibrierungsmessstellen 1600025, 1600024 und 1600061, die sich westlich und nördlich des Industrieparks befinden und die anthropogene Grundwassersituation wiederspiegeln. Nach der Kalibrierung wurde in diesem Bereich eine sehr gute Wiedergabe der Messwerte erzielt.

Abbildung 37 zeigt die Gegenüberstellung der Modell- und Messwerte der Kalibrierungsmessstellen 1020306, 1040306 und 21869361 im Nordwesten des Untersuchungsgebietes. Der Beobachtungspunkt 1020306 nahe des Sees Lago Laprello im Stadtzentrum von Heinsberg ist geprägt durch die festen Gewässerrandbedingungen des Sees. Die natürlichen jährlichen Grundwasserschwankungen können im Umfeld des Sees mit dem Modell nicht abgebildet werden. Die berechneten Grundwasserstände der Kalibrierungsmessstelle 1040306 in der Ortslage Kirchhoven liegen ca. 0,5 bis 1 m zu niedrig. Erst nach der künstlich erhöhten Grundwasserneubildung für 3 Monate Anfang 2011 werden die gemessenen Grundwasserstände recht gut getroffen. Die komplexen Grundwasserverhältnisse mit einer hohen Dynamik im Bereich Kitschbach und Flutgraben ist im Grundwassergang des Beobachtungspunktes 1040306 ersichtlich. Zwar können die flurnahen hohen Grundwasserstände im Modell abgebildet werden, die Grundwasserspiegelschwankungen können jedoch in diesem Gebiet mit dem Modell nicht in ausreichendem Maße abgebildet werden.

In Abbildung 38 werden die Grundwasserganglinien der Modell- und Messwerte der Kalibrierungsmessstellen 21967101 und 21869351 dargestellt, die im Norden des Modellgebietes liegen. Auch hier befinden sich im weiteren Umfeld der Grundwassermessstellen die Vorfluter Rur und Kitschbach. Aufgrund der festen Gewässerrandbedingen wird auch hier die Grundwasserdynamik im Modell nur eingeschränkt abgebildet. Die berechnete Grundwasseroberfläche liegt im Mittel um 1 bis 2 dm über den gemessenen Werten.

Exemplarisch für die tieferen Grundwasserstockwerke zeigen die Abbildung 39 und Abbil-

dung 40 eine Gegenüberstellung der Modell- und Messwerte der Kalibrierungsmessstellen 1044666, 21866131, 21866142 und 21967113, die im Horizont 9 B (Modellschichten 14 und 15) verfiltert sind. Die Kalibrierungsmessstellen 1044666 und 21866131 bilden die Grundwasserspiegelschwankungen im Norden des Modellgebietes ab. Mit dem Modell werden im Mittel bis zu 1 m zu niedrige Grundwasserstände berechnet. Das Schwankungsverhalten wird dagegen gut abgebildet. Die Grundwasserstände im südlichen Modellgebiet werden durch die Kalibrierungsmessstellen 21866142 und 21967113 aufgezeigt. Die zwischen den Ortschaften Selsten und Laffeld gelegene Messstelle 21866142 weist einen stark abfallenden Grundwasserstände können mit dem Modell nur eingeschränkt abgebildet werden. Erst ab dem Jahr 1998 entsprechen die berechneten Grundwasserstände den gemessenen Werten. Die Messstelle 21967113 zeigt exemplarisch, dass im südlichen Modellgebiet die Grundwasserstände aber ca. 1 bis 2 m unter den Messwerten liegen.



Abbildung 32: Lage der Kalibrierungsmessstellen mit Zuordnung zu den Horizonten



Abbildung 33: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21967041, 21960261 und 21967061



Abbildung 34: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21960471, 1040319 und 21960071



Abbildung 35: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1600066, 1600064 und 1600027



Abbildung 36: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1600025, 1600024 und 1600061



Abbildung 37: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1020306, 1040306 und 21869361



Abbildung 38: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21967101 und 21869351



Abbildung 39: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 1044666 und 21866131



Abbildung 40: Gegenüberstellung der simulierten mit den gemessenen Zeitreihen der Grundwasserstandsentwicklung in den Kalibrierungsmessstellen 21866142 und 21967113

5.3.2 Grundwassergleichen

Für die Kalibrierung des Grundwassermodells wurden konstruierte Grundwassergleichen für die Jahre 1990 bis 2015 aus dem obersten Grundwasserstockwerk (Erftverband) und dem Horizont 9 B (RWE Power AG) verwendet. Für die Grundwasserleiter 2 und 3 (Horizonte 12 und 10) wurden für den Modellzeitraum keine Grundwassergleichen konstruiert. Da die Grundwasserfließrichtungen der Zwischenhorizonte 12 und 10 in etwa dem der Horizonte 16/14 entspricht und nur das Niveau des Grundwasserspiegels niedriger ist, konnte mit Hilfe der Kalibrierungsmessstellen das Grundwasserstandsniveau in den beiden Horizonten plausibilisiert werden.

Zur Darstellung und Bewertung der berechneten Grundwasserströmungsverhältnisse im Grundwassermodell wurden exemplarisch die Zeitpunkte Oktober 2006 (Abbildung 41), Oktober 2014 (Abbildung 42) und für den Horizont 9 B der Zeitpunkt Oktober 2012 (Abbildung 43) ausgewählt. Die aktuelle Grundwassersituation im obersten Grundwasserstockwerk wird in Kapitel 3.3 beschrieben.

Die Wasserscheide südlich der Ortschaft Langbroich (südwestliches Modellgebiet) wird

durch die Randbedingung 1. Art (Grundwasserstände) gut abgebildet. Die Verschwenkung der Gleichen im Bereich des Baches Kötteler Schar kann das Modell nicht wiedergeben. Die berechneten und konstruierten Grundwassergleichen verlaufen in den Bereichen der Ortslagen Brachelen und Dremmen nahezu parallel zueinander. Der Übergang von flurfernen Bereichen zu den Niederungsgebieten der Wurm- und Ruraue wird im Modell gut abgebildet. Die Vorfluter Wurm und Rur prägen das Gleichenbild in den Niederungsgebieten. Die Infiltration des Grundwassers in die Rur und das Bracheler Fließ ist an der Verschwenkung der Modellgleichen gut zu erkennen. Aufgrund der festen Gewässerrandbedingungen im Modell können sehr hohe Infiltrationsraten in die Gewässer (z.B. bei Hilfarth) nur zum Teil wiedergegeben werden. Im Bereich der Wassergewinnungsanlagen der Stadtwerke Heinsberg im Stadtteil Kirchhoven wird vom Modell eine größere Absenkung berechnet als die gemessenen Grundwasserstände aufzeigen. Im Norden des Modellgebietes spiegeln die kalibrierten Modellergebnisse die beobachteten Grundwasserverhältnisse gut wieder.

Im Leiter 5 (Horizont 9 B) ist die großräumige Fließrichtung von Süd nach Nordwesten gerichtet, und die Grundwasserspiegelhöhen liegen im Bereich des Modellgebietes deutlich über dem Höhenniveau des Stauers 9 C (gespannte Verhältnisse). Im Süden des Modells werden bis zu 3 m höhere Grundwasserstände berechnet als die konstruierten Grundwasserhöhen der RWE Power AG zeigen. Die Grundwasserentnahmen des Industrieparks Oberbruch im Horizont 9 B sind an der Verschwenkung der 38 m NHN Gleiche zu erkennen. Die berechnete 35 m NHN Gleiche verläuft wieder parallel zur konstruierten Grundwassergleiche.

Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere im Aussagebereich des Grundwassermodells Heinsberg eine gute bis sehr gute Modellanpassung erreicht werden konnte.



Abbildung 41: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2006 mit den Modellergebnissen im oberen Grundwasserstockwerk



Abbildung 42: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2014 mit den Modellergebnissen im oberen Grundwasserstockwerk



Abbildung 43: Gegenüberstellung der konstruierten Grundwassergleichen Oktober 2012 der RWE Power AG mit den Modellergebnissen im Horizont 9 B

5.3.3 Bilanzierung

Die Bilanzierung der mittleren Zu- und Abflüsse im Modellgebiet bezogen auf den Simulationszeitraum 1990 bis 2015 ist in Tabelle 4 aufgelistet. Die Bilanzierungsabschnitte an den Modellrändern sind in Abbildung 44 ersichtlich.

Tabelle 4: Bilanzierung der mittleren Zu- und Abflüsse im Modellgebiet bezogen auf den Simulationszeitraum 1990 bis 2015

Bilanzgebiet	Q _{Mittel} [m³/d]
Modellrand	44.506
Anteil Nord	-20.296
Anteil West	-25.743
Anteil Süd	39.335
Anteil Ost	51.210
Neubildung	68.000
Gewässer	-87.107
Brunnen	-25.067
Gesamtbilanz	332

Nach Norden erfolgt der Grundwasserabstrom in Richtung des niederländischen Staatsgebietes. Im Westen folgt in den oberen Grundwasserstockwerken (Leiter 1 bis 4) die Modellgrenze dem Grundwassergefälle in nördlicher Richtung. Die Grundwassergleichen werden senkrecht geschnitten (Abbildung 41 und Abbildung 42). Aus diesem Grund kann am westlichen Modellrand ausschließlich aus dem tieferen Grundwasserstockwerk (Horizont 9 B) der Abstrom erfolgen. Der Grundwasserzustrom erfolgt über den Südrand und der Rurrand-Verwerfung im Osten. Die herausragende Vorflutfunktion der Gewässer im Modellgebiet zeigt sich an der hohen Exfiltrationsmenge von rd. 87.000 m³/d Grundwasser, das in die Gewässer infiltriert und zu einer Regulierung der Grundwasseroberfläche führt. Insgesamt ist die Gesamtbilanz ausgeglichen.



Abbildung 44: Darstellung der Bilanzierungsabschnitte an den Modellrändern

5.4 Modellierung höchster zu erwartender Grundwasserstände

Mit dem Grundwassermodell Heinsberg sollte auch ein Referenzzustand berechnet werden, der die höchsten zu erwartenden Grundwasserstände repräsentiert. Ziel war es, die maximalen Auswirkungen der Wasserhaltungsmaßnahmen (Bewertung, Bemessung) zu ermitteln. Die Ermittlung der höchsten zu erwartenden Grundwasserstände wird in Kapitel 3.5 erläutert.

Im Simulationszeitraum 1990 bis 2015 wurden die höchsten zu erwartenden Grundwasserstände, die in den 1960er Jahren aufgetreten sind, nicht erreicht. Um diese hohen Grundwasserstände im Modell abbilden zu können, wurden in verschiedenen Rechenläufen konstante Faktoren zur prozentualen Erhöhung der Grundwasserneubildungswerte in den Monaten Februar bis April 2011 ermittelt und über eine Auswertung der Differenz zwischen berechneten und konstruierten Gleichen schrittweise eine Zonierung der Anpassungsfaktoren vorgenommen. In Abbildung 45 ist das Ergebnis der Zonierung der Grundwasserneubildungserhöhung sowie eine Gegenüberstellung berechneter und konstruierter höchster zu erwartender Grundwasserstände dargestellt. Die Anpassungsfaktoren liegen zwischen 200 % und 1000 %. Die hohen Faktoren liegen besonders in den Niederungsgebieten, die von den Vorflutern beeinflusst sind und die bei Hochwasser die Grundwasseroberfläche bis zur Geländeoberkante ansteigen lassen.



Abbildung 45: Gegenüberstellung der Grundwassergleichen "Höchste zu erwartende Grundwasserstände" mit den Modellergebnissen sowie Darstellung der Zonen der Grundwasserneubildungserhöhung

6 Modellszenarien

Die im Rahmen der vorliegenden Modellstudie zu untersuchenden Simulationsvarianten sind in Tabelle 5 enthalten. Die Basisvariante bildet die kalibrierte und verifizierte Grundvariante ab, die die Grundwassersituation zwischen 1990 und 2015 widerspiegelt. Die Basisvariante dient als Grundlage für die Nullvariante sowie für die Simulationsvarianten 1 und 2. Bei der Nullvariante wurden alle Grundwasserentnehmer aus der Basisvariante entfernt. Ziel der Simulationsvariante 1 ist es, mit hydraulischen Maßnahmen (Vertikalfilterbrunnen) einen vollständigen Schutz betroffener Gebäude sicherzustellen. Mit der Simulationsvariante 2 wurde untersucht, inwieweit die bestehenden Werksbrunnen des Industrieparks Oberbruch mit erhöhten Fördermengen den vollständigen Schutz der betroffenen Gebäude übernehmen können.

Basisvariante	 Witterungsverlauf von 1990-2015, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung tatsächliche Fördersituation
Nullvariante	 Witterungsverlauf von 1990-2015, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung keine Grundwasserförderung
Simulationsvariante 1	 Witterungsverlauf von 1990-2015, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung tatsächliche Fördersituation Grundwasserhaltungsmaßnamen (Förderbrunnen In- dustriepark Oberbruch, vorhandene städtische Brunnen, zusätzlich erforderliche Brunnen), Ziel: vollständiger Schutz betroffener Gebäude
Simulationsvariante 2	 Witterungsverlauf von 1990-2015, künstlich erhöhte Grundwasserneubildung tatsächliche Fördersituation erhöhte Fördermenge der Werksbrunnen des In- dustrieparks Oberbruch (Entnahmemengen der Grundwasserhaltungsmaßnahmen aus Simulationsvari- ante 1 werden auf die Förderbrunnen des Industrieparks aufgeschlagen)

Tabelle	5:	Berechnete	Modellszenarien
---------	----	------------	-----------------

6.1 Nullvariante

Die Nullvariante beinhaltet den Witterungsverlauf von 1990 bis 2015 mit einer künstlich erhöhten Grundwasserneubildung zwischen den Monaten Februar bis April 2011. Alle Grundwasserentnahmen im Simulationszeitraum wurden entfernt.

Zum einen dient die Nullvariante zur Kalibrierung des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes (Abbildung 45, Kapitel 5.4), zum anderen als Vergleichsvariante für die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen.

6.2 Simulationsvariante 1

Grundlage der Simulationsvariante 1 ist ebenfalls der Witterungsverlauf von 1990 bis 2015 mit einer künstlich erhöhten Neubildung sowie die tatsächliche Fördersituation der Grundwasserentnehmer im Modellgebiet. Zusätzlich wurde an geeigneten Standorten in den Ortslagen Schafhausen, Grebben und Oberbruch, die eine hohe Grundwasserbetroffenheit aufweisen, Wasserhaltungsmaßnahmen mit Vertikalfilterbrunnen im Modell realisiert (siehe Anlage 1).

Die Brunnen wurden so positioniert, dass sie im Nahbereich der höchsten Betroffenheiten der Kanaldeckel (siehe Kapitel 3.5) liegen und wenn möglich, der Abstand zum nächstgelegen Gewässer / Graben nicht zu weit entfernt ist. Bei zwei Brunnenstandorten konnte auf einen vorhandenen Brunnen der Stadt Heinsberg (Bestandsbrunnen 1) und den Werksbrunnen FB9 (Brunnen 9) des Industrieparks Oberbruch zurückgegriffen werden. Die Brunnen wurden mit Hilfe von Potenzial-Randbedingungen (Randbedingung 1. Art) auf der ersten Netzknotenebene des Modells realisiert. Das Absenkziel der Brunnen richtet sich nach der Oberkante der umliegenden Kanaldeckel. Es setzt sich aus einem Betrag von 3 m (2,5 m unter der Kanaldeckelhöhe + 0,5 m Kapillarwirkung) sowie einem Sicherheitszuschlag von 0,5 bis 1 m zusammen, um im weiteren Umfeld die Grundwasseroberfläche abzusenken. Sind die Grundstücke im Umfeld der Brunnen höher gelegen, so wurden die Absenkziele mit mehreren Rechenläufen angepasst. Die Verschneidung der Kanaldeckelhöhen (3 m unter Kanaldeckeloberkante) mit der Grundwasseroberfläche zum Zeitpunkt höchster Grundwasserstände ist in der Anlage 1 ersichtlich.

Für die Umsetzung der Wasserhaltungsmaßnahmen wurden im Ortsteil Schafhausen fünf Brunnen im Modell angesetzt (siehe Anlage 1). Der städtische Bestandsbrunnen 1 liegt im Bereich des Weißdornweges. Die Brunnen 2 und 3 wurden im Nahbereich des Vongelaaker Baches platziert, der nur temporär wasserführend ist. Um die betroffenen Gebäude / Kanaldeckel in der Schafhausener Straße (Randlage) zu schützen, wurde der Brunnen 4 auf ein derzeit nicht bebautes Grundstück gesetzt. Der Brunnen 5 wurde so platziert, dass er die umliegenden Häuser / Kanaldeckel der Straße Am Hartauer schützt und das gehobene Grundwasser am Bahndammgraben zum Vongelaaker Bach abgeführt werden kann. In Abbildung 46 und Abbildung 47 sind die simulierten Grundwasserganglinien mit den Zielwasserständen abgebildet. In Phasen niedriger und mittlerer Grundwasserstandsverhältnisse werden die Brunnen nicht aktiviert.



Abbildung 46: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 1 bis 3



Abbildung 47: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 4 und 5

Im Ortsteil Grebben wurden im Modell die Brunnen 6 und 7 an der Karl-Arnold Straße und der Brunnen 8 an der Carl-Diem Straße platziert (siehe Anlage 1). Die Wurm ist etwa 100 bis 200 m von den geplanten Brunnen entfernt. Die sich bei der simulierten Wasserhaltung einstellenden Grundwasserstände in den Brunnen sind in Abbildung 48 ersichtlich.


Abbildung 48: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 6 bis 8

Im Ortsteil Oberbruch wurden für die Wasserhaltung vier Brunnenstandorte angesetzt (siehe Anlage 1). Für den vollständigen Schutz der westlichen Gebäude kann der Brunnen 9 (Industriepark Oberbruch, Werksbrunnen FB9) genutzt werden. Die im Modell platzierten Brunnen 10 (Am Birnbaum), 11 (Schopskamp) und 12 (Richard-Wagner Straße) wurden aufgrund der hohen Betroffenheiten der Gebäude / Kanaldeckel auf Freiflächen im Ortskern



platziert und sind ca. 200 m bis 600 m von der Wurm entfernt. Die simulierten Brunnenwasserstände sind Abbildung 49 und Abbildung 50 zu entnehmen.

Abbildung 49: Grundwasserganglinien während und außerhalb der Betriebsphasen an den Brunnen 9 bis 11



Abbildung 50: Grundwasserganglinie während und außerhalb der Betriebsphasen am Brunnen 12

Zum Zeitpunkt maximaler berechneter Grundwasserstandshöhen (April 2011) führen die hydraulischen Maßnahmen zu Absenkungen des Grundwasserstandes um 2 bis 2,5 m im Bereich der Ortslagen Schafhausen, Grebben und Oberbruch (siehe Anlage 2). Außerhalb der Ortslagen nehmen die Differenzen deutlich ab und erreichen im Bereich der Rur und der Innenstadt von Heinsberg Absenkungen von 0,1 bis 0,3 m.

Die optimierten Wasserhaltungsmaßnahmen führen zu einer monatlichen Maximalförderung an allen betriebenen Brunnen von 1,1 Mio. m³. Die maximalen Jahresfördermengen belaufen sich auf 8,7 Mio. m³/a. Werden aufgrund der deutlich verringerten Entnahmen des Industrieparks seit 2008 nur die durchschnittlichen Entnahmemengen der letzten acht Simulationsjahre betrachtet, ergibt sich eine mittlere Fördermenge von 7,1 Mio. m³/a. Die zeitliche Entwicklung der Fördermengen aller Haltungsbrunnen ist in Abbildung 51 enthalten. Die Fördermengen der einzelnen Wasserhaltungsbrunnen sind in Anlage 3 dokumentiert. Insbesondere die Brunnen 2, 3, 4 und 12 zeichnen sich durch einen dauerhaften Betrieb und eine hohe Spitzenförderung am Brunnen 12 in Oberbruch aus (maximal 1,6 Mio. m³/a). Die höchsten Fördermengen in Schafhausen liefert der Brunnen 4 (Schafhausener Straße) mit maximal 1,1 Mio. m³/a. Insgesamt müssen in Schafhausen maximal rd. 3,7 Mio. m³/a Grundwasser gefördert werden. Aufgrund des deutlichen Rückganges der Fördermengen des Industrieparks Oberbruch in den letzten acht Simulationsjahren, ist eine dauerhafte Wasserhaltung für den Schutz betroffener Gebäude in Grebben (Brunnen 6, 7 und 8) ab dem Jahr 2007 nötig. Die maximale Entnahmemenge aller drei Brunnen in Grebben beläuft sich auf rd. 1,6 Mio. m³/a. Der Brunnen 9 (Werksbrunnen FB9) in Oberbruch hat mit rd. 68.000 m³/a die geringsten Entnahmemengen aller Brunnen. Insgesamt fördern die vier Brunnen in Oberbruch maximal rd. 3,5 Mio. m³/a.

Gesamtentnahmemenge



Abbildung 51: Fördermengen aller Wasserhaltungsbrunnen in der Simulationsvariante 1

Um die Auswirkungen der Grundwasserhaltungsbrunnen auf die derzeitige Fördersituation des Industrieparks und der sonstigen Grundwasserentnehmer in diesem Raum zu betrachten, wurde mit dem Grundwassermodell eine stationäre Stromlinienberechnung zum Zeitpunkt höchster Grundwasserstände (maximale Fördermengen der Grundwasserhaltungsbrunnen) berechnet. Der umhüllende Stromlinie liegen sowohl die berechneten Stromlinien wie auch die simulierten Grundwassergleichen zum Zeitpunkt April 2011 zugrunde (siehe Anlage 4). Die Auswertungen zeigen für die optimierten Wasserhaltungsmaßnahmen an den Brunnen ein deutliches Verschwenken der Stromlinien der im obersten Grundwasserstockwerk verfilterten Brunnen des Industrieparks Oberbruch nach Osten.

Die Auswirkungen der Wasserhaltungsmaßnahmen auf die Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern sind in Tabelle 6 dargestellt. Die Wasserhaltungsmaßnahmen führen an allen betrachteten Gewässern zu einer deutlichen Verringerung der Exfiltrationsmengen aus dem oberen Grundwasserleiter. Da das gehobene Grundwasser wieder der Wurm und Rur zugeführt wird, sind erhebliche Veränderungen des grundwasserbürtigen Abflusses in den Gewässern nicht zu besorgen.

Tabelle 6: Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern in der Simulationsvariante 1

Gewässer	Basisvariante [m³/d]	Simulationsvariante 1 [m³/d]
Wurm	-27.150	-21.618
Rur	-87.129	-70.434

Die bilanzierten Zu- und Abstrommengen an den Modellrändern sind in der Anlage 10 auf-

geführt. Dabei zeigt sich, dass es zu einer geringfügigen Erhöhung des Grundwasserzustroms über den Rurrand (östlicher Modellrand) im Vergleich zur Basisvariante kommt. An allen anderen Abschnitten ergeben sich keine signifikanten Änderungen der Überstrommengen.

Ob die simulierten maximalen Fördermengen der Wasserhaltung schadlos in die ortsnahen Gewässer abgeleitet werden können, ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Der Wasserverband Eifel-Rur hat die Simulationsergebnisse erhalten und kann Aussagen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit der Gewässer treffen.

Im Rahmen der vorliegenden Modellstudie war des Weiteren zu prüfen, wie sich die Wasserhaltungsmaßnahmen auf die Feuchtgebiete, die im Rahmen des Monitorings Inden untersucht werden, auswirken (siehe Anlage 5). Im näheren Umfeld der Wasserhaltungsmaßnahmen befinden sich keine Feuchtgebiete. Die nächstgelegenen Feuchtgebiete sind das Feuchtgebiet südlich von Werlo (L-3/9), die Ruraue zwischen Orsbeck und Luchtenberg (L-3/10), der Haller Bruch südwestlich von Ratheim (R-4), der Kappbusch nördlich von Brachelen (L-3/3) und die Wurmaue zwischen Randerath und Geilenkirchen (L-3/5). Alle Feuchtgebiete liegen außerhalb des Absenkungstrichters der Wasserhaltungsmaßnahmen. Dabei ist zu beachten, dass die Feuchtgebiete Ruraue und Haller Bruch am Modellrand liegen und die Randbedingungen 1. Art (siehe Kapitel 4.6.1) die Absenkungsbeträge verfälschen können. Da sich die Feuchtgebiete östlich der Rur befinden (effluente Verhältnisse) und die Grundwasserentnahmen des Industrieparks Oberbruch vor 1995 deutlich über den berechneten Gesamtentnahmemengen der Wasserhaltungsmaßnahmen und des Industrieparks Oberbruch lagen (keine negativen Auswirkungen bekannt), ist ein größeres Absenken der Grundwasseroberfläche nicht zu erwarten.

6.3 Simulationsvariante 2

Mit der Simulationsvariante 2 wurden die Auswirkungen einer erhöhten Fördermenge der Werksbrunnen des Industrieparks Oberbruch untersucht. Dabei wurden die Entnahmemengen der simulierten Wasserhaltungsmaßnahmen (Simulationsvariante 1) auf die bestehenden Brunnen des Industrieparks Oberbruch gleichmäßig aufgeschlagen.

Die Entnahmemengen des Industrieparks mit den aufgeschlagenen Fördermengen der Wasserhaltung im Simulationsjahr 2011 sind in Abbildung 52 dargestellt. Bis 1997 entsprachen die Fördermengen des Industrieparks in etwa der simulierten Gesamtentnahme von 12,4 Mio. m³/a (Wasserhaltung: 8,7 Mio. m³/a, Fördermenge des Industrieparks: 3,7 Mio. m³/a). Ab 2007 gingen die Fördermengen des Industrieparks deutlich zurück und lagen zum Simulationsende nur noch bei rd. 3,5 Mio. m³/a.



Abbildung 52: Entnahmemengen des Industrieparks Oberbruch mit den aufgeschlagenen Fördermengen der Wasserhaltung im Simulationsjahr 2011 aus Simulationsvariante 1

Die Grundwasserdifferenzen ohne und mit erhöhter Grundwasserentnahme der Werksbrunnen zum Modellzeitpunkt April 2011 sind in der Anlage 6 ersichtlich. Die erhöhten Entnahmen führen im Bereich des Industrieparks zu Absenkungen des Grundwasserstandes um bis zu 3,2 m. Innerhalb der Ortslagen flacht der Absenkungstrichter deutlich ab, und es sind Absenkungsbeträge zwischen 0,3 und 2 m (Nahbereich des Industrieparks) zu verzeichnen. Außerhalb der Ortslagen nehmen die Differenzen noch mal deutlich ab und erreichen im Bereich der Rur und der Innenstadt von Heinsberg Absenkungen von 0,1 bis 0,3 m.

Die Verschneidung der Kanaldeckelhöhen (3 m unter Kanaldeckeloberkante) mit der Grundwasseroberfläche zum Simulationszeitpunkt April 2011 zeigt die Anlage 7. Der Ortsteil Grebben wird weitgehend geschützt von den Brunnen des Industrieparks Oberbruch. Der Ortsteil Schafhausen profitiert deutlich weniger von erhöhten Entnahmemengen des Industrieparks Oberbruch. Hier zeigen die Berechnungen großflächig Betroffenheiten zwischen 1 und 2,5 m. Im Ortsteil Oberbruch profitieren die Gebäude / Kanaldeckel im Nahbereich des Industrieparks. Im südöstlichen Bereich von Oberbruch zeigen die Berechnungen weiterhin Betroffenheiten zwischen 0,5 und 1,5 m.

Die berechneten stationären Stromlinien zum Zeitpunkt der höchsten simulierten Grundwasserstände (April 2011) mit den erhöhten Entnahmemengen der im obersten Grundwasserstockwerk verfilterten Werksbrunnen sind in Anlage 8 dargestellt. Die Auswertungen zeigen ein deutliches Verschwenken der Stromlinien der Werksbrunnen des Industrieparks Oberbruch nach Westen und Osten. Die Grundwasserentnehmer westlich des Industrieparks Oberbruch zeigen ein geringes Verschwenken der Stromlinien in Richtung Westen.

Die Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern bei einer erhöhten Entnahmemenge des Industrieparks Oberbruch sind in Tabelle 7 dargestellt. Die erhöhte Fördermenge führt an der Wurm zu einer geringen Reduzierung der Exfiltrationsmengen aus dem oberen Grundwasserleiter. An der Rur ergeben sich keine signifikanten Veränderungen der Austauschmengen. Erhebliche Veränderungen des grundwasserbürtigen Abflusses in den Gewässern sind nicht zu erwarten.

Tabelle 7: Austauschmengen zwischen dem Grundwasser und den modellierten Gewässern in der Simulationsvariante 2

Gewässer	Basisvariante [m³/d]	Simulationsvariante 2 [m³/d]
Wurm	-27.150	-26.774
Rur	-87.129	-87.070

Die Betrachtung der Absenkungsbeträge im Bereich der in Kapitel 6.2 (Simulationsvariante 1) aufgezählten Feuchtgebiete zeigen weniger als 0,1 m Absenkung bei maximaler Entnahmemenge der Werksbrunnen (Anlage 9). Auch bei der Simulationsvariante 2 ist zu beachten, dass die Feuchtgebiete Ruraue und Haller Bruch am Modellrand liegen und die Absenkungsbeträge verfälschen können. Aber auch hier sind die effluenten Verhältnisse ausschlaggebend und ein Absenken der Grundwasseroberfläche ist nicht zu erwarten.

In der Anlage 10 sind die bilanzierten Zu- und Abstrommengen an den Modellrändern für die Simulationsvariante 2 aufgeführt. Die bilanzierten Mengen zeigen, dass sich keine signifikanten Veränderungen der Überstrommengen gegenüber der Basisvariante ergeben.

7 Zusammenfassung

Im Stadtgebiet von Heinsberg ist es durch erhebliche Rückgänge der industriellen Grundwasserförderung im Industriepark Oberbruch zu Anstiegen des Grundwassers und lokal zu Vernässungen von Kellern und Bauwerken gekommen, die nicht sachgemäß gegen drückendes Grundwasser abgedichtet worden sind. Maßgeblich ist hierbei der Entnahmerückgang aus den Flachbrunnen. Auswertungen einer Verschneidung höchster zu erwartender Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände nach BWK-M8) mit Kanaldeckelhöhen zur Abschätzung der Betroffenheiten im Untersuchungsgebiet zeigen, dass in weiten Teilen des Stadtgebietes von Heinsberg mit Vernässungsschäden an Gebäuden zu rechnen ist.

Zur Untersuchung verschiedener Simulationsvarianten für hydraulische Lösungsansätze der Grundwasserproblematik in Heinsberg wurde das 3D-Grundwassermodell Heinsberg aufgebaut und kalibriert. Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von ca. 193 km². Der Aufbau des Detail-Grundwassermodells basiert auf den digitalen geologischen Daten bzw. den im Reviermodell der RWE Power AG hinterlegten Höhendaten der geologischen Trennschichten. Das Modell wurde instationär über einen Zeitraum von 26 Jahren von 1990 bis 2015 kalibriert.

Mit Hilfe einer künstlich erhöhten Grundwasserneubildung im Zeitraum Februar bis April 2011 war es möglich, mit dem Modell auch höchste zu erwartende Grundwasserstände abzubilden.

Mit dem Grundwassermodell Heinsberg wurden eine Basis- und eine Nullvariante berechnet. Die Basisvariante bildet die Fördersituation im Zeitraum 1990 bis 2015 ab und beinhaltet den zugehörigen Witterungsverlauf von 1990-2015 incl. künstlich erhöhter Grundwasserneubildung. Die Nullvariante unterscheidet sich von der Basisvariante dadurch, dass alle Grundwasserentnehmer entfernt wurden. Die Basis- und die Nullvariante dienen als Planungsgrundlage für zukünftige hydrogeologische Fragestellungen im Gebiet der Stadt Heinsberg.

Neben der Basis- und Nullvariante wurden zwei Simulationsvarianten für mögliche hydraulische Lösungsansätze in Abstimmung mit der Stadt Heinsberg für die Ortsteile Schafhausen, Grebben und Oberbruch berechnet. Zukünftig können auch weitere Simulationsvarianten für andere Ortsteile oder das gesamte Stadtgebiet von Heinsberg berechnet werden. Dies wurde beim Aufbau und der Kalibrierung des Grundwassermodells Heinsberg entsprechend berücksichtigt.

Mit der Simulationsvariante 1 wurde das Ziel verfolgt, mit Hilfe von Grundwasserhaltungsmaßnahmen einen vollständigen Schutz der von hohen Grundwasserständen betroffenen Gebäude zu gewährleisten. Aufgrund eines fehlenden Gebäudekatasters mit Angaben zu Betroffenheiten wurde hilfsweise mit einem Absenkziel von 3 m sowie einem Sicherheitszuschlag von 0,5 bis 1 m unter der nächstgelegenen Kanaldeckeloberkante gearbeitet. Es zeigt sich, dass zum Zeitpunkt maximaler Grundwasserstände ein vollständiger Schutz in den Stadtteilen Schafhausen, Grebben und Oberbruch durch zehn neue und zwei Bestandsbrunnen erreicht werden kann. Hierzu müssten bis zu 8,7 Mio. m³/a Grundwasser bei maximalen Grundwasserständen gefördert werden. Noch offen ist insbesondere die schadlose Abfuhr des gehobenen Wassers in Gewässer bzw. Gräben.

Negative Auswirkungen auf die im Rahmen des Monitorings für den Tagebau Inden untersuchten Feuchtgebiete sind in Verbindung mit der Simulationsvariante 1 nicht zu erwarten. Erhebliche Veränderungen auf den grundwasserbürtigen Abfluss von Wurm und Rur sind durch die Ableitung des geförderten Grundwassers über Gräben und Zuflüsse anhand der Modellergebnisse ebenfalls nicht erkennbar. Die Stromlinienberechnungen zeigen, dass der Zustrom der Förderbrunnen im Industriepark Oberbruch durch den Betrieb der Grundwasserhaltungsmaßnahmen eine Verschwenkung nach Osten erfährt. Die Grundwasserentnahme am Industriepark wird dadurch aber nicht beeinträchtigt.

In der Simulationsvariante 2 wurde die in der Simulationsvariante 1 ermittelte notwendige Fördermenge zum Zeitpunkt maximaler Grundwasserstände auf die Förderbrunnen im Industriepark aufgeschlagen. Das gehobene Grundwasser wird bei dieser Variante anschließend über die Wurm abgeleitet. Hierbei zeigt sich, dass die in den Ortsteilen Schafhausen und Oberbruch betroffenen Gebäude (Ansatz über Kanaldeckelhöhen) nur zum geringen Teil geschützt werden können. Der Ortsteil Grebben wird dagegen weitgehend geschützt. Im Vergleich zur Simulationsvariante 1 wäre eine entsprechende Erhöhung der Grundwasserentnahme am Industriepark Oberbruch demnach weit weniger effektiv.

In den o.g. Feuchtgebieten kommt es in Verbindung mit der Simulationsvariante 2 zu keinen relevanten negativen Auswirkungen. In der Wurm würde es zu einer geringen Reduzierung der Exfiltrationsmengen aus dem oberen Grundwasserleiter kommen. Eine Kompensation des verringerten Grundwasserzustroms erfolgt jedoch über die Wiedereinleitung des geförderten Grundwassers in das Gewässer.

Literaturverzeichnis

- Becker, T., Brüning, A., Auel, C. (2006): Grundwassermodell Oberbruch.- Untersuchungsbericht, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 156 S.
- Becker, B. (2009): Grundwassermodell Oberbruch, Variation der Entnahmestrategie.- Untersuchungsbericht, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 29 S.
- Bucher, B. (1999): Die Analyse von Grundwasserganglinien mit dem Wiener-Mehrkanal-Filter.- Grundwasser, 3/99, S. 113 – 118
- BWK-M8 (2009): Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V. (BWK).
- Erftverband (2012): Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung im Rheinischen Braunkohlenrevier. Abschlussbericht der AG Grundwasserneubildung - Bergheim.
- Schneider, H., Thiele, S. (1965): Geohydrologie des Erftgebietes.- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 185 S.
- Schroeder, M., Wyrwich, D. (1990): Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildung.- DGM, 34 (1/2): 12-16.