

Bericht 2023

–

**Grundwassermodell für das
Rheinische Revier**

Stand: 2022

Köln, 30. Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	5
2. AUFGABENSTELLUNG UND AKTUALISIERUNG DER MODELLEDATEN	7
3. MODELLGEBIET	10
3.1. Definition	10
3.2. Geohydrologische Verhältnisse	10
3.2.1. Geologischer Aufbau	10
3.2.2. Tektonische Verhältnisse.....	13
3.2.3. Durchlässigkeits- und Speicherparameter	15
3.2.4. Grundwasserneubildung.....	15
3.3. Hydrologische Verhältnisse	17
3.3.1. Rhein.....	17
3.3.2. Gewässersystem Erft.....	17
3.3.3. Gewässersystem Rur	18
3.3.4. Gewässersystem Inde	18
3.3.5. Gewässersystem Wurm.....	19
3.3.6. Jüchener Bach und Nordkanal.....	19
3.3.7. Gewässersystem Niers.....	19
3.3.8. Gewässersystem Nette.....	19
3.3.9. Gewässersystem Schwalm.....	19
3.3.10. Stillgewässer	20
3.4. Grundwasserentnahmen	20
3.5. Grundwasseranreicherung.....	22
3.6. Braunkohlenbergbau	22
3.6.1. Tagebau Garzweiler	22
3.6.2. Tagebau Hambach	24
3.6.3. Tagebau Inden	25
3.6.4. Alttagebaue	26
4. RECHENPROGRAMM.....	26

4.1.	Diskretisierung in Raum und Zeit	26
4.2.	Bergbaubezogene Besonderheiten der verwendeten Software	27
4.3.	Verfahren.....	28
5.	DURCHFÜHRUNG DER BERECHNUNGEN	34
5.1.	Definition der Modellierungsphasen	35
5.2.	Modellbegrenzung.....	37
5.2.1.	Nordwestliche Modellgrenze.....	37
5.2.2.	Nordöstliche Modellgrenze	37
5.2.3.	Südöstliche Modellgrenze.....	37
5.2.4.	Südwestliche Modellgrenze	38
5.3.	Kalibrierung	38
5.3.1.	Wesentliche Parametervariationen	40
5.3.2.	Bewertung der Modellgüte mittels Grundwasserständen	43
5.3.3.	Schollen- und Randüberströme	59
5.3.4.	Gewässeraustauschmengen	67
5.3.5.	Gesamtwasserhebung im Kalibrierungszeitraum	68
5.3.6.	Wasserhebung der Tagebaue	69
5.3.7.	Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer	72
5.3.8.	Versickerungs- und Direkteinleitungsmaßnahmen.....	73
5.4.	Prognose.....	74
5.4.1.	Fehlerbetrachtung	75
5.4.2.	Grundwasserstandsentwicklungen im Prognosezeitraum	76
5.4.3.	Grundwasserstände im stationären Endzustand unter Berücksichtigung ausstehender Bodenbewegungen	103
5.4.4.	Grundwasserdifferenzen.....	105
5.4.5.	Schollen- und Randüberströme	125
5.4.6.	Bergbaubedingte Wasserhebung im Prognosezeitraum	133
5.4.7.	Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer	136
5.4.8.	Gewässeraustauschmengen	137
5.4.9.	Versickerungs- und Direkteinleitungsmaßnahmen.....	139
5.4.10.	Befüllung der Tagebauseen.....	140

6.	ZUSAMMENFASSUNG	143
7.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	146
8.	TABELLENVERZEICHNIS	146
9.	ANLAGENVERZEICHNIS.....	147
10.	LITERATURVERZEICHNIS	151

1. Einleitung

Die Untersuchung von Auswirkungen der notwendigen Grundwasserabsenkung für die Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden und der erforderlichen Maßnahmen zum Erhalt von grundwasserabhängigen, schützenswerten Feuchtgebieten erfolgt regelmäßig mit dem Grundwassermodell für das Rheinische Braunkohlenrevier (kurz: Reviermodell). Das revierweite Grundwassermodell berücksichtigt schollenübergreifend die Einflüsse aller drei Tagebaue und wird gemäß Sammelbescheid zur Neugestaltung bzw. Optimierung des wasserwirtschaftlichen Berichtswesens vom 27.04.2017 fortlaufend aktualisiert und im Rahmen des regelmäßig vorzulegenden Modellberichtes nachvollziehbar dokumentiert. Die letzte komplette Fortschreibung des Reviermodells wurde mit dem Stand 2012 durchgeführt und mit dem Modellbericht 2013 (RWE Power AG, 2013) zur Verfügung gestellt. In der Folge wurden im Rahmen der Modellpflege wiederholt Aktualisierungen der wesentlichen Eingangsdaten - wie beispielsweise Grundwasserneubildungsrate, Grundwasserentnahmen, stratigraphischer Aufbau des Untergrundes uvm. - vorgenommen und in entsprechenden Modellversionen implementiert. Das Berichtswesen beschränkte sich im Zuge dessen auf die für die jeweiligen Verfahren (Wasserrechtsanträge Hambach 2018 und Garzweiler 2020) relevanten Untersuchungsräume. Dahingegen stellt der vorliegende Modellbericht 2022 nun wieder eine revierweite Dokumentation des aktuellen Grundwassermodells dar und dient der fachlichen Ergänzung der Antragsunterlagen in folgenden Verfahren:

- Anpassung des Sumpfungswasserrechts Tagebau Inden
- Planfeststellungsverfahren Tagebausee Inden
- Braunkohlenplanänderungsverfahren Tagebau Hambach
- Planfeststellungsverfahren Tagebausee Hambach

Die Modellfläche bzw. das **Modellgebiet** des Grundwassermodells ist etwa 4.000 km² groß und umfasst die Venloer Scholle, die Erft-Scholle, die Rur-Scholle und die linksrheinische Kölner Scholle mit ihrem im Westen gelegenen Villebereich sowie einen Teil der Krefelder Scholle im Nordosten. Das Gebiet wird durch 151.563 Modellpunkte horizontal diskretisiert. Dabei wurde vor allem im Bereich der Feuchtgebiete und der Tagebaue die Diskretisierung besonders hoch aufgelöst, um mit dem Modell nicht nur grundlegende Berechnungen für den Gesamttraum, sondern auch detaillierte Untersuchungen durchführen zu können. Der Strömungsraum wurde im Modell durch 12 Grundwasserleiter und 11 Grundwasserstauer nachgebildet. Das entspricht bei der vorgenommenen horizontalen Diskretisierung einer Anzahl von 1.818.756 Modellelementen.

Für die Änderung des Sumpfungswasserrechts Inden und die Tagebauseeverfahren Inden und Hambach sowie das Braunkohleplanänderungsverfahren Hambach wurde ein

aktualisiertes Modell, namentlich Modell 2022, verwendet, welches im vorliegenden Bericht dokumentiert ist. In diesem Modell wurden die notwendigen Hebungsmengen für die sichere Gewinnung der Kohle in allen drei von RWE betriebenen Tagebauen aktualisiert und deren sumpfsbedingte Auswirkungen berechnet. Dazu wurden weiterhin die erforderlichen Eingangsdaten (z.B. Brunnen, Neubildung, Tagebaubetrieb usw.) aktualisiert, neu kalibriert und die erforderlichen Simulationen durchgeführt. Für die Prognosesimulationen wurde die gemäß Leitentscheidung 2021 betrachtete reduzierte Tagebau- und Tagebauseefläche implementiert. Das letzte Jahr der Auskohlung wurde für den Tagebau Garzweiler 2038 angesetzt, während die Tagebaue Hambach und Inden zum Jahr 2030 enden. Eine zwischenzeitlich erneute politische Verständigung eines früheren Kohleausstiegs im Rheinischen Revier bis 2030 wird im Rahmen der nächsten Modellgeneration Eingang finden. Wie bei jeder Modellbearbeitung wird über den eigentlichen Untersuchungsraum hinaus eine größere Modellfläche berücksichtigt, um sicher zu stellen, dass die schollenübergreifenden wasserwirtschaftlichen Auswirkungen in die Betrachtung Eingang finden und die Modellränder von der Sümpfung unbeeinflusst bleiben. Im vorliegenden Fall schließt das bekannte Modellgebiet des revierweiten Grundwassermodells die nördliche Krefelder Scholle nicht mit ein. Die Gewässer Maas, Nordkanal und Rhein geben in Ihrer Funktion als Vorfluter die hydrogeologisch wirksamen Modellränder vor, während der Festgesteinsrand der Eifel das Modellgebiet im Süden begrenzt. So ist sichergestellt, dass die bergbaulich bedingten Effekte in den betrachtungsrelevanten Grundwasserleitern des rheinischen Braunkohlenreviers ausreichend abgebildet werden und das Reviermodell 2022 als Bewertungsgrundlage im Zuge der anstehenden Genehmigungsverfahren geeignet ist.

2. Aufgabenstellung und Aktualisierung der Modelldaten

Komplexe geohydraulische Strömungsvorgänge können nur mit Grundwassermodellen untersucht werden, welche die natürlichen Gegebenheiten des Strömungsraumes möglichst genau nachbilden und den Grundwasserströmungsprozess anhand naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten mathematisch korrekt beschreiben. Dies gilt insbesondere für die Prognostizierung der großräumigen Auswirkungen der Grundwasserabsenkung des Braunkohlenbergbaus auf den umgebenden Strömungsraum.

Mit dem bei RWE Power betriebenen und ständig weiterentwickelten Grundwassermodell werden die zahlreichen wasserwirtschaftlichen Aufgaben bearbeitet, die sich aus der notwendigen Entwässerung der Tagebaue ergeben. Die hier vorgestellte Modellierung hat insbesondere die Aufgabe, den modellbezogenen Teil der in den wasserrechtlichen Erlaubnissen aufgeführten Nebenbestimmungen zu erfüllen.

Eine kontinuierliche Fortschreibung und Aktualisierung eines derartigen Grundwassermodells ist essenziell, um einerseits jegliche neuen Entwicklungen und Planungen abzubilden und deren Auswirkungen zu betrachten. Andererseits stehen mit fortlaufender Zeit mehr und mehr Daten der Eingangsgrößen und auch der Bewertungsgrundlage zur Verfügung, die die wirklichkeitsnahe Abbildung weiter und weiter verbessern. Dazu wurden alle modellrelevanten Messdaten in die Modelle eingearbeitet, die zwischen der letzten Modellgeneration und 2021 erfasst wurden. Dies betraf zum Beispiel die Geologie der nördlichen Erft-Scholle, die Geländehöhen, die Gewässerdaten, der Jahresfaktor der Grundwasserneubildung und die Fortschreibung der zeitvarianten äußeren Randbedingungen. Zudem wurden alle bergbaubedingten Daten aktualisiert, wie die zum Redaktionsschluss Frühjahr 2022 vorliegende Planung der Tagebaue und ihrer Fortschritte, die Hebungsmengen der Sumpfungsbunnen sowie weitere Grundwasserentnehmerdaten und die Angaben zu Grundwasserinfiltrationen und Gewässereinleitungen.

Bereits in den 1980er Jahren wurden für den Norden des Rheinischen Braunkohlenreviers, sowie für die Rur- und Erft-Scholle verschiedene Modelle erarbeitet, die aufgrund des damaligen Standes der Technik jeweils nur Teilräume betrachten konnten.

Vor einigen Jahren wurden die Randströme der schollenbezogenen Teilmodelle noch indirekt und nicht dynamisch ermittelt. Mit dem Modellbericht 2007 wurden die vier Teilmodelle für die Bereiche Venloer Scholle, Erft-Scholle, Rur-Scholle und Kölner Scholle zu einem Gesamtmodell für das Rheinische Braunkohlenrevier zusammengefasst. Damit wurden alle Teilschollenränder als reguläre Verwerfungen innerhalb des Modells integriert. Diese Vorgehensweise hat sich bewährt und wird in der vorliegenden Modellierung weitergeführt. Das Reviermodell wurde aus den schollenbezogenen Modellen zusammengesetzt, welche in

der Vergangenheit aber auch aktuell unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte hatten. Die Historien sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

In Vorbereitung des Braunkohlenverfahrens für den Tagebau Garzweiler II wurde Ende der achtziger Jahre im Auftrag der Landesbehörden von der RWTH Aachen das Grundwassermodell Venloer Scholle entwickelt. Die zugehörige Aufgabenstellung war auf die grundlegende Ermittlung der erforderlichen Sümpfung und die Wirkung verschiedener Maßnahmen zum Erhalt der grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebiete ausgerichtet. In die Untersuchungen, die durch den Arbeitskreis Grundwassermodelle begleitet wurden, flossen alle vorhandenen, für den Grundwasserströmungsprozess relevanten Daten, ein. In diesem Arbeitskreis waren insbesondere Experten aus den örtlich zuständigen oberen und unteren Wasserbehörden, den Landesfachbehörden und Wasserverbänden, den Wasserversorgungsunternehmen und der damaligen Rheinbraun AG eingebunden. Für die weitergehende detaillierte Planung der einzelnen Versickerungsmaßnahmen, zur Untersuchung ihrer lokalen Wirkung und zur optimierten Betriebsweise der Tagebauentwässerung wurde in den neunziger Jahren von der Rheinbraun AG für den Norden des Rheinischen Braunkohlenreviers das Nordraummodell aufgebaut. Nach Vorlage des Modellberichts im Jahre 2002 wurde das Nordraummodell vertikal auf 12 Grundwasserleiter und horizontal auf die dreieinhalbfache Anzahl Modellknoten erweitert. Seit dem Modellbericht 2007 wurde das Modellgebiet in seiner horizontalen Auflösung noch einmal verfeinert.

Die Zielsetzung beim Entwurf des Grundwassermodells für die Erft-Scholle war weniger die Untersuchung schützenswerter Feuchtgebiete. Die Auswirkungen der Sümpfung für den Tagebau Hambach betreffen vor allem den hydrogeologischen Raum der Erft-Scholle. In den Nebenbestimmungen zur wasserrechtlichen Erlaubnis/Zulassung vorzeitigen Beginns für die Sümpfung des Tagebaus Hambach vom 30.12.1999 wird die Vorlage eines Grundwassermodells Erft-Scholle gefordert, welches die Auswirkungen der Entwässerungsmaßnahmen in den Liegendhorizonten auf die Erft-Scholle selbst und ihre Umgebung genauer erfasst. Dazu wurde bei der damaligen Rheinbraun AG ein eigenes Modell entwickelt, welches die wesentlichen Grundwasserleiter und -stauer sowie den Zustrom aus dem unterlagernden Festgestein berücksichtigt. Das Grundwassermodell wurde zum Modellbericht 2007 in seiner horizontalen und vertikalen Diskretisierung ähnlich dem Nordraummodell noch einmal deutlich verfeinert. Für den vorliegenden Modellbericht wurde das Modellgebiet in seiner horizontalen Auflösung noch einmal verfeinert. Nachdem im Zuge des Wasserrechantrages für den Tagebau Hambach im Jahr 2015 die Modellgeologie der südlichen Erft-Scholle mit Unterstützung des Geologischen Dienstes NRW aktualisiert wurde,

wurde mit der aktuellen Modellgeneration auch die Modellgeologie der nördlichen Erft-Scholle aktualisiert.

Für den Bereich der Rur-Scholle wurde das bestehende Grundwassermodell im Vorfeld der Erstellung des Antrages auf Verlängerung der wasserrechtlichen Erlaubnis zum Entnehmen und Ableiten von Grundwasser für die Entwässerung des Tagebaus Inden vom 06.03.2002 als drittes der bestehenden Teilmodelle noch einmal deutlich überarbeitet. Zur Erfüllung der Nebenbestimmung 4.2.1 der Wasserrechtlichen Erlaubnis für die Sumpfung des Tagebaus Inden erfolgte eine Erweiterung des modellierten Raumes entlang des Eifelrandes nach Süden bis in den Bereich von Rheinbach und der Einbau einer vom Geologischen Dienst NRW konstruierten Geologie. Im Bereich Shinvelder Bossen wurde eine mit der Provinzregierung Limburg abgestimmte Geologie in das Grundwassermodell übernommen. Mit Vorlage des Modellberichtes 2007 wurde die südliche Rur-Scholle bis zum Eifelrand erstmalig in das Reviermodell integriert. Die in den letzten Jahren gesammelten neuen Erkenntnisse wurden zur deutlichen Verbesserung der Kalibrierung genutzt.

Für den Bereich der Kölner Scholle erfolgte zum Bericht 2007 der Aufbau eines vollständig neuen Grundwassermodells mit einer Gesamtfläche von 680 km². Dort wurden die wesentlichen Alttagebaue, Gewässer, sowie die bekannten Fremdrentnehmer berücksichtigt. Damit konnten die sumpfungsbedingten Auswirkungen auch für den Bereich der Kölner Scholle beschrieben werden. Die Anbindung an den Rhein schaffte eine stabile östliche Randbedingung, die von den bergbaulichen Aktivitäten auf der Velle unabhängig ist. Die in den letzten Jahren gesammelten neuen Erkenntnisse wurden zur deutlichen Verbesserung der Kalibrierung genutzt. Darüber hinaus wurde eine vom Geologischen Dienst NRW vorgenommene Überarbeitung des geologischen Modells in das Grundwassermodell eingebaut.

Mit der fortschreitenden Tagebauführung und den Bestrebungen der Beendigung der Braunkohleverstromung rückt mehr und mehr die nachbergbauliche Phase in den Fokus. So wurden erstmalig für die Tagebaue Hambach und Inden eine brunnenscharfe Betrachtung der seebegleitenden Sumpfung durchgeführt. Somit wurde auch die Standsicherheit während der Seebefüllung aus wasserwirtschaftlicher Sicht umfangreicher als in den Vorgängermodellen überprüft.

3. Modellgebiet

3.1. Definition

Der mit dem Grundwassermodell abgedeckte Bereich umfasst das Rheinische Braunkohlenrevier, begrenzt durch den Rhein im Osten und die Maas im Westen, sowie durch eine Linie zwischen den Ortschaften Dormagen und Venlo entlang hydraulisch wirksamer tektonischer Strukturelemente im Norden und die Eifel bzw. das Hohe Venn im Süden. Die Niederrheinische Bucht steigt nach Süden in Richtung der Eifel auf etwa 200 mNHN an. In westlicher Richtung geht sie bei etwa 100 mNHN in das Niederrheinische Tiefland über ([Anlage 1](#)).

3.2. Geohydrologische Verhältnisse

3.2.1. Geologischer Aufbau

Das Reviermodell umfasst im Wesentlichen das Senkungsgebiet der Niederrheinischen Bucht. Sie entwickelte sich vor ca. 30 bis 35 Mio. Jahren in ihrer heutigen Abgrenzung, als ein Teil des Rheinischen Schiefergebirges einsank. Die Basis des Beckens bilden Gesteine des Paläozoikums, über denen bis über 1.000 m mächtige tertiäre Lockersedimente in Wechsellagerung von Tonen, Sanden und Kiesen abgelagert sind. In diesen Schichten liegen die miozänen Braunkohlenflöze breit gefächert eingebettet. Durch tektonische Einwirkungen ist die sich in SO-NW Richtung erstreckende Senkungszone in die Hauptschollen Erft-, Kölner, Rur- und Venloer Scholle gegliedert. Dabei werden die linksrheinische Kölner und die Erft-Scholle von der Ville unterbrochen. Die weiträumig verbreiteten, wasserstauenden Tonhorizonte und Braunkohleflöze trennen das Grundwasser in mehrere übereinander angeordnete Horizonte, die mit Ausnahme des obersten, freien Grundwasserspiegels, ursprünglich gespannt waren (Abbildung 1).

Die Venloer Scholle, Rur-Scholle, Erft-Scholle und linksrheinische Kölner Scholle wurden im Modellbericht 2013 (RWE Power AG, 2013) beschrieben. Nach einer Überarbeitung durch den Geologischen Dienst und den Fachabteilungen der RWE Power AG, wurde der aktuellste Stand der geologischen Verhältnisse der Ville als eigene geologische Säule in das Reviermodell eingearbeitet. Sie bildet einen im Westen der linksrheinischen Kölner Scholle gelegenen Höhenzug (Halbhorst) aus, der durch die großen Verwurfshöhen und den großen Anteil der weit nach oben geschobenen Kohle- und Tonabfolgen den Strömungsraum zwischen der Erft-Scholle und der Kölner Scholle begrenzt und teilweise hydraulisch trennt. Für das Wasserrechtsmodell Hambach wurde zudem die neue Geologie der südlichen Erft-

Scholle berücksichtigt und im Zuge der Erarbeitung des Reviermodells 2022 wurde auch die neue Geologie der nördlichen Erft-Scholle eingepflegt.

Die geohydrologischen Regionalprofile sind in Abbildung 1 dargestellt. Die jeweilige Zuordnung der geologischen Grundwasserleiter bzw. Grundwasserstauer zu den insgesamt 12 Grundwasserleitern beschreibt die Abbildung 2 Darüber hinaus wird der Stand der geologischen Modelle in Tabelle 1 aufgeführt.

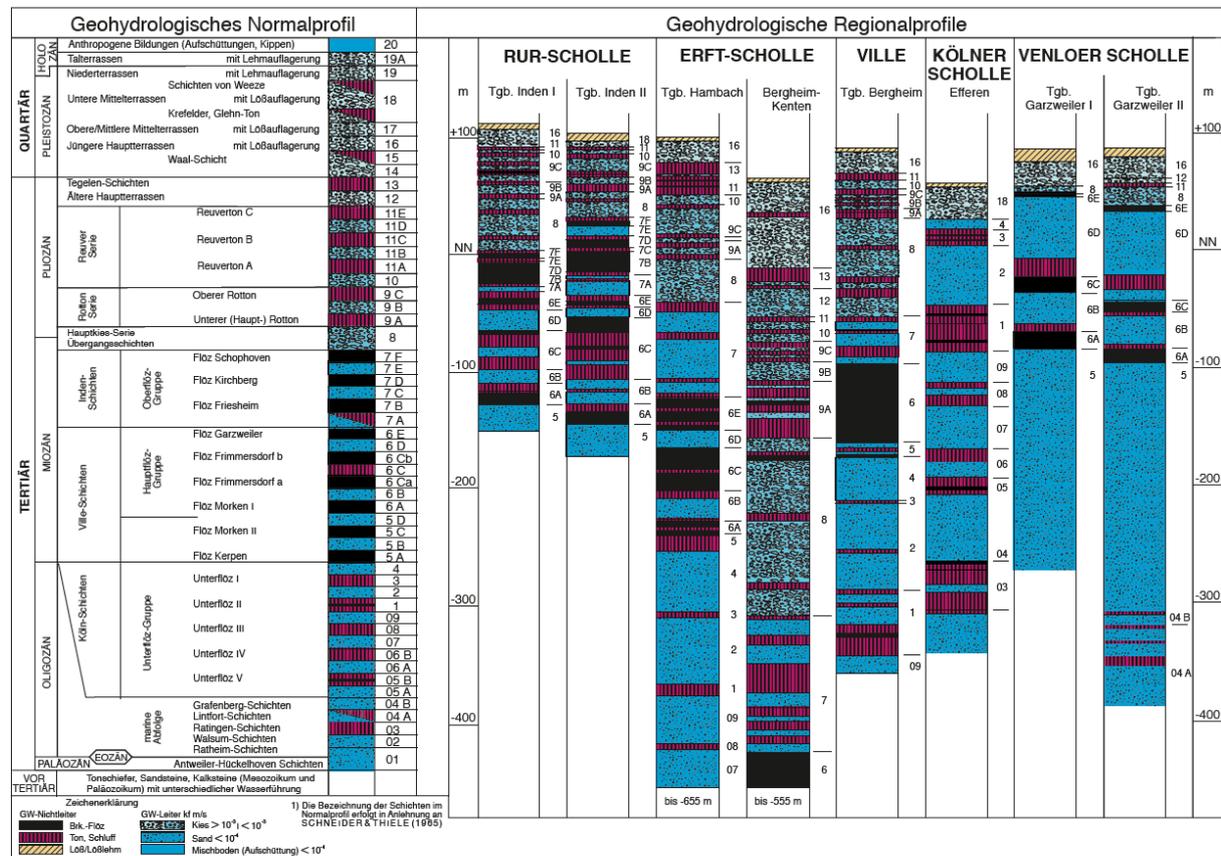


Abbildung 1 Geohydrologische Regionalprofile

Geologischen Räume	Stand
Nördliche Erft-Scholle & nördliche Ville	Erarbeitet durch den Geologischen Dienst NRW, 2020
Südliche Erft-Scholle	Erarbeitet durch den Geologischen Dienst NRW, 2016
Rur-Scholle	Erarbeitet durch RWE Power, 2006
Venloer Scholle	Erarbeitet durch RWE Power, 2002/2005
Kölner Scholle & südliche Ville	Erarbeitet durch Geologischen Dienst NRW, 2008-2015

Tabelle 1 Stand der Geologie in allen geologischen Räumen

	Rurscholle	Erftscholle	Kölner Scholle	Venloer Scholle	Ville
1. Leiter	14 - 19	14 - 19	14 - 19	14 - 19	12-16
	Ton 13	Ton 13		Ton 13	Ton 11
2. Leiter	12	12		12	10
	Ton 11E	Ton 11E		Ton 11E	Ton 9C
3. Leiter	11 vertont	11 vertont		11D	9B
	Ton 11A	Ton 11A		Ton 11C	Ton 9A
4. Leiter	10	10		10	7E-8
	Ton 9C	Ton 9C		Ton 9 oben	Flöz 7B / 7D
5. Leiter	9B	9B		9B	7A
	Ton 9A	Ton 9A		Ton 9 unten	Flöz 6E
6. Leiter	8	8		8	6D
	Flöz 7F	Flöz 7F	Flöz 6A	Flöz 6E	Flöz 6A
				Schluff 6D3	
7. Leiter	7E	7E	Sand 5	6D3	Sand 5
	Flöz 7B/ 7D	Flöz 7B	Ton 5	Schluff 6D2	Ton 5
8. Leiter	7A	7A	Sand 4	6D2	Sand 4
	Flöz 6E	Flöz 6E	Ton 3	Schluff 6D1	Ton 3
9. Leiter	6D	6D	Sand 2	6D1	Sand 2
	Flöz 6C	Flöz 6C	Ton 1	Flöz 6C	Ton 1
10. Leiter	6B	6B	09	6B	09
	Flöz 6A	Flöz 6A	Ton 08	Flöz 6A	Ton 08
11. Leiter	2 - 5	2 - 5	07	04 - 5	07
	Ton 1	Ton 1	Ton 06	Ton 03	Ton 06
12. Leiter	01 - 09	01 - 09	02 - 05	01 - 03	02 - 05

Abbildung 2 Zuordnung der geologischen Grundwasserleiter & -stauer zu den Modellschichten

3.2.2. Tektonische Verhältnisse

Von den im Rheinischen Braunkohlenrevier anzutreffenden Verwerfungen hat der Rheindahlener Sprung im Bereich der Venloer Scholle mit bis zu 120 m die größte Verwurfshöhe. Er grenzt den Venloer Graben nach Nordosten ab. Etwa parallel dazu verlaufen nordöstlich davon der Dülkener und Viersener Sprung. Letzterer bildet die Grenze zwischen Venloer Scholle und Krefelder Scholle. Auf der Krefelder Scholle fehlen aufgrund des hohen Versatzbetrages des Viersener Sprungs jungtertiäre Schichten, wie die auf der Venloer Scholle verbreiteten, stockwerkstrennenden Kohleflöze und Tonschichten. Somit ist dieser Bereich, der auch im Modell in einem nordöstlichen Teilbereich abgebildet ist, hydrogeologisch durch ein zusammenhängendes, tiefreichendes oberes Grundwasserstockwerk charakterisiert. Südlich bzw. südöstlich des Raumes Mönchengladbach sind im Venloer Graben parallel zum Rheindahlener Sprung noch der Wegberger Sprung, die Wickrather Störung und der Odenkirchener Sprung von Bedeutung. Im Westen trennt der Kleingladbacher Sprung den Wassenberger Horst ab. Der Wassenberger Horst, stellt eine Horststruktur dar, die westlich von Gederath den Übergang der Venloer Scholle zur Rur-Scholle kennzeichnet. Auf dem Wassenberger Horst sind durch die tektonischen Bewegungen die wesentlichen tertiären Grundwassergeringleiter der Venloer Scholle nicht ausgebildet. Im nördlichen Anschluss bildet die Meinweg-Staffel den Übergang zur Rur-Scholle. Auf Seiten der Venloer Scholle bildet der Meinweg-Sprung die wesentliche Verwerfung im Übergang vom Venlo-Graben zur Staffel. Aufgrund hydraulischer Wirksamkeiten der beschriebenen Verwerfungssystemen gliedert sich das Strömungsbild in den tieferen Leitern von West nach Ost in die Bereiche zwischen der Rur-Scholle und dem Meinweg-Sprung bzw. dem Kleingladbacher Sprung zwischen diesen und dem Wegberger-Sprung, welcher wiederum mit dem Rheindahlener Sprung eine Einheit abtrennt. Östlich des Rheindahlener Sprungs zeigt sich eine weitere Einheit, die über den Dülkener Sprung hinweg bis zum Viersener Sprung reicht, welcher den stratigraphisch wenig gegliederten östlichen Bereich des Untersuchungsraums abtrennt.

Die Trennung der linksrheinischen Kölner Scholle von der Venloer Scholle ist im Wesentlichen durch ausgehende Flöze und weniger tektonisch begründet.

Der Übergang der Venloer Scholle zur Erft-Scholle wird über weite Strecken vom Lövenicher Sprung gebildet. Die Ausläufer dieses Sprungsystems reichen tief in den nordöstlichen Teil der Erft-Scholle hinein und beeinflussen hier aufgrund ihrer hydraulischen Wirksamkeit die Strömungsverhältnisse in den Grundwasserleitern. Im Bereich des Jackerather Horstes tritt der Ophertener Sprung als trennendes Element in Erscheinung. Östlich davon trägt das Verwerfungssystem die Bezeichnung Kasterer Sprung. Diese letztgenannten Sprünge streichen von West - Ost und weichen damit von der Streichrichtung der übrigen tektonischen

Linien ab (NW - SO). Die Verwerfungen an den Rändern der Erft-Scholle weisen Versatzbeträge von einigen 100 m auf.

Im Osten bildet die Abfolge vom Wiedenfelder Sprung im Nordosten, Horremer Sprung, Erftsprung und Swistsprung im Südosten die Begrenzung der Erft-Scholle zur linksrheinischen Kölner Scholle bzw. deren Teilglied der Ville Hochscholle. Der Rövenicher Sprung grenzt die Erft-Scholle im Südwesten gegen die Euskirchener Scholle ab. Im Westen und Nordwesten stellt der Rurrand die Trennlinie zwischen Erft-Scholle und Rur-Scholle dar. Bei der Erft-Scholle handelt es sich um eine Kippscholle, deren Schichten in der Regel von SW nach NO einfallen, also vom Eifelrand im Südwesten zum zentralen Teil bei Bergheim. Aus der Beckenstruktur ergibt sich die Zunahme der Mächtigkeit der tertiären und quartären Schichtenfolge von den Rändern bis zum Tiefsten. Die Sprungsysteme der Erft-Scholle folgen hinsichtlich des Streichens in der Regel der Hauptrichtung Nordwest-Südost der großen Sprungsysteme an den Rändern der Erft-Scholle sowie der eigentlichen Muldenachse. Eine große Anzahl dieser Störungen ist hydraulisch wirksam und beeinflusst damit die Grundwasserverhältnisse in der Erft-Scholle entscheidend. Das Sprungsystem des Steinstraß Sprunges hat seinen Ursprung in der nördlichen Erft-Scholle und zieht von dort in südöstlicher Richtung östlich der Sophienhöhe bis in den Bereich der Nordrandböschung des Tagebaus Hambach. Aufgrund der Versatzbeträge von bis zu 50 m ist es vor allem in den Horizonten 6B und 6D hydraulisch wirksam. Im Bereich Niederzier besteht über die Auffächerung des Rurrand - Sprungsystems eine Verbindung von den Grundwasserleitern der Erft-Scholle zu den Grundwasserleitern der Rur-Scholle. Südöstlich des Rurrand – West und des Werhahn Sprungs stellt der als Staffel ausgebildete Sprung von Buir eine hydraulische Barriere für die oberen Grundwasserleiter dar. Der Wissersheimer Sprung beginnt östlich der Ortslage Elsdorf und streicht zunächst NW – SO bevor er auf der Höhe von Kerpen seine Streichrichtung nach SSO ändert. Auf halber Strecke zwischen den Ortslagen Nörvenich und Lechenich geht er in den Rand von Erp über.

Der Übergang zur Rur-Scholle wird durch den Rurrand gebildet. Als tektonische Einheit wird die Rur-Scholle durch Nordwest-Südost streichende Verwerfungen geprägt. Wesentliche Verwerfungen in der Umgebung des Tagebaus Inden sind der Sprung von Pier, der Lamersdorfer Sprung und die Weisweiler Störung. Der Siersdorfer Westsprung, der Frelenberger Sprung und der Sprung von Gangelt entfalten ihre hydraulische Wirksamkeit nordwestlich des Tagebaus Inden in der zentralen Rur-Scholle. Südöstlich Düren grenzt die Rur-Scholle im Südwesten unmittelbar an das Devon bzw. die Triasmulde. Den Raum Euskirchen - Düren durchziehen mehrere Störungen mit nordwest-südöstlicher Streichrichtung. Wie auch im Erftbecken, ist bei ihnen der südwestliche Teil abgesunken und

der nordwestliche Teil gehoben. Die Südwestgrenze des gesamten Raumes wird durch die Verwerfungen Sandgewand und Feldbiss definiert.

3.2.3. Durchlässigkeits- und Speicherparameter

Der lithostratigraphische Aufbau des Rheinischen Braunkohlenreviers weist Wechsellagerungen von gut durchlässigen Kies- und Sandschichten mit weniger gut durchlässigen Ton-Schluff- und Kohlehorizonten auf. Dadurch ergeben sich mehrere grundwasserleitende und -stauende Schichten, die flächenhaft jedoch unterschiedlich verbreitet sind. Ein Wasseraustausch zwischen den einzelnen Grundwasserleitern erfolgt dabei in erster Linie an den flächigen Kontaktbereichen, an denen keine Stauer vorhanden sind. Großflächig kommt es durch Leakage zu Fließbewegungen über Grundwasserstauer, lokal an tektonischen Strukturen und auch über Flözversandungen. Aus einer Vielzahl von Bohrungen und auch aus Pumpversuchen sind die Größenordnungen der Durchlässigkeiten für die einzelnen Horizonten im Rheinischen Braunkohlenrevier bekannt. Innerhalb dieses Wertespektrums wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte im Zuge der Modellkalibrierung variiert. Eine detaillierte Erläuterung der durch die Kalibrierung ermittelten Durchlässigkeiten der einzelnen Modellgrundwasserleiter wird in Kapitel 5.3.1 gegeben.

3.2.4. Grundwasserneubildung

Von der Arbeitsgruppe Grundwasserneubildung (Erftverband et al., 2012) wurden die im Rheinischen Braunkohlenrevier überwiegend eingesetzten Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten langjährigen Grundwasserneubildung nach Schröder und Wyrwich (1990), GROWA (Kunkel und Wendland, 2002) und KLIMA/GLADIS (Schrey, 1993) hinsichtlich ihrer methodischen Ansätze und ihrer Berechnungsergebnisse verglichen. Ausgehend von der Eingangsgröße Niederschlag und der Bestimmung flächendifferenzierter Verdunstungshöhen berechnen die Verfahren nach Auftrennung oberirdischer und unterirdischer Abflusskomponenten wiederum flächendifferenziert die Grundwasserneubildung als Restglied der Wasserbilanz. Die Ergebnisvergleiche wurden auf hydrogeologische Teilräume (Schollen) und Niederschlagsräume bezogen, sowie innerhalb von Einzugs- bzw. Schutzgebieten von Wassergewinnungsanlagen durchgeführt, für die Erfahrungswerte vorliegen. Es wurde ein einheitlicher Referenzzeitraum von 1961 bis 2000 für die Berechnung der Grundwasserneubildung herangezogen. Zudem wurde eine Validierung der Berechnungsergebnisse anhand von Abflussdaten ausgewählter Abflusspegel vorgenommen.

Es zeigt sich, dass alle drei Verfahren auf der Grundlage klimatischer und gebietscharakteristischer Daten überwiegend belastbare Berechnungsergebnisse der

mittleren Grundwasserneubildung liefern. Auf der Ebene der hydrogeologischen Einheiten ergeben sich jedoch mit 0,25 bis 0,5 l/(s*km²) nur geringe durchschnittliche absolute Abweichungen.

Im vorliegenden Reviermodell 2022 wurden die Berechnungsergebnisse nach Schröder und Wyrwich (1990) genutzt. Die ermittelten Werte ([Anlage 11](#)) liegen zum überwiegenden Teil zwischen 2 und 9 l/s/km². Kleinräumig kommt es zu Über- und Unterschreitungen dieser Werte auf minimal -4,7 l/s/km² und maximal 14 l/s/km². Der Durchschnittswert liegt aufgrund des Einflusses durch die vergleichsweise trockene Erft-Scholle bei etwa 5,7 l/s/km². Damit liegt im Reviermodell die Gesamtsumme der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung bei etwa 751 Mio. m³/a. Im Vorgängermodell betrug die nach dem Verfahren von Dorhöfer/Josopait im Modellgebiet angesetzte Gesamtsumme der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung 830 Mio. m³/a. Im Bereich offener Betriebsflächen der Tagebaue wurde die Grundwasserneubildung ab dem Zeitpunkt der Inanspruchnahme durch den Tagebau verdoppelt. Damit wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass durch den Wegfall der Vegetation dort keine Evapotranspiration mehr stattfinden kann, welche unter normalen Umständen während der Vegetationsperiode die Sickerwassermenge verringert. Für die Zeiträume nach der Verkippung auf das endgültige Niveau wurden in der Annahme einer unmittelbar folgenden Rekultivierung die ursprünglichen Regenerationsraten wieder aktiviert. Darüber hinaus kann lokal bei Nutzungsänderung des Geländes, z.B. durch Versiegelung, die Neubildungsrate variiert werden.

Die Grundwasserneubildungsrate wird jährlich vom Erftverband ermittelt und schwankt naturgemäß über die Zeit. Der Jahresniederschlag lag zum Ende des Kalibrierungszeitraums 2021 im Tätigkeitbereich des Erftverbandes bei einer Höhe von 766 mm, was einen normalen Wert im Vergleich zum langjährigen Mittel aus der Referenzperiode 1961 bis 1990 darstellt. Während das Sommerhalbjahr 2021, nicht zuletzt auf Grund der massiven Starkregenereignisse im Juli, als „nass“ einzustufen war, lagen die Niederschlagsmengen im für die Grundwasserneubildung entscheidenderen Winterhalbjahr knapp unter dem Vergleichswert. Insgesamt ergab sich so eine Grundwasserneubildungsrate zum Ende des Kalibrierungszeitraums, welche in der ganzjährigen Betrachtung ziemlich genau dem langjährigen Mittelwert entsprach. Abbildung 3 zeigt die Schwankungen der jährliche Grundwasserneubildung innerhalb des Kalibrierungszeitraumes in Relation zum langjährigen Mittel. Die Grundwasserneubildung wirkt sich je nach hydrologischen und hydrogeologischen Randbedingungen unterschiedlich auf den Grundwasserstand aus. So erfolgt in Gebieten hohen Flurabstandes eine deutlich verzögerte und in ihrer Amplitude gedämpfte Grundwasserneubildung als in Gebieten geringen Flurabstandes.

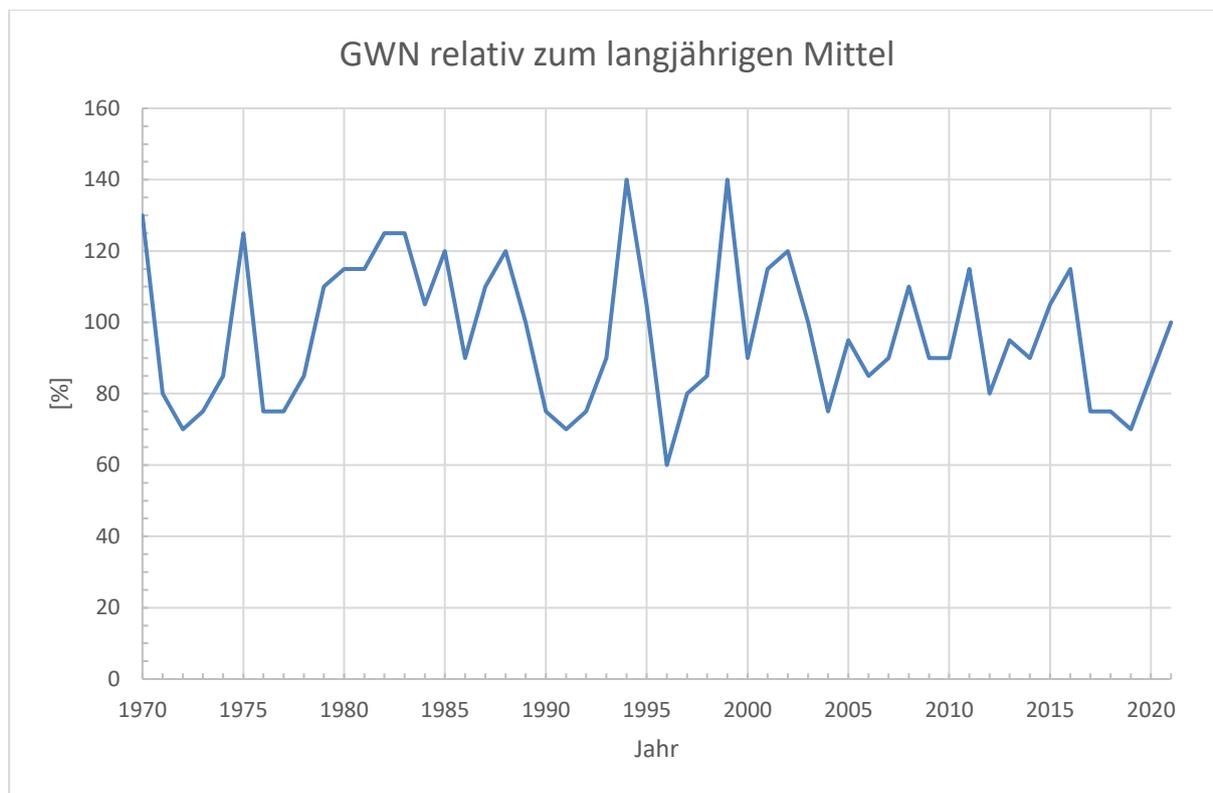


Abbildung 3 Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung

3.3. Hydrologische Verhältnisse

3.3.1. Rhein

Die Grundwasserverhältnisse im mächtigen oberen Grundwasserstockwerk der linksrheinischen Kölner Scholle des Jahres 1970 wurden wie heute auch vornehmlich durch den Rhein bestimmt. Damit ist der Rhein der dominierende Vorfluter. Ihm fließt das Grundwasser mit relativ flachem Gefälle zu. Lokal haben sich Absenktrichter um die größeren in Rheinnähe befindlichen Grundwasserentnehmer gebildet, die im Wesentlichen durch Uferfiltrat angeströmt werden. Der Rheinwasserspiegel unterliegt im Vergleich zu den Jahresmittelwerten Schwankungen im Bereich von mehreren Metern. Diese Dynamik spiegelt sich in den vorfluternahen Grundwasserständen wider.

3.3.2. Gewässersystem Erft

Aufgrund der Vielzahl von Nebenarmen und dem ausgeprägten Einfluss wird im Reviermodell das Gewässersystem der Erft besonders detailliert abgebildet. Die Erft entspringt am Nordwestrand des zur Eifel gehörenden Ahrgebirges im Kreis Euskirchen. Ihre Quelle befindet sich unterhalb des Himbergs bei Nettersheim-Holzmulheim. Von dort fließt sie anfangs in

nordöstlicher und dann überwiegend in nördlicher Richtung unter anderem über Bad Münstereifel und tritt wenig später bei Stotzheim südlich von Euskirchen in die Rur-Scholle und somit in das Modellgebiet ein. Sie verfolgt ihren Weg weiter über Euskirchen in Richtung Weilerswist, Erftstadt und Kerpen und verlässt die Erft-Scholle bei Bedburg. Bis Frimmersdorf verläuft die Erft auf rekultiviertem Gebiet. Ab Gindorf/Gustorf ist das Gewässersystem durch Flussbegradigungen, verzweigte Entwässerungsgrabensysteme und Mühlenstau gekennzeichnet. Als wesentliche Zuflüsse sind Swistbach, Rotbach und Neffelbach zu nennen, die bei Weilerswist, Kerpen bzw. Dirmerzheim der Erft zufließen. In die Erft münden weiterhin bei Weckhoven der Gillbach, bei Selikum der Hummelsbach und nördlich von Erfttal die Norf. Bei Reuschenberg zweigt die Obererft in Richtung Norden ab und mündet in den Neusser Hafen. Die Erft selbst mündet bei Gnadental in den Rhein. Der Überlauf des zukünftigen Tagebausees Hambach soll über den Winter- und den Wiebach schließlich in die Erft geleitet werden.

3.3.3. Gewässersystem Rur

Die Rur entspringt am Osthang des Hohen Venn auf belgischem Gebiet, tritt bei Kreuzau in das Modellgebiet ein und mündet nach einer Strecke von etwa 161 km auf niederländischem Gebiet bei Roermond in die Maas. Sie ist das Hauptgewässer im Bereich der Rur-Scholle und durchfließt diese von Südost nach Nordwest. Das Abflussregime ist aufgrund der in der Nordeifel durchflossenen Talsperren stark vergleichmäßig. Die Wasserscheide zum Stromgebiet des Rheins liegt nur wenige Kilometer östlich der Rur und entspricht geologisch dem Übergang zur Erft-Scholle.

3.3.4. Gewässersystem Inde

Die Inde ist der größte Nebenfluss der Rur. Sie entspringt auf belgischem Gebiet in der nördlichen Abdeckung des Hohen Venn und tritt im Raum Eschweiler in das Modellgebiet ein. Sie mündet nach einer Fließstrecke von 42 km bei Jülich – Kirchberg in die Rur. Das Abflussregime ist geprägt durch eine stark schwankende Wasserführung mit zum Teil hohen Abflussspitzen. Der Unterlauf der Inde wurde Mitte des vergangenen Jahrhunderts begradigt und ausgebaut. Die Inde durchfließt das Abbaugbiet des Tagebaus Inden. Damit der Tagebau planmäßig weiterbetrieben werden konnte, musste die Inde verlegt werden. Die Trassierung der neuen Inde wird im Wesentlichen durch die Tagebaugeometrie bestimmt und verläuft zwischen Lamersdorf im Süden und Kirchberg im Norden westlich um den Tagebau Inden herum. Etwa 9 km des neuen, insgesamt etwa 12 km langen Flussabschnittes, befinden sich damit im Bereich der bergbaulichen Rekultivierung. Der nördlich gelegene Überlauf des

zukünftigen Tagebausees Inden soll über eine vorgeschaltete Flachwasserzone in die Inde abgeleitet werden.

3.3.5. Gewässersystem Wurm

Die Quellbäche der Wurm entspringen im Süden der Stadt Aachen im Aachener Wald nahe der belgischen Grenze auf einer Höhe von etwa 280 mNHN. Bereits im Stadtgebiet von Aachen ist die Wurm verrohrt. Nördlich von Aachen nimmt sie einen natürlichen Verlauf. Sie tritt bei Übach-Palenberg in das Modellgebiet ein und mündet nach einer Fließstrecke von etwa 53 km bei Heinsberg-Kempen in die Rur.

3.3.6. Jüchener Bach und Nordkanal

Der Jüchener Bach beginnt im Ortsbereich Jüchen und verläuft durch die Ortslagen Glehn und Kleinenbroich in Richtung Norden bis zum Nordkanal. Dieser beginnt nordöstlich des Flugplatzes Mönchengladbach und verläuft in Richtung Osten. In Neuss mündet er in die Obererft bzw. in den Neusser Hafen.

3.3.7. Gewässersystem Niers

Die Niers beginnt am Zourshof im Raum Kuckum. Sie verläuft durch Wanlo, Wickrath, Odenkirchen, Rheydt bis Neuwerk in Richtung Norden. Hier schwenkt sie nach Nordwesten und verläuft nördlich von Viersen und Süchteln außerhalb des Modellgebietes weiter in Richtung NNW zur Maas. Als größere östliche Nebengerinne der Niers sind der Trietbach, der im Hoppbruch südlich von Korschenbroich beginnt und die Cloer zu nennen. Größere westliche Nebenarme sind der Schwarzbach und der Hammerbach. Der Überlauf des zukünftigen Tagebausees Garzweiler soll in die Niers abgeleitet werden, sodass heutige Stützungsmaßnahmen abgestellt werden können und das Gewässersystem auch im Oberlauf natürlich stabil ist.

3.3.8. Gewässersystem Nette

Die Nette beginnt in Dülken und verläuft durch Boisheim und Lobberich in nordwestlicher Richtung. Sie mündet bei Wachtendonk in die Niers. Nebengewässer im Untersuchungsgebiet sind Pletschbach, Sonnenbach, Mühlenbach und Königsbach.

3.3.9. Gewässersystem Schwalm

Die Schwalm entspringt südlich von Wegberg im Raum Tüschenbroich/Geneiken. Sie verläuft bis Brüggen in Richtung Nordwesten und von dort zur deutsch – niederländischen Grenze in Richtung Westen, wo sie bei Swalmen in die Maas mündet. Größere Nebengewässer der

Schwalm sind Wingsgraben, Beecker Bach, Mühlenbach, Knippertzbach, Hellbach, Slipsbach, Silverbach, Lütterbach, Kranenbach, Elmpter Bach und Diergardtscher Kanal. Zudem entwässern einige kleinere Vorfluter im Bereich der Maasniederung zur Schwalm.

3.3.10. Stillgewässer

Größere Stillgewässer im Bereich der Rur-Scholle sind der Zülpicher See, der Neffelsee, der Dürener See, der Echtzer See, der Lucherberger See, der Blausteinsee, der Kirchberger Kiessee, der Barmener See, der Adolfosee, die Ophovener Seen und der Effelder Waldsee. In der Kölner Scholle hat der Kiesabbau eine Reihe von Stillgewässern geschaffen. Hinzu kommen Seen, die nach Beendigung der zahlreichen kleineren Tagebaugruben in der Ville entstanden sind. Hierzu zählt der Lucretia See als Restloch des Tagebaus Lucretia oder auch der Donatus See, der auf der Fläche des ehemaligen Tagebaus Donatus entstanden ist. Dieser Gruppe gehören als bedeutende Gewässer der Kölner Scholle auch der Köttinger See, der Concordia See, das Zieselsmaar, der Bleibtreu See, der Heiderbergsee, der Otto- Maigler-See, der Liblarer See uvm. an. Sie wurden alle im Grundwassermodell berücksichtigt. Sofern die wesentlichen Daten vorhanden waren, konnten sie direkt in das Modell eingepflegt werden. In Fällen in denen die Datenlage weniger günstig war, wurden plausible Werte für die fehlenden Parameter angenommen. Auch große Badeseen wie der Fühlinger See mit seiner Regattastrecke, fanden bei der Modellerstellung Berücksichtigung. In der Venloer Scholle wurden alle wesentlichen Seen, insbesondere entlang der Schwalm und der Niers sowie in der Umgebung der Maas, im Grundwassermodell berücksichtigt. In der Erft-Scholle sind keine bedeutenden Seen vorhanden.

3.4. Grundwasserentnahmen

Im Modellgebiet lag die Grundwasserentnahme durch alle bekannten öffentlichen und privaten Entnahmen einschließlich der Entwässerungsmaßnahmen für den Braunkohlenbergbau in den Jahren 1970 bis 2021 zwischen 1.450 und ca. 800 Mio. m³/a, wobei die hohen Mengen in den 1970er Jahren im Zusammenhang mit den Villetagebauten gehoben wurden (s. Abbildung 4). Die Entnehmerdaten von 1970 bis 1998 wurden seitens RWE Power jährlich erfragt und im Grundwassermodell abgebildet. Ab dem Jahr 1998 sind alle nicht tagebaubedingten Brunnendaten aus der vom Erftverband gepflegten Entnehmerdatenbank übernommen worden. Damit sind ab 1998 und bis 2019 alle bekannten und registrierten Grundwasserentnahmen größer 5.000 m³ pro Jahr im Grundwassermodell abgebildet.

So betrug die Gesamtmenge bergbaufremder Grundwasserentnahmen in der **Erft-Scholle** zuletzt ca. 42,5 Mio. m³ und entfiel zu annähernd 90% auf die öffentliche Trinkwasserversorgung, während industrielle und private Entnehmer eine entsprechend

untergeordnete Rolle spielen. Demgegenüber wurden im Jahr 2021 für die Trockenhaltung des Tagebaus Hambach ca. 292 Mio. m³ gehoben.

Die nicht tagebaubedingten Entnahmen auf der **Rur-Scholle** lagen Stand 2019 unter Einbeziehung des niederländischen Gebiets bei knapp 46 Mio. m³, wohingegen die Sumpfung des Tagebaus Inden im Jahr 2021 ca. 67 Mio. m³ erforderte.

Im selben Jahr wurden auf der **Venloer Scholle** etwa 104 Mio. m³ Sumpfungswasser gehoben. Auf die zahlreichen kleinen und mittleren sonstigen Entnehmer entfielen im Jahr der letzten Datenübermittlung 2019 rund 89 Mio. m³. In dieser Bilanzierung enthalten sind die zahlreichen kleinen und mittleren Entnahmen ohne Sumpfungsbezug auf dem vom Modellgebiet eingeschlossenen Bereich der **Krefelder Scholle**.

Die linksrheinische **Kölner Scholle** erfährt keinerlei bergbaubedingte Grundwasserentnahme, es wurden jedoch 2019 etwa 203 Mio. m³ - meist in Rheinnähe in großen Galerien - für die Industrie und die Trinkwasserversorgung gehoben.

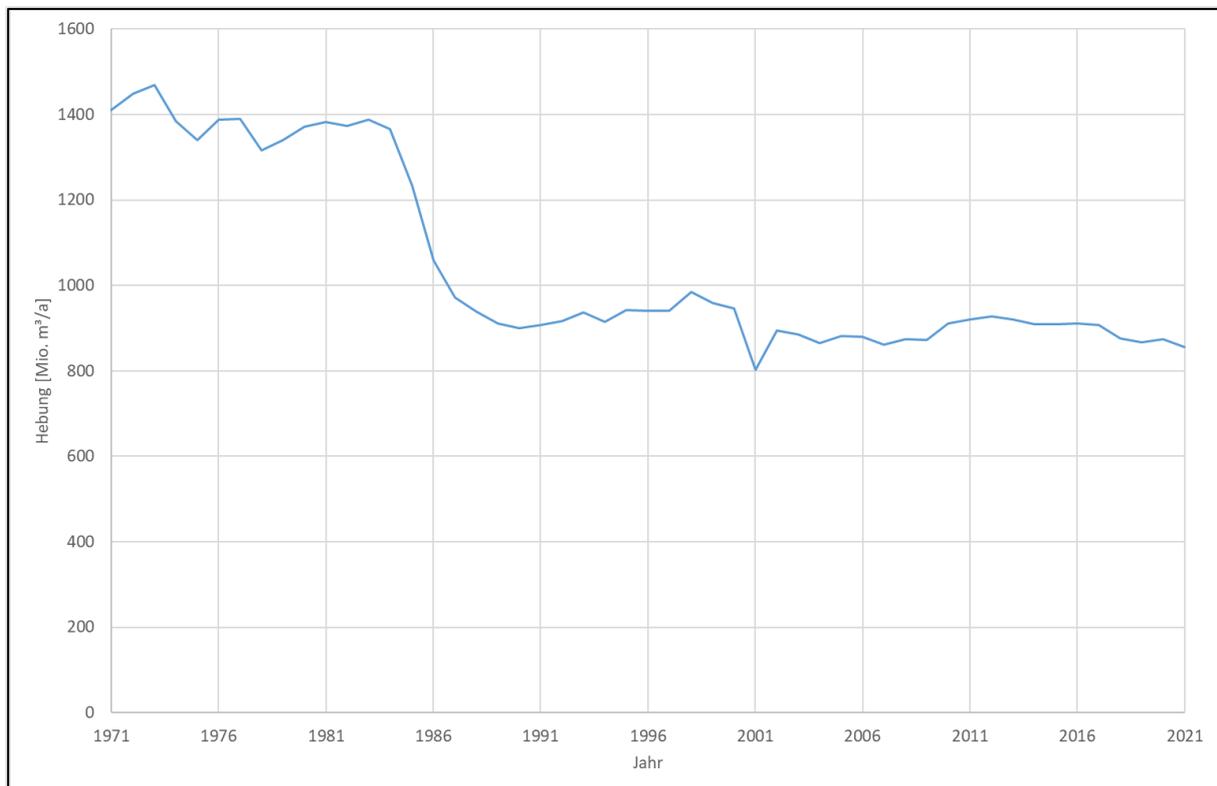


Abbildung 4 Grundwasserentnahmen Dritter und für die Tagebauentwässerung im Modellgebiet

3.5. Grundwasseranreicherung

Da sich die durch Entwässerungsmaßnahmen der Tagebaue verursachten Grundwasserabsenkungen nicht auf den Tagebau begrenzen lassen, sind Auswirkungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse in einem größeren Umfeld nicht zu vermeiden. Während im größten Teil des Modellgebietes die Flora unabhängig vom Grundwasserspiegel existiert, gibt es insbesondere in der Venloer Scholle und in der Rur-Scholle eine Reihe von Bachniederungen mit schützenswerten Feuchtgebieten, die vor allem von flurnah zuströmendem Grundwasser leben ([Anlage 1](#)).

In der Venloer Scholle haben die Auswirkungen der Sumpfungmaßnahmen für die Tagebaue Frimmersdorf-West und -Süd die Niederungen an Erft und Norf sowie am Oberlauf der Niers erreicht. Seit Anfang der 1980er Jahre sind Auswirkungen der Sumpfungmaßnahmen für den Tagebau Garzweiler I bis in den Raum südöstlich von Wegberg erkennbar. Damit sich der Einfluss der bergbaubedingten Grundwasserabsenkung nicht weiter auf die Flussniederungen mit grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebieten ausdehnt, wurden bis heute umfangreiche Versickerungsmaßnahmen realisiert. Damit wurde erreicht, dass die für den Erhalt der Flora und Fauna in den genannten Feuchtgebieten erforderlichen Grundwasserstände weitestgehend gehalten werden. Bereits Ende der 1980er Jahre wurde in der Mühlenbachaue und Anfang der 1990er Jahre auch im Schwalmquellgebiet mit Gewässerstützungsmaßnahmen in Form von Sickermulden und Direkteinleitungen sowie mit der Versickerung begonnen. Zur großflächigen Stützung der Grundwasserverhältnisse wurden ab Mitte 1993 sukzessive Sickerschlitze und Sickerbrunnen im Bereich östlich und westlich von Schwalm/Mühlenbach in Betrieb genommen.

3.6. Braunkohlenbergbau

Die gegenwärtig betriebenen Tagebaue üben mit ihren Entwässerungsmaßnahmen einen deutlichen Einfluss auf die Grundwasserströmungsverhältnisse aus. Darüber hinaus verändern sie die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im unmittelbaren Abbaubereich auch über das Ende des Bergbaus hinaus.

3.6.1. Tagebau Garzweiler

Im Tagebau Garzweiler erfolgte der Abbau bis 2005 zweiflügelig mit dem Drehpunkt östlich der Ortschaft Garzweiler. Entgegen dem Uhrzeigersinn wurde dann bis vor die A44 geschwenkt, die im Jahr 2006 erreicht wurde. Um den neuen Drehpunkt südwestlich von Garzweiler wurde dann der Bereich zwischen der A44 und der A61 überschwenkt. Bevor die A61 in Anspruch genommen wird, musste für die A44 wieder eine neue Trasse auf der Kippe hergestellt werden. Dies erfolgte durch eine entsprechende Dammschüttung. Nach 2017

schwenkte bzw. schwenkt der Tagebau Garzweiler zunächst gegen den Uhrzeigersinn in südwestliche Richtung auf.

Zum Zeitpunkt der Erarbeitung des vorliegenden Reviermodells galt die Leitentscheidung der Landesregierung Nordrhein-Westfalens vom März 2021 als maßgeblich für die Planung des Tagebaus Garzweiler, sodass die Entwicklungen seither keinen Eingang in diese Modellgeneration finden konnten. Dementsprechend ist modellseitig noch eine Inanspruchnahme des 3. Umsiedlungsabschnittes implementiert und das schwenkende Ende des Tagebaus erreicht in diesem Szenario etwa im Jahr 2030 den gemäß zugelassenem Rahmenbetriebsplan geplanten Stand nahe der Ortslage Kaulhausen. In den darauffolgenden Jahren wird der Tagebau weiter gegen den Uhrzeigersinn von Norden kommend auf die Ortschaft Holzweiler fortgeführt, bis seine endgültige Ausdehnung erreicht ist. In dieser vom aktuellen Planungsszenario abweichenden Implementierung wird die Auskohlung des Tagebaus Garzweiler erst Ende 2038 beendet sein. Die Betriebsfläche des Tagebaus Garzweiler und die Fläche des zukünftigen Tagebausees Garzweiler nach implementierter Planung sind in Abbildung 5 dargestellt.

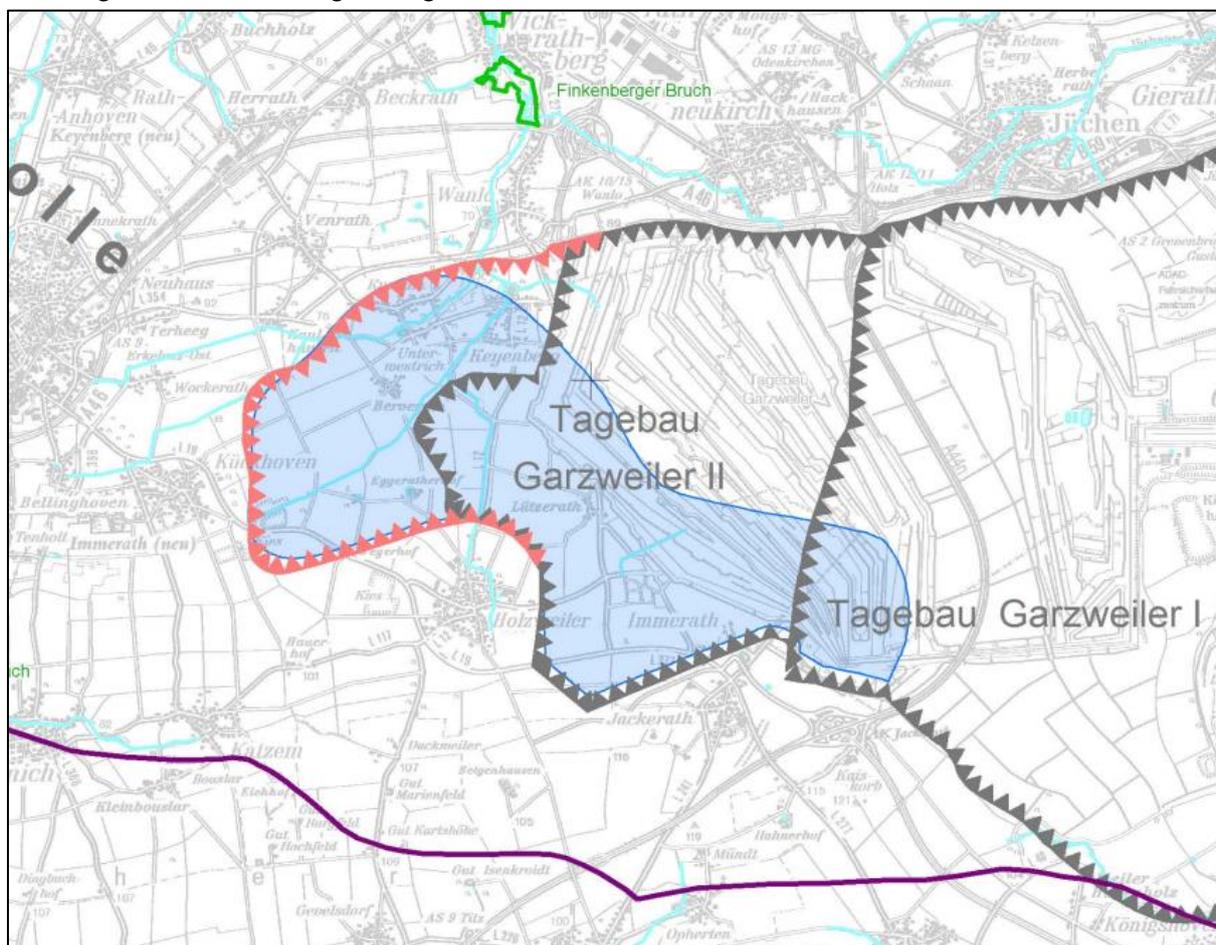


Abbildung 5 Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Garzweiler und den zukünftigen Tagebausee. Die rote Betriebslinie zeigt den im Grundwassermodell umgesetzten, die schwarze den aktuellen Planungsstand.

3.6.2. Tagebau Hambach

Der Tagebau Hambach wurde im Jahre 1978 aufgeschlossen. Seither entwickelte er sich um einen östlich vor Niederzier gelegenen Drehpunkt im Uhrzeigersinn zunächst in nordöstlicher dann in östlicher und schließlich in südöstlicher Richtung. Durch das starke Einfallen der Schichten nach Nordosten zum Beckenzentrum hin erreichte der Tagebau dort 2021 seine Maximalteufe. Die Implementierung im Modell basiert auf der gemäß Leitentscheidung der Landesregierung Nordrhein-Westfalens im März 2021 angepassten Planungsgrundlage und berücksichtigt dementsprechend den Verzicht auf bergbauliche Inanspruchnahmen im Süden des bisherigen Abbaufeldes, was insbesondere die Restfläche des Hambacher Forsts, den Merzenicher Erbwald und die Ortschaft Morschenich betrifft. In diesem Planungsszenario ist die Einstellung des Tagebaubetriebes Ende 2029 vorgesehen. Die Betriebsfläche des Tagebaus Hambach und die Fläche des zukünftigen Tagebausees Hambach nach implementierter Planung sind Abbildung 6 dargestellt.

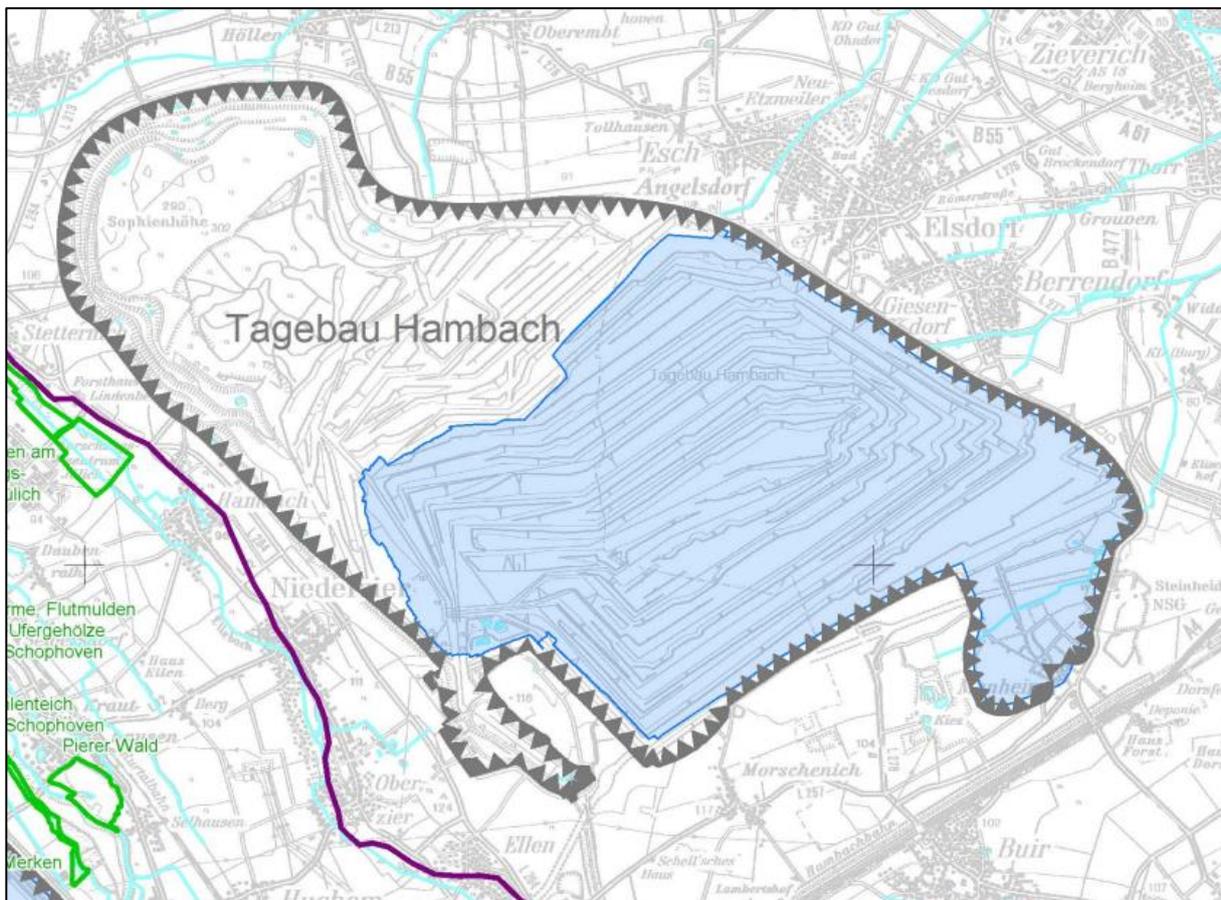


Abbildung 6 Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Hambach und den zukünftigen Tagebausee

3.6.3. Tagebau Inden

Die Abbauführung im Tagebau Inden vollzieht sich im Schwenkbetrieb in östliche und später in südöstliche Richtung etwa parallel zur Rur südwestlich von Viehöven und Schophoven. Die südöstliche Begrenzung des im Modell eingebauten Tagebaus stellt die Ortslage von Merken dar, im Südwesten die Ortslage Lucherberg und der Lucherberger See. Teile des Lucherberger Sees werden in der Endphase des Abbaus bergbaulich in Anspruch genommen. Im bisherigen Abbaufeld westlich der Inde konzentrierte sich die Gewinnung auf die Oberflözgruppe. In den südöstlichen Feldesteilen spalten sich die genannten Flöze auf und führen Zwischenmittel bis zu einer Mächtigkeit von 20 m. Von der Hauptflözgruppe sind im räumlichen Teilabschnitt II des Abbaufeldes die Flöze Garzweiler und Frimmersdorf mit einer Gesamtmächtigkeit von durchschnittlich 40 m abbauwürdig. Bei einem generellen Einfallen der Schichten von 3° bis 6° nach Nordosten schwankt die Tagebauteufe zwischen 30 m im Südwesten bei Aldorf und 230 m im Nordosten westlich von Schophoven.

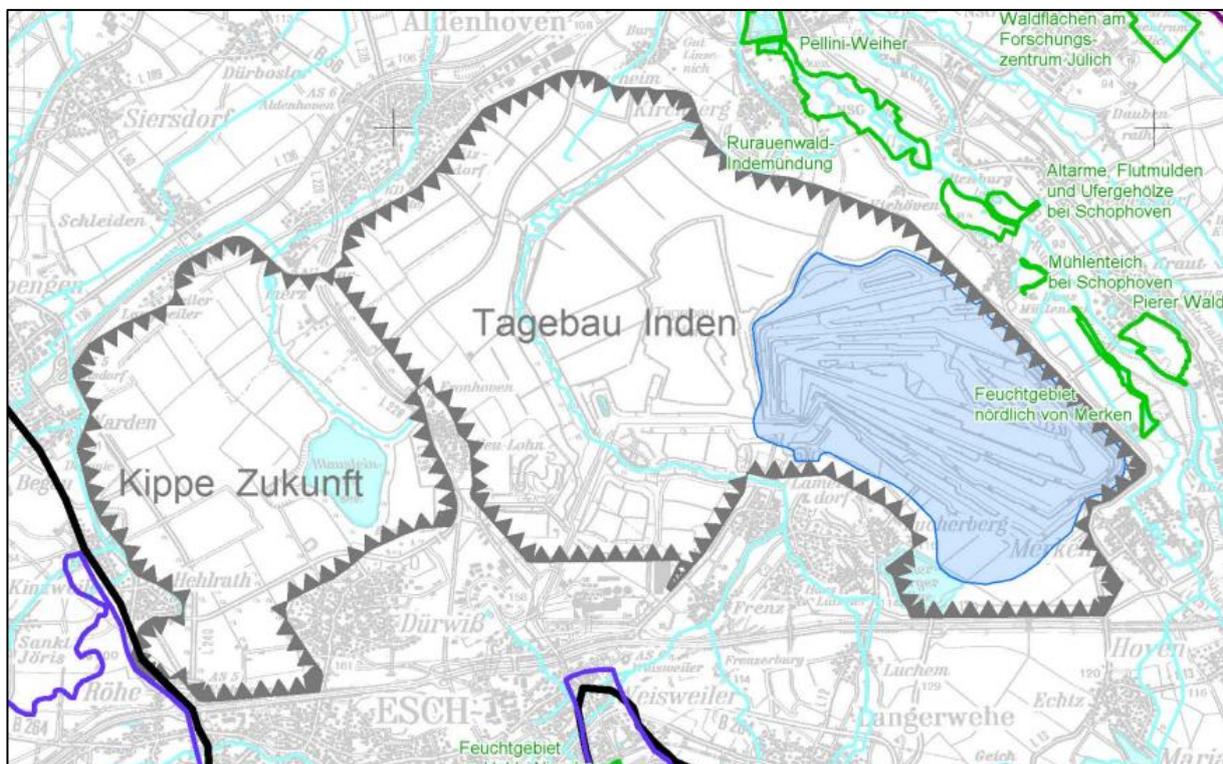


Abbildung 7 Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Inden und den zukünftigen Tagebausee

Die im Grundwassermodell implementierte Tagebauplanung ist vom Stand des Aprils 2020. Diese Planung beinhaltet eine nicht-Inanspruchnahme der Flächen südwestlich der Ortschaft Merken. Jedoch konnten neuere Planungen, wie der Lamersdorfer Kanal im Westen des Tagebausees oder die Lucherberger Lagune beim jetzigen Lucherberger See, nicht im Grundwassermodell berücksichtigt werden. Die implementierte Planung sieht ein Ende des

Tagebaubetriebs im Jahr 2029 vor. Die Betriebsfläche des Tagebaus Inden und die Fläche des zukünftigen Tagebausees Inden nach implementierter Planung sind in Abbildung 7 dargestellt.

3.6.4. Alttagebaue

Mit dem Villerücken sind auch die von den Alttagebauen in Anspruch genommenen Bereiche im Modellgebiet enthalten. Die Tagebaue Fortuna/Garsdorf, Bergheim, Fortuna Alt/Beisselsgrube, Frechen und der Tagebau Ville werden im Grundwassermodell in ihrer Abbau- und Kippenführung umgesetzt. Nach Auslaufen der Tagebaue und deren Verfüllung sowie der Beendigung der Sumpfungmaßnahmen in diesen Bereichen bildeten sich in den jeweiligen Abraumkörpern zusammenhängende Kippenwasserspiegel aus.

Nach Auslaufen der Tagebaue und deren Verfüllung sowie der Beendigung der Sumpfungmaßnahmen in diesen Bereichen bilden sich in den jeweiligen Abraumkörpern zusammenhängende Kippenwasserspiegel aus. Dieser Vorgang ist in den genannten Alttagebauen noch nicht vollständig abgeschlossen, da der Bereich noch deutlich von den Sumpfungmaßnahmen der Tagebaue Hambach und Garzweiler beeinflusst wird.

4. Rechenprogramm

Zur Berechnung der Grundwasserströmungsvorgänge mit dem Grundwassermodell wird das Rechenprogramm GWDREI verwendet. Es wurde zur Simulation der nichtstationären dreidimensionalen gesättigten Grundwassermengen- und -güteströmung in bergbaulich beeinflussten Strömungsräumen entwickelt. Es baut auf dem Verfahren der finiten Volumen auf.

4.1. Diskretisierung in Raum und Zeit

Zur Diskretisierung des Ortes wird das flexible Verfahren der Bildung unregelmäßiger Modellknotenetze (Dreiecknetze) angewendet, wodurch komplizierte geologische, hydrogeologische oder hydrographische Strukturen sowie beliebig gekrümmte Modellberandungen im ortsdiskreten Grundwassermodell sehr gut abgebildet werden können. Dem zu untersuchenden Grundwasserströmungsraum entsprechend erfolgt die räumliche Diskretisierung für ein Strombandmodell mit nichtäquidistanten Punktabständen und Strombandbreiten als orthogonales Elementnetz für einen oder mehrere Grundwasserleiter und für ein Gebietsmodell durch eine beliebige Punktwolke, die in ein Dreiecknetz und ein

Elementnetz überführt wird. Das Dreiecknetz wird durch Triangulation der Punktwolke gebildet, wobei an einem Punkt bis zu neun Dreiecke anliegen können. Das Element- oder Polygonnetz entsteht für Modellpunkte, die sich im Innern des Strömungsraumes befinden aus der Verbindung der Dreiecksschwerpunkte. Für Modellpunkte die auf dem Modellrand stehen, kommt noch die Verbindung der am Rand gelegenen Dreiecksschwerpunkte durch das Lot auf den Rand hinzu. Die Elementfläche ergibt sich aus der Berechnung der Flächen der Polygone. Der zur Berechnung der hydraulischen Widerstände bzw. Leitwerte notwendige Fließweg ist durch den Abstand der Modellpunkte zu seinen Nachbarn gegeben. Die Fließwegbreite wird durch Summation der Lote vom anliegenden Dreiecksschwerpunkt auf die Dreiecknetzseite berechnet. Die räumliche Diskretisierung ist bei Modellen mit mehreren Grundwasserleitern für jeden Grundwasserleiter gleich.

Dem Rechenprogramm liegt eine frei wählbare Zeitdiskretisierung zugrunde. Äquidistante und/oder nichtäquidistante Zeitschritte können als Diskretisierung der Zeit für die nichtstationäre Grundwasserströmung gebildet werden. Die (quasi-)stationäre Grundwasserströmung kann in einem oder mehreren Zeitschritten extrem großer Zeitschrittweite berechnet werden. Das Programm enthält einen internen Kalender, der vom Datum des Simulationsbeginns (Modellzeitnullpunkt) ausgehend für die Zeit der abgearbeiteten Zeitschritte das jeweils aktuelle Modellzeitdatum ermittelt. In die Ergebnisdateien werden die Zeitschrittnummer, die Zeitschrittweite in Sekunden und das aktuelle Datum übertragen.

Das hier beschriebene Modell startet zu Beginn des Wasserwirtschaftsjahrs 1971. Die Zeitschrittweite beträgt ein Jahr, so dass die vorliegenden Modellergebnisse sich stets auf das Ende des jeweils genannten Wasserwirtschaftsjahrs beziehen. Unterjährige und damit auch saisonale Entwicklungen werden dementsprechend nicht abgebildet.

4.2. Bergbaubezogene Besonderheiten der verwendeten Software

Das Programm GWDREI enthält eine Vielzahl von speziellen Randbedingungen und bergbauspezifischen Algorithmen, wovon die nachfolgend aufgeführten im Grundwassermodell Anwendung finden.

- Randbedingungen 1. und 2. Art, mit potentialabhängigen Nebenbedingungen, z.B.
 - Infiltrationsanlagen mit vorgegebenem Aufhöhungsziel
 - Exfiltration an Tagebauböschungen
 - Tagebauseefüllung mit vorgegebenem Endwasserspiegel
 - Tagebauseebegleitbrunnen mit Bezug zum Seewasserspiegel
 - Überlauf eines Tagebausees

- Randbedingung 3. Art, z.B.
 - Gelände als hydraulisch wirksame Randbedingung mit Nebenbedingung
 - Gewässer mit Sohlkontakt, seitlichem Kontakt zu Grundwasserleitern und zeitlichem Gang des Gewässerspiegels in Beziehung zur zeitlichen Entwicklung der Grundwasserneubildung.
- Zeitvariante Geologie durch die Verkipfung

4.3. Verfahren

Für die Lösung des mathematischen Modells der dreidimensionalen gesättigten nichtstationären Grundwasserströmung wird das numerische Verfahren der finiten Volumen verwendet. Es können Grundwasserströmungsvorgänge in folgenden Grundwasserleitermodellen berechnet werden:

- Stromband für einen Grundwasserleiter als eindimensionales Modell
- Stromband für mehrere Grundwasserleiter als eindimensionales Modell mit Leckagekopplung der Grundwasserleiter (quasi-zweidimensional)
- Stromband mit mehreren Grundwasserleitern als vertikal-ebenes zweidimensionales Modell
- Horizontal-ebener Strömungsraum für einen Grundwasserleiter als zweidimensionales Modell
- Horizontal-ebener Strömungsraum für mehrere Grundwasserleiter mit vertikaler Leckagekopplung der Grundwasserleiter als zweidimensionales Modell (quasi-dreidimensional)
- Räumlicher Strömungsraum direkt gekoppelter Grundwasserleiter als dreidimensionales Modell
- Horizontal ebener Strömungsraum für mehrere getrennte Grundwasserleiter mit vertikaler Leckagekopplung der Grundwasserleiter und räumlicher Strömungsraum direkt gekoppelter Grundwasserleiter als kombiniertes quasi-dreidimensionales und dreidimensionales Modell

Das mathematische Modell der Grundwasserströmung wird durch Finitisierung und Linearisierung in ein Gleichungssystem überführt, wobei die Bestimmung und die Lösung der nichtlinearen Parameter in einer Iteration erfolgen. Eine vollständige implizite Behandlung aller Volumenströme (außer dem Quell-Senken Term) führt zu einem schnell konvergierenden Gleichungssystem. Beim Abreißen der Grundwasserströmung an Grundwasserstauern, Mehrschichtbrunnen, Gewässern usw. wird die implizite Behandlung der Volumenströme

durch einen Gradientenausgleich beibehalten. Dabei wird der Gradient der abgerissenen Strömung in die implizite Lösung des Gleichungssystems eingeführt. Das lineare Gleichungssystem wird nach dem Verfahren der sukzessiven Überrelaxation iterativ gelöst. Die Iteration schließt die Bestimmung der nichtlinearen Parameter, die Bestimmung der Ersatzgradienten, die Bestimmung der Relaxationsparameter der Einzelgleichungen und die Lösung des Gleichungssystems ein. Der Aufbau des Gleichungssystems wird dynamisch in Abhängigkeit von der im Iterationszyklus bereits erreichten Genauigkeit vollzogen, so dass das zu lösende Gleichungssystem sich ständig bis zur Lösung hin verkleinert. Die an den Elementen anliegenden hydraulischen Widerstände bzw. Leitwerte können bis zur Lösung aktualisiert oder nur bis zum Erreichen einer vorzugebenden Genauigkeitsschranke neu berechnet und dann konstant gehalten werden. Die Leitwerte der Hin- und Rückkopplung sind gleich.

Die konstanten Größen der Leitwertberechnung werden vor dem Beginn der Abarbeitung der Zeitschritte berechnet und als Konstanten gespeichert. Die Berechnung der Leitwerte erfolgt in Abhängigkeit von den sich während der numerischen Lösung einstellenden Strömungszuständen in den an den Leitwerten anliegenden Elementen und Randbedingungen. Dabei wird für jeweils einen Leitwert der Strömungszustand vom Element zum Nachbarelement und umgekehrt untersucht und der die Strömung bestimmende Zustand zur Berechnung des Leitwertes herangezogen. Die Leitwertberechnungen erfolgen dynamisch in Abhängigkeit von der Güte der erreichten Lösung für die Elemente, die an einem Abbruchkriterium bewertet werden.

Die von dem zu berechnenden Grundwasserstand abhängigen Größen (Transmissivität und ggf. Ausgleichsgradient) des Leitwertes werden in jedem Zeitschritt und bei jedem Iterationsdurchlauf dynamisch berechnet oder zugewiesen. Für ungeschichtete Grundwasserleiter wird der Leitwert als Funktion des Grundwasserstandes berechnet, für horizontal geschichtete Grundwasserleiter werden die Parameter der vollständig oder anteilig durchströmten Schichten verwendet. Die Transmissivitäten der durch den Leitwert gekoppelten Elemente werden als arithmetisches Mittel oder als Minimum angesetzt.

Die Leitwerte sind Minimum oder Null, wenn sich ein Abstrom von einem gering bzw. nicht wasserführenden Element ergibt. Explizite Volumenströme werden bei abgerissener Strömung durch die Einbeziehung des hydraulisch wirksamen Gradienten in den Leitwert vermieden (Gradientenausgleich).

Die Geometrie der Grundwasserleiter entscheidet über die Art der vertikalen Kopplung. Die Bewertung der vertikalen Leitwerte erfolgt mit dem Teil der Elementfläche, der vertikal durchströmt wird und/oder mit

- den Parametern des angrenzenden Grundwasserstauers (Leakage-Ansatz)

- den Parametern der gekoppelten Grundwasserleiter
- den Parametern der gekoppelten vertikal geschichteten Grundwasserleiter

Zur Beibehaltung der impliziten Lösung bei einer abgerissenen vertikalen Strömung werden die Leitwerte dem Gradientenausgleich unterzogen.

An tektonischen Verwerfungen können Grundwasserleiter vollständig oder teilweise horizontal getrennt sein, wodurch grundwasserleiterübergreifende Verbindungen zu einem oder mehreren Grundwasserleitern entstehen (Sonderverbindungen von Grundwasserleitern). Die Leitwerte dieser Sonderverbindungen werden aus dem konstanten geometrischen Faktor, einem konstanten Faktor der hydraulischen Wirksamkeit der Verwerfung (Abdichtfaktor) und den Transmissivitäten des Elementes und des horizontalen Nachbarelementes in einem höher oder tiefer gelegenen Grundwasserleiter berechnet. Grundwasserleiter- und elementübergreifende Sonderverbindungen können zur Simulation der Grundwasserströmung in lokal verbreiteten Grundwasserleitern angesetzt werden, wobei Speicherprozesse in diesen lokal ausgebildeten Grundwasserleitern nicht berücksichtigt werden. Die Berechnung des Speicherinhaltes der Elemente erfolgt im Iterationszyklus. Bei auftretendem Wechsel des Fließzustandes, wie z.B. beim Übergang von der gespannten zur freien Grundwasserströmung und umgekehrt oder von der freien Strömung zum nicht wasserführenden Grundwasserleiter und umgekehrt, werden die Speicherinhalte des gespannten und des freien Speicheranteils bilanztreu berechnet.

Die Grundwasserstände für den Modellzeitnullpunkt beschreiben die Anfangsbedingungen des Grundwassermodells. Die berechneten Grundwasserstände als Ergebnis eines Zeitschrittes werden für den nächstfolgenden Zeitschritt als Anfangsbedingungen angesetzt. Sie werden als Startwerte für die Berechnung der Leitwerte des ersten Iterationsschrittes verwendet.

Das Verfahren zur Behandlung der Randbedingungen gestattet, dass an einem Element zugleich verschiedene Randbedingungen anliegen können. Der Wechsel der Randbedingungsart oder der Randbedingungswerte an einem Element ist vor jedem Zeitschritt möglich. Es können potentialunabhängige und potentialabhängige Randbedingungen mit Nebenbedingung formuliert werden. Vor der Abarbeitung eines Zeitschrittes werden die Werte der potentialunabhängigen Randbedingungen zugewiesen. Potentialabhängige Randbedingungen werden während der Lösung in den Iterationsschritten behandelt. Elemente mit einer Randbedingung 1. Art werden als dem Strömungsraum zugehörige Elemente behandelt. Alle horizontalen und vertikalen Volumenströme werden implizit berechnet; die Elementbilanz dieser Elemente geht in die Gesamtmodellbilanz ein. Ist der Eintrag eines Randbedingungswertes vor einem Zeitschritt mit einer Veränderung des Grundwasserspiegels in einem Element verbunden, erfolgt die Bilanzierung der Speicheränderung im folgenden

Zeitschritt. Die Randbedingung 1. Art kann als konstante Größe über die Zeit, als Stufenfunktion und als Interpolationsfunktion eingegeben werden. Randbedingungen 1. Art mit Nebenbedingungen sind potentialabhängig. Sie werden aktiv, wenn der Grundwasserstand den Wert der Nebenbedingung erreicht hat, andernfalls sind sie inaktiv. Zum Beispiel wird eine Randbedingung 1. Art zur Quelle, wenn der Grundwasserstand unter den Wert der Nebenbedingung fällt (Infiltrationsanlage). Sie wird zur Senke, wenn der Grundwasserstand auf den Wert der Nebenbedingung angestiegen ist (Grundwasseraustritt an der Böschung).

Die Randbedingung 2. Art kann als konstante Größe über die Zeit, als zeitliche Stufenfunktion und als Interpolationsfunktion eingegeben werden. Eine negative Randbedingung 2. Art kann zu einer Sohlunterschreitung führen. In diesem Fall wird der Volumenstrom der Entnahme reduziert. Es können unterschiedliche potentialabhängige Randbedingungen 2. Art mit Nebenbedingung eingesetzt werden. Die Randbedingung 2. Art mit Nebenbedingung kann als Quelle oder Senke angesetzt werden. Der Volumenstrom wird gegen Null geregelt, wenn der Grundwasserstand bei einer Entnahme unter die Nebenbedingung absinkt oder bei einem Einstrom über die Nebenbedingung ansteigt. Eine weitere Form der Randbedingung 2. Art, Entnahme mit Nebenbedingung, ist aktiv, wenn der Grundwasserstand über der Nebenbedingung liegt. Fällt der Grundwasserstand auf die Höhe der Nebenbedingung, wird die Entnahme reduziert, indem zusätzlich eine potentialabhängige Randbedingung 1. Art aktiviert wird. Der Grundwasserstand wird dann auf dem Niveau der Nebenbedingung gehalten. Eine Randbedingung 2. Art, Einstrom mit Nebenbedingung, ist aktiv, wenn sich der Grundwasserstand unter der Nebenbedingung befindet. Steigt der Grundwasserstand auf die Höhe der Nebenbedingung an, wird der Einstrom reduziert, indem zusätzlich eine potentialabhängige Randbedingung 1. Art aktiviert wird. Der Grundwasserstand wird dabei auf dem Niveau der Nebenbedingung gehalten. Auch flächenhafte Entnahmen oder Einspeisungen können für Elemente eines Teilgebietes als Zeitreihe eingegeben werden. Die Grundwasserneubildung ist eine Randbedingung 2. Art und kann als örtlich und zeitlich verteilter Einstrom berücksichtigt werden. Der zeitliche Gang der Grundwasserneubildung kann für jedes Element und jeden Zeitschritt eingegeben werden. Zudem besteht die Möglichkeit den zeitlichen Gang der Grundwasserneubildung durch Eingabe des langjährigen Mittels der Neubildung und des zeitlichen jährlichen oder innerjährlichen Ganges in Form einer prozentualen Reihe zu berechnen.

Die Eingabe der Geländehöhe und der Durchlässigkeit, der über dem 1. Grundwasserstauer anstehenden Bodenschicht, führt zur Bildung einer potentialabhängigen Randbedingung 3. Art, wobei die Geländehöhe als Nebenbedingung fungiert. Steigt der Grundwasserstand bis an die Geländehöhe oder darüber hinaus an, wird ein Leakage-Leitwert gebildet und der Grundwasseraustritt aus dem Gelände implizit berechnet.

Die Sohlhöhe eines Gewässers bestimmt die Art der Kopplung des Gewässers an einen oder mehrere Grundwasserleiter. Es sind zwei unterschiedliche Arten der Kopplung des Gewässers an die Grundwasserleiter möglich. Liegt die Gewässersohle unter der Oberkante eines Grundwasserleiters, dann ergibt sich ein Kontakt über die Uferzone des Gewässers. Dieser wird als abgerissene Strömung von dem an dem Gewässereinschnitt anstehenden Grundwasserleiter zum Gewässer berücksichtigt. Ein Sohlkontakt entsteht, wenn die Gewässersohle über der Grundwasserleiterbasis liegt. Für diesen Fall wird ein Leakage-Leitwert aus den Kolmationsparametern der Gewässersohle gebildet. Die Höhenlage des Gewässerspiegels zum Grundwasserspiegel der an das Gewässer gekoppelten Grundwasserleiter entscheidet darüber, ob das Gewässer in- oder exfiltriert und welche Leitwerte zur impliziten Berechnung der Volumenströme herangezogen werden. Die Gewässerspiegel können als Orts- und Zeitfunktion eingegeben werden, so dass wasserbauliche Maßnahmen (z.B. Flussverlegungen) und der zeitliche Gang des Wasserstandes der Gewässer simuliert werden können. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den zeitlichen Gang der Gewässerspiegel in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildung anzusetzen. Weiterhin ist der Aufbau eines gekoppelten Oberflächengewässer-Grundwasserleitermodells möglich, in dem auch die Strömungsvorgänge in den Gewässern behandelt und die Lage der Gewässerspiegel berechnet werden. Voraussetzung hierfür ist aber eine gute Kenntnis der Geometrie der Gewässerprofile und der Rauheitsparameter.

Die Volumenströme von Brunnen werden implizit behandelt. Dazu ist es notwendig, den für den vorgegebenen Volumenstrom des Brunnens entsprechenden Brunnenwasserspiegel für die geschlossene und abgerissene Strömung zu berechnen. Es werden für alle von dem Brunnen erfassten (verfilterten) Grundwasserleiter die Leitwerte berechnet. Mit den Grundwasserspiegeln der verfilterten Grundwasserleiter sowie dem Volumenstrom erfolgt die Berechnung des Brunnenspiegels im Iterationszyklus. Wird statt der Vorgabe eines Volumenstromes der Brunnenwasserspiegel eingegeben, ist die Behandlung der Brunnen vereinfacht, weil lediglich die Brunnenleitwerte zu berechnen sind. Es können Ein- und Mehrschichtbrunnen simuliert werden. Einschichtbrunnen sind in einem Grundwasserleiter verfiltert, Mehrschichtbrunnen erfassen mehrere Grundwasserleiter. Auch die Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsarten von Brunnen einschließlich Nebenbedingungen ist möglich. So kann eine Absenkung des Grundwasserspiegels bis auf ein bestimmtes Niveau durch Vorgabe eines Zielwasserstandes im selben Element, in dem sich auch der Brunnen befindet, realisiert werden. Dies dient z. B. der modellseitigen Entwässerungssteuerung im Prognosezeitraum zu Zwecken der Trockenhaltung während des aktiven Tagebaus, aber auch der Einhaltung geotechnisch motivierter Entwässerungsziele während der Seebefüllung. Letzteres kann alternativ auch über die Festlegung eines

dynamischen Zielwasserstands im Brunnen erfolgen, der innerhalb eines definierten Wertebereichs mit konstanter Differenz zum zeitvarianten Seewasserstand errechnet wird.

Der in einem Grundwasserströmungsraum umgehende Tagebau wird als potentialabhängige Randbedingung 1. Art simuliert, die aktiv wird, wenn sich ein Grundwasseraustritt an einer Böschung ergibt. Diese Randbedingung schließt alle Grundwasserleiter ein, die sich zwischen der Geländehöhe und der Tagebausohle befinden. Der Tagebau kann zeitlich nacheinander mit mehreren Abraum- und Kohleschnitten geführt werden. Die zum Zeitpunkt der Überbaggerung vorhandenen Grundwasserstände, die über der Sohlhöhe des Tagebaues oder über der Basis des von der Überbaggerung betroffenen Grundwasserleiters liegen, werden auf das Niveau der Tagebausohle bzw. der entsprechenden Grundwasserleiterbasis zurückgesetzt. Der dem Restwasserstand entsprechende Grundwasservorrat wird als Vorratsänderung bilanziert. Der Tagebau entfernt die hydraulische Wirkung der Verwerfungen bis zur Höhe der Tagebausohle, wenn die Verwerfung vollständig überbaggert wird. Der Grundwasserströmungsraum kann zeitlich und örtlich verändert werden. Damit lässt sich der Austausch gewachsener Bodenschichten durch verstürzten Abraum, wie es beim Prozess der Verkippung geschieht, im Modell simulieren. Durch die Kippe können Grundwasserleiter und Grundwasserstauer oder gekoppelte Grundwasserleitersysteme zeitlich nach dem Tagebau neu aufgebaut werden. Die Durchlässigkeitsparameter des verkippten Materials sind vorzugeben; das entwässerbare Porenvolumen wird aus dem k_r -Wert berechnet.

5. Durchführung der Berechnungen

Der Datensatz stellt zunächst nur eine Sammlung zusammengestellter Einzeldaten dar und ist für eine Berechnung interessierender Strömungsprobleme im Untersuchungsraum nicht ohne weitere Kalibrierung geeignet, da er den gesamten Grundwasserströmungsraum nur im Rahmen der Modellgegebenheiten, nicht aber in allen Einzelheiten beschreibt. Dies gilt sowohl für die zugrunde gelegten Kenntnisse über die geologischen, geohydrologischen und hydrologischen Parameter als auch für die hydraulischen Randbedingungen. Zudem hat die vorgenommene Diskretisierung Generalisierungen zur Folge, deren Gültigkeit für das entsprechende Element zunächst nicht unbedingt zutreffend ist. So werden für die Durchlässigkeitsparameter der Einzelelemente zunächst Werte angesetzt, die aus Siebanalysen oder Säulenversuchen bzw. Tracer- oder Pumpversuchen stammen. Diese Werte resultieren gemeinhin jedoch aus lokal begrenzten Untersuchungen und können damit nur als Anfangswerte der Berechnung dienen. Die Modellelemente repräsentieren auch bei einer detaillierten Diskretisierung wie im vorliegenden Grundwassermodell vergleichsweise große Einheiten, wobei innerhalb dieser Einheiten einheitliche Parameter definiert sind, welche dann wiederum für das gesamte durch das Modellelement beschriebene Volumen gültig sind. Um diesen Gegebenheiten Rechnung tragen zu können, muss das Modellsystem vor der eigentlichen Untersuchung interessierender Fragestellungen anhand vergleichbarer Zustände kalibriert werden. Dabei werden die im Grundwassermodell zugrunde gelegten Parameter durch mehrfache Simulationen so lange variiert, bis die Modellergebnisse möglichst gut mit bekannten Zuständen übereinstimmen, die auf der Basis von Messergebnissen dargestellt wurden. Derartige Darstellungen können Grundwassergleichenpläne für verschiedene Zeitpunkte und Grundwasserleiter oder durch Pegelmessungen ermittelte Grundwasserganglinien sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei jeder Kalibrierung auch die Vereinfachungen, welche bei der Beschreibung des mathematischen Modells der Grundwasserströmung unabdingbar sind, mit kompensiert werden. Daraus folgt unmittelbar, dass die nach Abschluss der Kalibrierung ermittelten Modellparameter mit vorliegenden punktuellen Erkundungen nicht direkt vergleichbar sind. Entscheidend ist jedoch, dass die Ergebnisse der Kalibrierung den Eigenschaften des Grundwasserströmungsraumes entsprechen und in der, aus der Region oder aus der Literatur bekannten Spannweite von Kennwerten liegen.

5.1. Definition der Modellierungsphasen

Die im Folgenden beschriebenen Simulationen wurden in drei Teilschritten bearbeitet.

Kalibrierungsphase

Im ersten Schritt, der Kalibrierung, wurden für den Zeitraum von 1970 bis zum Ende des Kalibrierungszeitraumes im Jahr 2021 alle verfügbaren zeitabhängigen Daten jahresscharf im Modelldatensatz eingebaut. Dies sind insbesondere die flächendifferenzierte Neuverteilung der Grundwasserneubildungsraten und der auf das langjährige Mittel bezogene Jahresfaktor der Grundwasserneubildung, die jahresscharfe Überarbeitung der Tagebaufortschritte bis 2021 sowie die Randbedingungen am geometrischen Modellrand. Die Kalibrierungsrechnungen im Untersuchungsraum wurden unter kontinuierlicher Anpassung der Parameter iterativ wiederholt, bis die Simulationsergebnisse in Form von Pegelganglinien und Gleichbildern eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten aufwiesen und die durchschnittliche Abweichung von berechneten zu gemessenen Werten an den Referenzpegeln über alle Modellgrundwasserleiter möglichst minimal war

Zeitabhängige Daten im Kalibrierungszeitraum	Zeitabhängig eingebaut bis
Fremdentnehmer	2019
Tagebaubrunnen	2021
Versickerungsanlagen	2021
Tagebauführung Hambach	2019
Tagebauführung Inden	2019
Tagebauführung Garzweiler	2020
Grundwasserneubildung	2021

Tabelle 2 Zeitabhängigkeit der Daten im Kalibrierungszeitraum des Grundwassermodells

Prognosephase

Um im zweiten Schritt möglichst klar interpretierbare Prognosen mit Blick auf die Aufgabenstellung zu erhalten, wurde ein Ansatz gewählt, der auf die bergbaulich bedingten Effekte fokussiert ist. So wurden witterungsbedingten Einflüsse weitestgehend ausgeblendet, indem für den gesamten Betrachtungszeitraum eine mittlere Neubildungsrate von 100 % angenommen wurde. Ebenso wurden für die Maas und den Rhein als wichtige zeitabhängige

Modellrandbedingungen mittlere Wasserstände angesetzt. Dadurch fällt der Einfluss der Witterung auf die Veränderung der Wasserspiegel weg und die Differenzen zeigen allein die durch die Bewirtschaftung des Wasserhaushalts hervorgerufenen Auswirkungen. Um Beeinflussungen des Strömungsbildes, die durch Entnahmeschwankungen an Brunnen Dritter (alle Nichttagebaubrunnen) verursacht werden, zu vermeiden, wurden hier die Mengen ab dem Jahr 2019 nicht mehr verändert. Ausgenommen davon sind die bergbaulich bedingten Verschiebungen von Entnahmemengen der öffentlichen Wasserversorgung. Für diese wurden die zum Zeitpunkt des Modellaufbaus aktuellen und mit den Fachbehörden abgestimmten Szenarien übernommen. So verlagern sich die Hebungsmengen des Wasserwerks Fürth zum Zeitpunkt 2030 zu den Wasserwerksstandorten Hoppbruch und Waldhütte der NEW. Zudem wird der bisherige Standort des Wasserwerks Holzweiler zum neuen Standort weiter westlich verlagert. Die geplanten Brunnen sollen in tieferen Grundwasserstockwerken verfiltert werden. Auf der Erftschiene verlagern sich die Mengen des Wasserwerks Paffendorf im Jahr 2035 erst nach Sindorf und diese 2065 wiederum gänzlich zum Wasserwerk Dirmerzheim. Auf der Rur-Scholle werden die Hebungsmengen des Wasserwerks Aldenhoven bei Bourheim zum Jahr 2030 zu einem neuen Standort bei Koslar verlagert. Ebenfalls im Modell berücksichtigt sind die in Zukunft erforderlichen und in gesamtgesellschaftlichem Konsens beschlossenen Niedrighaltungsmaßnahmen in der Erfttaue, die sich über die vom Erftverband vorgegebene Flächenkulisse erstrecken.

Somit ist gewährleistet, dass zeitabhängige Veränderungen ab dem Jahr 2022 im Wesentlichen auf bergbaubedingte Entwicklungen bzw. Planungen bis hin zu den bisher vereinbarten, daran anschließenden Bergbaufolgelandschaften (Kippen, Tagebauseen etc.) zurückzuführen sind. Diese Prognosesimulation weist als zentrales Ergebnis die zukünftige bergbaubedingte Entwicklung der revierweiten Grundwasserstände aus.

Stationärer Endzustand unter Berücksichtigung der Bodenbewegung

Im dritten Schritt wurde für den Ausblick auf einen stationären Endzustand der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsraum im Nachgang der instationären Berechnung eine weitere Simulation durchgeführt. Diese Simulation berücksichtigt neben den prognostizierten Geländesetzungen und -hebungen (infolge der Grundwasserabsenkung und des Grundwasserwiederanstiegs) ebenfalls oben genannten Niedrighaltungsmaßnahmen in der Erfttaue.

Im Folgenden werden die Phasen Kalibrierung und Prognose mit besonderem Fokus auf die Tagebaue, davon beeinflusste Gebiete und ausgewählte Grundwasserleiter erläutert.

Neben dem für zahlreiche Schutzgüter wichtigen oberen Grundwasserstockwerk liegt der Fokus dabei auf jenen stratigrafischen Horizonten, welche für die regionale Trinkwassergewinnung und/oder im Rahmen der Tagebausümpfung von besonderer Bedeutung sind.

5.2. Modellbegrenzung

Die bereits mit dem Vorgängermodell bewährten Modellgrenzen wurden weitestgehend übernommen. Zur Übersichtlichkeit der Bilanzierungen wurden bei der Berichtserstellung wieder Teilbereiche zu den dem Leser vertrauten größeren Modellrandabschnitten zusammengefasst und mit Klartextnamen versehen ([Anlage 1](#)).

5.2.1. Nordwestliche Modellgrenze

Die nordwestliche Modellbegrenzung wird im oberen Grundwasserstockwerk durch die Mittelwasserstände der Maas als Gewässerrandbedingung abgebildet. An den tieferen Grundwasserleitern wurde eine Randbedingung 1. Art zeitvariant definiert, um die Interaktion über die Modellgrenze hinweg abbilden zu können.

5.2.2. Nordöstliche Modellgrenze

Die nordöstliche Modellbegrenzung wird durch die Randbereiche Nordrand, Viersener Sprung, Krefelder Scholle und Nordostrand gebildet. An allen vier Randabschnitten sind für den 1. bis 11. Modellgrundwasserleiter zeitvariante Höhenrandbedingungen gesetzt. Für die Randbereiche Krefelder Scholle und Nordostrand ist zudem eine zeitvariante Höhenrandbedingung für den 12. Modellgrundwasserleiter angesetzt. Südlich der Grenze zur Kölner Scholle wird das Fließverhalten über den Rand Dormagen und den Rhein über eine zeitvariante Randbedingung 1. Art im 1. bis 12. Modellgrundwasserleiter gesteuert.

5.2.3. Südöstliche Modellgrenze

Südöstlich der Linie Merten-Sechtem setzt eine Veränderung der Geologie in der Ville ein. Die Liegendsande gehen aus und werden von den Liegendtonen abgelöst. Aus der Veränderung der Geologie folgend kann dort eine q-0 Randbedingung für die tieferen Modellgrundwasserleiter angenommen werden. Die Linie Merten-Sechtem wurde bis zum Rhein bei Widdig verlängert und bildet den Randbereich Bornheim. Hier wird für die oberen Leiter h-Randbedingungen und für den 11. Modellleiter eine q-0 Randbedingen angesetzt. Die Nordostbegrenzungen der südlichsten Erft-Scholle werden durch die Randbereiche Swistalsprung Nord und Swistalsprung Süd repräsentiert. Der Swistalsprung Nord

verzeichnet eine konstante Volumenstromrandbedingung. Der Swistalsprung Süd ist mit einer $q=0$ Randbedingung belegt.

5.2.4. Südwestliche Modellgrenze

Der südwestlichste Modellrandbereich Rheinbach ist mit einer konstanten Volumenstromrandbedingung belegt, über die dem 7. und 8. Modellgrundwasserleiter konstant geringe Wassermengen zugeführt werden. Im Uhrzeigersinn schließt sich der Randbereich Eifelgebirge Süd mit einer konstanten Einstromrandbedingung in den 8. und 12. Modellgrundwasserleiter an. Die Höhe des Einstroms bemisst sich aus dem Modellrand vorgelagertem Einzugsgebiet und einer mittleren Neubildungsrate. An diesem Rand setzen die Grundwasserleiter des Lockergesteins dünnmächtig auf dem Grundgebirge auf. Das generelle Einsetzen aller Schichten zeigt kleinräumig unterschiedlich ausgeprägte Schichtenanteile und Schichthöhen. So gibt es Bereiche, die von der Oberkante des Geländes bis zum Grundgebirge (Modellbasis) mit rolligem Material gefüllt sind, während unmittelbar daneben Wechsellagerungen mit Tonen und Kohle oder auch nur typische Grundwassergeringleiter ausgeprägt sind. Diese sehr uneinheitliche hydrogeologische Situation macht es notwendig den Einstrom flächiger über die ersten drei Knotenreihen anzusetzen, da bei einem einfachen Ansatz unmittelbar am Rand ein Großteil des Einstroms sofort über das Gelände ausgespeist wird. Weiter nördlich reicht der Randbereich Eifelgebirge bis unmittelbar südlich an die Abbauflächen Zukunft/Inden heran. Dort erfolgt über eine entsprechende Randbedingung ein stetiger geringer Zustrom in die Modellgrundwasserleiter 10 und 11. Der Randbereich Sandgewand streicht entlang des Abbaugbietes Zukunft bis zur Ortslage Übach-Palenberg. Dort strömt dem 1. und 10. Modellgrundwasserleiter Wasser zu. Entlang des Randbereiches Hoofdbroik ist im 1. Modellgrundwasserleiter eine Höhenrandbedingung gesetzt, die übrigen Teufenniveaus sind mit einer $q=0$ Randbedingung versehen. Der Randbereich Feldbiss schließt die Betrachtung der geometrischen Modellrandbereiche ab. Dort sind für den 11. und 12. Modellgrundwasserleiter $q=0$ Randbedingungen angesetzt.

5.3. Kalibrierung

Um eine weitestgehende Übereinstimmung des Modells mit den ablaufenden Strömungsvorgängen im natürlichen Grundwasserleitersystem zu erreichen, muss ein möglichst langer Zeitraum ausgewählt werden, in dem der zu untersuchende Grundwasserströmungsprozess bereits abgelaufen ist und von dem auch eine möglichst große Anzahl an verlässlichen Messdaten zur Verfügung steht.

Für den Untersuchungsraum kann aufgrund der verfügbaren Quantität und Qualität der Messdaten von einer guten Datengrundlage ausgegangen werden. Der gewählte Zeitraum für die Modellkalibrierung liegt zwischen 10/1970 und 10/2021. Für den Zeitraum bis 2021 stehen zum einen sowohl genügend Messwerte zu den gehobenen Sumpfungswassermengen als auch Förderdaten der übrigen Grundwassernutzer zur Verfügung. Zum anderen existieren umfangreiche Messergebnisse über Grundwasserstände in den verschiedenen Stockwerken, sowie für ausgewählte Zeitpunkte großflächige Darstellungen der Grundwassergleichen für die im Modell berücksichtigten Grundwasserleiter. Außerdem umfasst der gewählte Zeitraum genügend extreme Witterungsbedingungen in Form von Nass- und Trockenjahren und wechselnde Beanspruchungen der Grundwasserverhältnisse, beispielsweise durch unterschiedliche Sumpfungsmaßnahmen einerseits und bedarfsabhängig schwankende Förderungen der übrigen Grundwassernutzer andererseits. Alle diese Beanspruchungen des Systems sind für die Erprobung der Modellreaktionen und damit für eine umfassende Kalibrierung von Bedeutung. Die für die Kalibrierung verwendeten Grundwassergleichen wurden auf der Grundlage von vorliegenden Pegelmessungen unter Berücksichtigung der besonderen hydrogeologischen Verhältnisse im Rheinischen Braunkohlenrevier konstruiert. Neben der allgemeinen Modellpflege (im Sinne der Aktualisierung zeitvarianter Eingangsdaten), ergab sich die Notwendigkeit einer Neukalibrierung vor allem aus dem Einbau der übererarbeiteten Geologie der Erft-Scholle sowie einer veränderten Implementierung abflussloser Oberflächengewässer.

Bei der Kalibrierung wurden im Wesentlichen folgende Parameter innerhalb ihrer plausiblen Wertebereiche variiert:

- Durchlässigkeitsparameter der Grundwasserleiter ([Anlage 12](#), [Anlage 13](#), [Anlage 14](#), [Anlage 15](#), [Anlage 16](#), [Anlage 17](#), [Anlage 18](#) und [Anlage 19](#)) einschließlich der zugehörigen freien Porenvolumina.
- Durchlässigkeitsparameter der Grundwasserstauer und der Deckschicht bzw. des Auelehmes.
- Kolmationsparameter und Höhenlagen der Gewässer.
- Hydraulische Wirksamkeit der Verwerfungen.
- Höhenlagen von geologischen Modellelementen.
- Wirksamkeit der Grundwasserneubildung.

Zur Kalibrierung des Untersuchungsraums standen knapp 4000 Grundwassermessstellen zur Verfügung, deren Messdaten indirekt über die konstruierten Grundwassergleichen als Prüfgröße Eingang gefunden haben. Zudem wurden 755 als repräsentativ erachtete Grundwassermessstellen sowohl durch ihre zeitvarianten Ganglinien als auch den absoluten

Messwert im Vergleichsjahr 2018 für die Kalibrierung herangezogen. Der berechnete Grundwasserstand ergibt sich als Mischwert aus der räumlichen Interpolation der drei Eckpunkte des Modellnetzdreiecks in dem sich die Grundwassermessstelle befindet.

5.3.1. Wesentliche Parametervariationen

Der Untergrund des rheinischen Braunkohlenreviers ist durch zahlreiche Grundwasserleiter (Sand- und Kiesschichten) gekennzeichnet, die, wenn sie durch Grundwasserstauer (Ton- oder Kohleschichten) voneinander getrennt sind, Grundwasserstockwerke bilden. Im Modellgebiet sind für die weiteren Betrachtungen das obere Grundwasserstockwerk (OSTW), die grundwasserleitenden Horizonte 8, 7, 6D, 6B sowie die Liegendgrundwasserleiter 2 - 5 und 01 - 09 relevant (vgl. Abbildung 2). Die Bedeutung der unterschiedlichen Grundwasserleiter kann dabei lokal variieren. Bereichsweise bestehen Verbindungen zwischen den Grundwasserleitern über so genannte hydrogeologische Fenster oder das gänzliche Fehlen wirksamer Trennschichten (Kohle und Ton). Durch diese hydraulische Kopplung kann es zu einer Interaktion der verschiedenen Grundwasserstockwerke kommen.

Das **obere Grundwasserstockwerk** (1. Modellgrundwasserleiter) wird durch quartäre Sande und Kiese gebildet und hat insbesondere in der Venloer Scholle und der Kölner Scholle Bedeutung für die öffentliche und private Wasserversorgung. In der Venloer Scholle erlangt es ebenso wie in der Rur-Scholle Bedeutung für die grundwasserabhängigen Feuchtgebiete. In der Venloer, Erft- und Rur-Scholle wird das obere Grundwasserstockwerk nach unten durch die Reuvertonserie begrenzt. Die Durchlässigkeitsbeiwerte in der **Venloer Scholle** liegen hauptsächlich zwischen $3 \cdot 10^{-3}$ m/s und $8 \cdot 10^{-5}$ m/s, kleinere Bereiche am Rand zur Rur-Scholle haben jedoch geringere Werte bis $3 \cdot 10^{-6}$ m/s ([Anlage 12](#)). Der Übergang zur Kölner Scholle markiert die zunehmende Verbreitung der Terrassenkiese und damit Bereiche höherer Durchlässigkeiten, die in Rheinnähe auch Werte $> 3 \cdot 10^{-3}$ m/s erreichen können. Im Bereich der **Kölner Scholle** werden die beiden Struktureinheiten Kölner Bucht und Ville unterschieden. Die Kölner Bucht weist vergleichsweise einfach nachzubildende geologische Verhältnisse auf. Die Grundwasserhydraulik ist hier vom Rhein und den großen Grundwasserentnehmern bestimmt. Hier herrschen Durchlässigkeitsbeiwerte von $8 \cdot 10^{-5}$ bis $> 3 \cdot 10^{-3}$ m/s vor. Die Geologie verändert sich wegen der Tagebauaktivität im Berechnungszeitraum im Bereich des ehemaligen Tagebaus Frechen und des Tagebaus Ville. Ebenso macht der schon stattfindende Wiederanstieg in den älteren Tagebauen Gruhlwerk, Donatus, Sybilla und anderen im Gebiet der ehemaligen Südtagebaue die Eichung des Grundwassermodells an dieser Stelle komplexer. In den Kippenkörpern der Alttagebaue der Ville haben sich überwiegend Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und $3 \cdot 10^{-4}$ m/s eingestellt. In der nördlichen Ville im Bereich der Ortschaft Garsdorf findet sich eine Vertonung, die im

Grenzbereich auch auf der Erft-Scholle hinausragt. Der obere Grundwasserleiter der **Erft-Scholle** ist abseits eines Korridors zwischen dem Tagebau Hambach und der Grenze zur Venloer Scholle über den gesamten Kalibrierungszeitraum von 1970 bis 2021 weitgehend trocken gefallen. Für diese Trockenflächen des oberen Grundwasserleiters wurden daher typische k_f -Werte angesetzt, die sich im Allgemeinen zwischen $8 \cdot 10^{-5}$ und $3 \cdot 10^{-3}$ m/s bewegen. Die k_f -Werte im oberen Grundwasserleiter der **Rur-Scholle** erreichen ihre Maximalwerte bei Düren und im Süden in den Bereichen Vettweiß, Sinzenich und Euskirchen mit Werten bis zu $4 \cdot 10^{-3}$ m/s. In unmittelbarer Nähe zum Grundgebirge treten auch im oberen Grundwasserleiter Linsen mit geringen k_f -Werte um $1 \cdot 10^{-5}$ m/s auf. Um den Tagebau Zukunft/Inden und in der nördlichen Rur-Scholle liegen die k_f -Werte überwiegend zwischen $8 \cdot 10^{-5}$ m/s und $8 \cdot 10^{-4}$ m/s. In der Umgebung von Übach-Palenberg ist eine Zone erhöhter Durchlässigkeit mit Werten um $1 \cdot 10^{-3}$ m/s eingeschaltet, die sich nach Nordwesten bis zum westlichen Tripelpunkt bei Baal erstreckt. Über die Ablagerungen der Fließgewässer Rodebach, Saeffeler Bach und Waldfeuchter Fließ verringert sich die Durchlässigkeit auf $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Im Übergangsbereich Meinweg, zwischen der Rur- und der Venloer Scholle, liegt eine geringere Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s vor.

Während der **Horizont 9B** (5. Modellgrundwasserleiter) in der **Kölner Scholle** Teil des oberen Stockwerks ist, ist er auf der **Erft-** und **Rur-Scholle** als eigener Grundwasserleiter von wasserwirtschaftlicher Relevanz verbreitet. In weiten Teilen hat er dort Durchlässigkeiten zwischen $3 \cdot 10^{-5}$ und $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. In der zentralen Erft-Scholle um den Tagebau Hambach fällt der Horizont 9B mit einem großflächigen Bereich sehr hoher Durchlässigkeit auf. Westlich der Ortschaft Freialdenhoven existiert ein kleiner Bereich geringer Durchlässigkeit mit ca. $2 \cdot 10^{-6}$ m/s ([Anlage 13](#)).

Der **Hauptgrundwasserleiter 8** (6. Modellgrundwasserleiter) weist in der **Venloer Scholle** k_f -Werte zwischen $2 \cdot 10^{-5}$ m/s und $7 \cdot 10^{-4}$ m/s auf. Lediglich in der nördlichen Venloer Scholle und in Bereichen um Wegberg/Hückelhoven, Elmpter Wald, Kamphausen und nördlich Born treten lokal Zonen mit geringen Durchlässigkeiten auf. In der **Kölner Scholle** ist der 6. Modellgrundwasserleiter Teil des mächtigen oberen Grundwasserstockwerks mit entsprechend hohen durch die Terrassenkiese des Rheins geprägten Durchlässigkeitsbeiwerten. In der **Erft-** und **Rur-Scholle** ist der Horizont 8 von hohen Durchlässigkeiten geprägt, die sich in weiten Teilen zwischen $8 \cdot 10^{-5}$ und $3 \cdot 10^{-3}$ m/s bewegen. Deutlich niedrigere k_f -Werte lassen sich lokal in der südlichen Erft-Scholle bei den Ortschaften Weilerswist, Niederberg und Ludendorf mit bis zu $1 \cdot 10^{-6}$ m/s finden ([Anlage 14](#)).

Der **Horizont 7** ist lediglich auf der **Erft-** und der **Rur-Scholle** verbreitet und wird durch den 7. und 8. Modellgrundwasserleiter abgebildet. Dabei entspricht der entwässerungsplanerisch bedeutsamere Horizont 7A dem 8. Modellgrundwasserleiter, während der 7. Modellgrundwasserleiter überwiegend den Horizont 7E repräsentiert, stellenweise aber auch als Mischhorizont 7C/7E zu interpretieren ist. Es ist anzumerken, dass diese Unterscheidung bei der Konstruktion der Grundwassergleichen aus den Pegelmesswerten jedoch nicht erfolgt und nur eine allgemeiner Horizont 7 betrachtet wird.

Über weite Teile der Schollen schwanken die Durchlässigkeiten zwischen $8 \cdot 10^{-6}$ und $8 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die höchsten k_f -Werte mit bis zu $3 \cdot 10^{-3}$ m/s finden sich in lokalen Bereichen der nördlichen Rur-Scholle am Rand zur Venloer Scholle und der südlichen Rur-Scholle am Festgesteinsrand. Südlich des Tagebaus Inden, um die Ortschaft Geilenkirchen und im Süden der Erft-Scholle sind die Bereiche mit den niedrigsten Durchlässigkeiten mit bis zu $1 \cdot 10^{-6}$ m/s verortet ([Anlage 15](#)).

Der **Horizont 6D** (9. Modellgrundwasserleiter) wird in der **Venloer Scholle** durch 2 Schluffpakete in mehrere Grundwasserleiter untergliedert, deren k_f -Werte in allen drei 6D - Grundwasserleitern zwischen $6 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $3 \cdot 10^{-4}$ m/s liegen. Im Übergang zur **Kölner Scholle** ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Genese der Horizonte ein deutlicher Sprung der k_f -Werte. In diesem Bereich ist kein 6D Horizont ausgebildet, so dass der Sand 2 in der Kölner Scholle den 9. Modellgrundwasserleiter bildet. In der **Erft-Scholle** ist der Grundwasserleiter 6D südlich einer Linie zwischen den Ortslagen Bedburg, Niederzier und der Ortslage Langerwehe

auf Rur-Schollenseite verortet. Nördlich dieser Linie ähneln die k_f -Werte in der Rur-Scholle mit Durchlässigkeiten um $8 \cdot 10^{-5}$ m/s denen weiter Bereiche der Venloer Scholle. In der nördlichen Erft-Scholle hingegen sind die Durchlässigkeiten zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $8 \cdot 10^{-6}$ m/s deutlich geringer ausgeprägt. In der **Rur-Scholle** nehmen die Durchlässigkeiten nach Norden bis zu den Ortschaften Heinsberg und Geilenkirchen zu. Darüber hinaus stellen sich Durchlässigkeiten um $1 \cdot 10^{-5}$ m/s ein. In unmittelbarer Nähe zum Gebirgsrand auf Höhe des Tagebaus Zukunft liegen die Werte um $3 \cdot 10^{-5}$ m/s ([Anlage 16](#)).

Der **Horizont 6B** (10. Modellgrundwasserleiter) wird im Zentralbereich der **Venloer Scholle** mit Durchlässigkeitsbeiwerten zwischen $3 \cdot 10^{-5}$ m/s und $3 \cdot 10^{-4}$ m/s abgebildet. Diese Zone setzt sich über den westlichen Tripelpunkt bei Baal auch in die nördliche Erft-Scholle und in die **Rur-Scholle** fort. Sie überstreicht dabei die Ortslagen Körrenzig, Brachelen, Gereonsweiler und reicht bis in die Nähe des Gebirgsrandes bei Übach-Palenberg und Baesweiler. Im Bereich zwischen Linnich und Jülich befindet sich ein Bereich sehr hoher

Durchlässigkeit mit k_f -Werten bis $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Nördlich dieser Zone schließt sowohl in der Venloer Scholle als auch in der Rur-Scholle ein Bereich mit geringeren k_f -Werten um $1 \cdot 10^{-5}$ m/s an. Erst in unmittelbarer Umgebung der Maas zeigt der 10. Modellgrundwasserleiter wieder etwas höhere Durchlässigkeiten. In der **Kölner Scholle** bildet der Sand 09 den 10. Modelgrundwasserleiter. Der Horizont 6B ist dort nicht verbreitet. Dementsprechend stellt sich am Übergang zwischen der Venloer Scholle und der Kölner Scholle ein deutlicher k_f -Wertsprung ein. In der **Erft-Scholle** vertont der Horizont 6B südlich des Tagebaus Hambach ebenso wie in der südlichen Rur-Scholle. In den übrigen Bereichen der Erft-Scholle und der zentralen Rur-Scholle weist er vergleichsweise geringe Durchlässigkeitsbeiwerte um $1 \cdot 10^{-5}$ m/s auf ([Anlage 17](#)).

Bedingt durch unterschiedliche Genese nehmen die Durchlässigkeiten mit zunehmender Teufe ab. Dementsprechend liegen die Durchlässigkeiten des 11. Modellgrundwasserleiters in weiten Bereichen des Reviers zwischen $3 \cdot 10^{-6}$ m/s und $8 \cdot 10^{-5}$ m/s. Dieser repräsentiert auf der **Rur-** und der **Erft-Scholle** die **Liegendhorizonte 2 - 5** und auf der **Kölner Scholle** und der **Ville** den **Horizont 07**, während er auf der **Venloer Scholle** die **Horizonte 04 bis 5** darstellt. Weite Teile der südlichen Erft-Scholle besitzen k_f -Werte bis zum $3 \cdot 10^{-4}$ m/s. Lokal treten auch Bereiche mit geringen Durchlässigkeiten bis zu $1 \cdot 10^{-6}$ m/s auf. Vertonungen gibt es auf der Erft-Scholle in Bereichen der Ortschaften Kerpen und Bergheim ([Anlage 18](#)).

Der 12. Modellgrundwasserleiter fasst in der **Erft-Scholle** und in der **Rur-Scholle** die **Grundwasserleiter 01 - 09** zusammen. In der **Venloer Scholle** repräsentiert er die **Horizonte 01-03** und in der **Kölner Scholle** und der **Ville** die **Schichten 02-05**. Naturgemäß ist dieser Liegendgrundwasserleiter durch geringe Durchlässigkeiten in allen Modellbereichen gekennzeichnet. Lediglich in einigen Bereichen in der zentralen Venloer, der südlichen Erft-Scholle und kleinen Bereichen der Kölner Scholle werden Durchlässigkeiten in der Größenordnung bis $3 \cdot 10^{-4}$ m/s erreicht. Vertonte Bereiche finden sich in der nordöstlichen Venloer Scholle, in der südlichen Kölner Scholle und in der südlichsten Erft-Scholle. In den übrigen Regionen liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich zwischen $8 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1 \cdot 10^{-6}$ m/s ([Anlage 19](#)).

5.3.2. Bewertung der Modellgüte mittels Grundwasserständen

Der Nachweis über die Güte der Kalibrierung erfolgt über den Vergleich der an einer Vielzahl von Grundwassermessstellen gemessenen und zu den am Modellknoten des Pegelstandortes berechneten Werten in Kombination mit der Darstellung eines aus Messungen konstruierten

Fließbildes. Zusätzlich wird für die berücksichtigten Grundwassermessstellen der Vergleich der gemessenen Grundwasserganglinie mit der am entsprechenden Modellknoten im Zeitraum 1970 bis 2021 berechneten Modellganglinie dargestellt. Besonderes Augenmerk wurde während der Kalibrierung auf eine möglichst gute Nachbildung der Grundwasserverhältnisse im oberen Grundwasserstockwerk gelegt. Dort findet sich naturgemäß auch die größte Anzahl an Grundwassermessstellen, welche insbesondere in der Umgebung schützenswerter Feuchtgebiete für die Kalibrierung herangezogen wurden. Die Datenmengen und die Datengüte nimmt mit zunehmender Tiefe ab, was sich wiederum auf die Kalibrierungsergebnisse im Modell auswirkt. Das exakte Nachbilden des Höhenniveaus eines Grundwasserstandes ist daher in den tieferen Modellgrundwasserleitern weniger relevant als das Nachbilden der systemdominierenden Dynamik, zumal Abweichungen im Niveau der Druckhöhen in gespannten Grundwasserleitern lediglich kleine Wassermengen repräsentieren, so dass mit etwaigen Abweichungen im Druckniveau nur geringe Diskrepanzen in den Bilanzgliedern entstehen.

Im Folgenden soll für die Untersuchungsräume der Tagebaue die Kalibrierungsgüte anhand ausgewählter Grundwassermessstellen aufgezeigt werden. Zur visuellen Unterstützung können der [Anlage 28](#) Ganglinienvergleiche für über 750 Pegel entnommen werden. Dabei wurde Wert auf einen möglichst langen Vergleichszeitraum gelegt, auch wenn das Peilrohr heute im Zweifelsfall defekt oder nicht mehr messbar ist. Ergänzend gibt [Anlage 29](#) einen Gesamtüberblick der Residuen zwischen den berechneten und an Pegeln gemessenen Werten in Form eines Streudiagramms. Dabei zeigt der Vergleich zwischen den Jahren 2018 und 2021 mit Durchschnittsabweichung von 9,92 bzw. 10,0 m über alle Grundwasserleiter, dass das vorliegende Grundwasserströmungsmodell in der Lage ist, unterschiedliche Zustände des Gesamtsystems adäquat abzubilden und somit keine Überanpassung an den Kalibrierungsdatensatz vorliegt. Außerdem kann im Vergleich zum Reviermodell 2019 (Durchschnittsabweichung für den Zeitschritt 2018: 10,31 m) konstatiert werden, dass die Modellgüte des Reviermodells 2022 als mindestens gleichwertig, womöglich sogar etwas besser als die der vorherigen Version einzuschätzen ist.

Der Vergleich der Ganglinien von beobachteten und berechneten Grundwasserständen an Messstellen stellt naturgemäß eine dynamische Punktinformation dar. Zur Visualisierung der Modellanpassung in der Fläche wurden auch Darstellungen von Strömungsbildern für das Jahr 2021, die auf der Basis von Beobachtungen konstruiert wurden ([Anlagen 3](#), [Anlage 4](#), [Anlage 5](#), [Anlage 6](#), [Anlage 7](#), [Anlage 8](#), [Anlage 9](#) und [Anlage 10](#)) und solchen, die mit dem Modell ermittelt wurden ([Anlage 20](#), [Anlage 21](#), [Anlage 22](#), [Anlage 23](#), [Anlage 24](#), [Anlage 25](#), [Anlage 26](#) und [Anlage 27](#)), bereitgestellt.

Untersuchungsraum Tagebau Garzweiler

Mit der Kalibrierung wurde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Grundwasserständen für das **obere Grundwasserstockwerk** des Jahres 2021 erreicht ([Anlage 20](#)).

Die Grundwasserströmungsverhältnisse im oberen Grundwasserstockwerk werden im Wesentlichen durch die Topographie und die Vorfluter geprägt. Hierdurch ergeben sich die Wasserscheiden und unterschiedliche Grundwassergefälleverhältnisse.

Insbesondere im Westen des Untersuchungsraums prägt die Schwalm die Grundwassergleichen. Die Grundwasserfließrichtung ist vom Hochgebiet, östlich des Wassenberger Horstes, wo der Grundwasserspiegel bei ca. + 80 mNHN liegt, nach Norden zur Schwalm gerichtet.

In der Mitte des Untersuchungsraums werden die Grundwassergleichen von der Niers bestimmt. Westlich der Niers ist die Grundwasserfließrichtung von der Wasserscheide Erkelenz-Dülken nach Nordosten zur Niers gerichtet. Östlich der Niers befindet sich die Hauptgrundwasserscheide Rhein - Maas.

Im Bereich Jüchen-Hochneukirch-Erkelenz tritt der Absenkungstrichter der Tagebausümpfung deutlich hervor. Im Osten des Untersuchungsraums ist durch das Westwärts-Wandern des Tagebaus in den letzten Jahren ein Grundwasseranstieg zu verzeichnen. Die Erft prägt dort die Grundwassergleichen.

Es ist ersichtlich, dass die im Wesentlichen durch topographische Gegebenheiten, Vorfluter, Grundwasserentnehmer und Tagebaue geprägten Grundwasserverhältnisse durch das Modell gut nachgebildet werden.

In der Venloer Scholle liegen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten häufig deutlich unter 50 cm. Im Bereich südlich von Wegberg dient die Grundwassermessstelle 813011 ([Anlage 28](#)) als Beispiel für eine sehr gute Nachbildung des gemessenen Ganges. Sie steht damit stellvertretend für viele Grundwassermessstellen im oberen Grundwasserstockwerk der Venloer Scholle. In dem, aufgrund fehlender Grundwasserstauer, in weiten Bereichen gekoppelten Übergangsbereich zur linksrheinischen Kölner Scholle, wo zudem ein steiles hydraulisches Gefälle vorliegt, wurde trotz dieser schwierigen Rahmenbedingungen ein gutes Kalibrierungsergebnis erreicht. Der gemessene, durch Sümpfung und Wiederanstieg beeinflusste Gang der Grundwassermessstelle 804891 ([Anlage 28](#)) wird durch das Grundwassermodell ausgesprochen gut nachgebildet.

Flache zum Rhein gerichtete Gradienten prägen das Strömungsbild der vertikal wenig gegliederten **Krefelder Scholle**. Das Modell bildet dieses sehr gut nach ([Anlage 20](#)). Der Grundwassergang der Messstelle 907751 ([Anlage 28](#)), die in der Nähe der

Wassergewinnungen im Korschenbroicher Feld liegt, also einen wasserwirtschaftlich relevanten Bereich repräsentiert, kann in seiner Dynamik und in seinem Niveau ebenfalls sehr gut nachvollzogen werden.

Die **Hauptkiesserie Horizont 8** (Modellgrundwasserleiter 6) ist bis auf die linksrheinische Kölner Scholle im gesamten Rheinischen Braunkohlenrevier verbreitet. In der Venloer Scholle bildet der Horizont mit dem **Neurather Sand 6D** ein gemeinsames Grundwasserstockwerk und wird daher mit diesem gemeinsam beschrieben. Der Neurather Sand 6D wird in der Venloer Scholle durch zwei Schluffpakete in die drei einzelnen Modellgrundwasserleiter 7, 8 und 9 aufgliedert.

Der Grundwasserleiter 8/6D wird nur teilweise vom Reuver- und Rotton bzw. vom Flöz Garzweiler überlagert, so dass er in großen Bereichen – nördlich des Rheindahlener Sprunges und südwestlich des Wegberger Sprunges – mit den überlagernden Grundwasserleitern das obere Grundwasserstockwerk bildet. Im südlichen Teil der Venloer Scholle fließt das Grundwasser von Westen nach Osten dem Tagebau Garzweiler zu. Im nördlichen Teil fließt es zur Schwalm und Nette bzw. zur Maas sowie zur Niers. Das für die Horizonte 8 und 6D gemeinsame Strömungsbild wird in [Anlage 24](#) dargestellt. In [Anlage 28](#) sind zugehörige repräsentative Ganglinien zusammengestellt. Die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten liegen im Allgemeinen unter 2 m. Selbst in unmittelbarer Nähe zur Abbaugrenze werden die gemessenen Wasserspiegel teilweise bis auf 1 m genau getroffen. Die Grundwassermessstelle 805402 ([Anlage 28](#)) weist eine Messreihe seit den frühen siebziger Jahren auf. Der Gang wird über den gesamten Kalibrierungszeitraum in den wesentlichen Charakteristiken und im Niveau gut nachgebildet.

Das **Zwischen-Grundwasserstockwerk** ist im gesamten Verbreitungsgebiet vom Flöz Frimmersdorf vorhanden. Es ist durch den **Grundwasserleiter 6B** ([Anlage 25](#)) gekennzeichnet, der das Zwischenmittel zwischen Flöz Frimmersdorf und Morken darstellt. Ab der Linie, die von nördlich des Wassenberger Horstes über Wegberg und Mönchengladbach bis in den Raum südwestlich von Dormagen verläuft und eine Grundwasserscheide darstellt, fließt das Grundwasser einerseits nach Norden und andererseits nach Süden zum Tagebau.

Nur im unmittelbaren Bereich des heute betriebenen Tagebaues Garzweiler II ist infolge der Sumpfungsmaßnahmen der ursprüngliche Druckwasserspiegel lokal in den freien Grundwasserspiegel übergegangen. Im **Frimmersdorfer Sand 6B** (10. Modellgrundwasserleiter) wurde in der Kalibrierung ein gutes Ergebnis erzielt ([Anlage 25](#)). In der Venloer Scholle betragen die Abweichungen zwischen dem gemessenen und berechneten Grundwasserspiegel im Allgemeinen wenige Meter. Die Grundwassermessstelle 806493 ([Anlage 28](#)) südwestlich der Ortslage Wegberg verfügt seit den frühen siebziger Jahren über

Messwerte und eignet sich daher gut für einen Vergleich mit berechneten Grundwasserständen. Trend und Niveau werden durch das Grundwassermodell sehr gut nachgebildet.

Das **Liegend-Grundwasserstockwerk** ([Anlage 27](#)) umfasst den gesamten Verbreitungsbereich des Flözes Morken sowie des Ratinger Tons und ist gekennzeichnet durch die Schichtenfolge der **Horizonte 04 bis 5**. Die Basis wird in etwa von den Grafenberger Schichten gebildet. Die Mächtigkeit dieses Grundwasserstockwerkes beträgt ca. 80 bis 100 m. Nach Norden geht es am Viersener Sprung und nach Osten auf Höhe der Linie Grevenbroich-Korschenbroich in das obere Hauptgrundwasserstockwerk über.

Generell fließt das Grundwasser ab der Linie Dahlheim–Niederkrüchten–Schwalmtal–Dülken nach Südosten bzw. Süden zum Tagebau und andererseits nach Nordwesten bzw. Norden. Nur in der unmittelbaren Umgebung des heute schon betriebenen Tagebaues Garzweiler ist durch die Sumpfungmaßnahmen der ursprüngliche Druckwasserspiegel lokal in einen freien Liegendgrundwasserspiegel übergegangen.

Der Wiederergänzungsbereich liegt im westlichen Teil der Venloer Scholle, im Übergangsbereich zum Wassenberger Horst sowie im Meinweggebiet. In beiden Bereichen wird der Grundwasserspiegel durch Versickerung in die Liegendschichten massiv gestützt, was sich an einem großräumigen Aufhöhungskegel erkennen lässt.

Der mit dem Grundwassermodell ermittelte Mischwasserspiegel trifft die Messwerte der Grundwassermessstellen gut. Die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Ergebnissen liegen weitgehend unter 10 m und auch der Gang der Messwerte wird wie in Grundwassermessstelle 806475 im Allgemeinen sehr gut nachgefahren ([Anlage 28](#)). In weiten Bereichen werden die Messwerte selbst im direkten Einflussbereich des Tagebaus Garzweiler bis auf 5 m genau getroffen. Die Messstelle 815933 weist zum Ende des Kalibrierungszeitraums einen unplausiblen Anstieg des beobachteten Wasserstands auf. Bis dahin werden Gang und Niveau der Kurve durch die Rechnung gut getroffen.

Untersuchungsraum Tagebau Hambach

Im oberen Grundwasserstockwerk wurde eine gute Anpassung zwischen den modellierten und den beobachteten Grundwasserständen im Jahr 2021 erreicht ([Anlage 20](#)).

In der **Erft-Scholle** fallen die Schichten in östlicher bzw. nordöstlicher Richtung ein, so dass die Mächtigkeit potentieller Grundwasserleiter in Richtung der Ville/Kölner Scholle grundsätzlich zunimmt. Daraus resultieren die in [Anlage 3](#) dargestellten Strömungsbilder für die konstruierten Grundwassergleichen und ihre wesentlichen Merkmale: Im nördlichen

Bereich der Erft-Scholle ist die Grundwasserfließrichtung im Wesentlichen nach Osten zum Schollentiefsten gerichtet.

Auch im Schollenzentrum südlich des Tagebaus Hambach ist ein großflächiges hydraulisches Senke von etwa -50 mNHN hin zu den Sümpfungsgalerien vorherrschend. Aus diesem Grund fließt das Grundwasser hier in nördlicher/nordöstlicher Richtung.

Die südliche Erft-Scholle kann hinsichtlich der Grundwasserfließrichtung aufgrund von hydraulisch wirksamen Verwerfungen in mehrere Teilschollen untergliedert werden. Auf der Teilscholle zwischen Weilerswist und Heimerzheim strömt das Grundwasser in nordwestlicher Richtung, während im Bereich zwischen Nörvenich und Meckenheim eine nordöstlich gerichtete Fließrichtung vorherrschend ist. Weite Bereiche des **oberen Grundwasserstockwerkes** sind trocken gefallen. Die vorstehend beschriebenen wassererfüllten Bereiche sind über die gesamte Ausdehnung der Erft-Scholle daher von großräumigen Trockenflächen durchbrochen.

Die beschriebenen Strömungsbilder der beobachteten Grundwasserstände können mit dem Modell gut nachgebildet werden. Die berechneten Grundwassergleichen sind der [Anlage 20](#) zu entnehmen.

Die Dynamik und das Niveau der Grundwasserganglinien der Grundwassermessstellen 821861 im Norden, 821271 in der Nähe des Tagebaus, 841351 im Schollenzentrum und 842091 in der südlichen Erft-Scholle wurden durch das Grundwassermodell gut nachgebildet, siehe dazu [Anlage 28](#). Die meisten Pegel zeigen eine Abweichung unter 10 m oder weniger zwischen den beobachteten und berechneten Wasserständen.

In der **Kölner-Scholle** ist der Rhein der dominierende Vorfluter, wie der Grundwassergleichenkonstruktion der beobachteten Grundwasserstände in [Anlage 3](#) zu entnehmen ist. Ihm fließt das Grundwasser grundsätzlich über die gesamte Nord-Süd-Ausdehnung der Scholle mit relativ flachem Gefälle zu. Lokal haben sich Absenkungstrichter um die größeren Grundwasserentnehmer gebildet. In der Kölner-Scholle liegen die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Werten häufig unter 50 cm, siehe dazu [Anlage 20](#). Dies zeigt eine gute Nachbildung des Strömungsbildes mittels der Modellberechnung auf.

Auf der **Ville** bilden die Seen mit ihrem meist künstlichen Ablauf die Vorflut. In der südlichen Ville, dem Altrevier, sind die Grundwasserstände des Kippengrundwasserleiters dargestellt, [Anlage 3](#) sind die Konstruktion zu entnehmen und [Anlage 20](#) stellt die berechneten Gleichen dar. Es ist zu erkennen, dass hier grundsätzlich eigenständige Grundwasserverhältnisse vorherrschend sind, die sich von dem Niveau im oberen Stockwerk der Kölner Scholle deutlich unterscheiden. Dieses Phänomen wird modellseitig gut abgebildet, wie auch die Dynamik und

das Niveau der Grundwasserstände im OSTW ab dem Jahr 2000. Die Entwicklung der Grundwasserstände in den Alttagebauen konnte modellseitig erst ab dem Modellstart 1970 berücksichtigt werden, was bedingt durch Einschwingeffekte partiell zu Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Ganglinien der Grundwassermessstellen in der Ville ([Anlage 28](#)) führt.

In der Erft-Scholle beschränkt sich die grundwassererfüllte Rottonverbreitung hauptsächlich auf den tieferen Teil der Scholle parallel zum Erftsprungsystem. Grundsätzlich fließt das Grundwasser im **Grundwasserleiter 9B** im nördlichen und zentralen Bereich der Scholle von Norden und Südosten den Hauptentnahmebereichen des Tagebaus Hambach zu. Dies zeigen übereinstimmend die konstruierten Grundwassergleichen ([Anlage 4](#)) und das berechnete Strömungsbild ([Anlage 21](#)). Die Grundwassermessstelle 876412, die sich in der Nähe des Absenkungstrichter des Tagebaus befindet, stellt auch über die Zeit eine gute Nachbildung der Grundwasserstände durch das Grundwassermodell dar ([Anlage 28](#)).

Darüber hinaus fließt das Grundwasser, ausgehend von einem lokalen Hochpunkt zwischen Sindorf und Kerpen, parallel zum Erftsprung einem lokalen Tiefpunkt bei Erftstadt zu. Im südlichen Bereich der Erft-Scholle existieren viele Verwerfungen, die im Leiter 9B hydraulisch wirksam sind. Daraus resultieren kleinräumig und lokal begrenzt unterschiedliche Druckhöhen und somit unterschiedliche hydraulische Potentiale. Neben der niedrigen Messstellendichte erschwert dies die Kalibrierung in diesem Bereich. Daraus ergeben sich kleinräumige Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Grundwasserständen, wie bei der Messstelle 841502 zu sehen ist. Die Messstelle 842092 ([Anlage 28](#)) zeigt dagegen eine gute Anpassung in Niveau und Dynamik. Grundsätzlich ist die Grundwasserfließrichtung in diesem Teil der Scholle jedoch nach Norden in Richtung des lokalen Tiefpunkts bei Erftstadt gerichtet. Im westlichen Randbereich der Erft-Scholle ist der Grundwasserleiter 9B – abgesehen von einzelnen Teilflächen bei Niederzier, Müddersheim und im südlichen Bereich der Scholle – weitgehend trocken. Im Süden bei Rheinbach und Meckenheim wird der Leiter 9B bereichsweise durch eine Kopplung zum OSTW gespeist, von wo aus das Grundwasser in Richtung Norden abströmt. In den nicht trockenen Flächen weist das Modell eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten Wasserständen auf ([Anlage 21](#)).

In der Erft-Scholle ist das Fließbild des **Horizonts 8** im Referenzjahr 2021 ([Anlage 22](#)) deutlich von der Sümpfung geprägt. Das Grundwasser fließt grundsätzlich im Horizont 8 von Nordwesten und Südosten dem Absenktrichter im Tagebau Hambach zu. Hydraulisch bedeutende Störungssysteme befinden sich überwiegend im zentralen und südlichen Teil der

Scholle, woraus bereichsweise unterschiedliche hydraulische Potentiale auf den jeweiligen Teilschollen resultieren.

Die berechneten Druckhöhen wurden für den größten Teil der Scholle von Rödingen nördlich vom Tagebau bis zum Süden überschätzt. Die Strömungsrichtung sowie die Lage des Absenktrichters sind allerdings im Grundwassermodell gut abgebildet. Die Ganglinien der Messstellen 872272 südöstlich vom Tagebau, 873531 am Absenktrichter des Tagebaus Hambach und 872592 nördlich der Sophienhöhe zeigen eine gute Nachbildung des Grundwasserstandverlaufs durch das Modell ([Anlage 28](#)). Die Schollenrandüberströme aus der Rur-Scholle in den Horizont 8 der Erft-Scholle entsprechen den konstruierten Grundwassergleichen für das Jahr 2021 ([Anlage 22](#) und [Anlage 5](#)).

In der Erft-Scholle ist der **Horizont 7** nahezu vollständig verbreitet. Dieser ist, wie die darüberliegenden Horizonte im Referenzjahr 2021 deutlich von der Sumpfung des Tagebaus Hambach geprägt. So strömt Grundwasser sowohl von Südosten als auch Nordwesten dem Tagebau Hambach zu. Die Lage des Absenktrichters am östlichen Rand des Tagebaus wird durch das Grundwassermodell gut nachgebildet, der Wasserstand wurde allerdings um etwa 10 m überschätzt.

Das Modell bildet das Strömungsbild im Horizont 7 in der Erft-Scholle gut ab, auch in der südlichen Erft-Scholle, die in mehrere Teilschollen untergliedert ist ([Anlage 6](#) und [Anlage 23](#)). Die Kopplung zum Leiter 6D am westlichen Schollenrand bei Linnich und östlich von Jülich wurden ebenso gut abgebildet. Die Ganglinie der Grundwassermessstelle 876113 bei Elsdorf ist ein Beispiel dafür, dass trotz Überschätzung des Druckpotentials die zeitliche Dynamik durch das Modell gut umgesetzt wurde ([Anlage 28](#)).

Die Grundwassermessstellen in der Erft-Scholle zeigen in weiten Teilen Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Standrohrspiegelhöhen zwischen 1 und 10 m. Jedoch findet man auch einige Messstellen, deren Abweichung größer als 10 m ist. So zeigt beispielsweise die Messstelle 872563 nordwestlich bei Elsdorf eine Abweichung von etwa 17 m. Beim Vergleich der Ganglinien fällt auf, dass trotz einer größeren Abweichung der zeitliche Verlauf vom Grundwassermodell gut nachgebildet wird ([Anlage 28](#)).

In der Erft-Scholle ist der **Horizont 6D** nur im nördlichen Teil bis zur Flözaufspaltung Frimmersdorf/Garzweiler entlang der Linie Glesch – Hambach verbreitet. Hier wird das Fließbild vom Tagebau Hambach beeinflusst. Sowohl die Lage als auch die Druckhöhe des Absenktrichters wurden durch das Grundwassermodell gut nachgebildet ([Anlage 24](#)).

Nach Nordwesten steigt die beobachtete Druckfläche auf bis zu rd. +50 mNHN im Bereich des Tripelpunktes an, die durch das Modell mit deutlich flacheren Gradienten deutlich unterschätzt wurde ([Anlage 24](#)).

Das Strömungsbild am Nordwestrand der Erft-Scholle bei Tetz zeigt einen Hochpunkt aufgrund einer Kopplung mit dem oberen Grundwasserhorizont, der durch das Modell ebenso gut abgebildet wurde ([Anlage 24](#), [Anlage 7](#)).

Von hier ist die Grundwasserströmung mit südöstlicher Fließrichtung auf den Absenkungstiefpunkt im Bereich östlich der Sophienhöhe – kurz vor dem Ende der 6D-Verbreitung – hin ausgerichtet. In diesem Bereich bildet das Modell die konstruierten Grundwassergleichen sehr gut nach ([Anlage 24](#), [Anlage 7](#)). Der Gang der Grundwassermessstelle 810861 nordwestlich von Bedburg zeigt ebenso eine gute zeitliche Anpassung des Modellergebnisses ([Anlage 28](#)).

Die sumpfsrelevante Verbreitung des **Horizontes 6B** befindet sich nordwestlich einer Linie Bedburg – Heppendorf – Nörvenich. Die Grundwasserströmung von Süden bzw. Nordwesten der Hauptscholle zum Absenktrichter wurde durch das Modell gut nachgebildet. Der Druckspiegel im Trichter innerhalb des Tagebaus stimmt mit den berechneten Druckhöhen gut überein ([Anlage 25](#)).

Die zeitliche Entwicklung im Gang der Grundwassermessstelle 810862 nordwestlich bei Bedburg wurde durch das Modell sehr gut wiedergegeben ([Anlage 28](#)). Wie in der [Anlage 8](#) und [Anlage 25](#) dargestellt, wurde der Strömungsgradient nordwestlich vom Tagebau Hambach im Modell flacher eingeschätzt, als er in den konstruierten Gleichen ausgewiesen wird.

In der Erft-Scholle setzt sich der Modellleiter 11 aus den **Horizonten 5, 4 und 2** zusammen. Im zentralen und nördlichen Bereich der Scholle wurden die konstruierten Gleichen und Messwerte aus dem Horizont 4 dargestellt. Südlich des Tagebaus werden, auf Grund der zunehmenden Vertonung des Horizontes 4, die Messwerte des Horizontes 2 dargestellt ([Anlage 26](#)). Nördlich des Tagebaus Hambach fehlen die trennenden Tone bzw. sind diese lediglich sehr geringmächtig ausgebildet. Der Ton 1 streicht nördlich einer Linie von Jülich bis Kaster aus, so dass die Liegendleiter im Nordwestteil der Erft-Scholle vom Horizont 5 bis 04 als quasi hydraulisch zusammenhängendes System betrachtet werden können. Die Druckspiegel unterscheiden sich deshalb nur unwesentlich.

Die Grundwasserströmung ist im Modellleiter 11 auf das Absenkungszentrum am Nordrandböschungssystem des Tagebaus Hambach ausgerichtet. In der Erft-Scholle zeichnet

sich dieser Absenkungstrichter in den konstruierten Gleichen mit etwa -290 mNHN deutlich ab. Das Modell weist einen leicht geringeren Grundwasserstand im Absenktrichter mit -300 mNHN aus. Der Vergleich der konstruierten und berechneten Gleichenbilder zeigt eine sehr gute Kalibrierung im Tagebaubereich und in der zentralen Erft-Scholle. Die Messstelle 873532 westlich vom Absenktrichter des Tagebaus stellt die gute Anpassung dar ([Anlage 28](#)).

Die Dichte der Messstellen in den Horizonten 2 - 5 nimmt in der südlichen Erft-Scholle ab und die Kalibrierung des Modells wird daher komplexer. Trotzdem stimmen die Modellergebnisse mit den konstruierten Grundwassergleichen auch in den Teilschollen der südlichen Erft-Scholle überein ([Anlage 9](#), [Anlage 26](#)). Ein gutes Beispiel ist die Grundwassermessstelle 875513 westlich von Weilerswist ([Anlage 28](#)). Ebenfalls wurden die Randüberströme aus der Rur-Scholle in die Liegendleiter der Erft-Scholle gut abgebildet.

In der **Kölner Scholle** werden die Grundwassergleichen des **Horizontes 2** (Modellleiter 9) in den [Anlagen 9](#) und [Anlage 26](#) dort dargestellt, wo dieser unterhalb des Verbreitungsgebietes des Tones 3 einen eigenständigen Grundwasserleiter bildet. Das Gleichenbild wird von dem großen Absenkungstrichter des Wasserwerkes Efferen bestimmt, der fast den gesamten Bereich der Ton 3-Verbreitung im Rheintal einnimmt. Darüber hinaus ist ein weiterer lokaler Absenkungstrichter im Bereich des südöstlichen Modellrands bei Wesseling zu erkennen.

Ein Vergleich zwischen den Modellgleichen und konstruierten Gleichen zeigt, dass das Modell das Strömungsbild sowohl in der nordwestlichen Kölner-Scholle im Bereich der Alttagelbaue als auch im Bereich des Wasserwerks Efferen sehr gut abbildet.

In der **Ville**, im Bereich des ehemaligen Tagebaue Frechen Fortuna und Bergheim fließt das Grundwasser der Erft-Scholle zu. In der südlichen Ville ist eine nordwestlich gerichtete Grundwasserströmung parallel zum Schollenrand vorherrschend. Ein Vergleich zwischen den berechneten und konstruierten Grundwassergleichen ([Anlagen 9](#), [Anlage 26](#)) beweist eine gute Anpassung des Modells.

Die Abweichungen in den beobachteten und berechneten Werten der Grundwassermessstellen in [Anlage 28](#) beruhen auf der teilweise fehlerhaften automatisierten Einstufung der Messstellen in der Ville.

Die Grundwasserströmung ist in den **Liegendleitern 01 - 09** deutlich auf den Sumpftrichter des Tagebaus Hambach ausgerichtet. Dies bedeutet, dass das Grundwasser im nördlichen Teil der Erft-Scholle nach Südosten und im südlichen Bereich der Erft-Scholle nach Nordwesten dem Tagebau zufließt. Im Jahr 2021 bildet das Modell das

tiefste Niveau mit rd. -180 mNHN am nordöstlichen Rand des Tagebaus Hambach sehr gut ab ([Anlage 27](#)).

Nördlich des Tagebaus Hambach sind die Grundwasserstauer (Ton 3, 08, 06) in den Liegendleitern nicht bzw. sehr geringmächtig ausgebildet. Darüber hinaus streicht der Ton 1 nördlich einer Linie von Jülich bis Kaster aus, sodass die Liegendleiter im Nordwestteil der Erft-Scholle vom Horizont 5 bis 04 als ein hydraulisch zusammenhängendes System als 12. Modelleiter betrachtet wurden. Die Druckspiegel unterscheiden sich in diesem Bereich deshalb nur unwesentlich von dem Modelleiter 11. Für die Messstellen 875773 südwestlich des Tagebaus sowie 875173 östlich von Merzenich zeigen die Modellergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung der Entwicklung des Grundwasserstands im Horizont 04 für den zentralen Bereich der Erft-Scholle ([Anlage 28](#)).

Trotz einer geringeren Messstellenanzahl und unterschiedlichen Verfilterungen der tiefen Messstellen in der südlichen Erft-Scholle stimmen die Modellwerte sehr gut mit den beobachteten Werten überein. Dennoch ist eine Überschätzung der Stände durch das Modell in der südlichen Spitze der Erft-Scholle zu beobachten. Bei dem Vergleich zwischen den konstruierten und berechneten Gleichen wird festgestellt, dass der Wasserstand am Trippelpunkt bis zur Sophienhöhe überschätzt wird. Die Kalibrierung gestaltet sich für diesen Bereich als äußerst schwierig, da die Horizonte 01 bis 5 als zwei gekoppelte Modelleiter abgebildet sind.

In der **Kölner Scholle** sind die Horizonte 09, 07 und 02-05 den Modelleitern 10, 11 und 12 zugeordnet. In [Anlage 27](#) werden die Grundwassergleichen des Modells für den **Horizont 09** dargestellt. Der Grundwasserleiter 09 wird im Süden aus dem oberen Grundwasserstockwerk gespeist. An der nördlichen Verbreitungsgrenze von Rommerskirchen über Pulheim bis Köln besteht eine Kopplung zum OSTW, von wo aus Grundwasser in den Leiter 09 fließen kann. In diesem Bereich fließt das Grundwasser im Wesentlichen von Norden in Richtung Süden und Südwesten. Daraus resultiert ein Abstrom in Richtung der Erft-Scholle in weiten Bereichen entlang der nördlichen und zentralen Ville. Weiter südlich bei Bornheim und Brühl ist die Strömung parallel zum Ville-Schollenrand nach Süden gerichtet. Auf Höhe von Hürth vereinigt sich dieser südliche mit dem aus Norden kommenden Zustrom und dreht ab hier in westlicher Richtung ab. Die beschriebenen Strömungsbilder können mit dem Modell gut nachgebildet werden und sind der [Anlage 27](#) zu entnehmen.

Der mit dem Grundwassermodell ermittelte Grundwasserspiegel trifft die Messwerte der Grundwassermessstellen gut. Der Abstrom in die Ville wird an der Verbreitungsgrenze durch das Modell überschätzt. Die Ganglinie der Messstelle 937323 westlich von Brauweiler weist

auf eine gute Anpassung durch das Modell hin ([Anlage 28](#)). Die Grundwasserstände im zentralen Bereich der Ville, östlich von Kerpen, wurden modellseitig unterschätzt.

Die Modellergebnisse bilden die Strömungsverhältnisse der Erft-Scholle, Ville und der Kölner Scholle über den Kalibrierungszeitraum gut nach und können im Prognosezeitraum als aussagekräftige Grundlage dienen.

Untersuchungsraum Tagebau Inden

Bedingt durch das generelle Gefälle in der Geologie der Rur-Scholle vom Festgesteinsrand der Eifel im Südosten zur Maas in Nordwesten sind auch die natürlichen Grundwasserströme nordwestwärts gerichtet. Die Sümpfung der Tagebau, insbesondere die des Tagebaus Inden, erzeugt jedoch deutliche Absenkungen und so ist das generelle Strömungsbild temporär verändert.

Das **obere Grundwasserstockwerk (OSTW)** zeigt zum Referenzzeitpunkt 2021 ([Anlage 20](#)) im Wesentlichen das prinzipielle nordwestwärts gerichtete Strömungsbild. So sind am Festgesteinsrand teilweise Druckpotentiale von über 200 mNHN zu beobachten, während das Druckpotential an der Maas Werte von etwa 15 mNHN erreicht. Am Modellrand fließt das Wasser in das Modellgebiet hinein und so ist die Strömung hier anders gerichtet, gliedert sich jedoch nach einigen Kilometern in den prinzipiellen Strom parallel zur Rur ein. Besonders der Bereich des Tagebaus Inden fällt ins Auge, wo das Grundwasser natürlich zum offenen Tagebau fließt und dort von Sümpfungsbrunnen gefördert wird. Zudem existieren einige Flächen geringmächtiger Grundwasserführung im Bereich der Ortschaft Geilenkirchen, im Tagebaubereich und dem Übergang zum Unverritzten, im Bereich der Stadt Düren und dem südlichen Bereich der Rur-Scholle im Bereich der Ortschaft Zülpich. Dieses großräumige Strömungsbild wird durch das Reviermodell gut nachgebildet.

Bei den meisten Pegeln des oberen Stockwerks ist die Differenz zwischen den gemessenen und berechneten Standrohrspiegelhöhen unter 2 m. Ein exemplarischer Blick auf die Ganglinie ([Anlage 28](#)) der Grundwassermessstelle 960071 zwischen den Ortschaften Heinsberg und Gangelt zeigt, dass die zeitliche Dynamik im Modell gut umgesetzt ist. Einige Pegel weisen auch Differenzen von unter 1 m auf.

Aufgrund nicht konsistenter Zuordnungen von Kartierkennzeichen zu Modelleleitern ist an einigen wenigen Pegeln in der [Anlage 20](#) eine erhöhte Abweichung eingezeichnet. Eine detaillierte Betrachtung unter der korrekten Zuordnung zeigt, dass auch hier die Abweichungen in der Größenordnung 1-2 m liegen. Eine Überarbeitung der Kartendarstellung war leider nicht

möglich. Insgesamt ist die Güte des Modells für das obere Stockwerk des Untersuchungsraumes Inden als gut zu bewerten.

Der **Horizont 9B** des Untersuchungsraums Inden ist im Referenzjahr 2021 ([Anlage 21](#)) deutlich von der Sumpfung des Tagebaus Inden geprägt. So strömt Grundwasser sowohl von Südosten als auch Nordwesten zum Tagebau, was zu einer Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal, Linnich und Geilenkirchen führt. Auch dieses Strömungsbild wird durch die berechneten Grundwassergleichen gut abgebildet.

Mit der steigenden Tiefe der Leiter sinkt auch die Menge an Informationen in Form von Bohrungen und Pegeln und so müssen auch die Bewertungskriterien dieser Leiter mit höherer Tiefe weiter gefasst werden als die des oberen Stockwerks. Die meisten Pegel zeigen eine Abweichung zwischen 5 und 10 m. Dies ist trotz der oben genannten anderen Bewertungskriterien hoch, aber noch in einem akzeptablen Rahmen. Darüber hinaus stechen einige Pegel besonders hervor. So zeigt der Pegel 841203 bei der Ortschaft Merzenich eine Abweichung von knapp 40 m. Dieser Pegel befindet sich auf einer Teilscholle sehr nah am Distelrather Spring und somit in einem Bereich mit sehr großer Dynamik. Möglicherweise ist diese Störung aufgrund der Diskretisierung nicht detailliert genug im Modell abgebildet. Ein Vergleich der Gleichenbilder zeigt jedoch, dass das Fließbild auf der angrenzenden Hauptscholle deutlich besser abgebildet ist. Ein exemplarischer Blick auf die Ganglinie des Pegels 867342 südlich der Ortschaft Freialdenhoven zeigt hier eine gute Anpassung ([Anlage 28](#)). Die zeitliche Dynamik und auch das Druckpotential werden gut abgebildet. Jedoch zeigt der Pegel deutliche unterjährliche Schwankungen, die das Grundwassermodell mit einer zeitlichen Diskretisierung von einem Jahr nicht abbilden kann.

Das Fließbild des **Horizonts 8** ist auf der Rur-Scholle im Referenzjahr 2021 ([Anlage 22](#)) deutlich von der Sumpfung geprägt. So hat sich, ähnlich im oben beschriebenen Horizont 9B, eine Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal und Geilenkirchen ausgebildet. Südöstlich davon fließt das Wasser zum Tagebau Inden, während es im Nordwesten in Richtung der Maas fließt. Südlich des Tagebaus Inden strömt das Wasser vom Festgesteinsrand der Eifel in Richtung des Tagebaus. Der Sumpfungsschwerpunkt nahe der Ortschaft Schophoven liegt bei etwa -35 mNHN.

Bei den Messstellen zeigen die meisten eine Abweichung zwischen dem gemessenen und dem berechneten Wert von weniger als 5 m, was als sehr gutes Kalibrierungsergebnis zu bewerten ist. Besonders auffällig ist die Messstelle 864274 bei der Ortschaft Freialdenhoven, wo eine Abweichung von knapp 30 m ausgewiesen wird. Ein Blick auf die Ganglinie zeigt jedoch, dass die Messstelle im Jahr 2021 scheinbar einen Messfehler aufweist ([Anlage 28](#)).

Hier ist ein plötzlicher Sprung in der Messreihe von etwa 25 m zu beobachten. Aktuellere Messwerte, die aufgrund des zeitlichen Rahmens in der Gangliniendarstellung nicht mehr aufgeführt sind, befinden sich wieder auf dem vorherigen Druckniveau. Der zeitliche Verlauf bis dorthin ist vom Modell sehr gut abgebildet. Insgesamt ist die modellseitige Abbildung des Horizonts 8 als gut zu bewerten.

Auch der **Horizont 7** auf Rur-Scholle ist im Referenzjahr 2021 ([Anlage 23](#)) deutlich von der Sümpfung des Tagebaus Inden geprägt. Aufgrund der geringen Verbreitung im nördlichen Teil der Rur-Scholle ist hier keine Wasserscheide zu beobachten. So strömt das Wasser nördlich des Tagebaus in Richtung des Absenktrichters des Tagebaus. Südlich des Tagebaus strömt das Wasser entlang des natürlichen Gefälles zum Tagebau hin. Hier sind zudem einige Störungen zu erkennen, die zu lokalen steilen Gradienten führen.

Die Grundwassermessstellen zeigen in weiten Teilen Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Standrohrspiegelhöhen zwischen 3 und 10 m. Jedoch findet man auch einige Messstellen deren Abweichung größer als 10 m ist. So zeigt beispielsweise die Messstelle 871254 bei der Stadt Düren eine Abweichung von etwa 15 m. Beim Vergleich der Ganglinien fällt auf, dass trotz einer größeren Abweichung der zeitliche Verlauf vom Grundwassermodell gut nachgebildet wird ([Anlage 28](#)).

Auch der Pegel 690403 nordöstlich der Ortschaft Zülpich zeigt eine interessante Ganglinie ([Anlage 28](#)). So liegen die gemessene und die berechnete Ganglinie nah beieinander, zeigen jedoch leicht andere Dynamiken. Das Grundwassermodell unterschätzt jedoch den Sümpfungseinfluss und hat somit einen leicht flacheren Gradienten. Dennoch ist dies im Gesamtkontext als gut zu bewerten.

Der **Horizont 6D** ist auf der Rur-Scholle lediglich im Bereich des Tagebaus Inden und im nördlichen Teil der Scholle verbreitet. Im Referenzjahr 2021 ([Anlage 24](#)) ist im Zuge der Sümpfung, ähnlich wie in den darüberliegenden Leitern, eine Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal und Geilenkirchen ausgebildet. Von dort fließt einerseits sumpfungsbedingt Wasser entgegen dem natürlichen Gefälle südostwärts zum Tagebau Inden. Andererseits fließt Wasser nordwestwärts zur Maas. Zudem strömt Wasser auf einer Teilscholle, getrennt durch den Weisweiler Sprung und den Siersdorfer Sprung, vom Bereich der Kippe Zukunft her nordwestwärts zum Bereich der genannten Wasserscheide.

Die konstruierten Grundwassergleichen für den Horizont 6D zeigen ein vergleichbares Strömungsbild. Jedoch ist im Anstrombereich des Tagebaus Inden nahe den Ortschaften Freialdenhoven und Jülich in den Modellgleichen ein gleichförmigerer Gradient zu erkennen als in den konstruierten Gleichen. Interessant sind dabei die Ganglinien der beiden

Messstellen 866042 und 867344 ([Anlage 28](#)). Dort zeigt das Grundwassermodell jeweils ein anderes Druckniveau, jedoch ist die zeitliche Dynamik sehr gut nachgebildet. Im nördlichen Teil der Scholle, wo die Strömung nordwestwärts zur Maas gerichtet ist, zeigt beispielsweise der Pegel 867334 sowohl eine gute Anpassung des Druckniveaus mit einer Abweichung von etwa 1,5 m als auch der zeitlichen Dynamik in den Ganglinien ([Anlage 28](#)). Somit ist der Kalibrierungsstand des Horizonts 6D im Gesamtkontext als gut zu bezeichnen.

Der **Horizont 6B** ist auf der Rur-Scholle etwa von der Ortschaft Kreuzau im Süden bis zur Maas nach Norden verbreitet. Der Bereich südlich der Stadt Düren ist größtenteils vertont. Das Referenzjahr 2021 ([Anlage 25](#)) ist ebenfalls stark von der Sumpfung des Tagebaus Inden geprägt. Auch so strömt Wasser sowohl von Südosten als auch Nordosten zum Sumpfungsschwerpunkt des Tagebaus Inden hin. Darüber hinaus ist im Bereich der Ortschaft Niederzier ein Überstrom in die Erft-Scholle zu beobachten. Im Bereich der Ortschaft Heinsberg ist zudem eine Wasserscheide ausgebildet, von wo das Grundwasser entweder südostwärts zum Tagebau Inden oder nordwestwärts zur Maas strömt. Außerdem strömt südwestlich der Ortschaft Geilenkirchen Wasser vom Modellrand her in das Modellgebiet und fließt in Richtung der genannten Wasserscheide. Beim Vergleich mit den konstruierten Gleichen ist das prinzipielle Strömungsbild vom Modell nachgebildet, es fällt jedoch auf, dass der Sumpfungsschwerpunkt des Tagebaus Inden im Modell zu punktuell ist und die umliegenden Bereiche somit ein erhöhtes Druckpotential aufweisen. Die Verortung des Sumpfungsschwerpunktes ist jedoch gut vom Grundwassermodell abgebildet. Zudem ist im Bereich der Ortschaft Niederzier ein Überstrom in die Erft-Scholle zu erkennen und vom Modell gut abgebildet. Zwischen dem Sumpfungstrichter und dem Überstrombereich hat sich dementsprechend eine Wasserscheide ausgebildet, die sowohl im konstruierten und im berechneten Gleichenbild gut zu erkennen ist.

Beim Ganglinienvergleich an den Messstellen 871193 und 873445 fällt auf, dass eine fallende Dynamik ab etwa 2016 vom Modell nicht gut abgebildet wird ([Anlage 28](#)). Der zeitliche Verlauf bis dahin ist jedoch sehr gut abgebildet. Diese Absenkung scheint auf eine erhöhte Sumpfung des Horizonts 6B in diesem Zeitraum, deren Absenkungstrichter vom Modell unterschätzt wird und so nicht bis zu diesen Pegeln reicht. Ein Blick auf den Ganglinienvergleich an der Grundwassermessstelle 865044 an Nordrand der Kippe Zukunft zeigt die Wiederanstiegsdynamik in diesem Bereich ([Anlage 28](#)). Der Gradient des Wiederanstiegs ist leicht unterschätzt, jedoch ist der zeitliche Verlauf des Wiederanstiegs gut abgebildet. Die gesamte Abbildung des Horizonts 6B im Grundwassermodell ist als gut zu bewerten.

Die **Horizonte 2 - 5** sind auf der Rur-Scholle vom Festgesteinsrand im Südosten bis etwa zur Ortschaft Freialdenhoven nordwestlich des Tagebaus Inden verbreitet. Im Gleichbild zum Referenzjahr 2021 ([Anlage 26](#)) fällt auf, dass dies im Wesentlichen durch zwei Faktoren geprägt ist. Einerseits durch die Sumpfung des Tagebaus Inden und andererseits durch einen Überstrom in die Erft-Scholle, der einen Einfluss der Sumpfung des Tagebaus Hambach darstellt. Durch den Vergleich der konstruierten und berechneten Gleichbilder fällt auf, dass das Modell die Sumpfung des Tagebaus Inden leicht unterschätzt. So ist der Absenkrichter der Sumpfung des Tagebaus Inden weniger deutlich, aber dennoch ist vor allem im nördlichen Anstrom- und im Kippenbereich eine deutliche Strömungsrichtung zum Sumpfungsschwerpunkt zu erkennen. Auch der Einfluss des Jülicher Sprungs ist vom Grundwassermodell abgebildet. Im südlichen Anstrombereich bei der Stadt Düren und im Bereich der Ortschaften Vettweiß und Zülpich ist ebenfalls eine gute Anpassung der Strömungsgradienten vom Festgesteinsrand der Eifel her zu erkennen.

Ein Blick auf die Ganglinien zeigt im Wesentlichen auch eine gute Anpassung des zeitlichen Verlaufs ([Anlage 28](#)). Beispielsweise zeigen die Ganglinien der Grundwassermessstelle 867345 südlich der Ortschaft Freialdenhoven einen sehr parallelen Verlauf der berechneten und gemessenen Werte. Zwar zeigt das Modell zum Ende der 1980er Jahre stärkere Absenkungstendenzen, aber ab Mitte der 1990er Jahre besteht eine sehr gute Anpassung. Die Ganglinien des Pegels 873446 im Norden der Stadt Düren zeigen ebenfalls eine sehr gute Anpassung. So verlaufen die gemessenen und die berechneten Ganglinien über den Zeitraum bis etwa 2010 sehr parallel, ab dann entstehen leichte Abweichungen. Im Großen und Ganzen ist aber auch dies als ein gutes Kalibrierungsergebnis zu bewerten.

Die **Horizonte 01 - 09** sind mit einigen kleineren Ausnahmen am Modellrand in der gesamten Rur-Scholle verbreitet. Ähnlich wie in den Horizonten 2 - 5 ist auch hier im Grundwassergleichbild für das Referenzjahr 2021 ([Anlage 27](#)) ein Einfluss der Sumpfung des Tagebaus Hambach in Form eines Absenkrichters zu einem Überstrombereich in die Erft-Scholle nahe der Ortschaft Ellen zu erkennen. Da eine Sumpfung der Horizonte 01 - 09 im Zuge des Tagebaus Inden nicht besteht, ist von diesem Tagebau kein Sumpfungseinfluss erkennbar. Im Wesentlich fließt sowohl vom Festgesteinsrand der Eifel im Südosten als aus von der Maas im Nordwesten das Wasser zum Überstrombereich nahe der Ortschaft Ellen. Beim Vergleich der Gleichbilder fällt ebenfalls auf, dass die hohen Gradienten südwestlich der Stadt Düren und im Südbereich der Scholle bei der Stadt Euskirchen im Modell gut abgebildet sind. So zeigt beispielsweise der maximale Wasserstand im Bereich des Modellrandes nahe der Ortschaft Nideggen ein sehr ähnliches Druckpotential von 220 mNHN im Vergleich zu den Konstruktionen (230 mNHN).

Die Pegelganglinien zeigen eine gute Anpassung der zeitlichen Dynamik. So bildet das Modell am Pegel 561591 westlich der Ortschaft Merzenich die Dynamik der Messwerte sehr gut ab. Die Ganglinien des Pegels 869655 westlich der Stadt Düren zeigen zwar eine recht hohe Abweichung zwischen den gemessenen und berechneten Werten, jedoch besteht auch hier eine sehr gute Abbildung der zeitlichen Schwankungen im Modell ([Anlage 28](#)). So verlaufen die beiden Ganglinien sehr parallel. Zudem ist anzumerken, dass es sich hier bei der modellseitigen Abbildung um einen Mischhorizont handelt und in der Realität mögliche Grundwasserstauer existieren, die unterschiedliche Druckpotentiale hervorrufen, die das Modell natürlich nicht nachbilden kann.

Zusammenfassend ist das Kalibrierungsergebnis auf der Rur-Scholle als gut zu bewerten und die Aussagekraft des Gesamtmodells besteht und es kann für die Bewertung des Prognosezeitraumes herangezogen werden.

5.3.3. Schollen- und Randüberströme

Volumenströme über äußere geometrische Modellränder werden im vorliegenden Grundwassermodell über Höhenrandbedingungen, Volumenstromrandbedingungen oder Gewässerrandbedingungen geregelt. Seit dem Reviermodell 2007 werden Schollenränder als innere Verwerfungen modelliert. Damit sind die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen geologischen Teilschollen direkt aus den Bilanzen ablesbar. Der Randbereich zwischen der Venloer Scholle und der Erft-Scholle beginnt am westlichen Tripelpunkt mit dem Lövenicher Sprung, geht über den Jackerather Horst und endet mit dem Kaster Sprung am östlichen Tripelpunkt. Es folgen gegen den Uhrzeigersinn um die Venloer Scholle die Naht zur linksrheinischen Kölner Scholle, die den Bereich zwischen östlichem Tripelpunkt und Rhein beschreibt, der Nord-Ost-Rand, die Randbereiche Krefelder Scholle und Viersener Sprung sowie der Nord-Rand, der den Rand bis zur Maas schließt. Die Austauschmengen unter der Maas werden über den Rand Maas-Venlo erfasst, während die westliche Begrenzung der Venloer Scholle durch den Rur-Rand-Nord, den Meinweg, den Wassenberger Horst sowie Doveren gebildet werden. Die genannten Modellränder weichen teilweise von den geologischen Schollenbegrenzungen ab.

Die Betrachtung der Randüberströme erfolgt sowohl für die inneren Ränder entlang der Grenzen geologischer Teilräume als auch für die äußeren geometrischen Ränder des Grundwassermodells. Für den Kalibrierungszeitraum wurden die vier Zeitpunkte

- **1976** als Abbild des frühen Simulationszeitraumes,
- **1983** als ehemaliger Vergleichszeitpunkt früherer Modellberichte,

- das Jahr **2000** als Vergleichszeitpunkt früherer Modellberichte und
- das Jahr **2021** als aktueller Vergleichszeitpunkt

dargestellt. Der Randbereich bezeichnet dabei die jeweils betrachtete Kette der Modellknotenpaare. Die Schollenseite legt den Standort des Betrachters fest und ermöglicht nachzuvollziehen, zwischen welchen Grundwasserleitern Volumenströme stattfinden ([Anlage 98](#)). Die räumliche Lage ist in [Anlage 1](#) abgebildet. Volumenströme mit positiven Werten fließen zum Standort des Betrachters hin, negative Werte fließen vom Standort des Betrachters weg.

Der innere Rand **Rurrand Nord** zwischen Swalmen und Melick-Herkenbosch weist stetige Überströme in den oberen Modelleitern von der Venloer in die Rur-Scholle aus, welche den Abstrom in den tiefen Leitern, insbesondere Modelleiter 6 (Hor. 8) mehr als ausgleichen. So bleiben die Nettosumme der Überströme von knapp 3 Mio. m³/a bis zum Jahr 1983 mit 3,1 m³/a relativ konstant, bevor sich der Abstrom im Modelleiter 8 verringert und sich der Gesamtüberstrom in Richtung Rur-Scholle auf Jahresmengen um 4 Mio. m³/a einpendelt. So beträgt der Überstrom 2021 ca. 3,9 Mio. m³/a.

Der innere Rand **Meinweg** zwischen Melick-Herkenbosch und Wassenberg ist im Kalibrierungszeitraum durch stetige Überströme von der Venloer Scholle in die Rur-Scholle gekennzeichnet. Sie betragen im Jahr 1976 zunächst 5,3 Mio. m³/a und steigen unter leichten Schwankungen auf etwa 6 Mio. m³/a ab den frühen 2000er Jahren an. Gut drei Viertel der jährlichen Überstrommenge treten im 2. Modellgrundwasserleiter auf.

Der **Wassenberger Horst** markiert einen Grenzbereich zwischen der Venloer Scholle und der Rur-Scholle zwischen den Ortslagen Wassenberg und Hückelhoven. Er weist im gesamten Kalibrierungszeitraum Überströme von der Venloer Scholle in die Rur-Scholle von etwa 1,3 bis 1,7 Mio. m³/a aus, welche vornehmlich dem 1. und 2. Modellgrundwasserleiter der Rur-Scholle zugute kommen.

Der innere Rand **Doveren** bezeichnet den kurzen Grenzbereich zwischen der Venloer Scholle und der Rur-Scholle im Bereich der Ortslagen Hückelhoven - Doveren - Baal. Im gesamten Kalibrierungszeitraum weist dieser Bilanzraum nur einen geringen Überstrom in Richtung der Rur-Scholle aus, der von anfänglich nur knapp über 0,1 Mio. m³/a auf ca. 0,3 Mio. m³/a seit den 2000er Jahren ansteigt und beinahe ausschließlich im 11. Modellgrundwasserleiter stattfindet.

Der Randbereich **Lövenicher Sprung** bezeichnet die Grenze zwischen der Venloer Scholle und der Erft-Scholle zwischen den Ortslagen Baal und Titz. Es findet dort im Kalibrierungszeitraum ein stetiger Überstrom von der Venloer Scholle in die Erft-Scholle statt. Dieser nimmt ab Simulationsbeginn konstant zu, beträgt im Jahr 1976 ca. 5,2 Mio. m³/a, pendelt sich ab Mitte der 1980er Jahre bei etwa 11 Mio. m³/a ein und erreicht seinen

maximalen Wert von knapp 12 Mio. m³/a um das Jahr 2000. Ab da gehen die Überstrommengen wieder zurück und betragen am Ende der Kalibrierungsphase 8,3 Mio. m³/a im Jahr 2021. Mehr als die Hälfte des Volumenstroms entfällt dabei auf den 11. Modellgrundwasserleiter, zudem erhalten die Erft-Schollenleiter 6, 8 und 9 nennenswerte Zuströme aus dem 9. Modelleiter der Venloer Scholle.

Der innere Rand **Jackerather Horst** südlich des Tagebaus Garzweiler weist im Kalibrierungszeitraum durchweg Volumenströme von der Venloer Scholle in die Erft-Scholle aus. Diese speisen sich aus verschiedenen tiefen Modellgrundwasserleitern der Venloer Scholle und fließen beinahe ausschließlich den beiden tiefsten Modellgrundwasserleitern der Erft-Scholle zu. Zwei Jahre vor Beginn des Tagebaus Hambach beträgt die Überstrommenge noch 4,3 Mio. m³/a und steigert sich in der Folge bis auf fast 13 Mio. m³/a in den frühen 1980er Jahren. Langfristig folgt unter Schwankungen ein Rückgang der Überströme, mit einem zwischenzeitlichen Maximum von 10,2 Mio. m³/a im Jahr 1999, bis am Ende des Kalibrierungszeitraums noch etwa 7 Mio. m³/a ausgewiesen werden.

Über den Rand **Kaster Sprung** im Bereich Bedburg strömt zum Modellstart zunächst Wasser von der Erft-Scholle der Venloer Scholle zu. Dieser Zustrom in die Venloer Scholle liegt 1976 noch bei 4,1 Mio. m³/a, bevor sich eine Umkehr der Fließrichtung einstellt. Hierfür ist die anfänglich intensive Entwässerung für den beginnenden Tagebau Garzweiler verantwortlich, welche später durch die Entwässerungsmaßnahmen für den Tagebau Hambach in der Erft-Scholle überprägt wird. In der Folgezeit fluktuieren die Austauschmengen zwischen 1,2 Mio. m³/a und 6,5 Mio. m³/a, bevor sie sich ab 1999 recht konstant zwischen 6 und 7 Mio. m³/a einpendeln. Im Jahr 2021 beträgt der Überstrom in die Erft-Scholle 6,9 Mio. m³/a und findet zu etwa 80 % zwischen den beiden tiefsten Modellgrundwasserleitern beider Schollen statt.

Im Randabschnitt **Fortuna** zwischen Bedburg und Niederaußem strömen von der Kölner Scholle große Mengen den Liegendgrundwasserleitern der Erft-Scholle zu. Dieser Überstrom beträgt im Jahr 1976 knapp 12,8 Mio. m³/a. Ab Mitte der 1990er Jahre erfolgt dann ein zusätzlicher Überstrom in den Modelleitern 6 bis 10, wodurch die gesamte Überstrommenge kurzfristig auf 22,5 Mio. m³/a ansteigt, um dann im restlichen Kalibrierungszeitraum bei Werten um 19 Mio. m³/a zu stagnieren.

Der innere Rand **Bergheim** behandelt den Grenzbereich entlang des ehemaligen Tagebaus Bergheim zwischen den Modellbereichen Kölner Scholle und Erft-Scholle. In den ersten 30 Jahren des Kalibrierungszeitraums schwankt der Volumenstrom in diesem Randbereich zwischen 1,3 und 3,1 Mio. m³/a. Ab 1998 stabilisiert sich die Überstrommenge dann dauerhaft oberhalb von 2 Mio. m³/a und beträgt im Jahr 2021 ca. 2,6 Mio. m³/a. Die

Hauptaustauschmengen fallen dabei im 12. Modellgrundwasserleiter an und sind durchweg von der Kölner Scholle in die Erft-Scholle gerichtet.

Der Randbereich **Frechen** erstreckt sich zwischen den Ortslagen Quadrath-Ichendorf und Weilerswist entlang des Südrevers. Der durchgängig in die Erft-Scholle gerichtete Volumenstrom steigt von z. T. unter 6 Mio. m³/a in der Frühphase der Kalibrierung 1976 auf 12 Mio. m³/a im Jahr 1984 an. Nach einem zwischenzeitlichen Rückgang stellt sich dann ab 1998 ein Volumenstrom von ca. 11 Mio. m³/a ein, der bis 2021 leicht auf einen Wert von knapp 11,5 Mio. m³/a ansteigt. Dabei findet der Überstrom im gesamten Kalibrierungszeitraums zu 85 – 89 % im 11. und 12. Modelleiter statt.

Der **Rurrand Erftnord** markiert die Grenze zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle zwischen den Ortslagen Baal und Koslar. Im gesamten Kalibrierungszeitraum ist die Fließrichtung von der Rur-Scholle in die Erft-Scholle gerichtet. Die Überströme steigen von anfangs 4,1 Mio. m³/a auf 13,1 Mio. m³/a im Jahr 1983 an und steigern sich in der Folge nur noch leicht, bis für das Jahr 2021 ca. 13,7 Mio. m³/a ausgewiesen werden. Der Zustrom findet sowohl in den Liegendgrundwasserleitern als auch den hangenden Modelleitern 6 und 8 statt und entstammt in etwa zu Hälfte den oberen beiden Leitern der Rur-Scholle.

Über den kurzen inneren Randbereich **Jülich** im Stadtgebiet von Jülich treten bis Anfang der 1990er Jahre Zuströme von etwa 9 bis 10 Mio. m³/a in Richtung der Erft-Scholle auf, welche sich ganz überwiegend auf die Hangendleiter beschränken. Im weiteren Verlauf des Kalibrierungszeitraums nimmt dieser Volumenstrom kontinuierlich über alle Modelleiter ab und weist im Jahr 2000 4,85 Mio. m³/a und schlussendlich nur noch 2,8 Mio. m³/a im Jahr 2021 auf.

Am inneren Rand bei **Stetternich** treten im Kalibrierungszeitraum nur geringe Überströme von der Rur- in die Erft-Scholle auf, die von anfangs 0,6 auf bis zu 1,2 Mio. m³/a Mitte der 1980er Jahre ansteigen. Diese verteilen sich primär zu gleichen Anteilen auf die Modellgrundwasserleiter 5, 11 und 12. Ab den frühen 2000er Jahren sinkt der Gesamtüberstrom dann wieder unter 1 Mio. m³/a und beschränkt sich zunehmend auf die tiefen Liegendleiter. Im Jahr 2021 wird noch ein Volumenstrom von 0,65 Mio. m³/a simuliert.

Der innere Rand **Niederzier** zwischen den Ortslagen Niederzier und Huchem-Stammeln markiert einen Grenzbereich zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle an dem ebenfalls ein kontinuierlicher Nettoüberstrom in die Erft-Scholle stattfindet, der sich fast ausschließlich auf den 11. Modelleiter beschränkt. Von anfänglich knapp 7 Mio. m³/a steigt der Volumenstrom mit jedem Zeitschritt weiter an, bis er im Jahr 1981 seinen Zenit von 14,1 Mio. m³/a erreicht. In der Folge gehen die Mengen wieder konstant bis fast auf den Ausgangswert zurück, um zum Ende des Kalibrierungszeitraums 2021 wieder auf 9,3 Mio. m³/a anzusteigen.

Ab dem Jahr 1998 ist zudem im Modellleiter 8 eine Trendumkehr mit geringem, nunmehr in Richtung der Rur-Scholle gerichtetem Volumenstrom zu beobachten.

Der Randbereich **Düren** schließt sich nach Süden zwischen den Ortslagen Huchem-Stammeln und Nörvenich im Süden an. Er verzeichnet stetig Abströme aus der Rur-Scholle in die Erft-Scholle, die ebenfalls Mitte der 1980er Jahre ihr Maximum von 20,3 Mio. m³/a erreichen (gegenüber initial 12,7 Mio. m³/a) und sich in der Folge bei Werten um 18 Mio. m³/a einpendeln. Über 80% des Zustroms erfolgen dabei in die Liegendleiter der Erft-Scholle, während quasi die gesamte restliche Menge im OSTW zuströmt.

Der **Rurrand Süd** erstreckt sich von Nörvenich bis auf die Höhe von Swisttal im Süden. Über diesen Grenzbereich strömt im gesamten Kalibrierungszeitraum eine mit 24,1 bis 26 Mio. m³/a recht konstante Wassermenge von der südlichen Rur-Scholle in die Erft-Scholle. Die Überströme treten dabei in fast allen Modellleitern auf. Nur der 3., 9. und 10. Leiter der Erft-Scholle erfahren keinerlei Zustrom.

Der äußere Rand **Maas-Venlo** erstreckt sich zwischen Swalmen im Süden und Venlo im Norden. Das Grundwassermodell ist in diesem Bereich sowohl mit einer Höhenrandbedingung in den tieferen Grundwasserleitern als auch mit einer Gewässerrandbedingung ausgestattet. Die Abströme an diesem Modellrand sind durchgehend gering, bezeichnen allerdings auch nur die Volumenströme in den tieferen Grundwasserleitern. Die übrigen Austauschmengen werden über die Bilanz des Gewässerteileinzugsgebietes Maas an anderer Stelle beschrieben. Ist der Randüberstrom anfangs noch mit knapp 1 Mio. m³/a aus dem Modellgebiet heraus gerichtet, nimmt dieser Abstrom kontinuierlich ab und schlägt ab den späten 1980er Jahren in einen Zustrom um. Dieser steigt binnen weniger Jahre auf etwa 0,1 Mio. m³/a und stagniert dauerhaft bei diesem Wert.

Am äußeren **Nordrand der Venloer Scholle** zwischen Venlo und westlich Hinsbeck erfährt das Modellgebiet über die komplette Teufe summiert einen stetigen Abstrom, welcher bis 2012 zwischen 6 und 8 Mio. m³/a fluktuiert. Eine leiterdifferenzierte Betrachtung zeigt auf, dass insbesondere die Leiter 4, 5 und 8 Zuströme von mehreren Mio. m³/a erfahren, welche allerdings die hohen Abflüsse in den Modellgrundwasserleitern 9 und 10 sowie – in geringerem Umfang – im OSTW nicht ausgleichen können.

Der **Viersener Sprung** erstreckt sich im Anschluss als äußere Modellberandung bis nach Dülken. Er verzeichnet in der gesamten Kalibrierungsphase einen Zustrom in das Modellgebiet, welcher zunächst zwischen 0,2 und 2,3 Mio. m³/a schwankt, bevor im Jahr 1993 ein sprunghafter Anstieg auf 4,9 Mio. m³/a erfolgt. In der Folge bewegt sich die Zustrommenge überwiegend im Bereich von 3 bis 4 Mio. m³/a mit sporadischen jährlichen Ausreißern auf 2,2 bzw. 4,9 Mio. m³/a. Ein mit schlussendlich etwa 0,9 Mio. m³/a nennenswerter Abstrom aus dem Modell ist nur im 6. Modellleiter zu beobachten.

Der äußere **Rand zur Krefelder Scholle** zwischen Dülken und Schiefbahn weist in der Frühphase des Kalibrierungszeitraums einen Abstrom in Richtung des Rheins von zunächst 6,3 bis 8,6 Mio. m³/a auf, welcher sich in den 1980er stark verringert und sogar in einen kurzzeitigen Zustrom von 0,3 Mio. m³/a umschlägt. Anfang der 1990er Jahre werden jedoch bereits wieder maximale Abstrommengen von bis zu 11,3 Mio. m³/a verzeichnet, bevor diese weitgehend zwischen 4,3 und 6,4 Mio. m³/a stagnieren. Die größten Abflüsse aus dem Modell treten im OSTW auf.

Der **Nordostrand** zwischen Schiefbahn und Neukirchen weist im gesamten Kalibrierungszeitraum Abströme aus dem Modellgebiet aus, die fast ausschließlich auf das OSTW beschränkt sind. Die Gesamtmengen liegen bis in die frühen 1990er Jahre zwischen 16,4 und 20,1 Mio. m³/a und gehen dann unter Schwankungen bis 5,9 Mio. im Jahr 2020 zurück, wobei für das folgende und letzte Jahr des Kalibrierungsphase wiederum 8,6 Mio. m³/a ausgewiesen werden.

Der Randbereich **Dormagen** zwischen Neukirchen und dem Rhein bei Dormagen verzeichnet im Kalibrierungszeitraum einen kontinuierlichen Abstrom aus allen Modellgrundwasserleitern. Von anfänglich gut 10 Mio. m³/a ist der Wasserverlust im Jahr 1976 bereits auf 2,3 Mio. m³/a gefallen und bleibt in dieser Größenordnung, bis er Anfang der 1980er Jahre wieder unter starken Schwankungen einem ansteigenden Trend folgt und 1997 seinen Maximalwert von 11,1 Mio. m³/a Jahr erreicht. Auch in der Folgezeit ist der Abstrom von starken jährlichen Fluktuationen im Wertebereich zwischen 5 und 10 Mio. m³/a gekennzeichnet und beträgt im Jahr 2021 knapp 6,3 Mio. m³/a. Dabei erfolgt der Abstrom in den allermeisten Jahren knapp zur Hälfte aus dem 2. Modellleiter und speist sich daneben überwiegend aus kleineren Volumenströmen der anderen Hangendleiter.

Der Randbereich des **Rheins** erstreckt sich von Dormagen im Norden bis nach Rheidt im Süden. Mithilfe von sechs Rheinpegeln zwischen Mohnheim und Dormagen wurden die Rheinwasserspiegel zwischen 1970 und dem Jahr 2021 rekonstruiert. Dementsprechend wird der Überstrom an diesem Rand einerseits durch die Jahreswerte des Rheinwasserstands beeinflusst. Andererseits sind im Modell die ufernahen Fassungsanlagen der Industrie und öffentlichen Entnehmer südlich und nördlich des unmittelbaren Stadtgebietes der Stadt Köln implementiert, welche ebenfalls einen maßgeblichen Einfluss ausüben und so für die teilweise deutlichen Zuströme in das Modellgebiet verantwortlich sind. So strömt dem Modellgebiet in der Anfangszeit der Simulation über alle Leiter summiert Wasser zu. Die jährlichen Mengen reichen dabei von 5,5 bis 53,4 Mio. m³/a. Im Jahr 1983 erfolgt dann erstmalig ein Netto-Abstrom aus dem Modell und die Überströme variieren in der Folgezeit zwischen 21,7 Mio. m³/a Abstrom und knapp 51 Mio. m³/a Zustrom. 1993 erfolgt dann eine sprunghafte Verdopplung des vorjährigen Zustroms auf 116,7 Mio. m³/a. und es setzt ein ansteigender

Trend ein, der unter starken Schwankungen einen maximalen Zustrom von 151,6 Mio. m³/a im Jahr 2020 erreicht: Hier zeigt sich der direkte Einfluss der gesteigerten bergbaufremden Grundwasserentnahme auf der Kölner Scholle. Am Ende des Kalibrierungszeitraums im Jahr 2021 strömen dem Modell so 145,8 Mio. m³/a zu.

Der Randbereich **Bornheim** verläuft von Rheidt am Rhein bis nach Merten an der Grenze zur Erft-Scholle. Dort finden in den ersten gut 20 Jahren der Simulation Zuströme von 0,9 bis 4,7 Mio. m³/a statt, die sich in den 1990er Jahren auf bis zu 11,5 Mio. m³/a steigern. Im restlichen Kalibrierungszeitraum schwanken die Zuströme überwiegend zwischen etwa 2 und 6 Mio. m³/a. Zum Ende des Kalibrierungszeitraums im Jahr 2021 wird ein Zustrom von knapp 4,9 Mio. m³/a verzeichnet, der sich recht gleichmäßig auf alle Modellgrundwasserleiter mit Ausnahme des 9. 11. und 12. verteilt.

Die Ränder **Swistalsprung Nord** und **Swistalsprung Süd** markieren die äußeren südöstlichen Modellränder der Erft-Scholle jenseits der Südgrenze des Modellgebietes der Kölner Scholle zwischen Merten und Meckenheim. Während der Swistalsprung Süd hydraulisch unwirksam ist und dort somit keine Volumenströme stattfinden, erfolgt über den Swistalsprung Nord ein kontinuierlicher Einstrom in den 1. Modellgrundwasserleiter der Erft-Scholle von knapp 1,2 Mio. m³/a. Außerdem strömen dem 11. und 12. Modelleiter jeweils konstant 0,5 Mio. m³/a zu.

Der **Rurrand Rheinbach** zwischen Meckenheim und Odendorf verzeichnet über den gesamten Kalibrierungszeitraum einen stetigen Zustrom in den 7. Modellgrundwasserleiter von knapp 1,7 Mio. m³/a und 0,3 Mio. m³/a in den 8. Modellgrundwasserleiter. In Summe ergeben sich damit Volumenströme von 1,9 Mio. m³/a.

Der äußere Rand zum **Eifelgebirge Süd** bezeichnet den Randbereich der südlichen Rur-Scholle. Hier wird ein Einstrom in das Grundwassermodell von 12,7 Mio. m³/a angesetzt, der sich mit 1,4 Mio. m³/a auf den 1. Modellgrundwasserleiter, mit 3,9 Mio. m³/a auf den 8. Modellgrundwasserleiter und mit 7,4 Mio. m³/a auf den 12. Modellgrundwasserleiter verteilt.

Der äußere Modellrand zum **Eifelgebirge Nord** weist einen kontinuierlichen Einstrom in die Rur-Scholle auf, der mit knapp 2 Mio. m³/a den 10. und 1,7 Mio. m³/a den 11. Modelleiter befüllt.

Über die **Sandgewand**-Verwerfung als äußeren Modellrand strömen der Rur-Scholle stetig gut 1,6 Mio. m³/a zu. Der Einstrom erfolgt vornehmlich (ca. 80 %) in den 1. und untergeordnet in den 10. Modellgrundwasserleiter.

Am **Hoofdbroik** erzeugt eine Höhenrandrandbedingung einen dauerhaften Einstrom in den 1. Modellgrundwasserleiter. Beträgt dieser zu Beginn der Simulation noch gut 6,6 Mio. m³/a, so erfolgt bis 1977 bereits eine Zunahme auf 9,1 Mio. m³/a. Nach einer kurzen Phase leicht rückläufiger Überstrommengen, vollziehen diese ab Mitte der 1980er Jahre einen nahezu

linearen Anstieg, sodass in den letzten Jahren des Kalibrierungszeitraums Werte von gut 11 Mio. m³/a erreicht werden.

Über den äußeren Rand zum **Feldbiss** erfolgt in dieser Modellversion keinerlei Grundwasserströmung.

Der Rand **Maas-Rur** erstreckt sich im Anschluss an den Feldbiss bis nach Norden etwa auf Höhe der Ortslage Roermond. Über diesen äußeren Modellrand strömen der Erft-Scholle im 5. Modellgrundwasserleiter über den gesamten Kalibrierungszeitraum Wassermengen zu, welche von anfänglich knapp 6,2 Mio. m³/a ausgehend einem von gelegentlichen Schwankungen unterbrochenem annähernd linear abnehmendem Trend folgen, sodass im Jahr 2021 diesem Leiter nur noch 2,3 Mio. m³/a zuströmen. Im Gegensatz dazu erfolgt im 9. Modelleiter ein dauerhafter Abstrom aus dem Modell, welcher von Werten um 12 Mio. m³/a in der Frühphase bis auf 17 Mio. m³/a Mitte der 2000er Jahre ansteigt. Anschließend geht dieser Volumenstrom stark zurück und beträgt in den letzten Jahren des Kalibrierungszeitraums noch um 10 Mio. m³/a.

Die **Grenze zwischen Kölner- und Venloer Scholle** ist im Gegensatz zu den anderen inneren Rändern des Modellgebiets nicht durch tektonische Verwerfungen gekennzeichnet, sondern stellt vielmehr einen sedimentologischen Übergangsbereich dar. Im Grundwasserströmungsmodell sind dort dementsprechend keine Störungen bzw. Sonderverbindungen implementiert. Die Bilanzebene erstreckt sich von Neurath in gerader Linie nach Nordosten und endet zwischen den Ortslagen von Dormagen-Nievenheim und Neuss-Rosellerheide; die Bilanzierung erfolgt bezogen auf die Venloer Scholle, sodass ein positiver Volumenstrom als Zufluss in die Venloer Scholle zu interpretieren ist und ein negativer Volumenstrom einen Abfluss aus der Venloer Scholle darstellt. Bis in das Jahr 1989 ist insgesamt ein Überstrom von der Venloer in die Kölner Scholle in einer Größenordnung von 2,5 bis 4,3 Mio. m³/a zu beobachten, der hauptsächlich durch die Volumenströme in den Modelleitern 9, 10 und 12 getrieben wird, welche die gegenläufige Strömung im 11. Modelleiter mengenmäßig übertreffen. Mit dem Rückgang der Fördermengen im Tagebau Fortuna-Garsdorf kommt es dann im Jahr 1990 zu einer Umkehr der Strömungsrichtung im 10. Modelleiter sowie zu einer deutlichen Reduktion der Abströmung aus der Kölner Scholle um Modelleiter 12. Infolgedessen stellt sich nun über alle Leiter summiert ein Zustrom in die Kölner Scholle ein, der zumeist zwischen 1,5 und 2,4 Mio. m³/a beträgt und im Jahr 2021 seinen vorläufigen Höchstwert von knapp 2,9 Mio. m³/a erreicht.

5.3.4. Gewässeraustauschmengen

Die Oberflächengewässer stellen im Untersuchungsraum ein wesentliches Bilanzglied dar. Die Gewässeraustauschmengen zeigen sich über den Kalibrierungszeitraum abhängig von der Grundwasserneubildung und der bergbaulichen Aktivität. So sind in den Neunziger-Jahren des letzten Jahrhunderts die niedrigsten Austräge über die Gewässer zu beobachten, die sich mit der Inbetriebnahme der Versickerungsanlagen wieder erhöhen. Tabelle 3 weist zu ausgewählten Zeitpunkten die Gewässeraustauschmengen aus. Ein negatives Vorzeichen repräsentiert einen Abstrom aus dem Grundwasserleiter in das Gewässer, ein positives einen Einstrom vom Gewässer in den Grundwasserleiter.

Der Zutritt aus der **Erft** beträgt bis zum Jahr 2000 weitgehend konstant um 35 Mio. m³/a. Bis zum Jahr 2012 erreicht die Mengen 45,2 Mio. m³/a. Da das Teileinzugsgebiet der Erft die Einflussräume mehrerer Tagebaue überstreicht, sind die Schwankungen der Austauschmengen den einzelnen bestimmenden Faktoren nur schwer zuzuordnen.

Die **Inde** verzeichnet in ihrem Teileinzugsgebiet eine geringe Infiltration in den Grundwasserleiter, die zum Jahr 2000 3,8 Mio. m³/a beträgt. Im Jahr 2021 haben sich neue hydrogeologische Verhältnisse im Teileinzugsgebiet der verlegten Inde eingestellt und es wird ein Zustrom aus dem Grundwasser in das Gewässer von 1,8 Mio. m³/a bilanziert.

Die **Maas** ist im gesamten Kalibrierungszeitraum der Hauptvorfluter im nordwestlichen Rheinischen Braunkohlenrevier. Über ihr Teileinzugsgebiet verlassen im Kalibrierungszeitraum zwischen 76 Mio. m³/a und 97 Mio. m³/a das Grundwassermodell.

Die **Nette** behält im Verlauf des Kalibrierungszeitraumes ihre Vorflutwirkung in der nordöstlichen Venloer Scholle mit Abflussmengen um ca. 10 Mio. m³/a bei.

Der **Niers** strömen im Kalibrierungszeitraum Mengen von 5 bis 10 Mio. m³/a zu.

Der **Nordkanal** übt bis in die späten 1980er Jahre eine Vorflutwirkung mit Abstrommengen von bis zu 2 Mio. m³/a aus, bevor sich ein Jahrzehnt des Zustroms in das Grundwasser anschließt. Ab dem Jahr 2000 variiert das Austauschgeschehen zwischen effluenten und influenten Bedingungen, wobei insgesamt der Zustrom ins Grundwasser überwiegt und zum Ende des Kalibrierungszeitraums gut 1 Mio. m³/a beträgt.

Aus der **Norf** strömen beinahe im gesamten Kalibrierungszeitraum Wassermengen in den Grundwasserkörper ab, die starken jährlichen Schwankungen unterworfen sind und maximal 4 Mio. m³/a Anfang in den frühen 2000er Jahren betragen.

Das Teileinzugsgebiet der **Rur** überstreicht sowohl wesentliche Teile der Rur-Scholle, als auch Bereiche der Venloer Scholle. Während des gesamten Kalibrierungszeitraumes strömt Wasser aus dem Grundwasserkörper in das Gewässer ab. Allerdings nimmt die Menge deutlich von anfangs 59,1 Mio. m³/a im Jahr 1976 auf 5 Mio. m³/a im Jahr 2021 ab.

Im Teileinzugsgebiet der **Schwalm** strömen im Kalibrierungszeitraum relativ gleich bleibend zwischen 25 Mio. m³/a und knapp 40 Mio. m³/a aus dem Grundwassermodell in die Vorfluter.

Das Teileinzugsgebiet der **Wurm** verzeichnet bis Mitte der 1980er Jahre einen geringen Abstrom aus dem Grundwasserleiter in das Gewässer, welcher 1983 noch 4 Mio. m³/a beträgt. Bis zum Jahr 2000 hat sich das Fließbild in diesem Bereich umgekehrt, so dass nun 3,1 Mio. m³/a dem Grundwasserleiter zuströmen. Bis zum Jahr 2021 erhöht sich diese Menge noch einmal leicht auf 3,9 Mio. m³/a.

Die **Gewässer der Kölner Scholle** abzüglich des Rheins bezeichnen eine Reihe kleinerer Fließgewässer. Die zur Simulation von Nass- und Trockenjahren variabel gestaltete Randbedingung des Rheins beeinflusst die Grundwasserspiegel in der Kölner Scholle maßgeblich und damit auch die jeweiligen Gradienten zwischen den Gewässern und den Grundwasserleitern. Im Kalibrierungszeitraum geben diese Gewässer überwiegend Wassermengen zwischen 5 und 10 Mio. m³/a an den Untergrund ab.

Gewässeraustauschmengen [Mio. m ³ /a]	1976	1983	2000	2021
Erft	34,68	34,68	36,98	45,18
Inde	0,44	0,78	3,79	-1,82
Maas	-76,37	-97,07	-94,57	-80,15
Nette	-8,61	-12,77	-9,69	-8,54
Niers	-5,85	-7,34	-10,42	-6,08
Nordkanal	-1,17	-1,98	-0,01	1,14
Norf	-0,83	-3,21	-3,13	-2,05
Rur	-59,12	-63,46	-13,19	-5,05
Schwalm	-31,47	-39,39	-34,4	-35,84
Wurm	-3,98	-2,04	3,13	3,88
Gewässer Kölner Scholle	9,5	8,5	5,66	5,71

Tabelle 3 Gewässeraustauschmengen im Kalibrierungszeitraum

5.3.5. Gesamtwasserhebung im Kalibrierungszeitraum

Die Wasserhebung im Modellgebiet gliedert sich in zwei Teilbereiche auf. Einerseits wird Grundwasser von Wasserwerken und der Industrie für die öffentliche Wasserversorgen entnommen und andererseits wird Grundwasser im Zuge der Sümpfung der drei von der RWE Power AG betriebenen Tagebaue entnommen. Auf diese Teilbereiche wird in den folgenden zwei Kapitel näher eingegangen.

Grundsätzlich sind in der summierten Gesamthebung im Kalibrierungszeitraum in Abbildung 8 zwei Phasen zu erkennen. Zu Beginn des Kalibrierungszeitraums bewegt sich die Hebung in einem Bereich zwischen 1.300 und 1.500 Mio. m³ pro Jahr. In der ersten Hälfte der 1980er Jahre sinkt dann die Gesamthebung dann auf ein Niveau zwischen 800 und 1.000 Mio. m³ pro Jahr. Dieses Niveau wird dann bis zum Ende des Kalibrierungszeitraumes gehalten. Dies ist damit zu erklären, dass innerhalb der ersten Phase zur Trockenhaltung der Villetagebaue und zum Aufschluss des Tagebau Hambach sehr viel Grundwasser gehoben werden musste, während in der zweiten Phase im Wesentlichen ein Status Quo der Grundwasserstände gehalten werden musste.

Zudem fällt ein lokales Minimum im Jahr 2001 auf. Dies ist auf einen Fehler im Dateneinbau der Tagebaubrunnen zurückzuführen, der erst sehr spät im Erarbeitungsprozess aufgefallen ist und nicht mehr korrigiert werden konnte.

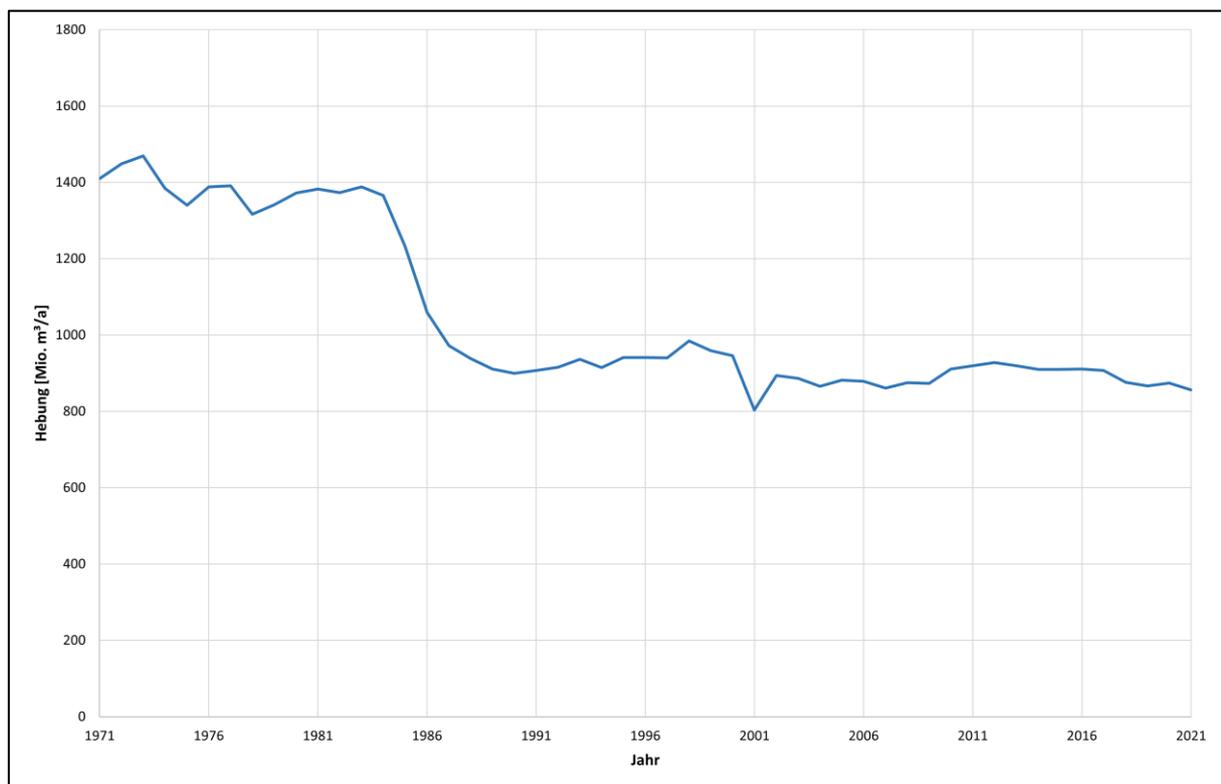


Abbildung 8 Grundwasserentnahmen im Modellgebiet für den Kalibrierungszeitraum

5.3.6. Wasserhebung der Tagebaue

Für die Darstellung der modellierten Wasserhebungen der Tagebau im Kalibrierungszeitraum wurde die Förderung aller Sumpfungsbunnen des jeweiligen Tagebaus summiert. Zur Bewertung der modellseitigen Abbildung der Sumpfung ist zwischen der im Modell

eingebauten Hebung und der berechneten Hebung. Im Folgenden wird Ersteres als Vorgabe und Letzteres als Nachrechnung bezeichnet.

Tagebau Garzweiler

Für die Tagebaue Garzweiler I & II ist die Sümpfung in Abbildung 9 dargestellt. Für den Bereich der Venloer Scholle befinden sich zudem in den Anfangsjahren der Simulation einige Brunnen des ehemaligen Tagebaus Frimmersdorf, die hier mit berücksichtigt sind. Generell ist die Korrelation zwischen veränderlichen Rahmenbedingungen bei der Gewinnung, wie z.B. einer zunehmenden Teufenlage der Braunkohlenflöze und den Anforderungen an die

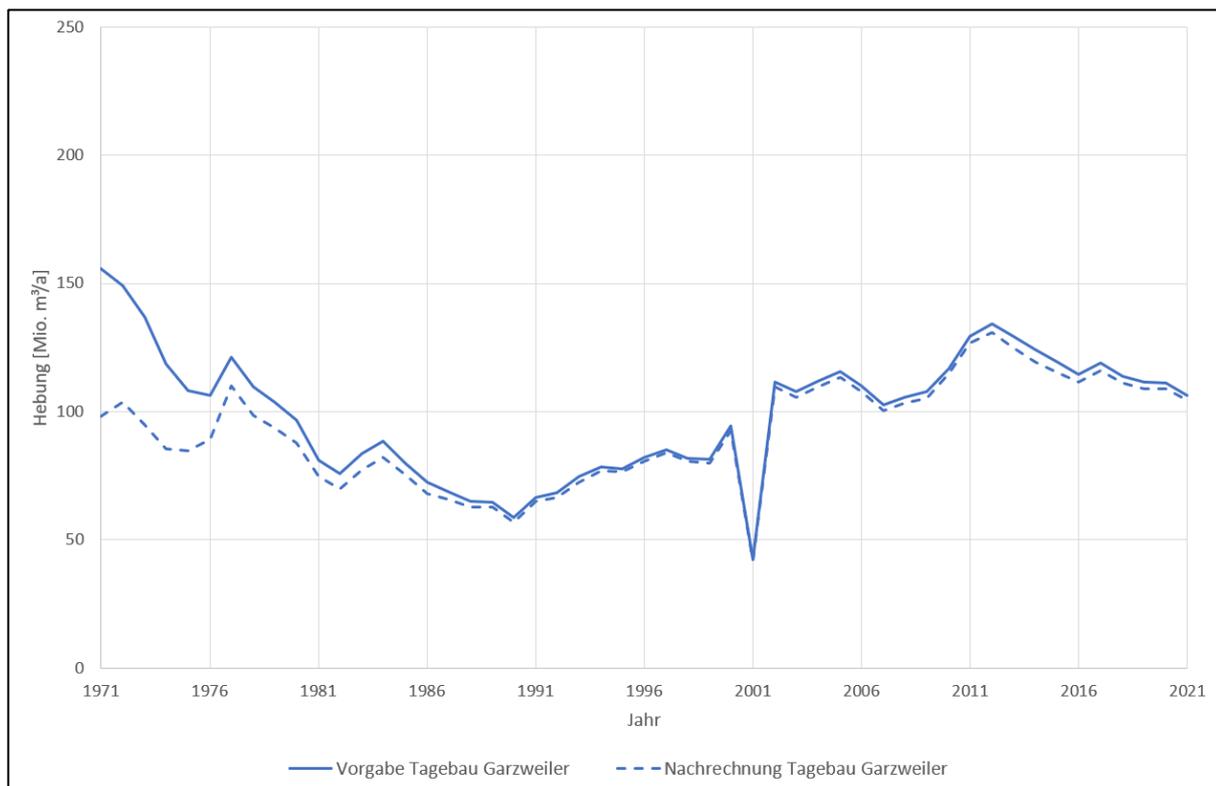


Abbildung 9 Wasserhebung im Untersuchungsraum Garzweiler im Kalibrierungszeitraum

Entwässerungsmaßnahmen gut erkennbar. Die tatsächlich angefallenen Wasserhebungen werden mit dem Grundwassermodell gut nachgebildet. Die Abweichungen liegen nach den initialen Simulationsjahren unter 10 %. Ab dem Jahr 1987 fallen die Abweichungen auf ein Niveau von unter 5 %. Auffällig ist ein deutliches lokales Minimum im Jahr 2001, welches auf einen Fehler beim Dateneinbau zurückzuführen ist, der erst sehr spät im Erarbeitungsprozess aufgefallen ist und nicht mehr korrigiert werden konnte. Da sich der Fehler zeitlich auf ein Jahr beschränkt, das relativ weit vom Referenzzeitpunkt entfernt ist, kann dieser Fehler hinsichtlich des Gesamtkalibrierungsergebnisses vernachlässigt werden. Durch Tagebaubrunnen wurden im Jahr 2021 zum Ende der Kalibrierung rund 106 Mio. m³/a gefördert.

Tagebau Hambach

Die Wasserhebung des Tagebaus Hambach ist in Abbildung 10 dargestellt. Auch hier liegt die Differenz zwischen der Vorgabe und der Nachrechnung prinzipiell auf einem guten Niveau. In den frühen Jahren der Sümpfung treten zwar noch Unterschiede über 10 % auf, aber ab dem Jahr 1997 betragen die Unterschiede weniger als 5 %, was ein sehr gutes Ergebnis darstellt. Auch hier ist im Jahr 2001 der o.g. Fehler beim Dateneinbau im Jahr 2001 zu erkennen. Zum Ende der Kalibrierungsphase im Jahr 2021 wurden im Tagebau Hambach rund 283 Mio. m³/a gefördert.

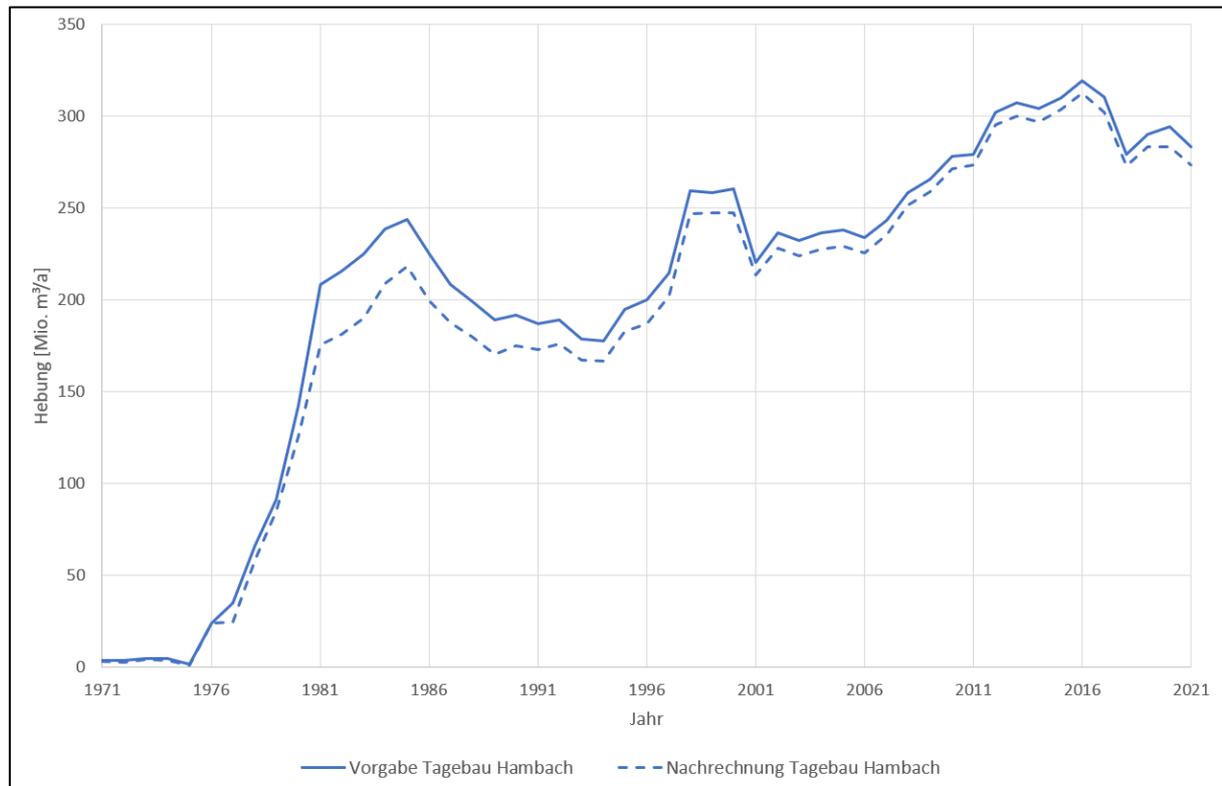


Abbildung 10 Wasserhebung des Tagebaus Hambach im Kalibrierungszeitraum

Tagebau Inden

In Abbildung 11 ist der zeitliche Verlauf der Wasserhebung des Tagebaus Inden während der Kalibrierungsphase aufgezeigt. In den ersten Jahren des Modells sind die Unterschiede zwischen der Vorgabe und der Nachrechnung noch größer, nehmen im weiteren Verlauf der Simulation jedoch merklich ab. In dem Zeitraum ab 1990 unterschreiten die Unterschiede 10 %, was als gutes Ergebnis zu bewerten ist. Am Ende des Kalibrierungszeitraums im Jahr 2021 wurden im Tagebau Inden 67 Mio. m³/a gehoben.

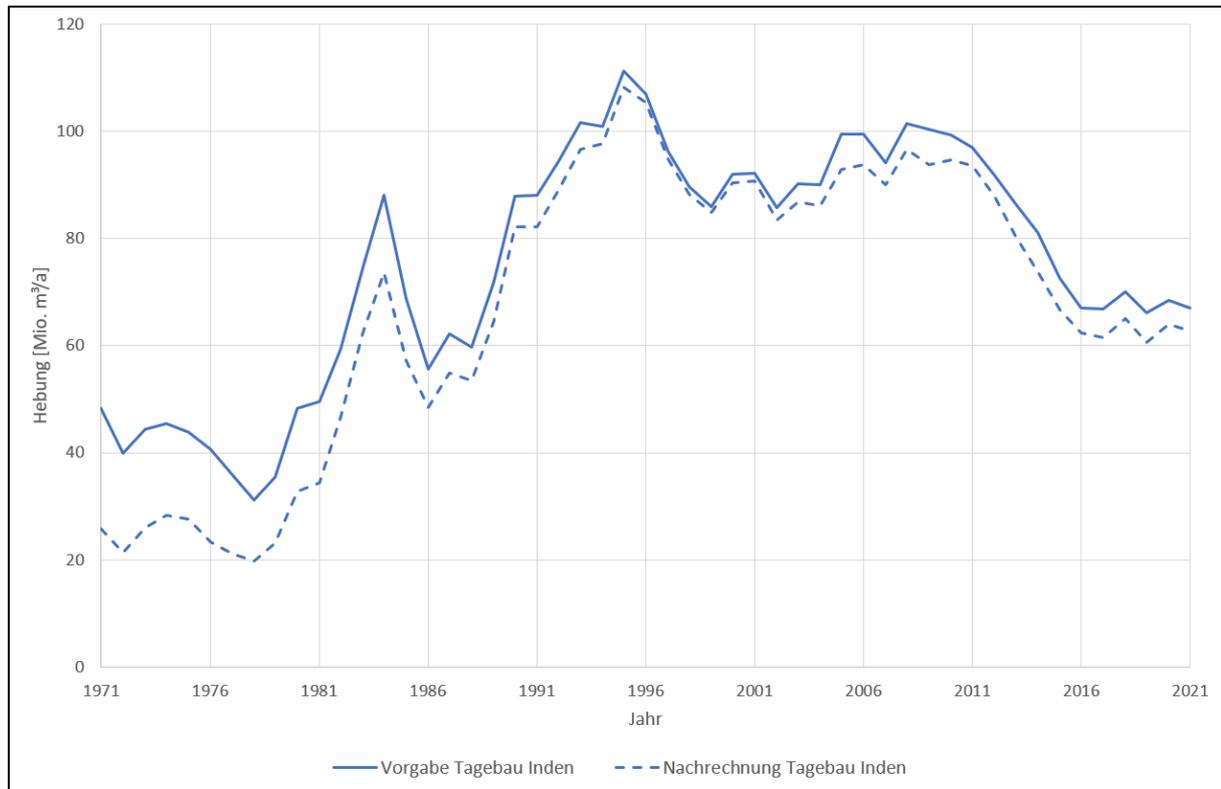


Abbildung 11 Wasserhebung des Tagebaus Inden im Kalibrierungszeitraum

5.3.7. Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer

Im Kalibrierungszeitraum stimmen die berechneten Fördermengen der Entnahmen Dritter gut mit den gemessenen Werten überein (Abbildung 12). Daraus folgt unmittelbar, dass die in das Grundwassermodell eingebauten gemessenen Mengen auch durch die Modellbrunnen gut umgesetzt werden konnten. Für die vorliegenden Simulationen wurden ab dem Jahr 1998 bis zu dem Jahr 2019 alle Fremdentnehmerdaten auf Basis der Fremdentnehmerdatenbank des Erftverbandes übernommen. Damit sind für den genannten Zeitraum alle bekannten und registrierten Grundwasserentnahmen größer 5.000 m³ pro Jahr im Grundwassermodell abgebildet. In dem davor liegenden Zeitraum von 1970 bis 1997 wurden die bisher aus unterschiedlichen Quellen zusammengestellten Brunnendaten der Nichttagebaubrunnen wie in den Vorgängermodellen belassen. Die Entnehmerdaten von 1970 bis 1997 wurden seitens RWE Power jährlich erfragt und im Grundwassermodell abgebildet. Durch die in 1998 teilweise wechselnde detaillierte brunnen- und horizontscharfe Neuaufteilung, mit der teilweise auch Veränderungen des Brunnenansatzpunktes einhergehen, kommt es teilweise bei den berechneten Ganglinien im Kalibrierungszeitraum, 1970 bis 2019, zu Sprüngen. Die Fremdentnehmerdaten vor 1998 wurden nur bei gravierenden Auffälligkeiten auf Plausibilität untersucht und gegebenenfalls angepasst. Die ab 1998 erkennbaren leicht erhöhten

Abweichungen haben ihre Ursache wahrscheinlich in einer geringeren Qualität in den Angaben des genutzten Horizonts. Für einige Standorte fehlen genaue Angaben über den Brunnenausbau, die Filterlagen, sowie die anteilige Förderung aus den verschiedenen Grundwasserleitern. Für die folgenden Jahre bis zum Referenzzustand 2021 wurden die Hebungsmengen ab dem Jahr 2019 als konstant betrachtet. Die Schwankungen in diesen Jahren sind auf einige von der RWE Power AG betriebenen Brunnen, die der öffentlichen Wasserversorgung und nicht der Tagebauentwässerung dienen, zurückzuführen für die auch bis zum Jahr 2021 Daten vorliegen. Durch öffentliche und private Grundwasserentnehmer wurden im Jahr 2019 im Modellgebiet etwa 380 Mio. m³ Wasser gefördert.

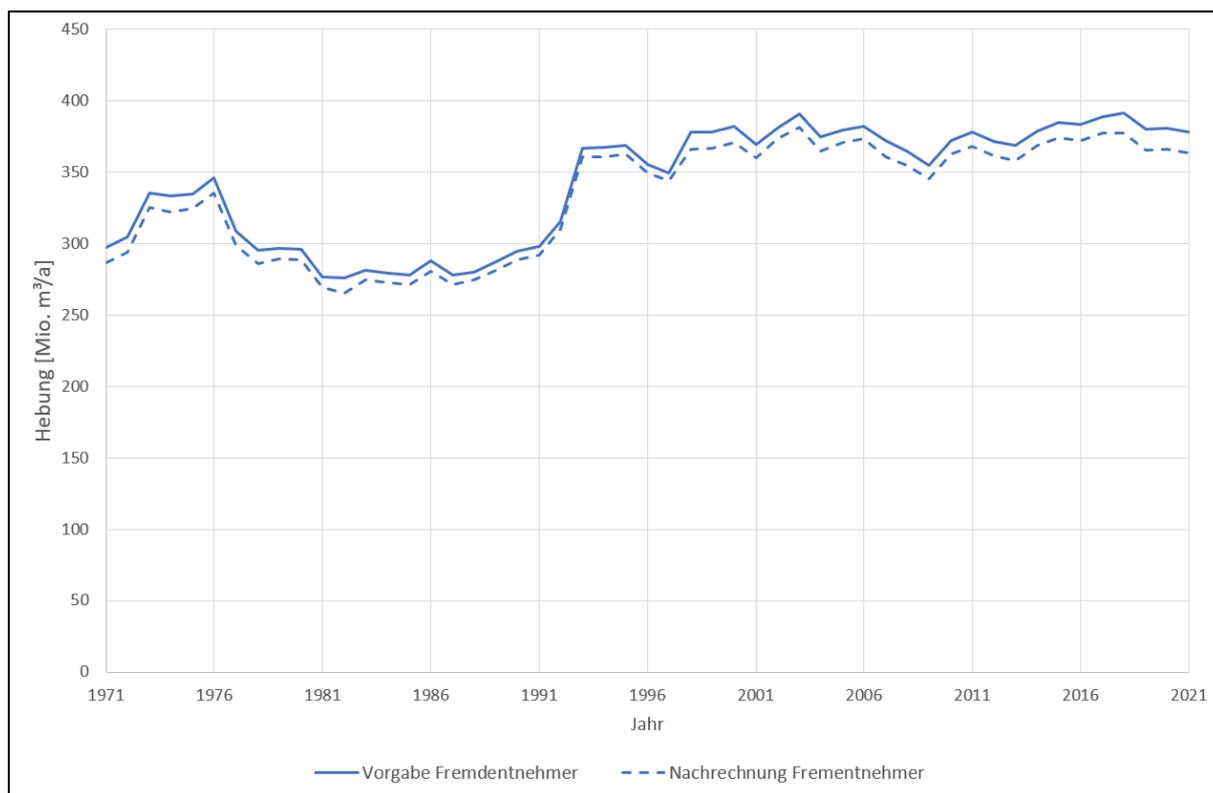


Abbildung 12 Förderung der öffentlichen und privaten Grundwasserentnehmer im Modellgebiet für den Kalibrierungszeitraum

5.3.8. Versickerungs- und Direkteinleitungsmaßnahmen

Im Grundwassermodell wird der zum Halten der Grundwasserstände in den grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebieten des Untersuchungsraums Garzweiler und zur Stützung des Grundwasserhaushaltes notwendige Wasserbedarf berücksichtigt. Dabei handelt es sich um Infiltrationsmaßnahmen und Direkteinleitungen in Gewässer. Die Infiltrationen werden zum Großteil in das obere Grundwasserstockwerk und zu einem geringen Anteil in den Liegendleiter eingebracht. Die Infiltrationen werden sowohl

punktuell als auch linienhaft im Grundwassermodell umgesetzt und repräsentieren so Versickerungsbrunnen und Versickerungsschlitze.

Die im Untersuchungsraum Garzweiler etablierten Grundwasseranreicherungsmaßnahmen werden im Grundwassermodell über den Kalibrierungszeitraum als Randbedingung zweiter Art, also durch Angabe der Versickerungsmengen, abgebildet.

5.4. Prognose

Die in Kapitel 5.3 dokumentierten Ergebnisse zeigen den guten Kalibrierungsstand des Grundwassermodells. Somit kann davon ausgegangen werden, dass mit dem vorliegenden Modell ein verlässliches Arbeitsmittel zur Berechnung des zukünftigen Verlaufes des Grundwasserfließgeschehens zur Verfügung steht. Davon ausgehend wurden die nachfolgend beschriebenen Prognoserechnungen zur Ermittlung des Einflusses der bergbaulichen Sumpfungmaßnahmen auf das Grundwasserströmungsregime im Rheinischen Braunkohlenrevier, für den Zeitraum bis zum Auslaufen der Tagebaue vorgenommen.

Die für die Prognosesimulation ermittelten Hebungsmengen sind für das sichere Erreichen der Entwässerungsziele notwendig, welche für das Hangende und das Liegende unterschiedlichen Maximen folgen:

Vor dem Abräumen des Deckgebirges (das Hangende) muss eine möglichst vollständige Entwässerung desselben erreicht werden und vor dem Abbau des tiefsten gewinnbaren Kohleflözes eine Druckabsenkung und Teilentwässerung der darunter anstehenden Gebirgsschichten (das Liegende) gewährleistet sein. Die dafür notwendigen Entwässerungsbrunnen für das Hangende werden in der Regel drei bis fünf Jahre vor dem ersten Abbauschnitt in Betrieb genommen und bis zum Anschnitt betrieben. Bei Notwendigkeit erfolgt nach ihrer Überbaggerung eine Wiederinbetriebnahme einzelner Brunnen auf tiefer gelegenen Strossen.

Die dementsprechend angesetzten Hebungsmengen haben Auswirkungen auf die Grundwasserstände sowohl im nahen als auch im weiteren Umfeld des Tagebaus. Die Entwicklung der Grundwasserstände wird für alle drei Untersuchungsräume sowohl mithilfe von Grundwassergleichen und Grundwasserdifferenzen für die Betrachtungsjahre 2030, 2052 und 2070 in den Kapitel 5.4.2 und 5.4.4 beschrieben.

Das Ende der Tagebaubetriebe im Rheinischen Revier rückt immer näher und verschiebt somit auch mehr und mehr den Fokus der Grundwassermodellierung auf die Folgephase der Seebefüllung. So sollen aus allen drei Tagebauen Garzweiler, Hambach und Garzweiler Tagebauseen entstehen. Dies hat auch eine entsprechend hohen Einfluss auf die

umliegenden Grundwasserleiter und deren Strömungsregime. Zudem müssen während der Befüllung weiterhin Brunnen im Tagebaubereich betrieben werden, um einen kontrollierten Wiederanstieg in direkter Seeumgebung zu gewährleisten. In Kapitel 5.4.10 wird die Seebefüllung und die dazugehörigen wasserwirtschaftlichen Prozesse und Besonderheiten erläutert.

Weiterhin wurde zur Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse nach Tagebauende und nach dem großräumigen Grundwasserwiederanstieg eine Simulation für den stationären Endzustand im Jahr 2400 durchgeführt. Dieser Ausblick berücksichtigt die Tagebauseen nach Füllung, bergbaulich bedingte Bodenbewegungen und die Niedrighaltungsmaßnahmen in der Erftaue. Diese Prognosesimulation ist im Kapitel 5.4.3 beschrieben.

5.4.1. Fehlerbetrachtung

Im Prognosezeitraum können drei Phasen unterschieden werden. Dies sind zum einen der Zeitraum bis zum Ende der Tagebaue, zum anderen der Zeitraum während dessen sich die Tagebauseen füllen und schließlich der stationäre Endzustand und der Weg dorthin. Obwohl in diesen drei Phasen sehr unterschiedliche hydrogeologische Verhältnisse und Randbedingungen im Modell vorliegen, unterscheiden sich aufgrund niedriger Fehlerschranken und hoher Iterationszahlen die Größen der Modellfehler kaum. So liegt der Modellfehler bis zum Ende der Tagebaue nicht über 0,01 %. Er bewegt sich aufgrund der starken Dynamik und der hohen Gradienten im Zeitraum der Tagebauseefüllung auf einem etwas höheren Niveau. Im ersten Jahr (WWJ 2031) der Seefüllungen Hambach und Inden beträgt er 0,21 % und fällt in den nächsten sechs Jahren auf 0,03 %. Ab dem Erreichen der Zielwasserspiegel in den Tagebauen Hambach und Garzweiler, ca. 2070 übersteigt der Modellfehler nicht mehr 0,01 %. Bis zum stationären Endzustand bleibt der Modellfehler dann auf diesem Niveau. Die positiven Ergebnisse der globalen Fehlerbetrachtung dürfen nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, dass lokal dennoch Fehler in Bilanz und Druckhöhe auftreten können, die an dieser Stelle unter Umständen zu unplausiblen Ergebnissen führen. Solche Fehler ergeben sich zum Beispiel in Bereichen ungünstiger Netzgeometrien oder nicht ausreichender Diskretisierung. Aufgrund der Abbildung mittlerer jährlicher Verhältnisse können kurzfristige und innerjährige Phänomene naturgemäß nicht abgebildet werden. Diese Anforderung sollte aber auch nicht an ein Werkzeug unter Berücksichtigung der beschriebenen räumlichen und zeitlichen Dimension gestellt werden.

Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass neben den oben beschriebenen Fehlern, die in der Numerik bzw. in der zeitlichen Diskretisierung begründet sind, ebenfalls Fehler auftreten, die mit der Datengrundlage zusammenhängen. Die Beschreibung des Strömungsraumes und der Randbedingungen erfolgt immer auf der Basis von Informationen,

die punktuell aufgenommen werden und mittels Interpolation und Interpretation auf die Fläche und in die Zeit übertragen werden. Die daraus resultierende räumlich und zeitlich lückenlose Beschreibung darf nicht mit einer vollständigen Beschreibung verwechselt werden. Ergeben sich neue Erkenntnisse, so ist auch die Beschreibung zu ändern. Diese neue Beschreibung führt im Rahmen einer neuen Modellrechnung auch im Vergleich zur vorangegangenen Rechnung zu anderen Ergebnissen. In diesem Kontext ist auch zu sehen, dass ein Teil des Zeitraums, der im Vorgängermodell noch Prognosezeitraum war, also auf der Basis von Annahmen parametrisiert wurde, im aktuell vorliegenden Modell mit den tatsächlich beobachteten Werten parametrisiert werden konnte. Damit einhergehend ändern sich nicht nur die Ergebnisse für den besagten Zeitraum, sondern auch die Startsituation für den neuen Prognosezeitraum und zu einem nicht unbeachtlichen Teil auch die Randbedingungsannahmen für diesen Prognosezeitraum. Folglich können auch Abweichungen der Prognoseergebnisse von einer Modellgeneration zur nächsten vorliegen. Es wird deutlich, dass das Modellergebnis, so exakt es die mathematisch-numerische Ausgabe der Daten auch zulässt, keinen Absolutheitsanspruch erheben darf.

5.4.2. Grundwasserstandsentwicklungen im Prognosezeitraum

Die Grundwasserstandsentwicklung im Prognosezeitraum wird anhand von Grundwassergleichenplänen leiterdifferenziert beschrieben. Dabei sind die Betrachtungszeitpunkte 2030, 2052, 2070 und 2200 relevant.

Die Auswahl der Betrachtungszeitpunkte orientiert sich an markanten Ereignissen mit wasserwirtschaftlicher Relevanz in den Tagebaubereichen. So ist für die Tagebaue Inden und Hambach der Abschluss des Tagebaubetriebs im Jahr 2030 vorgesehen. Damit wird also das zu erwartende Strömungsbild unmittelbar vor Beginn der Tagebauseefüllungen beschrieben.

Der Tagebausee Inden wird unter den im vorliegenden Modell verwendeten Annahmen ca. 2052 zum ersten Mal den Zielwasserspiegel von 92 mNHN erreicht haben. Auch dieses Prognosejahr wird hinsichtlich der Strömungsverhältnisse beschrieben.

Für die Tagebauseen Hambach und Garzweiler stellt 2052 ein Zeitpunkt während der Seebefüllung dar. Eine Beschreibung erfolgt, um ein Verständnis der Dynamik zu generieren. Ungefähr im Jahr 2070 wird in den zuletzt genannten Tagebauseen der Zielwasserstand von 65 mNHN erstmalig erreicht. Daher erfolgt auch für 2070 eine Beschreibung der Strömungssituation.

Als weiterer Ausblick erfolgt eine modellweite Beschreibung des quasi-stationären Endzustands 2200 (siehe [Anlage 95](#)) ohne Berücksichtigung der noch ausstehenden Bodenbewegungen im oberen Grundwasserstockwerk.

Eine Beschreibung des Strömungsbildes des quasistationären Endzustands unter Berücksichtigung der noch ausstehenden Bodenbewegungen erfolgt im Kapitel 5.4.3.

Für den Tagebau Garzweiler wird modelltechnisch ein Beginn der Seebefüllung im Wasserwirtschaftsjahr 2039 angenommen. Damit entspricht der im Modell eingebaute Tagebauablauf und -bereich nicht den aktuellen Planungen laut der Einigung von 2022. Da der vorliegende Modellbericht für die anstehenden Verfahren in Hambach und Inden Verwendung finden soll, wird für die Verfahren mit Bezug zum Tagebau Garzweiler ein Nachfolgemodell erarbeitet.

In den Anlagen 63 bis 70 sowie 87 bis 94 sind die Grundwasserverhältnisse für die Jahre 2045 und 2100 lediglich nachrichtlich dargestellt und erlauben dem geeigneten Leser einen Vergleich mit älteren Darstellungen ähnlicher Art.

Untersuchungsraum Tagebau Garzweiler

Im **oberen Grundwasserstockwerk** ist im berechneten Grundwassergleichenplan **2030** ([Anlage 55](#)) in der Umgebung des Tagebaus Garzweilers großflächig ein Bereich geringer Grundwasserführung zu beobachten. Ein Teil der Kippe führt bereits etwas mehr Grundwasser, wobei im Nordwesten der Kippe aufgrund der Nähe zum Sumpfungsschwerpunkt die tiefsten Grundwasserstände von weniger als -100 mNHN zu beobachten sind. Bis zum östlichen Rand der Kippe Garzweiler/Frimmersdorf erhöht sich der Wasserstand ungefähr auf Meeresspiegelniveau. Im weiteren Verlauf der Erft nach Nordosten folgend erreichen die Wasserstände ein Niveau von ca. 40 mNHN, um dann Richtung Rhein auf ein tieferes Niveau zu fallen. Damit bildet sich nordöstlich von Grevenbroich eine Wasserscheide zwischen Rhein und Tagebau aus.

Nördlich des Tagebaus ist im Niersverlauf erst ein Anstieg Grundwasserniveaus auf etwas über 60 mNHN zu verzeichnen. Ab Wickrath fallen die Wasserstände der Niers folgend sukzessive, so dass am Modellrand ein Niveau von unter 35 mNHN erreicht wird.

Zwischen Tagebau und Schwalm bildet sich durch die Versickerungsmaßnahmen des Schwalmriegels eine Wasserscheide auf einem Niveau von über 65 mNHN aus. An der Mündung der Schwalm in die Maas ist ein Wasserstand von unter 20 mNHN zu beobachten. Auf der Hochfläche bei Niederkrüchten südlich von Elmpt kann durch den Einsatz von Versickerungsanlagen ein Wasserstand von mehr als 60 mNHN gehalten werden.

Im Westen fallen die hohen Wasserstände von mehr als 85 mNHN des Wassenberger Horst auf, die nach Osten zur Schwalm sanft abfallen und im Schwalmquell ca. 75 mNHN erreichen. Der Gradient nach Westen zur Rur ist deutlich steiler ausgebildet.

Südlich des Tagebaus ist, wie im gesamten westlichen Umfeld, aufgrund der heterogenen Tonverbreitungen, die die Basis des oberen Stockwerks bilden, ein Wechsel von Bereichen mit deutlicher Grundwasserführung und solcher mit geringer Grundwasserführung zu beobachten. Eine Ausnahme bildet der Jackerather Horst, welcher aufgrund der fehlenden trennenden Schichten stark durch die tieferen Leiter, auch solcher der Erft-Scholle, beeinflusst ist und entsprechend Wasserstände von weniger als -50 mNHN aufweist.

Auch nach Durchschreiten des Tagebautiefsten muss im Bereich des künftigen Tagebausees der Wasserstand aus Gründen der Standsicherheit niedrig gehalten werden, so dass erst mit Beginn der Seefüllung im Wasserwirtschaftsjahr 2039 der Wiederanstieg deutlich an Dynamik gewinnt. Mit dem Tagebauende und dem Beginn der Seefüllung steigen die Wasserstände beginnend in den tiefen Leitern und der Kippe deutlich an. Da die Basis des oberen Stockwerks noch nicht erreicht ist, liegen im Jahr **2052** ([Anlage 71](#)) die Wasserstände im oberen Grundwasserstockwerk im Umfeld des künftigen Tagebausees auf einem ähnlichen Niveau wie 2030. Im Tagebausee wird für 2052 ein Wasserstand von ca. -5 mNHN errechnet, während in der östlichen Kippe bereits ein Wasserstand bis zu 25 mNHN zu erwarten ist. Im weiteren Umfeld sind weiterhin die Einflüsse der Vorfluter zu erkennen, auch die Wasserscheide zwischen Rhein und Tagebau nördlich von Grevenbroich ist, wie auch 2030, ausgebildet.

Im Bereich des Sees ist das endgültige Niveau des Wasserstands von 65 mNHN zu Beginn der 1970er Jahren erreicht. Daher liegt, wie im Gleichenplan für **2070** ([Anlage 79](#)) erkennbar, im direkten Umfeld des Sees der Wasserstand wieder auf einem Niveau von ungefähr 60 mNHN. Im Tagebauseebereich wird im Gleichenplan 2070 für das obere Stockwerk ein Wasserstand von ca. 55 mNHN ausgewiesen, da für die Darstellung der Potentiale im oberen Stockwerk die Werte von deren Basis abgegriffen werden und somit entweder die Wasserstände der unter dem See liegenden Kippenmassen bzw. freigelegten Liegendleiter Verwendung finden, und nicht der Wasserstand im Seewasserkörper. 2070 hat sich die Wasserscheide bei Grevenbroich etwas nach Süden verlagert und auf einem höheren Niveau von etwas über 45mNHN ausgebildet. Von dieser folgt die Strömungsrichtung nach Osten nun nicht mehr zum Tagebaurestloch, sondern in den Kippenbereich des ehemaligen Tagebaus Frimmersdorf Süd, welcher noch aus den tiefen Leitern der Erft-Scholle beeinflusst ist. Diesem Tiefpunkt strömt auch das Wasser aus dem Tagebauseebereich und dem Jackerather Horst zu. Der Einfluss des Schwalmriegels ist weiter zu erkennen, da die Versickerungsmaßnahmen noch im Einsatz sind.

Die im Modell implementierte halbautomatische Steuerung der Versickerungsanlagen sorgt auch während des Wiederanstiegs für eine Wahrung der Wasserstände in den Zielgebieten, aber teilweise auch zu einer eventuell nicht notwendigen Überhöhung des Wasserstands

insbesondere im direkten Umfeld. In der Realität wird dies durch eine manuelle Nachsteuerung einzelner Anlagen vermieden, die im Modell aber nicht abgebildet werden kann.

Im weiteren Umfeld werden endgültige Wasserstände erst einige Jahre später nach Erreichen des Zielwasserspiegels erreicht, was im direkten Vergleich der Gleichenpläne von 2070 und **2200** ([Anlage 95](#)) zu erkennen ist. So ist die durch den Schwalmriegel induzierte künstliche Wasserscheide im stationären Endzustand 2200 nicht mehr zu erkennen. Vom Tagebausee erfolgt die Strömung nun zum einen nach Osten zur Erft und weiter zum Rhein und zum anderen dem Niersverlauf folgend. Nach Süden und Westen wirkt der See als Vorfluter. Auf dem Jackerather Horst hat sich ein Hochpunkt von etwas über 65 mNHN ausgebildet.

Die **Hauptkiesserie (Horizont 8)** und der **Neurather Sand 6D** bilden im Untersuchungsraum zum Tagebau Garzweiler eine hydrogeologische Einheit. Die Betrachtung der Potentialverteilung erfolgt daher gemeinsam mittels der Grundwassergleichenpläne zum Grundwasserleiter 6D ([Anlage 59](#), [Anlage 75](#) und [Anlage 83](#)).

Im Prognosejahr **2030** zeigt sich in der [Anlage 59](#) für die **Grundwasserleitereinheit 6D/Horizont 8** eine Wasserscheide zwischen Mönchengladbach und Wegberg bei ungefähr 65 mNHN. Nach Norden reduziert er sich in Maasnähe auf ein Niveau von unter 20 mNHN. Der Leiterkomplex geht hier in das OSTW über, womit sich das Druckniveau dem des oberen Grundwasserstockwerks annähert.

Von der genannten Wasserscheide ausgehend zeigt sich nach Süden ein steilerer Gradient in Richtung Tagebau. In den Bereichen des Tagebaus, in denen der Leiter im Jahr 2030 noch nicht in Anspruch genommen wurde, wird der Leiter noch Grundwasser führen. Im Südwesten wird ein Potential von ungefähr 20 mNHN errechnet, Richtung Sumpfungsschwerpunkt von weniger als -35mNHN. Südlich von Holzweiler ist ein Überstrom in tiefere Leiter bei ca. 15 mNHN zu erkennen.

Im Prognosejahr **2052** zeigt sich für die Grundwasserleitereinheit 6D/Horizont 8 ein ähnliches großräumiges Bild wie im Jahr 2030, siehe [Anlage 75](#). Es ist jedoch zu erkennen, dass die Einheit in Anspruch genommen wurde: es werden daher keine Gleichen dargestellt. Für den Übergang vom Leiter zum See wird aufgrund der Seefüllung ein Wasserstand von wenig unter dem Meeresspiegel errechnet. Aufgrund der weiterhin anstehenden Verluste in tiefere Leiter bleibt südlich von Holzweiler der Bereich geringer Grundwasserführung im Leiter 6D ausgebildet.

Das Erreichen des Zielwasserspiegels im See von 65 mNHN macht sich **2070** ([Anlage 83](#)) auch in der Grundwasserleitereinheit 6D/Horizont 8 bemerkbar. Im Umfeld des Tagebausees haben sich Druckpotentiale von über 55 mNHN eingestellt. Das Gebirge ist aber noch nicht vollständig erfüllt. Bis zum Endzustand stellen sich Potentiale auf Seeniveau ein. Im

großräumigen Grundwassergleichenbild zeigt sich 2070 von der Wasserscheide zwischen Wegberg und Mönchengladbach ausgehend ein Abstrom Richtung Osten, wo der Leiter auf dem Weg zum Rhein in das obere Stockwerk übergeht.

Im **Frimmersdorfer Sand 6B** hat sich im Prognosejahr **2030** ([Anlage 60](#)) eine Wasserscheide zwischen dem Wassenberger Horst im Westen und Mönchengladbach im Osten gebildet. In der Nähe des Wassenberger Horstes ist auch mit Werten über 80 mNHN der höchste Wasserstand im Sand 6B auf der Venloer Scholle zu beobachten. Nördlich der beschriebenen Grundwasserscheide sind niedrigere Wasserstände zu finden, die in der Nähe der Maas beim Übergang ins obere Stockwerk unter 20 mNHN betragen. Sumpfungsbefugt liegen die Werte im Bereich des Tagebautiefsten bei weniger als -110 mNHN. Mit dem Beginn der Füllung des Tagebausees Garzweiler steigen im Tagebauumfeld im Sand 6B die Wasserstände stark an und betragen im Betrachtungsjahr **2052** ([Anlage 76](#)) nur noch wenige Meter unter dem Meeresspiegel. Die für 2030 beschriebene Wasserscheide ist auch 2052 ausgebildet. Während der Gradient nach Süden weniger steil ist, haben sich die Verhältnisse von 2030 zu 2052 nördlich der Wasserscheide und an ihr selbst nicht geändert. Mit dem Erreichen des Zielwasserspiegels um **2070** hat sich im Tagebaubereich der Wasserstand im Sand 6B dem Zielwasserspiegel des Sees bis auf ca. 10m angenähert. Es ist nun ein Gradient in Richtung Erft-Scholle und Richtung Tagebau Frimmersdorf Süd zu erkennen, der aus dem Abstrom in die Erft-Scholle herrührt. Mit dem Ausstreichen des Flöz Frimmersdorf im Osten des Tagebaus gleichen sich die Wasserstände des Sandes 6B dem Potentialniveau des oberen Stockwerks an.

Für das **Liegend-Grundwasserstockwerk (Horizonte 04 - 5)** wird für das Jahr **2030** ([Anlage 62](#)) im Sumpfungstrichter des Tagebaus Garzweiler Wasserstände von weniger als -125 mNHN vorhergesagt. Von diesem Sumpfungsschwerpunkt im Bereich Keyenberg ausgehend, zeigt sich in alle Richtungen ein steiler Gradient. Nach Westen ist eine Anbindung an den Jackerather Horst bei ca. 65 mNHN zu erkennen. Zwischen Wassenberger Horst und Dülken zeigt sich eine Grundwasserscheide, die von 65 mNHN im Westen auf ein Niveau von etwas mehr als 40 mNHN fällt. Am nördlichen Ende des Leiters, welcher sich durch die Verbreitung des Flöz Morken definiert, ist ein Wasserstand von weniger als 20 mNHN zu beobachten. Über den Viersener Sprung ist der Leiter an das obere Stockwerk der Krefelder Scholle angebunden, so dass sich hier ein Wasserstand von ungefähr 40 mNHN einstellt. Im Gebiet von Grevenbroich, hier geht der Liegendleiter in das OSTW über, ist ein Gradient von ca. 35 mNHN bis auf Meeresspiegelniveau am Tagebaurand zu erkennen. Entlang des Übergangs zur Erft-Scholle ergeben sich aus dem schollenübergreifenden Abstrom des

Grundwassers entsprechende zum Schollenrand gerichtete Gradienten. Durch die Anhebung des Wasserspiegels im Tagebausee auf ein Niveau im Bereich des Meeresspiegels haben sich **2052 (Anlage 78)** die Gradienten zum Tagebautiefsten auch im Leiter 04 – 5 deutlich reduziert. Südlich des Sees ist der Abstrom nun in Richtung Erft-Scholle gerichtet. Der Entnahmetrichter des nach Westen verlagerten Wasserwerks Holzweiler ist südlich von Erkelenz zu erkennen. Mit dem Erreichen des Zielwasserspiegels im Tagebausee ist **2070 (Anlage 86)** unter dem See bereits ein lokaler Hochpunkt im Strömungsbild zu erkennen. Von diesem aus strömt Wasser zum Wasserwerk Holzweiler, zum Schollenrand zur Erft-Scholle, nach Osten in Richtung Frimmersdorf Süd und auch nach Norden zum Viersener Sprung. Zwischen See und Wassenberger Horst hat sich eine Wasserscheide ausgebildet.

Untersuchungsraum Tagebau Hambach

Zur Bewertung der Grundwasserbeeinflussungen im Zusammenhang mit dem Tagebau bzw. Tagebausee Hambach wird, wie in vergangenen Antragsverfahren, neben der **Erft-Scholle** auch die **Kölner Scholle** in die erweiterte Betrachtung einbezogen. Auf Grund der stratigrafischen Gegebenheiten auf der Kölner Scholle sind dort nur die als oberes Grundwasserstockwerk zusammengefassten Grundwasserleiter sowie die ebenfalls gruppiert dargestellten Horizonte 2 - 5 und 01 – 09 im Liegenden von Interesse.

Im Jahr **2030 (Anlage 55)** wird für das **obere Grundwasserstockwerk (OSTW)** weiterhin im gesamten Untersuchungsraum eine tendenziell nach Osten gerichtete Grundwasserströmung prognostiziert, die auf den hydraulischen Anschluss der Alttagebaue in der Ville gerichtet ist. Nördlich des Tagebaus Hambach sind entlang der Grenze zur Rur-Scholle weitläufige Gebiete geringer Grundwassermächtigkeit natürlichen Ursprungs und allenfalls lokal zusammenhängende Grundwasserkörper im OSTW zu beobachten. Erst östlich der Achse Gevelsdorf-Hasselsweiher-Spiel lässt sich eine zunehmend flächige Grundwasserdruckfläche beobachten, die hier bei etwa 70 mNHN liegt. Durch die in diesem Zeitschritt noch vollumfänglich aktiven bergbaubedingten Entwässerungsmaßnahmen werden die Grundwassergleichen am Tagebau Hambach leicht in südliche Richtung abgelenkt und erreichen ihren Tiefpunkt von 0 mNHN bei Sindorf, wo durch geologische Fenster und Leakage ein Abfluss in den 4. und insbesondere 5. Modelleiter (Hor. 9B) besteht, welche in Richtung der Wasserhaltung des Tagebaus Hambach entwässern.

Auch der großflächig zusammenhängende Grundwasserkörper in der zentralen Erft-Scholle südlich des Tagebaus Hambachs im Korridor von Merzenich, Nörvenich und Kerpen, entwässert nahe dem Übergang zur Ville in tiefere Grundwasserstockwerke.

Dementsprechend ist die Grundwasserströmung hier – ausgehend von einem Druckniveau von 125 bis 130 mNHN an der Grenze zur Rur-Scholle bei Merzenich – relativ homogen nach Nordosten gerichtet und wird nur lokal durch geologische Fenster in tiefere Grundwasserleiter modifiziert. Südlich von Nörvenich lassen sich 2030 auf den Teilschollen zwischen dem Rövenicher Sprung und dem Rand von Erp sowie Straßfelder Sprung weiträumig Gebiete geringer Grundwassermächtigkeit beobachten; Gleiches gilt für die Randbereiche nahe der Ville nordöstlich von Lechenich und Weilerswist.

Auch die südliche Erft-Scholle zwischen dem Festgesteinsrand der Eifel und dem Swistalsprung ist durch zahlreiche Trockenflächen und kleinräumig verbreitete Grundwasserbereiche charakterisiert, welche vielerorts an den lokalen Vorflutern sowie den dort zahlreich kartierten tektonischen Staffelbrüchen orientiert sind. Ein zusammenhängender Grundwasserleiter größerer Mächtigkeit lässt sich ab dem Rövenicher Sprung nördlich von Euskirchen ausmachen, wo Zuströme aus der Rur-Scholle und Wasserstände um 150 mNHN auftreten. Die Fließrichtung ist hier nach Nordosten gerichtet, während das Grundwasser im Swisstal, abgetrennt durch die hydraulische Barriere des Müggenhausener Sprungs, in nordwestliche Richtung fließt, wobei entlang der Grenze zur Ville durch den Abstrom in die Alttagbaue zu diesem Zeitpunkt noch weitläufige Flächen mit geringer Grundwasserführung auftreten.

Abgesehen von dem im Wiederanstieg begriffenen Kippenwasserspiegel an den Böschungen des Tagebausees, stellt sich das Gleichbild auf der Erft-Scholle im oberen Grundwasserstockwerk im Jahr **2052** ([Anlage 71](#)) unverändert gegenüber 2030 dar. Bei Erreichung des Zielwasserspiegels **2070** ([Anlage 79](#)) ist im Abstrombereich des Sees bereits der fortschreitende Wiederanstieg zu erkennen und die prognostizierten Grundwasserstände liegen auf Höhe von Elsdorf und Bedburg bereits 10 m, zwischen Bergheim und Kerpen bereits 25 bis 30 m höher als 2030. Im Erfttal nordöstlich von Erftstadt/Lechenich hat die bis 2070 stattgefunden Druckentwicklung in den tieferen Leitern ebenfalls zu einem deutlichen Wiederanstieg im OSTW auf nunmehr 20 mNHN geführt. Zudem hat der Wiederanstieg in den Alttagebauen am gesamten Übergang zur Ville zwischen Bedburg und Lechenich zu einem Rückgang der Bereiche geringer Grundwassermächtigkeit sowie einer allgemeinen Vereinheitlichung des Fließbildes in der Fläche geführt. Sowohl nördlich der Sophienhöhe, als auch südlich der Achse Merzenich-Nörvenich-Lechenich entspricht das Grundwasseregime im OSTW dagegen noch weitgehend dem Zustand von 2030.

Im stationären Endzustand im Jahr **2200** ([Anlage 95](#)) schließlich hat sich über weite Bereiche der Erft-Scholle ein zusammenhängender Grundwasserkörper auch im OSTW eingestellt. Da der Druckausgleich mit den tieferen Grundwasserleitern abgeschlossen ist, treten die ehemals offensichtlichen Abflüsse durch geologische Fenster schollenweit kaum noch in Erscheinung,

sodass sich insgesamt ein deutlich homogeneres, von geringeren Gradienten geprägtes Gleichbild darstellt. Auf der nördlichen Erft-Scholle bleiben entlang der Grenze zur Rur-Scholle auch nach vollständigem Wiederanstieg in gewissem Umfang Flächen geringer Grundwassermächtigkeit erhalten. Nördlich von Jülich hat sich eine Wasserscheide bei einer Druckhöhe von etwas über 80 mNHN ausgebildet, von wo einerseits ein geringer Grundwasserstrom nach Nordwesten in Richtung des Tripelpunktes bei Baal auftritt und andererseits Grundwasser mit moderatem Gefälle in Richtung Osten auf den Schwerpunkt der implementierten Niedrighaltungsmaßnahmen bei Bedburg strömt. Dort beträgt die Druckhöhe etwas weniger als 55 mNHN. Auch vom Tagebausee Hambach, dessen Wasserspiegel bei konstant 65 mNHN gehalten wird, erfolgt im OSTW ein Abstrom in Richtung der nordöstlich gelegenen Erftauen, während insbesondere aus der ehemaligen Innenkippe am Nordufer sowie den geschnittenen Böschungen im Westen und Süden des Sees ein Grundwasserzustrom in das Gewässer erfolgt. Zwischen Merzenich und Nörvenich hat sich das obere Grundwasserstockwerk als vom Tagebau unbeeinflusst herausgestellt, während östlich von Nörvenich nun deutlich geringere Druckgradienten zu beobachten sind. Weiter im Osten zwischen Wissersheimer Sprung und Ville lässt sich neben dem Wiederanstieg um mehrere Dekameter, welcher die ehemals geringen Grundwassermächtigkeiten aufgehoben hat, nun außerdem eine Änderung der Fließrichtung nach Nordwesten beobachten. Südlich von Weilerswist lässt sich ebenfalls ein mit dem Wiederanstieg einhergegangener Rückgang der Trockenflächen beobachten, wobei darüberhinaus keine nennenswerten Änderungen des durch Staffelbrüche und Oberflächengewässer bestimmten Fließregime festzustellen sind.

Auf der **Kölner Scholle** ist das **obere Grundwasserstockwerk** naturgemäß in weiten Teilen mit flachem Gradienten auf den Rhein als maßgeblichen regionalen Vorfluter ausgerichtet. Die größte bergbauliche Beeinflussung des oberen Grundwasserstockwerks ist für das Jahr **2030** im nordwestlichen Teil der Kölner Scholle auszumachen und ist einerseits durch die Entwicklung der Kippenwasserstände der Alttagebaue Bergheim und Fortuna Garsdorf, andererseits durch die Sümpfung des Tagebaus Garzweiler bedingt. Ansonsten wird das Fließgeschehen im oberen Grundwasserstockwerk maßgeblich durch die Morphologie und Verbreitung des Ton 1 als ersten Stauer bestimmt. So bildet sich ein lokaler Hochpunkt mit einem Grundwasserstand von etwa 70 mNHN westlich der Ortslage von Bergheim-Hüchelhoven und ein weiterer mit einem Grundwasserstand über 95 mNHN unter bzw. nördlich der Glessener Höhe, deren schwebendes Grundwasserstock im Modell nicht simuliert wird. Von diesen beiden Hochpunkten findet einerseits ein nach Westen bzw. Nordwesten gerichteter Abstrom in den ehemaligen Tagebau Fortuna-Garsdorf; andererseits erzeugt insbesondere die Verbreitungsgrenze des Ton 1 der lokalen Hochstände ein rasches Abfallen

der Grundwasserdruckfläche, welches sich westlich von Pulheim anhand der 45 m-Grundwassergleiche gut nachvollziehen lässt. Der weitere, östlich gerichtete Druckgradient bis zur Potentialrandbedingung von 30 bis 35 mNHN am Rhein fällt entsprechend gering aus. Südlich von Pulheim hingegen erstreckt sich die Verbreitung des Ton 1 bis an den Rhein bzw. die Modellgrenze, sodass sich zwischen der Glessener Höhe und der 40 m-Grundwassergleiche am Westrand des Kölner Stadtgebietes ein eher moderates hydraulisches Gefälle einstellt, welches nach Osten zum Druckniveau von ca. 35 mNHN am Modellrand noch weiter abflacht.

Weiter südlich herrschen entlang der ehemaligen Südtagebaue, welche vom Fließgeschehen auf der Kölner Scholle weitgehend entkoppelt sind, Flächen geringer Grundwassermächtigkeit vor. Östlich und südöstlich von Brühl ist jedoch eine flächig ausgeprägte Grundwasserdruckfläche zu beobachten, welche von etwa 50 mNHN zu gut 40 mNHN am dort das Modell begrenzenden Rheinabschnitt hin abfällt.

Im Jahr **2052** ist der Kippenwasserstand im Alttagebau Fortuna-Garsdorf um mehrere Dekameter angestiegen; auf Grund des somit verringerten hydraulischen Gradienten lässt sich bereits ein geringer, lokal stark begrenzter Wiederanstieg im äußersten Nordwesten der Kölner Scholle beobachten. Außerdem kommt es durch die Rücknahme der seebegleitenden Sumpfungsmengen am Tagebausee Garzweiler zu einer leichten Modifikation der Gradienten entlang der Grenze zur Venloer Scholle. Beide Entwicklungen setzen sich bis **2070** fort, sodass zu diesem Betrachtungszeitpunkt die Effekte deutlich verstärkt zu beobachten sind. So sind die niedrigsten Grundwasserstände sowohl am Rand des Alttagebaus Fortuna-Garsdorf als auch am westlichen Übergang zur Venloer Scholle von ehemals 10 mNHN auf nunmehr über 40 mNHN angestiegen. Da der lokale Hochpunkt von etwas über 70 mNHN durch die Stauermorphologie natürlich vorgegeben und somit erhalten geblieben ist, treten in diesem Bereich nun sehr viel geringere Druckgradienten auf und das Strömungsbild wirkt insgesamt homogener. Auch im Osten der lokalen Druckmaxima ist im Bereich nördlich von Pulheim eine flächenhafte Aufhöhung zu beobachten, welche durch das dortige Fehlen des Ton 1 mit dem Anstieg in tieferen Grundwasserleitern in Zusammenhang steht und die steilen Gradienten entlang der Verbreitungsgrenze zu diesem Zeitpunkt bereits abschwächt.

Im stationären Endzustand **2200** schließlich ist der Grundwasserstand in den Altkippen der nördlichen Ville auf etwa 65 mNHN angestiegen. Dementsprechend besteht im OSTW der Kölner Scholle dort nur noch ein sehr flaches Druckgefälle in westliche Richtung und auch die Flächen geringer Grundwassermächtigkeit sind in diesem Bereich nun auf kleine, natürlich bedingte Areale geschrumpft. Auf Höhe von Pulheim ist der Grundwasserstand gegenüber 2030 noch um nicht ganz 5 m angestiegen, weiter östlich in Richtung Rhein sowie südlich von Pulheim treten dann immer geringere Wiederanstiegsbeträge in Erscheinung, was mit der in

diesen Gebieten deutlich geringeren bergbaulichen Beeinflussung korrespondiert. Schlussendlich lassen sich auch in den Kippen im Westen des ehemaligen Tagebaus Frechen sowie der Südtagebaue leichte Veränderungen im Strömungsfeld beobachten, welche allerdings in ihrer Ausdehnung und Größenordnung als geringfügig zu bezeichnen sind.

Der **Horizont 9B** ist auf der **Erft-Scholle** nördlich von Hambach nur lückenhaft ausgeprägt und weist im Jahr **2030** ([Anlage 56](#)) in weiten Teilen eine geringe Grundwassermächtigkeit auf. Ein zusammenhängender Grundwasserleiter liegt dort in einem Korridor entlang der Grenze zur Venloer Scholle vor, wo der maximale Grundwasserstand gut 40 mNHN beträgt und zu den hydraulischen Fenstern in den Horizont 8 mit steilen, meist südöstlich gerichteten Druckgradienten abfällt. Besonders ausgeprägt zeigt sich dieses Phänomen zwischen Elsdorf und Bedburg, wo ein solcher Abstrom durch eine Lücke im 9B einen regelrechten Absenktrichter erzeugt. Diesem fließt auch das Grundwasser zwischen der Nordrandböschung des Tagebaus Hambach und der Erfttaue zu, welches mit entsprechend nordwestlicher Fließrichtung von der Wasserscheide bei Kerpen mit ihrem Druckniveau von ca. -40 mNHN kommt. Südlich von Kerpen wird der Horizont 9B dann durch den abdichtenden Einfluss des Wissersheimer Sprungs in zwei hydraulisch entkoppelte Grundwasserkörper getrennt. Östlich bzw. nordöstlich dieser Störung strömt das Grundwasser von der Wasserscheide parallel zum Schollenrand in Richtung Erftstadt/Lechenich, wo ein Abstrom in tiefere Leiter auftritt. Dorthin erfolgt auch der Zustrom aus Süden, wobei der Horizont 9B in der südlichen Erft-Scholle durch Staffelbrüche, Trockenflächen und Schichtlücken wieder zunehmend in kleineren, voneinander hydraulisch teilweise bis komplett entkoppelten Grundwasserleitern vorliegt. So variiert die vorherrschende Strömungsrichtung zwischen Nordwest im Raum Weilerswist und Nord bis Nordost auf der anderen Seite des Straßfelder Sprungs. Auch tritt in diesen Bereichen ein Leakage in tiefer gelegene Grundwasserstockwerke auf.

Der westlich bzw. südwestlich des Wissersheimer Sprung gelegene Bereich wird zwischen Merzenich und dem Tagebau Hambach zu diesem Zeitpunkt noch durch weitläufige Bereiche geringer Grundwassermächtigkeit geprägt. Erst südlich und östlich von Nörvenich existiert eine großräumig zusammenhängende Grundwasserdruckfläche, mit insgesamt nordwärts gerichtetem Druckgradienten. Dieser ist ausgehend von einem Höhenniveau von 130 mNHN nahe der Grenze zur Rur-Scholle zunächst eher moderat, bevor sich ab dem Straßfelder Sprung ein rapider Druckabbau von etwa 100 mNHN auf rund -20 mNHN östlich von Nörvenich vollzieht. Im weiteren Verlauf strömt das Grundwasser im Horizont 9B mit wiederum moderatem Gradienten dem Sumpfungsschwerpunkt des Tagebaus nahe der Manheimer Bucht zu.

Zum Betrachtungszeitpunkt **2052** ([Anlage 72](#)) ist der Grundwasserwiederanstieg im Umfeld des Tagebausees Hambach bereits deutlich fortgeschritten, sodass der Horizont 9B westlich von Elsdorf und Bedburg einen flächigen Zustrom aus der unterliegenden Hauptkiesserie erfährt. Dies hat zur Folge, dass der in 2030 das lokale Gleichenbild prägende Absenktrichter gänzlich verschwunden und einer flächenhaft ausgeprägten Senke mit einer Grundwasserdruckfläche von ca. -30 mNHN gewichen ist; auch ein deutlicher Rückgang der Flächen mit geringer Grundwassermächtigkeit ist in diesem Bereich erfolgt. Im Dreieck Elsdorf-Bedburg-Kerpen ist nun ein Druckplateau bei -25 mNHN zu beobachten, welches Zuströme sowohl aus dem Tagebausee Hambach als auch der auf Nörvenicher Seite gelegenen Teilscholle des Wassersheimer Sprungs erhält, wobei sich der bereits beschriebene Druckgradient zwischen der Grenze zur Rur-Scholle und der Ortslage von Nörvenich unverändert gegenüber 2030 darstellt. Nach Süden hin reicht der Effekt des Wiederanstiegs in etwa bis hinter Lechenich, wo sich die Lage der -10 mNHN-Gleiche nur noch unwesentlich im Vergleich zu 2030 verschoben hat. Beim simulierten Erreichen des Zielwasserspiegels im Tagebausee Hambach im Jahr **2070** ([Anlage 80](#)) ist der Grundwasserspiegel in der nördlichen Erft-Scholle um weitere 60 bis 70 m angestiegen. Es herrschen dort nun überwiegend geringe Gradienten und auch die Flächen geringer Grundwassermächtigkeit sind stark zurückgegangen. Dementsprechend liegt im Horizont 9B im Großteil seines Verbreitungsgebietes ein zusammenhängender Grundwasserkörper mit einem Druckniveau von 35 bis 40 mNHN vor. Im Nordwesten des Tagebausees hat sich eine Wasserscheide bei einem Niveau von etwa 45 mNHN ausgebildet, von wo das Grundwasser nach Nordwesten, vor allem aber nach Südosten abströmt, um weiterhin nördlich von Lechenich in den Horizont 8 abzufließen, wenngleich sich der vertikale Druckgradient dort bereits deutlich abgebaut hat. In der südlichen Erft-Scholle ist der Wiederanstieg im Horizont 9B zu diesem Betrachtungszeitpunkt bis in den Bereich Weilerswist fortgeschritten, womit eine Auflösung der dort vorliegenden Bereiche geringer Grundwassermächtigkeit einhergegangen ist. Der hydraulisch teilweise entkoppelte Grundwasserkörper auf der Bruchscholle zwischen Straßfelder Sprung und Rand von Erp zeigt nun ebenfalls erste nennenswerte Wiederanstiegstendenzen, während sich in den weiter südlich gelegenen Gebieten der Erft-Scholle das Gleichenbild nach wie vor unverändert darstellt. Im südlichen Umfeld des Tagebausees Hambach ist nun durch die Infiltration von Seewasser ein Wiederanstieg um über 50 m zu beobachten, infolgedessen sich die Flächen geringer Grundwassermächtigkeit nunmehr auf den Grenzbereich zur Rur-Scholle bei Merzenich sowie ein kleines Areal bei Nörvenich beschränken. Die Ortslage Nörvenich markiert in diesem Bereich auch in etwa die Ausbreitungsgrenze des Wiederanstiegs bei einem Druckniveau von 40 mNHN; geringfügige Änderungen im Gleichenbild des südlich gelegenen Anstrombereichs sind nur nahe der Rur-

Scholle im Druckniveau um 120 mNHN festzustellen, welche auf einen verringerten vertikalen Abstrom dort zurückzuführen sind.

Der als Hauptkiesserie bekannte, fluviatil sedimentierte **Horizont 8** ist in weiten Teilen der **Erft-Scholle** als mächtiger Grundwasserleiter ausgeprägt, der im Jahr 2030 ([Anlage 57](#)) überwiegend durch die Trockenhaltungsmaßnahmen des Tagebau Hambach entwässert wird. Größere Schichtlücken befinden sich im Osten von Weilerswist, nordwestlich des Tagebaus Hambach und am Rand zur Venloer Scholle nördlich des Operthener Sprungs im Westen von Bedburg. Insbesondere im Verbreitungsgebiet zwischen den Schichtlücken auf der rurseitigen Hälfte der nördlichen Erft-Scholle sowie südlich des Tripelpunkts bei Baal sind für das Jahr 2030 umfangreiche Flächen geringer Grundwassermächtigkeit prognostiziert. Zwischen seinem bergbaulich bedingten Anschnitt in der Südböschung des Tagebaus Hambach und dem Kreuzungspunkt von Straßfelder Sprung und Rand von Erp kann der Horizont 8 ebenfalls als komplett entwässert bezeichnet werden. Eine Ausnahme stellen die lokal höheren Restwassermächtigkeiten im Umfeld von Nörvenich dar, welche mit der dortigen Bruchtektonik assoziiert sind und mit steilen Gradienten in den nordöstlich gelegenen Hauptgrundwasserkörper des Horizont 8 entwässern. Dieser erstreckt sich auf der nördlichen Erft-Scholle bis in den Korridor zwischen Operthener Sprung und den lokalen Trockenflächen im Übergang zur Innenkippe des Tagebaus Hambach, während er im Süden aus dem Zusammenfluss verschiedener Teileinzugsgebiete südlich von Lechenich entsteht. So liegen auf den Teilschollen zwischen Rurrand und Straßfelder Sprung separate Grundwasserkörper im Horizont 8 vor, die einerseits in nordwestliche Richtung durch eine hydraulische Kopplung über den Straßfelder Sprung hinweg entwässern, überwiegend jedoch nach Nordosten gerichtete Druckgradienten aufweisen und zudem ein Leakage in tiefere Grundwasserleiter erfahren, welches den vertikalen Zustrom deutlich übersteigt. Zwischen Straßfelder Sprung und Ville hingegen dominiert auf der südlichen Erft-Scholle eine nach Nordosten gerichtete Strömung.

Weitere Zuströme enthält der Hauptgrundwasserkörper aus den ehemaligen Südtagebauen sowie dem Alttagebau Frechen, wo der Kippenwasserspiegel in den verfüllten Restlöchern bereits ein deutlich höheres Druckniveau als der Horizont 8 aufweist.

Auch wenn insbesondere an den geologischen Fenstern der nördlichen Erft-Scholle sowie bei Weilerswist ein Abstrom in tiefere Grundwasserleiter zu beobachten ist, so kulminiert der ganz überwiegende Teil der Grundwasserströmung im Sumpfungsschwerpunkt des Tagebaus Hambach zwischen Eldorf und der Manheimer Bucht, welcher mit einer simulierten Absenkung auf bis zu -225 mNHN im Gleichbild deutlich hervorsticht. Nördlich von Lechenich lässt sich zudem die Entnahme durch das Wasserwerk Dirmerzheim erkennen.

Im Jahr **2052** ([Anlage 73](#)) stellt sich auf Grund der längst eingestellten Sumpfungmaßnahmen sowie der fortgeschrittenen Befüllung des Tagebausees Hambach bereits ein stark verändertes Strömungsregime im Horizont 8 dar. Sowohl auf der nördlichen Erft-Scholle als auch südlich des Tagebausees sind die Flächen geringer Grundwassermächtigkeit im Rückgang begriffen. Außerdem strömt das Grundwasser der nördlichen Erft-Scholle nun mit deutlich verringerten Gradienten in Richtung eines lokalen Minimums unterhalb der Sophienhöhe. Der Absenktrichter der ehemaligen Tagebauentwässerung ist bereits komplett verschwunden und unter dem Einfluss des Abstroms aus dem Tagebausee hat sich nördlich von Elsdorf eine Wasserscheide bei - 22 mNHN ausgebildet, wo der Druckgradient nach Nordwesten sowie in Richtung der Trinkwassergewinnungsanlagen der Erft-Schiene im Südosten gerichtet ist. Diese stellen nun die maßgebliche Wasserentnahme auf der Erft-Scholle dar und zeichnen sich zunehmend im Gleichbild ab. Ebenso wie unter der Sophienhöhe, existieren zu diesem Betrachtungszeitpunkt aber auch im Bereich um Nörvenich noch lokale Drucksinken, in welchen der Grundwasserwiederanstieg nur verzögert erfolgt, weshalb das Strömungsfeld nicht ausschließlich auf die Wasserwerke ausgerichtet ist. Auf der südlichen Erft-Scholle ist der Wiederanstieg bis ins Swisttal vorangeschritten, während auf den Bruchschollen entlang des Rurrands und im äußersten Süden der Scholle nur geringfügige Veränderungen auszumachen sind und nach wie vor ein nahezu unverändertes Leakage in den Horizont 7 stattfindet.

Bei Erreichen des Zielwasserspiegels im Tagebausee Hambach um das Jahr **2070** ([Anlage 81](#)) haben sich die beschriebenen Entwicklungen weiter fortgesetzt: Auf der nördlichen Erft-Scholle sind fast keine Flächen geringer Grundwassermächtigkeit mehr auszumachen; auch südlich des Tagebausees Hambach, wo flächenhaft ein vertikaler Zustrom aus tieferen Grundwasserleitern erfolgt, liegen sie flächenhaft nur noch entlang des Straßfelder und des Wehrhahn Sprungs vor und beschränken sich ansonsten auf sehr kleinräumige Gebiete entlang tektonischer Brüche.

Im Osten von Linnich existiert eine lokale Drucksenke, in welcher der Grundwasserstand im Horizont 8 noch nicht wieder sein vorbergbauliches Niveau erreicht hat, wenngleich dort bereits ein Wiederanstieg um mehrere Dekameter erfolgt ist. Dementsprechend fließt das Grundwasser auf der nördlichen Erft-Scholle diesem Bereich zu. Die Wasserscheide im Norden des Tagebausees ist zu diesem Zeitpunkt noch stabil und die Grundwasserdruckhöhe dort auf über 45 mNHN angestiegen. Auf der Erft-Schiene schlägt sich die im Modell implementierte Verlagerung der Trinkwasserbehebungsmengen (siehe Kapitel 5.4.7) klar im Gleichbild nieder und es ist nun im gesamten Korridor zwischen Tagebausee, Nörvenich und Weilerswist eine erftparallele Strömung in Richtung der Brunnengalerie bei Dirmerzheim

zu beobachten. Auch auf den Teilschollen entlang der Grenze zur Rur-Scholle haben sich, ebenso wie im südlichen Ausläufer der Erft-Scholle, die leichten Aufhöhungstendenzen fortgesetzt, grundlegende Änderungen erfährt das Strömungsfeld in diesen Bereichen jedoch nicht.

Die Grundwasserleiter der Inden-Schichten/**Horizont 7** sind auf der **Erft-Scholle** weit verbreitet und es sind nur wenige, lokal begrenzte Schichtlücken kartiert. Im Jahr **2030** ([Anlage 58](#)) ist das Gleichbild in weiten Teilen der Scholle massiv durch die Sumpfungmaßnahmen des Tagebaus Hambach geprägt. Auf der nördlichen Erft-Scholle strömt das Grundwasser dementsprechend von den durch die Zuströme aus der Rur-Scholle bedingten höchsten Druckniveaus (bis zu 40 mNHN bei Linnich) zunächst in Richtung Osten, um dann einem zunehmend nach Südosten gerichteten Gradienten zu folgen. Auffällig ist der geringdurchlässig parametrisierte Bereich (vgl. [Anlage 15](#)) zwischen Elsdorf und Bedburg, der sowohl einen starken Druckgradienten als auch ein recht abruptes Ablenken der Strömungsrichtung nach Süden bewirkt. So fließt das Grundwasser sowohl im Norden des Tagebaus, als auch von Süden bis Südosten kommend, den entsprechenden Tagebaubrunnen bei Manheim und entlang der Nordrandböschung zu, welche durch Absenktrichter von bis zu -290 mNHN gekennzeichnet sind. Demgegenüber fallen die Entnahmen für die Trinkwassergewinnung zwar mengenmäßig kaum ins Gewicht, nichtsdestotrotz lassen sich kleinere Einflüsse auf das Gleichbild durch die im Modell implementierten Brunnen in Sindorf und Dirmerzheim beobachten.

Zwischen der geschnittenen Böschung im Süden des Tagebaus Hambach und dem westlichen Ausläufer des Straßheimer Sprungs sind auch für den Horizont 7 im Umfeld von Merzenich auf der Erft-Scholle große Flächen geringer Grundwassermächtigkeit ausgewiesen. An diese schließen sich im Südosten die durch die Bruchschollengeologie voneinander abgegrenzten Grundwasserkörper an: Westlich des Straßheimer, weiter südlich dann Lommersumer und Ludendorfer Sprungs wird das Strömungsbild nur durch lokal begrenzte Zuströme aus der Rur-Scholle modifiziert, während die vorherrschende Strömung einem Druckgradienten parallel zum Schollenrand folgt. Dieser wird im Verlauf von Südosten nach Nordwesten zunehmend steiler, bevor südlich von Nörvenich ein Einschwenken ins übergeordnete, auf die Tagebausümpfung gerichtete Fließregime erfolgt. Auf der gesamten südlichen Erft-Scholle strömt das Grundwasser ebenfalls in Richtung Nordwesten, wenngleich mit unterschiedlichen Gradienten auf den separaten Teilschollen, wobei nahe den Modellrändern Druckniveaus von 150 bis 160 mNHN auftreten, welche sich bis zum Zusammenfluss aus den Teileinzugsgebieten südlich von Lechenich auf etwa -50 mNHN abgebaut haben.

Im Jahr **2052** ([Anlage 74](#)) hat sich seit der Einstellung der seebegleitenden Sümpfung im Horizont 7 ein deutlicher Wiederanstieg vollzogen, der bereits auf der kompletten Erft-Scholle seine Wirkung entfaltet hat. Dabei nimmt der absolute Betrag der Aufhöhung naturgemäß mit der Entfernung vom ehemaligen Sümpfungsschwerpunkt ab. Insbesondere auf der hydraulisch weitgehend entkoppelten Teilscholle entlang der südlichen Grenze zur Rur-Scholle lassen sich nur geringe Veränderungen feststellen. Auf der nördlichen Erft-Scholle hingegen ist der Grundwasserspiegel in der Fläche um 15 bis 20 m angestiegen und bei Elsdorf ist ein Abstrom aus dem See ins Gebirge zu erkennen, der im Zusammenspiel mit der erwähnten geringdurchlässigen Zone zwischen Bedburg und Elsdorf dafür sorgt, dass zu diesem Zeitpunkt nördlich des Tagebausees Hambach ein weites Gebiet mit sehr geringen Gradienten und einem Druckniveau von -25 bis -20 mNHN existiert, dem das Grundwasser aus weiter nördlich gelegenen Bereichen zufließt. Ähnlich wie im Horizont 8 stellen nun die Trinkwassergewinnungsanlagen der Erft-Schiene die Potenziensenken entlang der Achse Bergheim-Kerpen-Lechenich, d.h. östlich des Wissersheimer bzw. Ludendorfer Sprungs, dar, denen das Grundwasser in diesem Bereich zuströmt. Westlich des Wissersheimer Sprungs, dessen Wirkung als hydraulische Barriere im Horizont 7 nun stärker zu Tage tritt, strömt sowohl der Gebirgsverlust des Tagebausees als auch das von Süden kommende Grundwasser den zuvor stark entwässerten Bereichen bei Merzenich zu und hat dort bereits einen deutlichen Rückgang der Gebiete geringer Grundwassermächtigkeit bewirkt. Bei Betrachtung des für das Jahr **2070** prognostizierten Gleichbilds ([Anlage 82](#)) lässt sich zunächst – wenig überraschend – feststellen, dass durch den fortgeschrittenen Wiederanstieg ein schollenweites Abflachen der hydraulischen Gradienten erfolgt ist. Auf der nördlichen Erft-Scholle ist ein lokales Druckminimum von etwa 35 mNHN am geologischen Fenster zu beobachten, bei welchem es sich um ein „Relikt“ vergangener Strömungszustände handelt: Hier hat im Zuge des Wiederanstiegs eine vertikale Strömungsumkehr stattgefunden, sodass nun Grundwasser aus dem tiefer liegenden Horizont 6D einströmt, was aber zu diesem Zeitpunkt noch keinen vollständigen Ausgleich der ehemaligen Absenkung bewirkt hat. Hierhin entwässert auch der über die ehemalige Innenkippe stattfindende Abstrom aus dem Tagebausee Hambach, ebenso wie die nach Nordwesten gerichtete Abstromkomponente an der Wasserscheide, welche sich im Bereich zwischen Bedburg, Elsdorf und Bergheim temporär ausgebildet hat. Südöstlich dieser Wasserscheide fließt das Grundwasser in Richtung der Wasserwerke Dirmerzheim und Mödrath; vor allem ersteres zeichnet sich im Gleichplan durch einen deutlichen Absenktrichter ab. Auch aus der südlichen Erft-Scholle fließt das Grundwasser den Trinkwassergewinnungsanlagen zu und wie bereits zu früheren Betrachtungszeitpunkten erfolgt ein Zusammenfluss aus den verschiedenen tektonisch vorgegebenen Teileinzugsgebieten östlich des Ludendorfer Sprungs schlussendlich im Süden der Ortslage Lechenich. Der Großraum Nörvenich im Süden des Tagebausees und westlich

des Wissersheimer Sprungs hat im Vergleich zum Jahr 2052 einen Grundwasseranstieg um bis zu 80 m erfahren, sodass dort keinerlei Gebiete mit geringer Grundwassermächtigkeit mehr auszuweisen sind und ein vertikales Leakage in den Horizont 8 im Hangenden stattfindet. Auch im Anstrom dieses Bereichs reicht der Aufhöhungseffekt bis weit auf die zwischen Rurrand und Ludendorfer bzw. Lommersumer Sprung gelegene Grundwasserdruckfläche.

Die marine Fazies des **Horizont 6D** (Neurather Sand) ist auf der **Erft-Scholle** nur im nördlichen Teil abgelagert und keilt im Bereich von Elsdorf und Bedburg nach Südosten hin aus. Im Jahr **2030** ([Anlage 59](#)) strömt das Grundwasser von den höchsten Druckniveaus am Rurrand in Richtung Osten bis Südosten, der Innenkippe des Tagebaus Hambach sowie den – hauptsächlich im Westen von Elsdorf gelegenen – Tagebaubrunnen zu. Dort wird ein minimales Druckniveau von etwa -160 mNHN berechnet. Im Bereich der Verbreitungsgrenze ist eine entgegen den flächigen Strömungsverhältnissen aufwärts gerichtete Vertikalströmung in den Grundwasserleiter Horizont 7 zu beobachten, welche ursächlich für Senke der Druckfläche bei Bedburg ist. Im Jahr **2052** ([Anlage 75](#)) ist der Grundwasserstand durch die nun fast komplett eingestellte Sumpfung bereits um bis zu 180 m angestiegen. Die Grundwasserströmung ist noch immer hauptsächlich nach Osten gerichtet, wobei sich die Druckgradienten deutlich verringert haben. Entlang des Rurrands sowie auf dem Jackerather Horst im Norden sind lokal stark begrenzte, residuale Absenkungsbereiche zu beobachten, da der Grundwasseranstieg diese hydraulisch eingeschränkt angebondenen Bereichen nur verzögert erreicht. Ein ähnliches Phänomen lässt sich westlich von Linnich an Hand der -15 m-Isolinie aufzeigen, wobei dort der Abstrom in den noch nicht gleichermaßen angestiegenen Horizont 7 ursächlich ist. So stellt dieser Bereich im Jahr **2070** ([Anlage 83](#)) dann auch den Tiefpunkt der Druckfläche des Horizont 6D in der gesamten nördlichen Erft-Scholle dar, wengleich eine weiterer Grundwasseranstieg auf etwa 35 mNHN erfolgt ist. An den Rändern des 6D-Verbreitungsgebietes bzw. der Erft-Scholle haben sich nun Standrohrspiegelhöhen von bis zu 50 mNHN eingestellt; davon ausgenommen ist der weiterhin nur verzögert ansteigende Grundwasserkörper des Jackerather Horsts.

Der Frimmersdorfer Sand/**Horizont 6B** ist als zusammenhängende Fazies nur im Nordwesten der **Erft-Scholle** verbreitet. Seine Ablagerungsgrenze verläuft von Bedburg über Elsdorf, entlang der östlichen Abbaugrenze des Tagebaus Hambach bis südlich von Merzenich. Im Jahr **2030** ([Anlage 60](#)) ist er zum Ende der Auskohlung noch druckentspannt mit Bezug auf die Tagebausohle. Dementsprechend liegt der Sumpfungsschwerpunkt in unmittelbarer Nähe des Tagebautiefsten und wird aus dem gesamten Verbreitungsgebiet des 6B auf der Erft-

Scholle angeströmt. Im Westen des Tagebaus sind auf Grund der Entwässerung nur noch geringe Restwassermächtigkeiten vorhanden; gleiches gilt für vereinzelte, kleinräumige Gebiete entlang des Rurrands und auf dem Jackerather Horst. Dagegen sind im Jahr **2052** ([Anlage 76](#)) keinerlei Flächen geringer Grundwassermächtigkeit mehr auszuweisen. Der Absenktrichter der Tagebausümpfung findet sich im Gleichenbild nicht mehr wieder, vielmehr hat sich durch den auftretenden Gebirgsverlust ein Druckmaximum von 5 mNHN unter dem Tagebausee ausgebildet. Von dort findet ein Abfluss sowohl nach Südosten, als auch in nordöstliche Richtung statt, wo sich unter der Sophienhöhe nun ein temporärer Tiefpunkt mit einem Druckniveau von -20 mNHN befindet. Dorthin strömt auch ein Teil des Grundwassers aus der nördlichen Erft-Scholle, welche außerdem in Richtung des Jackerather Horsts entwässert. Bis zum Jahr **2070** ([Anlage 84](#)) ist der Horizont 6B weiter mit dem Seewasserspiegel angestiegen und erreicht unterhalb des Tagebausees Hambach nun ein Druckniveau von 60 mNHN. Während der Gradient bis zur Verbreitungsgrenze bei Merzenich nun bereits weniger als 5 m beträgt, findet der hauptsächliche Abstrom in Richtung Norden bzw. Nordwesten statt, wo der Wasserstand großflächig auf 40 bis 45 mNHN angestiegen und weiter im Wiederanstieg begriffen ist.

Die in einem Modellgrundwasserleiter zusammengefassten Liegendsande der **Horizonte 2 bis 5** (vgl. Kapitel 5.3.1) liegen abgesehen vom äußersten Nordwesten auf der gesamten **Erft-Scholle** vor. Durch die für einen sicheren Betrieb unerlässliche Liegendentwässerung des Tagebaus Hambach ist die Grundwasserdruckfläche im Jahr **2030** ([Anlage 61](#)) im gesamten Verbreitungsgebiet stark abgesenkt und das Grundwasser strömt dem Sümpfungsschwerpunkt zu. Als Resultat der hohen Entnahmemengen treten im Bereich des südlichen Rurrands vereinzelt Flächen geringer Grundwassermächtigkeit auf. Nur stellenweise wird das allgemeine Strömungsregime an den Rändern zur Rur-Scholle durch Zuströme modifiziert und auch auf der südlichen Erft-Scholle herrscht in den durch hydraulisch wirksame Störungen voneinander separierten Teileinzugsgebieten eine durchweg nach Nordwesten gerichtete Grundwasserströmung vor. Allerdings weist der zwischen südlichem Erft-Sprung und Swist-Sprung gelegene Grundwasserkörper südlich von Weilerswist keine nennenswerte Beeinflussung auf und auch zwischen Ludendorfer Sprung und Rurand fällt diese verhältnismäßig gering aus. Unter den Alltagebauen der nördlichen Ville ist der Grundwasserleiter in den Horizonten 2 bis 5 ebenfalls deutlich abgesenkt und entwässert bei Fortuna Garsdorf zumindest punktuell in die Erft-Scholle.

Gut 15 Jahre nach Beendigung jeglicher Liegendsümpfung am Tagebau bzw. Tagebausee Hambach ist im Jahr **2052** ([Anlage 77](#)) der Druckwasserspiegel bereits massiv angestiegen: So werden entlang der nördlichen Verbreitungsgrenze nunmehr Druckpotenziale von -10 bis

0 mNHN prognostiziert, was einem Wiederanstieg um rund 80 m entspricht. Der Absenktrichter des Sumpfungsschwerpunkts ist ebenso aus dem Gleichenbild verschwunden wie die nördlicheren Gebiete geringer Grundwassermächtigkeit und das Grundwasser strömt mit geringem Druckgradienten überwiegend in Richtung Osten, wobei sich die Zuströme aus der Rur-Scholle bereits drastisch verringert haben. Die hydraulisch gut angebundenen Bereiche im Zentrum der südlichen Erft-Scholle haben einen ähnlich starken Wiederanstieg erfahren, wohingegen auf den Teilschollen entlang der Schollenränder nur ein Anstieg des Druckniveaus um etwa 5 m verzeichnet wird. Durch die Einflüsse der lokalen Bruchtektonik ist die Grundwasserströmung hier weiterhin nach Nordwesten gerichtet, wobei sich die Gradienten im Zentralbereich der Erft-Scholle deutlich verringert haben. Auch unter den nördlichen Altgebäuden der Ville hat sich ein Anstieg der Grundwasserdruckfläche um einige Dekameter ereignet, da dieser jedoch auf Grund des eingeschränkten hydraulischen Kontakts geringer als auf der Erft-Scholle ausgefallen ist, hat sich der Überstrom im Bereich Garsdorf umgekehrt. In der südlichen Ville dagegen sind nur geringe Veränderungen des Gleichenbilds zu beobachten. Bis zum Jahr **2070** ([Anlage 85](#)) hat sich auf der nördlichen Erft-Scholle ein Anstieg um weitere 50 m vollzogen und das hydraulische Gefälle zur nördlichen Ville hat sich annähernd nivelliert, sodass das Grundwasser hier nun hauptsächlich nach Norden und an der Verbreitungsgrenze schließlich in den Horizont 6B strömt. Der Zustrom aus der Rur-Scholle ist weiter zurückgegangen und im Gleichenbild kaum noch erkennbar und auch die Flächen geringer Grundwassermächtigkeit werden auf der Erft-Scholle nur noch im südlichsten Ausläufer am Modellrand zur Eifel prognostiziert. Dort ist das Druckniveau weiter leicht angestiegen, der Gradient nach Nordwesten hat sich dennoch stark verringert, was dem Anstieg in der zentralen Erft-Scholle geschuldet ist. So beträgt das Druckpotenzial am Schollenrand nördlich von Euskirchen zu diesem Betrachtungszeitpunkt gut 65 mNHN und das Grundwasser strömt einem flachen Gradienten folgend nach Norden. Erst im Bereich Lechenich erfolgt eine Ablenkung der Strömung in Richtung Nordosten, bei Kerpen dann Richtung Osten, da in diesen Bereichen ein Abstrom in langsamer ansteigende Hangendleiter sowie die Altkippe des ehemaligen Tagebaus Frechen erfolgt.

Auf der **Kölner Scholle** sind die **Horizonte 2 - 5** nur in einem linksrheinischen Korridor zwischen Frechen und Brühl verbreitet. Dort verändert sich das prognostizierte Gleichenbild im Betrachtungszeitraum allerdings kaum und wird vor allem durch die Randbedingung des Rheins und die Entnahme am Wasserwerke Hürth – erkennbar am Absenktrichter bei 35 mNHN – geprägt. Einzig im Norden von Brühl erfolgt zwischen **2030** ([Anlage 61](#)) und **2070** ([Anlage 85](#)) eine geringfügige Verlagerung der 40 mNHN-Isolinie in Reaktion auf den leichten Anstieg des Kippenwasserspiegels in den ehemaligen Südtagebauten.

Die tiefen Liegendleiter der **Horizonte 01 - 09** sind beinahe auf der kompletten **Erft-** sowie in weiten Teilen der **Kölner Scholle** mit Ausnahme des Nordostens im Bereich Pulheim und Dormagen verbreitet. Im Jahr **2030** ([Anlage 62](#)) ist das Gleichenbild auf der Erft-Scholle noch durch die Liegendsümpfung des Tagebaus geprägt, welche die Grundwasserdruckfläche schollenweit deutlich abgesenkt hat. Einzig in den hydraulisch weitgehend entkoppelten Grundwasserkörpern, welche nördlich des Swist-Sprungs sowie zwischen Ludendorfer Sprung und der am Eifelrand kartierten Schichtlücke vorliegen, ist der Einfluss der Sümpfungsmaßnahmen verhältnismäßig gering. Am Übergang zur nördlichen Ville lässt sich zudem der Zustrom aus dem Bereich der Alttagebaue und der nordwestlichen Kölner Scholle im Gleichenbild erkennen, während seitens der Kölner Scholle ohnehin ein westlich gerichteter Grundwasserstrom in die gesamte Ville mit Ausnahme der ehemaligen Südtagebaue stattfindet. Im Jahr **2052** ([Anlage 78](#)) hat sich das Strömungsregime auf der Erft-Scholle radikal geändert und am ehemaligen Sümpfungsschwerpunkt ist das Druckniveau um etwa 180 m auf 0 mNHN angestiegen. Am nördliche Tripelpunkt bei Baal ist ein Anstieg von -15 auf 20 mNHN erfolgt, sodass der Grundwasserfluss auf der nördlichen Erft-Scholle zu diesem Betrachtungszeitpunkt auf das Gebiet des Kaster Sprungs ausgerichtet ist, wo zuvor ein geringer Überstrom in die Venloer Scholle den Wiederanstieg verzögert hat und nun außerdem eine Entwässerung ins Hangende auftritt. Diese Entwicklung hat in Kombination mit dem ohnehin fortschreitenden Anstieg des Kippenwasserspiegels der Alttagebaue Fortuna-Garsdorf und Bergheim zu einem deutlich verringerte Abstrom aus der nordwestlichen Kölner Scholle geführt, sodass hier nun ebenfalls 5 bis 15 m höhere Druckpotentiale vorliegen. Weiter südlich im Großraum Frechen hat sich dagegen ein großflächiges Druckplateau bei etwa 40 mNHN ausgebildet und es findet nur noch ein im Gleichenbild nicht repräsentierter Abstrom nach Westen statt. Auf der zentralen Erft-Scholle herrscht eine geringe, dem Schichteinfallen nach Osten folgende Grundwasserströmung, welche am Erftsprung südöstlich von Kerpen ebenfalls hangende Grundwasserstockwerke speist. Auch im Hauptgrundwasserkörper der südlichen Erft-Scholle bis Morenhoven ist noch ein weitreichender Wiederanstieg des Druckpotentials um 50 bis 60 m festzustellen, was zu einem annähernd kompletten Rückgang der Fläche geringer Grundwassermächtigkeit nördlich von Euskirchen geführt hat. Allein in den erwähnten, durch ihre Lage auf den Bruchschollen hydraulisch kaum angebundenen Grundwasserkörpern, erfolgt nur ein schwacher Wiederanstieg. Diese Aussage behält auch für das Jahr **2070** ([Anlage 86](#)) Gültigkeit, wengleich zumindest nördlich von Weilerswist ein Voranschreiten des Aufhöhungsbereichs auszumachen ist, was zu einem lokalen Abstrom in die Kölner Scholle südlich von Brühl sowie in die ehemaligen Südtagebaue führt. Ansonsten hat sich das großräumige Strömungsbild auf der Erft-Scholle zu Gunsten eines deutlich stärker nach Norden gerichteten Druckgradienten gewandelt, wobei das Druckpotential insgesamt um weitere 50 m angestiegen ist. Da weder

am Jackerather Horst, noch am Kaster Sprung zu diesem Zeitpunkt nennenswerte Überstrommengen in die Venloer Scholle bilanziert werden, ist die – nun leicht nach Westen gewanderte – Drucksenke in diesem Bereich ausschließlich auf den Abstrom ins Hangende zurückzuführen. Ebenfalls weiterhin im Gleichenbild erkennbar ist der lokale Abstrom aus der Erft-Scholle in die Altkippen am Übergang zur Ville zwischen Kerpen und Lechenich. Auf der Kölner Scholle hat sich zwischenzeitlich durch den weiter stark rückläufigen Abstrom nach Westen eine recht gleichmäßige Druckfläche mit Potentialen um 40 mNHN ausbilden können und auch die Trockenfläche östlich des Altagebaus Bergheim ist nun in der Auflösung begriffen.

Untersuchungsraum Tagebau Inden

Im Untersuchungsraum des Tagebaus Inden besteht ein natürlicher Gradient von Südosten nach Nordwesten. Im Zuge der Sümpfung des Tagebaus Inden kommt es in einigen Leitern jedoch zu lokalen Umkehrungen der Strömungsrichtung.

Im **oberen Grundwasserstockwerk** strömt im Jahr **2030** ([Anlage 55](#)) das Grundwasser auf der **Rur-Scholle** im Wesentlichen nach Nordwesten. So strömt das Grundwasser vom Festgesteinsrand im Süden kommend von Druckpotentialen über 200 mNHN zur Maas im Norden mit Druckpotentialen bis 15 mNHN. Insbesondere am Festgesteinsrand sind starke Gradienten zu beobachten, nach einigen Kilometern flachen die Gradienten dann jedoch deutlich ab. Im Bereich der Stadt Euskirchen kommt es zu Überströmen in die Erft-Scholle, so dass hier eine lokale Strömungsrichtung von Südwesten nach Nordosten vorherrscht. Im Bereich des Tagebaus Inden ist aufgrund der Sümpfung auch ein deutlich veränderter Grundwasserstrom zu erkennen. Ab etwa der Ortschaft Vettweiß südöstlich der Stadt Düren ist ein recht geradliniger Strom parallel entlang der Schollengrenze zur Erft-Scholle zu sehen. Dieser führt sich weiter in Richtung Nordwesten bis hin zur Maas. Nördlich der Ortschaft Geilenkirchen wird dieser geradlinige Strom aufgrund der geologischen Verhältnisse immer großflächiger und flacher. Im Jahr 2030 sind hier im oberen Grundwasserstockwerk viele kleinflächige Trockenflächen zu beobachten. Im Besonderen fallen hier die südliche Rur-Scholle bis hin zur Stadt Düren, der Tagebaubereich und das Gebiet um die Ortschaft Geilenkirchen auf. Die meisten dieser Trockenflächen bestehen im gesamten Verlauf des Grundwasserwiederanstiegs weiterhin und sind im Wesentlichen morphologisch bedingt.

Im Jahr **2052** hat sich im oberen Stockwerk ([Anlage 71](#)) der Rur-Scholle nichts Grundlegendes verändert. Die große Ausnahme bildet hier der Bereich des zu diesem Zeitpunkt gefüllten Tagebausees Inden und die umliegenden Bereiche. Während für den Bereich des Sees zum vorherigen Betrachtungszeitpunkt eine Trockenfläche ausgewiesen wird, sind nun

Wasserstände von 92 mNHN, dem geplanten Zielwasserspiegel des Tageausees, zu erkennen. Des Weiteren besteht auch ein Gradient vom See in die nordwestwärtige Kippe. Da dem nördlichen Teil der Kippe nun von zwei Seiten Wasser zuströmt, bildet sich hier ein Plateau mit einem Druckpotential von etwa 75 mNHN. Auch im Abstrombereich nach Nordwesten sind im Umfeld des Tageausees höhere Grundwasserspiegel zu beobachten. Während beispielsweise die Ortschaft Freialdenhoven zuvor ein Druckpotential von etwa 78 mNHN hatte, sind für 2052 etwa 83 mNHN zu erwarten. Da die Maas an der nordwestlichen Modellgrenze eine stabile Randbedingung mit gleichbleibenden Druckpotentialen bildet, wird bis dahin somit der Gradient steiler. Im Zustrombereich von Südosten her bleibt das Strömungsbild im Wesentlichen konstant. Die Trockenflächen in der südlichen Rur-Scholle und im Bereich der Ortschaft Geilenkirchen bleiben nahezu unverändert, während die Trockenflächen im Bereich des Tagebaus Inden im Zuge der Seebefüllung und des Wiederanstieges deutlich zurückgehen.

Zum Zeitpunkt **2070** ([Anlage 79](#)) ist nicht nur der Tageausee Inden gefüllt, sondern die Grundwassergleichen des oberen Grundwasserstockwerks zeigen ein weiteres Auffüllen des umliegenden Unverritzten und dem Verkippungsbereich des Tagebaus Inden. So ist das im vorherigen Betrachtungszeitpunkt aufgetretene Plateau in nördlichen Teil der Kippe nun nicht mehr erkennbar. Stattdessen fügt sich der Kippenbereich mehr und mehr in das gesamte Strömungsbild ein. Wo zuvor das Plateau mit einem Druckpotential von etwa 75 mNHN war, werden nun etwa 85 mNHN ausgewiesen. Im nordwärtigen Abstrombereich steigen die Druckpotentiale weiter an. So sind für die Ortschaft Freialdenhoven zum Zeitpunkt 2070 Potentiale von etwa 87 mNHN zu erwarten. Je weiter es nach Nordwesten zur Maas geht, desto geringer werden die Aufhöhungen. Auch im südlichen Anstrombereich sind steigende Druckpotentiale zu erwarten. So ist beispielsweise zwischen der Stadt Düren und der Ortschaft Merzenich im Jahr 2070 ein Druckpotential von etwa 120 mNHN gegenüber 117 mNHN im Jahr 2052 zu sehen. Das generelle Strömungsbild bleibt jedoch weiterhin bestehen. Die Trockenflächen in der südlichen Rur-Scholle und im Bereich der Ortschaft Geilenkirchen bleiben nahezu unverändert, während die Trockenflächen im Bereich des Tagebaus Inden weiter zurückgehen.

Bis zum stationären Endzustand **2200** ([Anlage 95](#)) führen sich die bisherigen Tendenzen fort. Das gesamte Strömungsbild bleibt weiterhin unverändert. Die steigenden Wasserspiegel steigen weiter, jedoch mit einem deutlich geringeren Gradienten. Trotz der größeren Zeitspanne ist beispielsweise im Bereich der Ortschaft Freialdenhoven ein Wasserstand von etwa 90 mNHN ausgewiesen. Auch für den Bereich zwischen der Stadt Düren und der Ortschaft Merzenich ist ein ansteigender Wasserstand von etwa 122 mNHN zu erkennen. Die Trockenflächen in der südlichen Rur-Scholle und bei der Ortschaft Geilenkirchen bleiben auch

bis 2200 weiter bestehen. Da der Wiederanstieg bis dahin abgeschlossen ist, sind diese morphologisch bedingt. Hier fällt beispielsweise bei der Trockenfläche bei Stadt Düren auf, dass die Gleichen des Jahres 1955 hier Gleichen und somit keine Trockenflächen ausgewiesen werden. Da die Gleichen der Jahre 1955 und 2200 sich in diesem Bereich auf einem sehr ähnlichen Druckniveau, was zeigt, dass hier möglicherweise der Restwasserspiegel in den beiden Gleichenbildern unterschiedlich definiert sind. Die Trockenflächen um den Tagebausee Inden und die angrenzenden Verkippungsbereiche werden sukzessive kleiner, sind 2200 jedoch nicht verschwunden. Auch diese sind morphologisch bedingt, enden jedoch recht abrupt in den Verkippungsbereichen, da dort diese morphologischen Strukturen abgebaggert und nicht identisch wieder verkippt werden. Aufgrund von lokalen Gegebenheiten und Effekten sind kleinräumige persistente Trockenflächen nicht auszuschließen.

Der **Horizont 9B** auf der **Rur-Scholle** zeigt wie das obere Grundwasserstockwerk eine generelle Fließrichtung von Südosten nach Nordwesten. Im Jahr **2030** ([Anlage 56](#)) ist dies jedoch im Bereich des Tagebaus Inden von der Sümpfung überprägt. So ist bei der Ortschaft Linnich eine Wasserscheide mit einem Druckpotential von etwa 55 mNHN ausgebildet. Von dort fließt Wasser einerseits nordwestwärts zur Maas mit einem Druckpotential von etwa 27 mNHN und andererseits in Richtung des Tagebaus Inden. Dort zeigt der Horizont 9B Druckpotentiale zwischen 35 und 55 mNHN. Aus der südlichen Rur-Scholle strömt das Grundwasser der allgemeinen Fließrichtung entsprechend nach Nordosten. Im Bereich der Stadt Düren zeigt sich ein steiler Gradient zwischen 60 und 130 mNHN. Weiter südöstlich ist der Gradient deutlich flacher und so zeigt sich beispielsweise bei der Stadt Euskirchen ein Druckpotential von etwa 155 mNHN. An den Verbreitungsgrenzen sind jedoch noch höhere, aber sehr kleinräumige Druckpotentiale zu sehen. Zudem fällt ein lokaler Absenktrichter des Wasserwerks Oberelvenich am Schollenrand zur Erft-Scholle auf. Darüber hinaus fällt ein ebenfalls sehr lokaler Absenktrichter zwischen den Ortschaften Linnich und Jülich auf, der auf das geplante Wasserwerk Koslar zurückzuführen ist.

Im Betrachtungsjahr **2052** ([Anlage 72](#)) ist der Tagebausee Inden gefüllt. Im umliegenden Unverritzten des Horizonts 9B ist der Wiederanstieg schon fortgeschritten, aber nicht abgeschlossen. So ist die o.g. Wasserscheide verschwunden und es zeigt sich ein einheitlich gerichtetes Strömungsregime von Südosten nach Nordwesten. Der Bereich um den Tagebaubereich zeigt mit Druckpotentialen zwischen 75 und 95 mNHN um etwa 40 m höhere Stände im Vergleich zum Ende des Tagebaubetriebs 2030. Die Druckpotentiale am südöstlichen und nordwestlichen Ende sind unverändert geblieben. Jedoch sind mit dem Anstieg im Bereich des Tagebaus die Gradienten im An- und Abstrombereich verändert. So

ist der Gradient im Bereich der Stadt Düren flacher und der Gradient zwischen der Ortschaft Linnich und dem Tagebau mit dem Wegfallen der Wasserscheide umgekehrt.

Das nächste Betrachtungsjahr **2070** ([Anlage 80](#)) zeigt eine weitere Verstärkung der für das Jahr 2052 beschriebenen Effekte. So zeigt der Bereich um den Tagebausee Inden nun Druckpotentiale zwischen 80 und 95 mNHN. So bildet sich ein mehr und mehr homogeneres Strömungsregime. Der Bereich um die Stadt Düren bleibt jedoch weiterhin von höheren Gradienten geprägt.

Der **Horizont 8** zeigt im Wesentlichen eine vergleichbare Entwicklung wie der Horizont 9B. So besteht im Betrachtungsjahr **2030** ([Anlage 57](#)) noch ein großräumiger Absenkungstrichter infolge der Sumpfung des Tagebaus Inden und damit eine Wasserscheide zwischen den Ortschaften Geilenkirchen und Baal. Im Zentrum des Absenktrichters ist ein Druckpotential von etwa -29 mNHN zu erkennen, während die Wasserscheide ein Druckpotential von etwa 55 mNHN ausweist. Im südlichen Anstrombereich des Tagebaus Inden zeigt auch der Bereich um die Stadt Düren einen starken Gradienten, der weiter im Süden ab etwa der Ortschaft Vettweiß deutlich flacher ist. Die höchsten Druckpotentiale finden sich am Zustrom aus der Eifel mit einem Druckpotential von etwa 180 mNHN. Im Bereich der Maas zeigt sich hingegen ein Druckpotential von etwa 29 mNHN.

Im Jahr **2052** ([Anlage 73](#)) ist, wie im Horizont 9B, der Wiederanstieg schon weit fortgeschritten, sodass sich der Tagebaubereich in das generelle Strömungsregime eingliedert und so weder der Absenktrichter der Sumpfung noch die o.g. Wasserscheide zu beobachten sind. So zeigt der Bereich um den Tagebausee Inden Druckpotentiale zwischen 75 und 95 mNHN. Bei der Stadt Jülich fällt nun jedoch der Jülicher Sprung ins Auge, wo der Grundwasserstrom aufgeteilt wird. Der eine Teil strömt weiter auf der Rur-Scholle in Richtung der Maas, während der andere Teil auf die Erft-Scholle überströmt. Mit dem Anstieg im Bereich des Tagebausees, wird auch der Gradient im Bereich der Stadt Düren flacher.

Mit dem fortschreitenden Wiederanstieg im Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 81](#)), zeigt vor allem der Bereich des Tagebausees im Horizont 8 mehr und mehr höhere Druckpotentiale. So sind hier Druckpotentiale zwischen 80 und 95 mNHN vorherrschend, sodass sich mehr und mehr ein homogeneres Strömungsregime ergibt.

Auf der Rur-Scholle wird modellseitig zwar zwischen dem Horizont 7A und 7E unterschieden, bei der Konstruktion der Grundwassergleichen aus den Pegelmesswerten jedoch nicht und es wird der Horizont 7 betrachtet. Da dem Horizont 7A auf der Rur-Scholle wasserwirtschaftlich eine höhere Bedeutung zukommt, liegt hier der modellseitige Fokus auf diesem Horizont.

Der **Horizont 7A** ist auf der **Rur-Scholle** merklich von hydraulisch wirksamen Störungen

geprägt. Darüber hinaus ist dieser Horizont im nördlichen Teil der Scholle kaum verbreitet und reicht nicht bis zur Maas. So ist zum Betrachtungszeitpunkt **2030** ([Anlage 58](#)) ganz klar der Absenktrichter der Tagebausümpfung zu erkennen, aber eine Wasserscheide, wie in den darüber liegenden Grundwasserleitern, bildet sich aufgrund der Verbreitung nicht aus. Der Tiefpunkt des Absenktrichters zeigt ein Druckpotential von etwa -65 mNHN. Der Bereich der Kippe Zukunft und der angrenzende Abstrom sind nur bedingt durch die Sümpfung beeinflusst und es herrscht ein Grundwasserstrom nach Nordwesten vor. Dieser Strömungsbereich wird vom restlichen Strömungsbild durch den Weisweiler Sprung und den Siersdorfer Sprung getrennt. Südlich des Tagebaus Inden herrscht eine generelle Strömungsrichtung nach Nordwesten vor. Vor allem im Bereich der Stadt Düren und der Ortschaft Vettweiß sind mehrere hydraulisch wirksame Störungen zu erkennen, wo extrem steile Gradienten vorherrschen, da durch die Störungen benachbarte Polygone sehr unterschiedliche Druckpotentiale aufweisen. Hier sind der Stockheimer Sprung, der Mariaweiler Sprung und der Vettweißer Sprung zu nennen. Auch die Grundwasserströme in diesen Bereichen sind von höheren Gradienten geprägt. Im südlicheren Bereich um die Ortschaft Zülpich und der Stadt Euskirchen zeigt sich wieder ein deutlich flacheres Strömungsregime. Darüber hinaus fallen mehrere Überströme in die Erft-Scholle auf. So ist ein Überstrom bei der Ortschaft Kelz südöstlich von der Stadt Düren und ein weiterer bei der Stadt Euskirchen besonders auffällig. Im Betrachtungsjahr **2052** ([Anlage 74](#)) ist der Einfluss der Sümpfung des Tagebaus Inden deutlich zurückgegangen. Der nordwärtige Abstrombereich zeigt so nun auch eine Strömungsrichtung nach Norden. Östlich des Tagebaus Inden dominieren nun jedoch der Rur-Sprung und der Jülicher Sprung das Strömungsbild des Horizonts 7A. Der Teil östlich dieser Störungen zeigt deutlich niedrigere Druckpotentiale bis 25 mNHN und einen deutlichen Überstrom in die Erft-Scholle bei der Ortschaft Niederzier. Dort strömt das Grundwasser sowohl von der Ortschaft Jülich als auch von der Stadt Düren her. Vom Tagebau Inden selbst strömt das Wasser ostwärts zu diesen Störungen hin. Im Bereich der Ortschaft Merken ist ebenfalls ein ostwärts gerichteter Grundwasserstrom vom Tagebausee mit einem steilen Gradienten vorherrschend. In der südlichen Rur-Scholle ist der Wiederanstieg ebenfalls deutlich zu erkennen. So ist südöstlich der Stadt Düren ein Plateau mit einem Druckpotential von etwa 75 mNHN zu sehen, das zuvor etwa 40 mNHN vorwies. Mit dem Anstieg ist auch der Einfluss des Stockheimer Sprungs bei Düren weniger deutlich, da beide Teilbereiche nun vergleichbarere Druckpotentiale aufzeigen. Der Bereich um die Stadt Euskirchen bleibt weitestgehend unverändert.

Der Horizont 7A zeigt im Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 82](#)) im Zuge des Wiederanstieges ein mehr und mehr homogeneres Strömungsbild mit flacheren Gradienten. So zeigt der Überstrombereich in die Erft-Scholle bei dem Rur-Sprung und dem Jülicher

Sprung nun ein Druckpotential von etwa 70 mNHN. Am o.g. Plateau südöstlich der Stadt Düren sind nun Druckpotentiale von etwa 95 mNHN zu beobachten.

Der **Horizont 6D** zeigt eine vergleichbare Entwicklung wie der Horizont 9B. Im Betrachtungszeitpunkt **2030** ([Anlage 59](#)) zeigt sich eine deutliche Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal und Geilenkirchen mit einem Druckpotential um die 45 mNHN. Die Ursache dieser Wasserscheide ist die Sümpfung des Tagebaus Inden, wo im Absenktrichter ein Minimum von etwa -60 mNHN vorzufinden ist. Nordwestlich der Wasserscheide fließt das Grundwasser zur Maas mit einem Druckpotential von etwa 29 mNHN. Im Bereich der Kippe Zukunft besteht ein Grundwasserstrom nordwestwärts, der durch den Weisweiler Sprung und den Siersdorfer Sprung von der Strömung des Tagebaus Inden entkoppelt ist. Zwischen den Ortschaften Freialdenhoven und Geilenkirchen endet der Einfluss des Siersdorfer Sprunges und die Fleißrichtung teilt sich auf. Ein Teil fließt weiter nordwestwärts zur Maas, während der andere Teil ostwärts zur tieferliegenden Wasserscheide strömt. Darüber hinaus fällt südlich der Ortschaft Gangelt ein lokaler Absenktrichter auf, der auf eine Gruppe von Fremdentnehmerbrunnen in den Niederlanden zurückzuführen ist.

Zum Betrachtungszeitpunkt **2052** ([Anlage 75](#)) ist der Absenktrichter der ehemaligen Sümpfung nicht mehr zu erkennen. So ist nun auch die Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal und Geilenkirchen nicht mehr zu beobachten. Jedoch hat sich eine neue Wasserscheide bei der Ortschaft Freialdenhoven mit einem Druckpotential von etwa 63 mNHN gebildet. Hier strömt Grundwasser vom Tagebausee her und fließt einerseits nordwestwärts zur Maas und andererseits ostwärts zu einem Tiefpunkt nahe der Ortschaft Niederzier mit einem Druckpotential von etwa 50 mNHN. Der ehemalige Sümpfungsschwerpunkt des Absenktrichters zeigt nun ein Druckpotential von etwa 60 mNHN und ist somit 120 m höher als im vorherigen Betrachtungszeitpunkt 2030.

Im Betrachtungsjahr **2070** ([Anlage 83](#)) ist der Wiederanstieg weiter vorangeschritten. Die Wasserscheide bei der Ortschaft Freialdenhoven ist nun nicht mehr zu beobachten, da dieser Bereich und das lokale Minimum bei der Ortschaft Niederzier nun ähnliche Druckpotentiale von etwa 72 mNHN aufweisen und somit keine Strömung zwischen diesen Bereichen stattfindet. Das gesamte Strömungsregime des Horizonts 6D ist dann nach Nordwesten in Richtung der Maas orientiert.

Der **Horizont 6B** zeigt auf der **Rur-Scholle** einen deutlichen Überstrom in die Erft-Scholle. Zum Betrachtungszeitpunkt **2030** ([Anlage 60](#)) ist eine Wasserscheide in dem nördlichen Teil der Scholle zu finden. In diesem Grundwasserleiter ist die Wasserscheide zwischen den Ortschaften Baal, Geilenkirchen und Heinsberg verortet und weist ein Druckpotential von etwa

35 mNHN auf. Von dort strömt das Wasser sowohl nordwestwärts zur Maas als auch südostwärts zum Tagebau Inden. An der Maas zeigt der Horizont 6B ein Druckpotential von etwa 29 mNHN. Am Tiefpunkt der Sumpfung des Tagebaus Inden ist ein Druckpotential von etwa -60 mNHN zu finden. Dabei fällt jedoch auf, dass am Rand zur Erft-Scholle nahe der Ortschaft Niederzier ein Druckpotential von etwa -70 mNHN zu beobachten ist und hier ein Überstrom stattfindet. Dies legt nahe, dass die Sumpfung des Tagebaus Hambach auch einen deutlichen Einfluss auf den Horizont 6B der Rur-Scholle hat. Von Süden her strömt ebenfalls Grundwasser zu diesem Überstrombereich hin. Dies ist mit einer Vertonung zu erklären. Darüber hinaus prägen einige Störungen das generelle Strömungsbild. Bei der Stadt Düren sind der Mariaweiler und der Stockheimer Sprung zu nennen, im Bereich des Tagebaus Inden der Altdorfer und Mariaweiler Sprung, sowie der Goltstein Sprung. Zudem sind auch der Jülicher Sprung und der Weisweiler und Siersdorfer Sprung auffällig.

Zum Betrachtungsjahr **2052** ([Anlage 76](#)) ist ein prinzipieller Wiederanstieg im Horizont 6B zu beobachten. So hat sich die Wasserscheide südostwärts verschoben und im Zuge eines deutlichen Anstieges im Bereich der Ortschaften Linnich, Jülich und Freialdenhoven deutlich vergrößert. Der Plateau-Bereich zeigt nun ein Druckpotential von etwa 52 mNHN. Hier besteht weiterhin ein deutlicher Strom zum Überstrombereich nahe der Ortschaft Niederzier, wo nun ein Druckpotential von etwa 30 mNHN vorherrscht, was somit einen Anstieg von etwa 100 m im Vergleich zum vorherigen Betrachtungszeitpunkt entspricht. Dadurch ist auch der Gradient des Zustroms von Süden her merklich flacher.

Der Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 84](#)) ist noch deutlicher vom Wiederanstieg geprägt. So ist der Überstrombereich nahe der Ortschaft Niederzier nicht mehr so deutlich ausgeprägt wie zuvor. Von hier ist ein einheitliches Druckpotential über die Ortschaft Jülich bis hin zur Ortschaft Linnich von etwa 68 mNHN zu beobachten und somit ist auch keine Wasserscheide mehr zu erkennen.

Die **Horizonte 2 - 5** sind, ähnlich wie der Horizont 6B auch, von Überströmen in die Erft-Scholle geprägt. So ist hier im Betrachtungszeitpunkt **2030** ([Anlage 61](#)) ein sehr deutlicher Grundwasserstrom sowohl von Nordwesten, Südwesten als auch vom Bereich des Tagebaus Inden her zu einem Minimum nahe der Ortschaft Niederzier mit einem Druckpotential von etwa -75 mNHN zu beobachten. An den Verbreitungsgrenzen nahe des Modellrandes strömt Grundwasser mit einem sehr steilen Gradienten zu. Auffällig ist zudem der Stockheimer Sprung südlich der Stadt Düren. Auf beiden Seiten der Störung herrschen andere Gradienten vor, die jedoch die gleiche Richtung zum Überstrombereich besitzen. Im Bereich der Ortschaft fällt ein Bereich mit deutlich steileren Gradienten auf als die jeweiligen Zu- und Abstrombereiche. Dies ist mit geringeren kf-Werten entsprechend [Anlage 18](#) zu erklären. Vom

generellen Strömungsbild weitestgehend entkoppelt ist der Bereich der Kippe Zukunft und des nordwestwärtigen Abstombereichs. Dieser Bereich wird durch den Weisweiler und den Siersdorfer Sprung vom restlichen Strömungsregime getrennt.

Zum Betrachtungszeitpunkt **2052** ([Anlage 77](#)) ist das Minimum im Überstrombereich nahe der Ortschaft Niederzier mit einem Druckpotential von etwa 30 mNHN etwa 105 m höher als im vorherigen Betrachtungszeitpunkt und somit bilden sich deutlich flachere Gradienten aus. Mit diesem generellen Wiederanstieg ist im Bereich der Ortschaften Freialdenhoven und Jülich auch ein Plateau mit einem Druckpotential von etwa 37 mNHN vorhanden. Vom Bereich des Tagebausees bildet sich hier auch entlang des Weisweiler und Siersdorfer Sprunges ein nordwärtiger Strom aus.

Im Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 85](#)) ist der Überstrom deutlich weniger ersichtlich. So herrscht in diesem Bereich ein Druckpotential von etwa 68 mNHN vor und er bildet ein Plateau. Von dort strömt jedoch Wasser nun auch nordwestwärts und es zeichnet sich das generelle zur Maas gerichtete Strömungsregime aus. Mit diesem weiteren Grundwasserwiederstieg werden die generellen Gradienten weiter flacher.

Die **Horizonte 01 - 09** auf der **Rur-Scholle** sind ebenfalls mehr von der Sümpfung des Tagebaus Hambach als der des Tagebaus Inden geprägt. Aufgrund der geringeren Teufe des Tagebaus Inden müssen diese Horizonte gar nicht gesümpft werden. So ist das Strömungsbild im Betrachtungszeitpunkt **2030** ([Anlage 62](#)) von einem Zustrom in einen Überstrombereich nördlich der Ortschaft Merzenich geprägt. So strömt Grundwasser sowohl von der südlichen als auch der nördlichen Rur-Scholle und auch aus dem Tagebaubereich zum Überstrombereich. Dort ist ein Druckpotential von etwa -70 mNHN zu erwarten. Die Festgesteinsränder in der südlichen Rur-Scholle zeigen sehr hohe Druckpotentiale, teilweise von über 200 mNHN, was so zu sehr steilen Gradienten führt. Im Bereich der Kippe Zukunft strömt das Grundwasser durch den Weisweiler und Siersdorfer Sprung entkoppelt nach Nordwesten. Nahe der Ortschaft Freialdenhoven nimmt die abdichtende Wirkung der Störung ab und der Grundwasserstrom gliedert sich in die vorherrschende Strömungsrichtung in diesem Bereich nach Südosten ein. Ein ähnliches Phänomen ist beim Sprung von Gangelt südlich der Ortschaften Gangelt und Geilenkirchen zu erkennen. Erst besteht ein nordwestwärts gerichteter Grundwasserstrom, der sich mit abnehmender Abdichtung in den generellen südostwärts orientierten Strom eingliedert. In der südlichen Rur-Scholle fällt noch der Stockheimer Sprung östlich der Ortschaft Kreuzau auf, wodurch sich ein separierter Strom bildet. Darüber hinaus fällt ein Bereich bei der Ortschaft Zülpich auf, wo ein sehr deutlicher Sprung im Gradienten zu beobachten ist. Dies ist mit einem deutlichen Sprung in den k_f -Werten ([Anlage 19](#)) zu erklären.

Zum Betrachtungszeitpunkt **2052** ([Anlage 78](#)) hat sich im Zuge des Wiederanstieges der Grundwasserstrom in der nördlichen Rur-Scholle bereits umgekehrt und fließt nun nordwestwärts zur Maas. Das Druckpotential an der Maas ist unverändert aber mit steigenden Wasserspiegeln im Überstrombereich strömt weniger Wasser südostwärts und es stellen sich mehr und mehr die natürlichen Fließbedingungen ein. Das Wasser strömt dem natürlichen Gefälle entsprechend von der Eifel kommend nordwestwärts. Damit verbunden hat sich eine Wasserscheide zwischen den Ortschaften Freialdenhoven und Jülich gebildet, wo einerseits Wasser nordwestwärts zur Maas und andererseits südostwärts zum Überstrombereich fließt. Der Tiefpunkt des Überstrombereichs zeigt ein Druckpotential von etwa 30 mNHN und somit etwa 100 m höher als im vorherigen Betrachtungszeitpunkt, so dass auch flachere Gradienten vorhanden sind.

Im nächsten Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 86](#)) ist der Wiederanstieg weiter vorangeschritten und es herrscht mehr und mehr ein einheitlich nordwestwärts gerichtetes Strömungsregime vor. Im Überstrombereich sind noch immer Strömungstendenzen zum bisherigen Minimum zu erkennen, aber das Druckpotential von etwa 68 mNHN gliedert sich in das natürliche Strömungsregime ein. In der südlichen Rur-Scholle sind mit den steigenden Druckpotentialen auch die Strömungsgradienten flacher geworden.

5.4.3. Grundwasserstände im stationären Endzustand unter Berücksichtigung ausstehender Bodenbewegungen

Der stationäre Endzustand bezeichnet die Grundwasserverhältnisse nach der Auskohlung der Tagebaue, der erfolgten Füllung der Tagebauseen und dem abgeschlossenen Grundwasserwiederanstieg im unverritzten Gebirge. Der Grundwasserwiederanstieg erfolgt großräumig etwa bis zum Jahr 2100, in einigen Teilbereichen auch nachlaufend bis ca. 2150. Im Modell wird als stationärer Endzustand das Jahr 2200 berechnet, weil dann sicher der Grundwasserwiederanstieg vollständig abgeschlossen ist. Geländesenkungen und -hebungen sind bis zu diesem Zeitpunkt ebenfalls weitgehend abgeschlossen.

Um diese im Modell zu berücksichtigen, werden die ausstehenden Bodenbewegungen auf die höhenabhängigen Randbedingungen und die Geländeoberkante projiziert und ausgehend von den für 2200 errechneten Wasserständen über weitere 200 Jahre ein weiterer quasi-stationärer Zustand errechnet. Daher wird der auf diese Weise berechnete Zustand auch mit dem Zeitpunkt 2400 assoziiert.

Die ausstehenden Bodenbewegungen wurden aus den Daten des „Projektes Flurabstandsprognose“ (LANUV (2022)), welches unter der Federführung des LANUV erarbeitet wurde, übernommen. Zur Parametrisierung der Erft-Randbedingung wurden die

Daten der ebenfalls im Rahmen des genannten Projektes vorgestellten hydraulischen Modellierung verwendet. Dabei fand jeweils das mittlere Szenario der Bodenbewegungsprognose mit der höchsten Eintretenswahrscheinlichkeit Eingang.

Für einige bisher baulich und infrastrukturell genutzte Gebiete der Erftaue sind im Rahmen eines gesamtgesellschaftlichen Konsenses Maßnahmen zur Wahrung eines geeigneten Flurabstands vorgesehen. Entsprechend wurde im Modell in dieser durch den Erftverband erarbeiteten Flächenkulisse eine Potentialrandbedingung erster Art drei Meter unter der (bodenbewegten) Geländeoberkante etabliert. Im Bereich der Autobahn A61 wurde ein Flurabstand von einem Meter eingehalten.

Erwartungsgemäß gleichen sich die Strömungsbilder des oberen Grundwasserstockwerks für die Betrachtungen mit ([Anlage 96](#)) und ohne ([Anlage 95](#)) Bodenbewegungen weitgehend.

In den Bereichen großer Bodenbewegungen, z.B. in der Erftaue, finden sich Auswirkungen, die auch in einer regionalen Darstellung erkennbar sind.

Die noch ausstehenden Bodenbewegungen haben weitgehend positive Beträge. So sind in der Erftaue zwischen Bedburg und Kerpen entsprechend unter Berücksichtigung dieser Bodenbewegungen höhere absolute Wasserstände in der Größenordnung von einem Meter zu verzeichnen, als ohne Berücksichtigung der Bodenbewegungen. So liegt der Wasserstand unter Berücksichtigung der Bodenbewegungen an der östlichen Ortsgrenze von Kenten und ohne Berücksichtigung der Bodenbewegungen an der westlichen Ortsgrenze von Quadrath. Von Kerpen an erftaufwärts reduzieren sich die Differenzen der absoluten Wasserstände. Etwa ab Blessem egalisieren sich die Wasserstände beider Betrachtungen. Auch zwischen Erftaue und Tagebausee reduzieren sich die Unterschiede, um sich am Seeufer anzugleichen. Die Unterschiede in den Wasserständen zwischen den Betrachtungen mit und ohne Bodenbewegungen finden sich auch weitgehend in den Geländeoberkanten wieder. Da sich das Vorflutniveau gleichermaßen wie die Geländeoberfläche bewegt, differieren in weiten Bereichen auch die aus beiden Szenarien resultierenden Flurabstände nur gering.

In der Erftaue macht sich im Gleichbild indirekt die angenommene Niedrighaltungsmaßnahme bemerkbar. Die Niedrighaltungsmaßnahme wurde durch eine Potentialrandbedingung beschrieben. Demnach sind ca. 68 Mio. m³/a zu heben, um die vorgegebenen Flurabstände entlang der BAB 61 und auf der durch den Erftverband definierten Flächenkulisse einzuhalten.

Da sich weitergehende relevante flächige Unterschiede zwischen den Strömungsbildern nicht ergeben, wird an dieser Stelle auf eine wiederholte Beschreibung des quasistationären Endzustands verzichtet und auf die Ausführungen in Kapitel 5.4.2 verwiesen.

5.4.4. Grundwasserdifferenzen

Die Entwicklung der Grundwasserstände lässt sich gut aus Differenzendarstellungen zwischen ausgewählten Prognosezeitpunkten 2030, 2052 und 2070 zum Referenzzeitpunkt des Jahres 2021 ablesen. Für das Jahr 2021 liegen revierweit Konstruktionen des Grundwasserstands über alle zu betrachtenden Leiter vor. Damit konnte für das genannte Wasserwirtschaftsjahr die Modellvalidierung durchgeführt werden. Damit wurden die zum Redaktionsschluss aktuellsten verfügbaren Konstruktionen verwendet.

Untersuchungsraum Tagebau Garzweiler

Die Entwicklung ist in der Venloer Scholle durch fortschreitende Absenkungen im Tagebauvorfeld des Tagebaus Garzweiler, Vermeidung von bergbaubedingten Grundwasserabsenkungen in grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebieten und kontinuierlichen Grundwasserwiederanstieg in verkippten Bereichen gekennzeichnet. In der im vorliegenden Modell berücksichtigten Tagebauvariante wird ca. 2030 das Auskohlungstiefste erreicht. Im Jahr 2038 endet der Tagebaubetrieb und der Beginn der Tagebauseefüllung steht ab dem WWJ 2039 bevor. Zum nächsten Betrachtungszeitpunkt 2052 sind Seebefüllung und der Wiederanstieg bereits deutlich fortgeschritten. 2070 ist der Zielwasserstand im Tagebausee erreicht und der Wiederanstieg im Gebirge ist weit fortgeschritten. Während der genannten Zeitpunkte sind weiterhin Maßnahmen zur Vermeidung von bergbaubedingten Grundwasserabsenkungen in grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebieten geplant.

Mit dem Vergleichszeitraum **2030** zu 2021 ([Anlage 30](#)) wird auch der Zeitraum der maximalen Sümpfung im Tagebau Garzweiler berücksichtigt. In der **Venloer Scholle** haben die Infiltrationsleistungen ihre Höchstwerte annähernd erreicht. Dadurch gelingt es weitgehend, die Grundwasserstände im **oberen Grundwasserstockwerk** konstant zu erhalten, so dass sich im Allgemeinen die Absenkungen im Bereich relevanter Strukturen nicht weiter erhöhen werden. Im Bereich Mühlenbach bleibt die 0,1-m-Absenkungslinie weit vom Feuchtgebiet entfernt. Hier zeigen sich, wie auch im Bereich des Schwalmriegels Grundwasserstandsanstiege von teilweise mehr als 0,1 m. Der Bereich Wetscheweller Bruch kann mit den geplanten Maßnahmen stabil gehalten werden, wohingegen sich im benachbarten Gütterather Bruch vereinzelt Absenkungen von mehr als einem halben Meter einstellen können. In der Umgebung von Mönchengladbach werden sich aufgrund der ansteigenden Sümpfung Absenkungen von mehr als 0,1 m einstellen. Mit Ausnahme des Zoppenbroichs und randlicher Bereiche der Niersaue Rheydt sind hiervon aber keine Feuchtgebiete betroffen. Im Bereich des Millicher Baches werden bis 2030 weitere

Absenkungen erwartet, die in der Regel zwischen 0,5 m und 1,0 m liegen. Östlich des Tagebaus und in der Altkippe ist ein Grundwasserwiederanstieg zu verzeichnen. Anstiege des Grundwasserstands gegenüber 2021 sind bedingt durch verstärkte Versickerungsmaßnahmen entlang des Schwalmriegels und in Niederkrüchten zu beobachten. Für den Scherresbruch werden Absenkungen von mehr als 50 cm prognostiziert. Vereinzelt auftretende Grundwasserstandsabsenkungen im Norden und Nordwesten der Venloer Scholle außerhalb schützenswerter Feuchtgebiete sind auf lokal vorhandene Verbreitungslücken bzw. Ausstriche der unterlagernden Grundwasserstauer zurückzuführen, durch die sich Grundwasserabsenkungen aus den tieferen Grundwasserleitern bis in das obere Grundwasserstockwerk hindurchpausen.

Zum Ende des Tagebaus im Jahr 2038 ändert sich die Situation nicht grundlegend. Deutlich wird hier ebenfalls, dass sich durch die im Grundwassermodell vorsorglich betrachtete potentielle Verlagerung der Wassergewinnung des Wasserwerks Fürth ab 2030 aus der Randgalerie des Tagebaus in den Norden an die Gewinnungsstandorte Hoppbruch und Lodshof/Waldhütte in deren Umfeld eine Absenkung gegenüber 2021 ergibt. Durch die Einstellung der Sümpfung nach Tagebauende erholt sich bis **2052** ([Anlage 38](#)) die Absenkung in dem genannten Bereich in ihrer Ausdehnung aber nicht grundsätzlich. Für den Scherresbruch werden weiterhin Absenkungen prognostiziert.

Das Gesamtbild der Absenkungsverteilung hat sich ansonsten im Vergleich zum letzten Vergleichszeitraum kaum verändert. Im Bereich Niederkrüchten macht sich im direkten Umfeld der Versickerungsanlagen die reduzierte Versickerung in einem Abbau der anreicherungsbedingten Überhöhung bemerkbar.

Im Jahr **2070** ([Anlage 46](#)) ist im Vergleich zu 2021 ein großflächiger Wiederanstieg zu verzeichnen. Einige Bereiche weisen noch Absenkungen auf. Wie auch 2052 sind dies die Wassergewinnungsstandorte Lodshof, Waldhütte und Hoppbruch, die gegenüber 2021 eine Leistungssteigerung erfahren haben. Auch nordwestlich des Tagebaus sind die Wasserstände von 2021 noch nicht wieder erreicht. Weiterhin zu nennen sind die durch die Versickerungsanlagen im Referenzzustand induzierten Überhöhungen in der Nähe von Wegberg und Niederkrüchten. Hier sind Infiltrationsraten zurückgegangen, so dass im direkten Umfeld der Anlagen eine Absenkung gegenüber 2021 prognostiziert wird. Es wird damit deutlich, dass der allgemeine Wiederanstieg zum Erhalt des Wasserstands in den Feuchtgebieten eine geringere Intensität der Maßnahmen ermöglicht.

Die Differenzverteilung zum stationären **Endzustand 2200** ([Anlage 54](#)) wird einerseits geprägt durch die flächigen Grundwasseranstiege zum Referenzzustand 2021 im südlichen Bereich der Venloer und der Krefelder Scholle. Hier zeigt sich die Wiederauffüllung des Aquifers durch die Einleitungen von Rheinwasser in das Tagebaurestloch zur Herstellung des

Tagebausees bei gleichzeitiger Reduzierung und späteren Einstellung der Sumpfungmaßnahmen. Die Einstellung der Versickerungsmaßnahmen führt andererseits im Nordwesten der Venloer Scholle zu einer flächigen Reduzierung der Wasserstände zum Referenzzustand.

Die **Horizonte 8 und 6D** bilden im Untersuchungsraum zum Tagebau Garzweiler eine hydrogeologische Einheit. In diesem Grundwasserleiter weitet sich die Absenkungsfläche dem Abbau folgend zum Jahr **2030** ([Anlage 34](#)) nach Westen aus. Die Fließrichtung bleibt in unmittelbarer Umgebung der Abbaufäche auf den nach Westen verlagerten Sumpfungsschwerpunkt ausgerichtet. Am Übergang der Tagebaue Garzweiler I zu Garzweiler II macht sich eine Erholung des Grundwasserstands bemerkbar. Hier steigt der Grundwasserstand wie auch nördlich der Versickerungsanlagen des Schwalmriegels an. Die Anlagen in Niederkrüchten reduzieren ihren Einfluss, was sich in einem leichten Grundwasserstandrückgang im direkten Umfeld der Anlagen zum Referenzzustand 2021 zeigt. Im übrigen Untersuchungsraum bleiben die kleinräumigen Fließrichtungen und das Grundwasserniveau im Vergleich zum heutigen Zustand weitgehend erhalten. Mit der Seebefüllung und dem Wiederanstieg nach Ende des Tagebaubetriebs zieht sich bis zum Jahr **2052** ([Anlage 42](#)) die äußere Grenze der Absenkungsfläche näher an den Tagebau heran. Von Osten her bis zu einer Linie zwischen Wanlo, Wickrath und Kipshoven zeigt sich 2052 eine Zone der Erholung des Grundwasserstands von mehr als 0,1 m, die nach Norden vom Tagebau bis an die Grenzen der Ortslagen Mönchengladbach und Wegberg reicht. Mit der Erreichung des Zielwasserspiegels um das Jahr **2070** ([Anlage 50](#)) zeigen sich im Grundwasserleiter 6D flächige Grundwasseranstiege im Vergleich zum Jahr 2021. Die Reduzierung der Versickerungsmengen im Raum Niederkrüchten macht sich in einer Absenkung der Grundwasserstände im unmittelbaren Umfeld der Anlagen bemerkbar.

Der Grundwasserstand im **Grundwasserleiter 6B** erfährt im Vergleich von **2030** zu 2021 ([Anlage 35](#)) durch das Schwenken des Tagebaus nach Westen östlich von Wanlo einen Anstieg, da auch der infolge der Entwässerung resultierenden Absenktrichter weiter nach Westen wandert. Ebenso ist durch den verstärkten Betrieb der Versickerungsanlagen bei Niederkrüchten zwischen Arsbeck und Elmpt ein entsprechender Anstieg des Grundwassers zu erwarten. Zwischen den genannten Gebieten ist eine Absenkung des Grundwasserstands modelliert. Die Absenkung reicht von bis zu 10 m im Nahbereich des Tagebaus und läuft entlang einer gedachten Linie von Mönchengladbach über Schwalmtal bis nach Gederath aus. Im Jahr **2052** ([Anlage 43](#)) ist eine Erholung der Grundwasserstände zu erkennen, die sich mit Beträgen über 0,1 m weiter nach Westen über die Ortslagen Keyenberg, Kuckum und

Unterwestrich hinweg ausdehnt und sich auch durch eine Egalisierung der vorher beobachteten Absenkungen im Bereich Mönchengladbach zeigt. Durch die Verlagerung der Wassergewinnung des Wasserwerks Fürth aus der Randgalerie des Tagebaus in den Norden u.a. an den Gewinnungsstandort Hoppbruch zeigt sich in dessen Umfeld eine Absenkung. Die Absenkung westlich des Tagebaus besteht weiterhin. Eine Reduzierung der lokalen Versickerungsmengen in den tieferen Anlagen führen in Niederkrüchten zu leichten Absenkungen. Im Differenzenplan **2070** zu 2021 ([Anlage 51](#)) zeigt sich für Grundwasserleiter 6B ein ähnliches Bild wie 2052. Die Absenkung westlich des Tagebaus ist jedoch nicht mehr erkennbar.

Da auf der Venloer Scholle der Horizont Ton 1 nicht verbreitet ist, bilden die **Horizonte 2 - 5** mit den **Horizonten 04 – 09** eine hydrogeologische Einheit und werden in den Ausführungen zum **Liegendgrundwasserleiter** und den Karten zu den Grundwasserleitern 01 – 09 behandelt.

Mit den dem Abbau vorausgehenden Sumpfungstätigkeiten verändern sich auch im Liegendgrundwasserleiter die Grundwasserabsenkungen in der **Venloer Scholle** im Vergleich zum Referenzzustand. Der Sumpfungsschwerpunkt des Tagebaus Garzweiler ist bis **2030** ([Anlage 37](#)) weiter nach Westen gewandert. Dies zeigt sich auch durch eine Erholung der Grundwasserstände östlich von Borschemich. Der Lövenicher Sprung im Süden sowie der Krefelder Sprung im Nordosten und die Ortslage Elm im Nordwesten markieren den Bereich, in dem aufgrund des Schwenkens des Tagebaus und der Zunahme des Absenkungsziels hin zum Tagebautiefsten eine Absenkung im Vergleich zum Referenzzustand zu verzeichnen ist. Über die tiefen Versickerungsanlagen in Niederkrüchten wird weniger versickert, was sich im Bereich der Anlagen bemerkbar macht. Westlich davon mit dem Ausstreichen der Flöze zeigen die verstärkten Versickerungsmaßnahmen in darüberliegenden Leitern ihren Einfluss auch im Horizont 04 - 5 durch eine Erhöhung. Mit der Füllung des Tagebausees stellt sich bis **2052** ([Anlage 45](#)) eine weitgehende Erholung des Wasserstands ein. Im Westen macht sich die Rücknahme der Versickerungsmengen im Liegendleiter durch Absenkungen im direkten Umfeld der Versickerungsanlagen auf das natürliche Niveau bemerkbar. Dies Bild ist auch in den Differenzendarstellungen für das Jahr **2070** ([Anlage 53](#)) zu erkennen.

Untersuchungsraum Tagebau Hambach

In der Erft-Scholle wirken die Entwässerungsmaßnahmen für den Tagebau Hambach fort. Die entwässerungstechnisch bereits heute beanspruchten Grundwasserleiter werden auch zukünftig von weiteren Absenkungen betroffen sein, bevor dann in den Folgejahren im Zuge der Seefüllung der Grundwasserwiederanstieg eintritt. Gegenüber älteren Planungen wurden

einhergehend mit dem vorgezogenen Kohleausstieg 2030 sowohl Tagebaufläche als auch -tiefe reduziert, so dass das Tagebautiefste bereits überschritten wurde. Die anschließende Füllung des Tagebaurestlochs mit Rheinwasser beginnt mit dem Wasserwirtschaftsjahr 2031. Sie dauert ca. 40 Jahre an, so dass in den Differenzkarten 2052 zu 2021 ein Zustand während der Flutung beschrieben wird und in den Differenzkarten 2070 zu 2021 ein Zustand kurz nach dem erstmaligen Erreichen des Zielwasserspiegels von 65 mNHN. Zu diesem Zeitpunkt ist der See gefüllt, aber das Gebirge hat noch nicht die endgültigen Wasserstände erreicht. Für das OSTW ist dieser Zustand anhand des Differenzplans für 2200 beschrieben.

In der **Erft-Scholle** kommt es durch den Tagebaufortschritt zur Gewinnung von erforderlichen Abraummassen im unmittelbaren Bereich der Ortslage Manheim **2030** ([Anlage 30](#)) im Vergleich zu 2021 zu Absenkungen von bis zu 10 m. Ausgehend von diesem Schwerpunkt der Entwässerung im **OSTW** nehmen die Absenkungen in südlicher und südöstlicher Richtung sukzessive ab. Nördlich von Nörvenich und bei Kerpen werden noch Absenkungen zwischen 0,1 m und 0,5 m bis 2030 prognostiziert. Östlich des Tagebaus ist bis zum Schollenrand noch mit Absenkungen < 3 m zu rechnen. Etwas weiter nördlich werden zwischen Bedburg, Elsdorf und Bergheim weitere Grundwasserabsenkungen von maximal 0,5 m berechnet.

Für die Manheimer Bucht ebenso wie für die Nordrandböschung werden 2030 noch Absenkungen prognostiziert, welche durch die Verlagerung und zumindest modellseitige (vgl. Kapitel 5.3.6) Intensivierung der Sümpfungsmaßnahmen zu erklären sind. Im Zentralbereich der Innenkippe kommt es hingegen bereits zu einer relativen Aufhöhung im Vergleich zum Referenzjahr, während im weiter westlich gelegenen Kippenteil bis zum Tagebauende noch Absenkungen zu erwarten sind. Grund hierfür ist der nur im zentralen Kippenbereich stellenweise vorhandene Anschnitt des Liegendleiters 6B, infolgedessen dort durch die unmittelbare hydraulische Kopplung seit 2013 ein weitgehend identischer, im Anstieg begriffener Wasserspiegel in den Kippenleitern und Horizont 6B simuliert wird. Im westlichen Kippenbereich hingegen existiert keine direkte Kopplung, sodass der Abstrom des Kippenwassers ins Liegende und somit der Abbau des Druckgradienten deutlich verzögerter erfolgt. Dementsprechend weist der Kippenwasserspiegel in diesem Bereich noch bis Mitte der 2020er Jahre einen fallenden Trend auf und hat zum Tagebauende noch nicht wieder das Niveau des Referenzjahres erreicht.

Darüber hinaus ist auch im Bereich der heutigen Innenkippe des Tagebaus Hambach mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels zu rechnen.

Neben den Absenkungen im Nahbereich des Tagebaus Hambach sind weitere Absenkungen im Süden der Erft-Scholle anzutreffen, wo über geologische Fenster ein direkter Kontakt zu tieferen Grundwasserleitern besteht. In der südlichen Erft-Scholle sind bereichsweise

Grundwasserabsenkungen < 1 m, größtenteils $< 0,5$ m südöstlich von Weilerswist bis in den Norden von Meckenheim prognostiziert. Weite Bereiche sind hier bereits zum Bezugszeitpunkt 10/2021 trocken bzw. weisen Gebiete mit geringer Grundwassermächtigkeit auf. Das Swist-Sprungsystem bei Metternich bildet eine hydraulische Grenze entlang der Linie Metternich, Heimerzheim und Dünstekoven, so dass keine weiteren Absenkungen auf der nördlich hieran angrenzenden hohen Teilscholle zu erwarten sind.

Weitere Absenkungen sind am südwestlichen Schollenrand zur angrenzenden Rur-Scholle dort prognostiziert, wo hydraulische Kopplungen des OSTW mit den Grundwasserleitern 9B und 8 vorliegen. Hier ist mit Grundwasserabsenkungen < 1 m bzw. $< 0,5$ m zu rechnen. Auch hier handelt es sich zum Bezugszeitpunkt 10/2021 größtenteils um Gebiete mit geringer Grundwassermächtigkeit. Diese Bereiche definieren sich teilweise durch natürlicherweise geringe Grundwasservorkommen im OSTW, so dass die Grundwasserstände bereits vor Aufnahme der Bergbautätigkeit niedrig waren.

Auch in der nördlichen Erft-Scholle sind weitere kleinräumige Absenkungen zwischen $0,1$ m und $0,5$ m bzw. < 1 m an solchen Stellen prognostiziert, wo über geologische Fenster Kontakt zu den Grundwasserleitern 9B und 8 besteht.

Die **Ville** ist ganz überwiegend infolge der flächendeckenden Verbreitung der Tone 1 und/bzw. 5 von den tieferen Grundwasserleitern der Erft-Scholle entkoppelt. Hier werden entsprechend großräumig keine Grundwasserabsenkungen auftreten. Nur westlich des Louisen bzw. des Türnicher Sprungs sind in Richtung der Erft-Scholle aufgrund des Alttagebaus Frechen Kopplungsbereiche vorhanden. In diesem Bereich werden kleinräumig Absenkungen von maximal 10 m bzw. größtenteils < 3 m prognostiziert. Auch im Bereich der ehemaligen Tagebaue Fortuna Garsdorf und Fortuna Bergheim liegen daher kleinräumig prognostizierte Absenkungen von bis zu ca. 10 m vor.

Im Bereich der Alttagebaue der Ville sind im OSTW je nach Anbindung an die Erft-Scholle sowohl weitere Absenkungen als auch Aufhöhungen zu erwarten. Da durch den Bergbau die Stockwerkstrennung aufgehoben wurde, sind in Bereichen, die einen Kontakt zu den tieferen Leitern der Erft-Scholle haben noch Absenkungen zu erwarten. Andere Bereiche sind aufgrund ihrer Lage auf der Hochscholle oder weniger tiefen Tagebauen entkoppelt und nicht betroffen, so dass der Grundwasserstand sich weiter erholen kann.

In der linksrheinischen **Kölner Scholle** ist nördlich von Frechen über die Druckentspannung der Liegendgrundwasserleiter in der Erft-Scholle eine geringfügige Grundwasserabsenkung des Grundwasserstandes von $< 0,5$ m prognostiziert. Südlich von Brühl werden mit dem Grundwassermodell Absenkungen $< 0,5$ m, kleinräumig auch < 3 m ausgewiesen.

Großflächige Aufhöhungen werden im Untersuchungsraum für den Tagebau Hambach bis 2030 vornehmlich im Bereich der linksrheinischen Kölner Scholle zwischen Pulheim und

Dormagen prognostiziert. Bei durchgehender Verbreitung der Tonhorizonte verbleiben die Grundwasserstände auf weitgehend unbeeinflusstem Niveau oder erreichen es zügig nach der Reduzierung der Sumpfungmaßnahmen wieder. In der Kölner Scholle pausen sich über das Liegende kleinräumige Absenkungsbereiche von bis zu 0,5 m bei ohnehin großen Flurabständen ins OSTW nördlich von Frechen durch.

Im Jahr **2052** ([Anlage 38](#)), also etwas mehr 20 Jahre nach Beginn der Seefüllung, sind auf der Ville und auf der Kölner Scholle weitgehend Aufhöhungen im Vergleich zum Referenzwasserstand 2021 zu beobachten. Diese sind auf die sukzessive Einstellung der Sumpfungmaßnahmen vom Liegenden zum Hangenden nach Beendigung der Kohlegewinnung im Tagebau Hambach und mit fortschreitender Seebefüllung zurückzuführen. Aus diesem Grund wird auch der weitreichende Einfluss der Sumpfung deutlich abnehmen.

Das OSTW wird in diesem Zusammenhang im Vergleich zu tieferen Grundwasserleitern bereichsweise noch am längsten zu entwässern sein. Der Seewasserspiegel muss erst bis auf ein bestimmtes Niveau ansteigen und die Seeböschung ist aus Gründen der Standsicherheit bis zu diesem Zeitpunkt trocken zu halten. Daher sind auch rund um den Tagebau noch Absenkungen zu beobachten. Weiterhin zeigen sich in der südlichen Erft-Scholle weiterhin Absenkungen zum Zustand 2021, die auf andauernde Gradienten in tiefere Leiter zurückzuführen sind.

Ein ähnliches Bild in abgemilderter Form zeigt sich **2070** ([Anlage 46](#)) im Vergleich zu 2021. Daher werden auch im Zeitraum bis 2070 noch Absenkungen zwischen 0,5 m und 3 m unmittelbar südlich des Tagebaus prognostiziert, die bis in den Norden Nörvenichs auf < 0,5 m abnehmen.

Wie in den Zeitschritten bis 2030 bzw. bis 2052 werden auch im Prognosezeitraum 2021-2070 noch Absenkungen bis 0,5 m, bereichsweise bis 1 m bzw. 3 m im Süden der Erft-Scholle zwischen Weilerswist und Meckenheim errechnet, wo hydraulische Fenster zu tiefer liegenden Grundwasserleitern vorhanden sind. Diese und weiterreichende Leakage-Effekte wirken aufgrund der auch über das Tagebauende andauernde Gradienten in die tieferen Leiter auf die Grundwasserstände im oberen Stockwerk absenkend. Am südwestlichen Schollenrand zur Rur-Scholle zeigen sich demgegenüber nur noch sehr lokal begrenzt weitere Absenkungen. Vielmehr ist aufgrund der sukzessive abnehmenden Tagebausümpfung bis 2070 in weiten Teilen des Untersuchungsraums mit ansteigenden Grundwasserständen im OSTW zu rechnen. In der Erft-Scholle sind daher großflächige Aufhöhungen im Bereich des heutigen Tagebaus selbst und in der gesamten nordöstlichen Schollenhälfte prognostiziert. Diese Aufhöhungen reichen von Bereichen westlich Bedburgs über Elsdorf, Bergheim über Kerpen

bis in die hohe Teilscholle südöstlich von Weilerswist. Ebenso ist mit weitreichenden Aufhöhungen am südwestlichen Schollenrand zur Rur-Scholle zu rechnen.

Auch in der Ville und der linksrheinischen Kölner Scholle sind nur lokal weitere Absenkungen von größtenteils < 0,5 m, bereichsweise bis zu 1 m bzw. 10 m gemäß der Modellprognosen zu erwarten. Zu nennen sind hier beispielsweise vereinzelte Modellpolygone im Bereich der Alttagebaue Fortuna Bergheim und Frechen, im Übergangsbereich der Abgrabung der ehemaligen Südtagebaue zur Kölner Scholle sowie südlich von Brühl. Dies ist im Bereich Hürth auf Entnahmen Dritter zurückzuführen, für die kein ausreichendes Dargebot vorliegt.

Weitere Absenkungen liegen nah an bzw. in Bereichen geringer Grundwasserführung und an den Rändern der ehemaligen Tagebaubereiche. Die kleinteiligen Wechsel von gewachsenem zu gekipptem Gelände kann im Großraummodell nur bedingt abgebildet werden. Dabei werden formal Absenkungen ausgewiesen, die als numerische Artefakte einzuordnen sind und keinem bergbaubedingten Auslöser zugeordnet werden können.

Ansteigende Grundwasserspiegel im OSTW werden 2070 im Vergleich zu 2021 über fast den gesamten Bereich der Altgrabungen in der Ville und über weite Teile der linksrheinischen Kölner Scholle prognostiziert.

Nach Beendigung der Braunkohlentagebaue und dem erfolgten Grundwasserwiederanstieg stellt sich **zum stationären Endzustand** (exemplarisch an den in [Anlage 54](#) gezeigten Grundwasserdifferenzen 2021-2200 diskutiert) im OSTW ein Fließbild ein, welches in weiten Bereichen mit den Verhältnissen vor Beginn der großräumigen bergbaulichen Aktivitäten übereinstimmt. Lokal wird dieses durch den zukünftigen Tagebausee sowie vorhandene Kippenkörper verändert. In diesen Bereichen liegen die Grundwasserspiegel zumeist unterhalb der vorbergbaulichen Grundwasserstände. Wie eingangs erläutert, werden aber die Grundwasserstände im stationären Endzustand in weiten Teilen solchen entsprechen, wie sie auch vorbergbaulich vorherrschend waren ([Anlage 95](#) bzw. [Anlage 96](#)). Dementsprechend werden über fast den gesamten Untersuchungsraum, in der Erft-Scholle insbesondere in heute bergbaulich beeinflussten Gebieten, großflächige Aufhöhungen prognostiziert.

Absenkungen sind im stationären Endzustand – wie vorstehend erläutert - im Vergleich zum Referenzjahr 2021 daher lediglich im Bereich des zukünftigen Tagebausees und lokal im Bereich der Ville-Altagebaue prognostiziert.

Im Bereich des Tagebausees waren im Grundwassermodell für den Tagebauzustand 2021 einige junge Tone noch nicht abgegraben, so dass das OSTW in diesem Bereich etwas Grundwasser führte. Die Basis dieses gewachsenem OSTW liegt über dem Zielwasserspiegel des Tagebaus. Folglich wird hier eine Absenkung ausgewiesen.

Weitere kleinräumige Absenkungen liegen in der Regel nah an bzw. in Bereichen geringer Grundwasserführung und an den Rändern der ehemaligen Tagebaubereiche. Die kleinteiligen

Wechsel von gewachsenem zu gekipptem Gelände kann im Großraummodell nur bedingt abgebildet werden. Dabei werden formal Absenkungen ausgewiesen, die als numerische Artefakte einzuordnen sind und keinem bergbaubedingten Auslöser zugeordnet werden können.

Der **Grundwasserleiter 9B** ist im Untersuchungsraum lediglich in der **Erft-Scholle** verbreitet. Die nachfolgenden Beschreibungen beschränken sich daher auf diese Scholle bzw. solche Bereiche, die eine relevante 9B Verbreitung aufweisen. Im Referenzjahr 2021 ist der Horizont 9B im Tagebaubereich bereits weitgehend entwässert und die Entwässerungsziele sind bis zum Ende der Braunkohlenförderung noch auf dem bereits erreichten Niveau zu halten. Nahezu die gesamte Verbreitung ist bereits bergbaulich beeinflusst bzw. waren bereits vor Beginn des Bergbaus nur geringe Grundwassermächtigkeiten vorherrschend.

Für den Prognosezeitraum bis **2030** ([Anlage 31](#)) werden großräumige weitere Absenkungen vor allem auf der östlichen Schollenhälfte vom Grundwassermodell errechnet. So ist zwischen Bedburg, Elsdorf und Bergheim und südöstlich des Tagebaus über Kerpen bis Lechenich mit Absenkungen zwischen 0,1 m bis 0,5 m zu rechnen. Im Bereich des heutigen Entwässerungsschwerpunkts am östlichen Rand des Tagebaus können bis zur östlichen Schollengrenze noch Wasserspiegelabsenkungen bis maximal 1 m auftreten. Im Altgrabungsbereich der ehemaligen Tagebaue Fortuna Garsdorf und Bergheim werden lokale weitere Absenkungen von bis zu 10 m ausgewiesen.

In der südlichen Erft-Scholle werden im Umfeld von Weilerswist im Wesentlichen Absenkungen < 3 m, weiter südlich in Richtung Meckenheim tendenziell abnehmend bis 1 m bzw. 0,5 m prognostiziert. Weitere Absenkungen zeigen die Modellrechnungen südlich von Nörvenich, zwischen dem Schollenrand zur Rur-Scholle und dem Straßfelder Sprung, sowie in der nördlichen Erft-Scholle.

Aufhöhungen werden im Grundwasserleiter 9B bis 2030 hauptsächlich lokal in der nördlichen Erft-Scholle am Schollenrand zur Venloer Scholle prognostiziert.

Im Jahr **2052** ([Anlage 39](#)) macht sich im Grundwasserleiter 9B die seit mehr 20 Jahren anhaltende Füllung des Tagebausees Hambach und die damit verbundene Wiederauffüllung des Gebirges durch gestiegene Grundwasserstände insbesondere östlich und südöstlich des Tagebaus Hambach bemerkbar. Der südliche und südwestliche Teil der Erft-Scholle hat zu diesem Zeitpunkt gegenüber 2021 noch Absenkungen zu verzeichnen. Hier hat die Auffüllung des Gebirges noch nicht zu einem Niveau von 2021 geführt. Auch in der nördlichen Erft-Scholle sind weiterhin Absenkungen in Nahbereichen von Kopplungsflächen und des Schollenrandes zu verzeichnen.

Auch im Grundwasserleiter 9B ist der Rückgang des Sumpfungseinflusses durch die sukzessive Einstellung der Tagebauentwässerung in der Absenkungsprognose bis **2070** ([Anlage 47](#)) deutlich erkennbar. Bezogen auf das Referenzjahr 2021 sind wesentliche Absenkungen zwischen 0,1 m und 3 m lediglich in der südlichen Erft-Scholle zwischen Weilerswist und Meckenheim vorausgesagt. Darüber hinaus werden lokal begrenzt Absenkungen in der zentralen Erft-Scholle am Rand von Erp und zwischen Merzenich und Nörvenich sowie in der nördlichen Erft-Scholle durch das Grundwassermodell berechnet.

Der Grundwasserwiederanstieg vollzieht sich mit Ausnahme der vorstehend beschriebenen Absenkungen im Prognosezeitraum bis 2070 nahezu in der gesamten Verbreitung des Grundwasserleiters 9B.

Der **Grundwasserleiter 8** ist im Untersuchungsraum – mit Ausnahme der hohen Teilscholle östlich von Weilerswist – nahezu auf der gesamten **Erft-Scholle** verbreitet. Im Bereich des Tagebaus sind die erforderlichen Entwässerungsziele bereits weitestgehend erreicht. Durch die im Vergleich zum bestehenden Braunkohlenplan verringerte Notwendigkeit der Inanspruchnahme und die damit einhergehenden niedrigeren Sumpfungsziele, werden die zukünftigen wasserwirtschaftlichen Auswirkungen auf Basis der Planungsgrundlage des neuen Braunkohlenplans geringer sein. Im Referenzjahr 2021 ist der Horizont 8 über einen Großteil seiner Verbreitung in der Erft-Scholle bereits bergbaulich beeinflusst.

Zwischen 2021 und **2030** ([Anlage 32](#)) ist in weiten Teilen der bereits beeinflussten Scholle mit weiteren Wasserspiegelabsenkungen zu rechnen. Dabei werden die größten Absenkungsbeträge mit maximal 10 m zwischen dem östlichen Tagebaurand bei Elsdorf und der Stadt Bergheim prognostiziert. An diesem östlichen Rand des Tagebaus befindet sich der Entwässerungsschwerpunkt im Horizont 8. Ausgehend von diesem Bereich nehmen die zu erwartenden zukünftigen Absenkungen in nordwestlicher und südöstlicher Richtung sukzessive ab.

In der zentralen Erft-Scholle berechnet das Grundwassermodell bei Lechenich noch Absenkungen < 3 m, südlich davon über Weilerswist bis in den Süden der Scholle bei Meckenheim zwischen 0,1 und 3 m. Nordwestlich von Meckenheim werden auf einer kleinen Teilscholle noch Absenkungen bis maximal 10 m prognostiziert.

In der westlichen Schollenhälfte ist generell mit vergleichsweise geringen zusätzlichen Wasserspiegelabsenkungen zu rechnen. Mit Ausnahme eines Bereichs nordwestlich von Nörvenich, wo noch Absenkungen bis 10 m auftreten können, werden großflächig lediglich Absenkungen von 0,01 m bis maximal 1 m südlich des Straßfelder Sprungs errechnet.

Aufhöhungen werden im Grundwasserleiter 8 zwischen 2021 und 2030 lokal begrenzt in vereinzelt Modellpolygonen in der nordwestlichen und auch südöstlichen Erft-Scholle,

unmittelbar an der südlichen Abbaugrenze des Tagebaus Hambach, im Umfeld der Ortschaft Nörvenich und südöstlich von Weilerswist prognostiziert.

Im Jahr **2052** ([Anlage 40](#)) wird der Tagebausee Hambach und damit auch das umliegende Gebirge mehr als 20 Jahre Füllung erfahren haben. Im Horizont 8 macht sich dies in weiten Teilen der Erft-Scholle durch einen Grundwasserwiederanstieg gegenüber 2021 bemerkbar. Südlich einer gedachten Linie von Weilerswist bis zu den Tagesanlagen des Tagebau Hambachs sind 2052 noch Absenkungen zum Referenzjahr zu erkennen, die sich aufgrund des weiterhin ausgeprägten Gradienten in nördliche Richtung und in tiefere Leiter gehalten haben.

Aufgrund der Einstellung der Sumpfungmaßnahmen geht der Sumpfungseinfluss großräumig deutlich zurück. Für den Prognosezeitschritt **2021-2070** ([Anlage 48](#)) werden wesentliche Absenkungen des Wasserspiegels im Horizont 8 vor allem in der südlichen Erft-Scholle prognostiziert. Begründet sind diese Absenkungen dadurch, dass die hier neugebildeten Wässer im Grundwasserleiter 8 mit dem natürlichen Gefälle der Schichten großräumig nach Nordwesten abfließen und somit zunächst deutlich tiefer liegende Schichten aufgefüllt werden. Die Maximalbeträge werden hier im Bereich einer kleinen Teilscholle nordwestlich von Meckenheim mit 10 m berechnet. Ausgehend von diesem Bereich nehmen die Absenkungen in südwestlicher Richtung sukzessive auf Beträge $< 0,5$ m ab. Weitere vereinzelte Modellpolygone mit errechneten Absenkungen in 2070 sind beispielsweise in der zentralen Erft-Scholle südöstlich von Merzenich entlang des Straßfelder Sprungs und in der nördlichen Scholle nordwestlich von Jülich im Bereich einer Kopplung zum Grundwasserleiter 7 zu finden. Im Vergleich zum Referenzjahr 2021 werden für den Grundwasserleiter 8 Aufhöhungen des Grundwasserspiegels bis 2070 – mit Ausnahme der vorstehend beschriebenen Bereiche – nahezu über die gesamte Verbreitung des Horizonts 8 berechnet.

Als **Horizont 7** werden die jungen miozänen Sedimente der Inden Schichten bezeichnet, welche in der **Erft-Scholle** eine sandig-tonige Wechsellagerung aufweisen. Hierbei sind die Lagen 7F und 7B als tonig sowie die Zwischenmittel 7C-E (nachfolgend als 7C bezeichnet) und 7A als sandig zu charakterisieren, welche im Grundwasserleiter 7 zusammengefasst werden. Der Grundwasserstand im Grundwasserleiter 7C wird im Bereich des Tagebaus separat vom Grundwasserleiter 7A betrachtet und gesümpft. Grundsätzlich sind die Entwässerungsziele in den Horizonten 7A und 7C im Referenzjahr 2021 bereits erreicht, sodass diese Ziele nur noch gehalten werden müssen. Der Schwerpunkt der Entwässerung wird sich aufgrund der Tagebauplanung und neuer Brunnen im Randbereich tendenziell nach Osten verschieben. Diese Verschiebung und auch die absolut notwendigen Eingriffe in den Wasserspiegel werden durch den geänderten Braunkohlenplan deutlich geringer ausfallen.

In dem bereits zum Referenzzeitpunkt großräumig beeinflussten Grundwasserleiter 7 ist auch im Prognosezeitraum bis **2030** ([Anlage 33](#)) mit weiträumigen weiteren Absenkungen zu rechnen. Die Maximalbeträge werden mit bis zu 10 m im Bereich zwischen Elsdorf, Bedburg, Bergheim und Kerpen sowie bis südlich von Nörvenich in der zentralen Erft-Scholle ausgewiesen. Ähnlich wie auch beim Grundwasserleiter 8 nehmen die Absenkungen ausgehend von diesem Bereich nach Nordwesten und Südosten sukzessive ab. Nordwestlich des Tagebaus Hambach und in der südöstlichen Erft-Scholle werden im Wesentlichen Absenkungen < 3 m prognostiziert. Im Bereich einer kleinen Teilscholle nordwestlich von Meckenheim können bereichsweise Wasserspiegelabsenkungen von bis zu 10 m auftreten. Am südwestlichen Schollenrand zur Rur-Scholle ist mit vergleichsweise geringeren Absenkungen < 1 m bzw. zwischen 0,1 m und 0,5 m zu rechnen.

Wesentliche Aufhöhungen des Grundwasserspiegels im Horizont 7 werden vom Grundwassermodell bis 2030 lediglich auf einer schmalen Teilscholle südöstlich von Weilerswist prognostiziert. Darüber hinaus ist ein Anstieg in vereinzelt lokalen Bereichen in der westlichen Schollenhälfte, beispielsweise im Norden bei Linnich und Jülich oder südlich von Nörvenich ausgewiesen.

Im Jahr **2052** ([Anlage 41](#)) wird der Tagebausee Hambach und damit auch das umliegende Gebirge mehr als 20 Jahre Füllung erfahren haben. Im Horizont 7 macht sich dies in weiten Teilen der Erft-Scholle durch einen Grundwasserwiederanstieg gegenüber 2021 bemerkbar. In der südlichen Erft-Scholle sind in 2052 noch Absenkungen zum Referenzjahr zu erkennen, die sich aufgrund des weiterhin ausgeprägten Gradienten in nördliche Richtung und in tiefere Leiter gehalten haben.

Vergleichbar mit den Modellprognosen für den Grundwasserleiter 8 werden auch im Horizont 7 weitere Absenkungen bis zum Jahr **2070** ([Anlage 49](#)) von bis zu 10 m in der südlichen Erft-Scholle nordwestlich von Meckenheim berechnet, welche aber gegenüber 2052 eine deutlich geringere Fläche einnehmen. Weitere nennenswerte Wasserspiegelabsenkungen werden für diesen Prognosezeitraum nicht ausgewiesen.

Mit Ausnahme der vorstehend genannten Bereiche mit weiteren Absenkungen, wird sich der Wasserspiegel im Grundwasserleiter 7 bis 2070 über nahezu die gesamte Ausdehnung der Erft-Scholle wieder aufhöhen.

Der **Grundwasserleiter 6D** ist im Wesentlichen nur nördlich des Tagebaus Hambach ausgebildet und in seiner Bedeutung für die Entwässerung vergleichsweise weniger relevant. Die im Untersuchungsraum relevante Verbreitung ist zum Referenzzeitpunkt bereits vollständig beeinflusst, es erfolgt jedoch bereits ein großräumiger Grundwasseranstieg. Für

diesen Horizont ergeben sich durch den geänderten Braunkohlenplan keine nennenswerten Veränderungen.

Bis zum Jahr **2030** ([Anlage 34](#)) werden weitere Absenkungen von bis zu 10 m lokal bei und südlich von Bedburg vom Grundwassermodell berechnet. Auch westlich der Sophienhöhe und in der weit nördlichen Erft-Scholle werden bereichsweise zusätzliche Absenkungen < 3 m ausgewiesen.

Wie eingangs beschrieben, ist im Horizont 6D bereits ein Wiederanstieg des Grundwasserspiegels zu beobachten. Bis 2030 werden weitere Aufhöhungen in einem Großteil der 6D-Verbreitung nördlich des Tagebaus Hambach und am Schollenrand zur Rur-Scholle südwestlich von Baal prognostiziert.

Im Vergleich der Prognosezeitschritte 2021 zu **2052** ([Anlage 42](#)) und **2070** ([Anlage 50](#)) werden keine weiteren Absenkungen mehr für den Grundwasserleiter 6D im Untersuchungsraum ausgewiesen. Der Grundwasserwiederanstieg vollzieht sich über die gesamte Verbreitung des Horizonts 6D in der nördlichen Erft-Scholle.

Die entwässerungsrelevante Verbreitung des **Grundwasserleiters 6B** beschränkt sich primär auf die nordwestliche Erft-Scholle. Die Verbreitungsgrenze verläuft in etwa von Bedburg über Elsdorf bis südlich von Merzenich. Im Referenzjahr 2021 ist diese gesamte Verbreitung bereits von der Sümpfung beeinflusst. Der Grundwasserspiegel muss im Bereich der Auskohlung bis auf das betrieblich Liegende abgesenkt werden.

Im Grundwasserleiter 6B ist bis **2030** ([Anlage 35](#)) lediglich im südlichen Bereich der Verbreitung noch mit nennenswerten Absenkungen von maximal 10 m zu rechnen. Ausgehend vom heutigen Entwässerungsschwerpunkt des Tagebaus nehmen diese Absenkungen in Richtung des Schollenrandes zur Rur-Scholle sukzessive ab.

In dem gesamten restlichen Teil der Verbreitung, ausgehend vom Tagebau Hambach bis zu den schollentrennenden Verwerfungen zur Rur-Scholle und Venloer Scholle, erfolgt für den Grundwasserleiter 6B im Prognosezeitschritt 2030 bereits ein Wiederanstieg des Grundwasserspiegels.

Aufgrund der sukzessiven Einstellung der Sümpfungsmaßnahmen werden bis **2052** ([Anlage 43](#)) und **2070** ([Anlage 51](#)) keine weiteren Absenkungen im Vergleich zu 2021 vom Grundwassermodell prognostiziert.

Vielmehr werden mit der Seefüllung für die Prognosezeitpunkte 2052 und 2070 Aufhöhungen des Grundwasserspiegels in der gesamten Verbreitung des Grundwasserleiters 6B im Untersuchungsraum ausgewiesen.

Bei dem **Grundwasserleiter 2 - 5** handelt es sich um einen aus den Horizonten 2, 4 und 5 zusammengesetzten und wasserwirtschaftlich gemeinschaftlich auszuwertenden Förderhorizont. Die genannten Horizonte weisen in der **Erft-Scholle** südlich des Tagebaus Hambach fazielle Differenzierungen mit wechselnden Verbreitungen sandig bzw. tonig ausgeprägter Bereiche auf. Nördlich des Tagebaus fehlen die trennenden Tone bzw. sind lediglich sehr geringmächtig ausgeprägt. Nördlich einer Linie von Jülich bis Bedburg streicht zudem der Ton 1 aus, sodass im Nordwestteil der Erft-Scholle quasi ein zusammenhängendes Liegendsystem mit dem Grundwasserleiter 01 - 09 vorliegt. Im Untersuchungsraum ist der Grundwasserleiter 2 - 5 in Summe nahezu in der gesamten Erft-Scholle, der Ville und bereichsweise in der linksrheinischen Kölner Scholle verbreitet.

Für den Prognosezeitraum 2021-**2030** ([Anlage 36](#)) ergeben sich weitere Druckspiegelabsenkungen im Süden des Tagebaus Hambach im Bereich des Sumpfungsschwerpunktes sowie in der gesamten zentralen und südlichen Erft-Scholle. Dabei werden großflächig Absenkungen bis zu 10 m prognostiziert. Im Bereich der Schollenränder ist tendenziell mit geringeren weiteren Absenkungen < 3 m bzw. bereichsweise auch < 0,5 m zu rechnen. Auch im Bereich der ehemaligen Ville-Tagebaue sowie südlich von Brühl werden weitere Absenkungen von größtenteils < 3 m, bereichsweise auch von bis zu 10 m vom Grundwassermodell berechnet. In der linksrheinischen Kölner Scholle werden hingegen keine weiteren Absenkungen mehr erwartet.

Neben den vorstehend beschriebenen Absenkungen, kann bis 2030 auch ein bereichsweiser Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im Grundwasserleiter 2 - 5 prognostiziert werden. So sind großflächige Aufhöhungen im Umfeld von Kerpen und ausgehend von diesem Bereich in der gesamten nordwestlichen Verbreitung des Leiters 2 - 5 in der Erft-Scholle ausgewiesen. Darüber hinaus werden auch in diversen Bereichen der Ville, beispielsweise im ehemaligen Abgrabungsbereich des Alltagebaus Fortuna Garsdorf, und in der linksrheinischen Kölner Scholle Aufhöhungen bis 2030 prognostiziert.

2052 ([Anlage 44](#)) hat sich im Grundwasserleiter 2 - 5 der Bereich der Absenkungen gegenüber 2021 auf die südliche Erft-Scholle zwischen Meckenheim und Euskirchen zurückgezogen. In der Ville sind darüber hinaus noch Absenkungen im ehemaligen Tagebau Frechen und bei Brühl zu erkennen. Diese Bereiche konnten sich aufgrund der noch andauernden Gradienten in Richtung des ehemaligen Tagebaus noch nicht erholen bzw. unterliegen daher weiteren Absenkungen. Für den übrigen Teil der Verbreitung des Grundwasserleiters 2 - 5 im Untersuchungsraum Hambach sind 2052 im Vergleich zu 2021 Wiederanstiege prognostiziert.

Wesentliche Absenkungen im Grundwasserleiter 2 - 5 sind im Jahr **2070** ([Anlage 52](#)) im Vergleich zum Referenzjahr 2021 lediglich in solchen Bereichen errechnet, aus welchen die

heute dort vorhandenen Wasser mit dem hydraulischen Gefälle noch langfristig in abstromige Bereiche fließen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang ein Bereich direkt an der Verbreitungsgrenze des Grundwasserleiters 2 - 5 in der südlichen Erft-Scholle bei Meckenheim und ein lokal kleinräumigerer Bereich südlich von Brühl. Mit dem weiter fortschreitenden Grundwasserwiederanstieg wird auch in solchen Bereichen der Grundwasserkörper wieder sukzessive aufgefüllt werden.

Durch die Einstellung der Tagebausümpfung geht auch der Einfluss dieser Maßnahmen im Grundwasserleiter 2 - 5 deutlich zurück. So ist mit Ausnahme der vorstehend beschriebenen Bereiche über die gesamte Ausdehnung der Verbreitung in der Erft-Scholle, Kölner Scholle und der Ville mit einem flächendeckenden Wiederanstieg des Grundwassers bis 2070 zu rechnen.

Die tiefen Liegendhorizonte des **Grundwasserleiters 01 - 09** sind im Untersuchungsraum Hambach großflächig in der **Erft-Scholle, Ville** und **Kölner Scholle** verbreitet. Wie bereits erläutert entsteht durch das Ausstreichen des Tons 1 in der nördlichen Erft-Scholle ein zusammenhängendes System mit dem Grundwasserleiter 2 - 5.

Für den Prognosezeitraum bis **2030** ([Anlage 37](#)) werden im Grundwasserleiters 01 - 09 nennenswerte weitere Druckspiegelabsenkungen von maximal 10 m insbesondere im Bereich des heutigen Entwässerungsschwerpunkts und in der südwestlichen Erft-Scholle erwartet. Auf der hohen Teilscholle östlich von Weilerswist sowie in der zentralen Erft-Scholle zwischen Nörvenich und Lechenich werden noch Absenkungen von bis zu 3 m vom Grundwassermodell prognostiziert. Darüber hinaus werden für den Grundwasserleiter 09 Absenkungen von größtenteils < 0,5 m, bereichsweise lokal auch von bis zu 3 m bzw. 10 m in der Ville und linksrheinischen Kölner Scholle ausgewiesen.

Ein Wiederanstieg des Grundwasserspiegels im Grundwasserleiter 01 - 09 bis 2030 findet mit Ausnahme des Sümpfungsschwerpunktes ab Nörvenich in der zentralen Erft-Scholle in der gesamten nordwestlich hiervon gelegenen Verbreitung statt. Außerdem werden Aufhöhungen im Grundwasserleiters 09 in der nordwestlichen linksrheinischen Kölner Scholle und im Bereich des ehemaligen Tagebaus Fortuna Garsdorf am Rand des Untersuchungsraums bis 2030 prognostiziert.

Für die Prognosezeitschritte 2021-**2052** ([Anlage 45](#)) und 2021 - **2070** ([Anlage 53](#)) sind nennenswerte Absenkungen von bis zu 10 m ausschließlich in der südlichen Erft-Scholle bei Meckenheim prognostiziert. Vergleichbar mit den Prozessen im Grundwasserleiter 2 - 5, wird auch das heute hier vorhandene Grundwasser im Leiter 01 - 09 zunächst in nordwestliche Richtung abfließen und die entwässerten bzw. druckentspannten Bereiche dort auffüllen. Im

Anschluss ist ein Wiederanstieg des Grundwassers auch in diesem südlichen Ausläufer der Verbreitung im 01 - 09 zu erwarten.

Durch die Einstellung der Sumpfungsmaßnahmen gehen auch die dadurch hergerufenen Absenkungen deutlich zurück. So ist mit Ausnahme der vorstehend beschriebenen Bereiche über die gesamte Ausdehnung des Grundwasserleiters 01 - 09 in der Erft-Scholle, und 09 in der Kölner Scholle und der Ville mit einem flächendeckenden Wiederanstieg des Grundwassers bis 2052 und 2070 zu rechnen.

Untersuchungsraum Tagebau Inden

Die Entwicklung der Grundwasserstände auf der **Rur-Scholle** sind von einem graduellen Grundwasserwiederanstieg geprägt. So sind im nördlichen Teil des Untersuchungsraums bis 2030 schon großflächige Aufhöhungen zu erkennen, während im südlichen Teil noch weitere Absenkungen zu sehen sind. Mit fortschreitender Zeit ist der Wiederanstieg immer weiter südwärts zu beobachten. Dies ist mit der generellen nordwestwärts gerichteten Strömungsrichtung und dem Rückgang der Sumpfungsmengen des Tagebaus Inden ab etwa der 2010er Jahre zu erklären. Mit reduzierter Sumpfung strömt mehr Wasser in den Abstrombereich. Solange sich die Wasserstände im Tagebaubereich im Wesentlichen auf einem abgesenkten Niveau befinden, bleibt der Potentialunterschied nach Süden weiterhin bestehen und das Wasser strömt noch weiterhin verstärkt in Richtung des Tagebaus, was zu weiteren Absenkungen bis zum Endes des Tagebaubetriebs führt. Trotz der allgemeinen Entwicklung können natürlich lokale Gegebenheiten zu lokalen Anomalien führen.

Bei der modellseitigen Betrachtung des Untersuchungsraums des Tagebaus Inden beschränkt sich die folgenden Beschreibungen lediglich auf die Bereiche, die auch vom Grundwassermodell abgedeckt sind.

Das **obere Grundwasserstockwerk** auf der **Rur-Scholle** zeigt zwischen **2030** und 2021 ([Anlage 30](#)) in weiten Teilen eher gleichbleibende Verhältnisse. Die Kippen der Tagebaue Zukunft und Inden zeigen Aufhöhungen an, da hier mit fortschreitender Tagebauführung höhere Wasserspiegel zugelassen werden können. Die Abbaufäche hingegen wird weiterhin gesümpft und so sind hier noch deutliche Absenkungen von > 10 m zu erwarten. Die weitere Sumpfung zeichnet sich auch im südlichen Anstrombereich fort, wo Absenkungen bis 10 m zu beobachten sind. Eine weitere auffällige Absenkung bis etwa 1 m befindet sich am Schollenrand zur Erft-Scholle hin bei der Stadt Düren. Dies ist mit einem Überstrom in die Erft-Scholle zu erklären. Zudem sind im Umfeld der Ortschaft Freialdenhoven noch geringfügige Absenkungen von bis zu 0,5 m zu erkennen. Hier ist die Absenkung durch die Tagebausümpfung noch einige Jahre länger zu beobachten als in der Umgebung. Zudem

treten nördlich des Tagebaus bereits einige Aufhöhungen auf. So ist zwischen den Ortschaften Jülich und Freialdenhoven ein Aufhöhungsbereich zu beobachten. Außerdem fällt das gesamte Gebiet um die Ortschaft Geilenkirchen auf. Hier werden stellenweise Aufhöhungen ausgewiesen und das Gesamtbild in diesem Bereich wirkt recht heterogen. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass die Aufhöhung hier um 0,1 m variieren. Tatsächlich liegt hier also eine deutlich flächenhaftere Aufhöhung vor, als das Kartenbild suggeriert. Prinzipiell lassen sich diese Aufhöhungen mit der rückläufigen Sümpfung des Tagebaus Inden erklären, was im Abstrombereich zu steigenden Grundwassertendenzen führt. Abhängig von den lokalen Gegebenheiten sind diese Tendenzen stärker oder schwächer ausgeprägt.

Die Differenzen des oberen Stockwerks zeigen zwischen den Jahren **2052** und 2021 ([Anlage 38](#)) im Abstrombereich des Tagebaus Inden bereits deutlich großflächigere Aufhöhungen. Auffällig sind kleinflächige Absenkungen im Bereich um die Ortschaft Geilenkirchen. In diesem Bereich streichen unterliegende Tone aus und es kommt zu geologischen Fenstern in tiefere Grundwasserleiter. Hier ist ein kontinuierlicher Gradient in diese Fenster zu beobachten. Die dadurch resultierende Absenkung besteht bereits zum Betrachtungszeitpunkt 2030, ist in der Darstellung jedoch nicht auffällig, da die Absenkung zu diesem Zeitpunkt noch zu geringfügig ist. Der Gradient besteht weiter bis zum Endzustand, wo sich in diesem Bereich dennoch ein stabiles Verhältnis einstellt. Im Bereich des Tagebaus kommt es mit der rückläufigen Hebung im Zuge der Seebefüllung und dem steigenden Seespiegel selbst zu mehr und mehr Aufhöhungen. Kleinere Absenkungsbereiche im Tagebausee fallen noch auf, sind jedoch als modelltechnische Artefakte zu bewerten. Im direkten Anstrom des Tagebausees sind tatsächliche Absenkungen zu erwarten, die aufzeigen, dass auch wenn der Tagebausee gefüllt ist, das umliegende Unverritzte noch weiter aufgefüllt werden muss und so noch immer ein merklicher Gradient besteht. In der südlichen Rur-Scholle treten nun immer mehr kleinere Aufhöhungsbereiche auf, was mit dem generellen Wiederanstieg zu erklären ist. Der o.g. Absenkungsbereich östlich der Stadt Düren besteht weiterhin. Zudem fällt eine Absenkung im geringen Dezimeterbereich am Festgesteinsrand südwestlich der Ortschaft Zülpich auf. Mit Blick auf die folgenden Betrachtungszeitpunkte fällt auf, dass diese Absenkung auch bis zum Jahr 2200 weiterhin besteht, was aufzeigt, dass die Randbedingung, die den Zufluss aus der Eifel in diesem Bereich widerspiegelt, nicht ausreichend kalibriert ist. Der Zufluss scheint zu niedrig angesetzt zu sein, um die bergbauunbeeinflussten Verhältnisse wiederherzustellen. Aufgrund der sehr lokalen Situation bleibt die Aussagekraft des Grundwassermodells weiterhin bestehen.

Im nächsten Betrachtungszeitpunkt **2070** ([Anlage 46](#)) werden die Differenzen zum Referenzjahr 2021 mehr und mehr von Aufhöhungen geprägt. So zeigt auch der bisherige Absenkungsbereich bei der Stadt Düren nun ebenfalls Aufhöhungen. Dennoch treten an vielen

Einzelpolygonen geringfügige Absenkungen auf, die zumeist an Grenzen der jeweiligen Tonverbreitungen lokalisiert sind, die die Basis des oberen Stockwerks bilden.

Jegliche Entwicklungen des Betrachtungszeitpunkts 2070 führen sich in den Differenzen zum **Endzustand 2200** des oberen Grundwasserstockwerks ([Anlage 54](#)) weiter fort. So dehnen sich die Aufhöhungsbereiche weiter aus.

Auf der **Rur-Scholle** sind die Differenzen des **Horizonts 9B** zwischen den Jahren **2030** und **2021** ([Anlage 31](#)) zweigeteilt. Während der gesamte Anstrombereich des Tagebaus Inden von Absenkungen geprägt ist, zeigt der Bereich des Abstroms deutliche Aufhöhungen. Südöstlich der Stadt Jülich zwischen den Tagebauen Inden und Hambach sind noch Absenkungen von < 0,5 m zu erwarten. Ab der Ortschaft Merken bis zur Region Düren nehmen die Absenkungen zu und erreichen Werte bis zu 3 m. Weiter südostwärts nehmen die Absenkung wieder ab bis etwa zur Ortschaft Vettweiß, ab der stagnierende Grundwasserverhältnisse zu beobachten sind. Der Aufhöhungsbereich hingegen erstreckt sich entlang der Nordböschung des Tagebaus Inden bis zu den Ortschaften Gangelt und Heinsberg. Darüber hinaus sind ebenfalls stagnierende Grundwasserverhältnisse zu erwarten. Auffällig ist eine sehr lokale Absenkung zwischen den Ortschaften Koslar und Barmen mit Absenkungen > 10 m. Dies ist mit dem geplanten Wasserwerksstandort Koslar zu erklären, wo ab dem Jahr 2030 Grundwasser in den Horizonten 8 und 9B gefördert werden soll. Zudem fallen zwischen der Kippe Zukunft und der Ortschaft Geilenkirchen kleinere Bereiche mit stagnierenden bis leicht fallenden Grundwasserständen auf. Diese Absenkungen sind mit lokalen Schwächezonen im Stauer zum unterliegenden Horizont 8 zu erklären.

Im nächsten Betrachtungszeitraum **2052** ([Anlage 39](#)) ist das Differenzenbild deutlich von Aufhöhungen geprägt. Hier sind von den Niederlanden bis hin zur Ortschaft Vettweiß großflächige Aufhöhungen zu sehen. Lediglich die Bereiche im Umfeld der Maas und südwärts der Ortschaft Vettweiß sind von stagnierenden Grundwasserverhältnissen geprägt. Die Bereiche der Aufhöhungen nehmen bis **2070** ([Anlage 47](#)) noch weiter zu und im Süden gibt es nur sehr lokale Bereiche mit stagnierenden Grundwasserständen. Im Nordwesten sind ebenfalls neue Bereiche von Aufhöhungen geprägt. Dennoch werden für das direkte Umfeld der Maas weiterhin stagnierende Grundwasserverhältnisse ausgewiesen.

Die **Hauptkiesserie 8** auf der **Rur-Scholle** erfährt bis zum Jahr **2030** ([Anlage 32](#)) nördlich des Tagebaus Inden Aufhöhungen, während im Süden noch weitere Absenkungen zu beobachten sind. Vom Tagebau bis hin zur Ortschaft Gangelt sind bezogen auf das Jahr 2021 Aufhöhungen von > 10 cm zu erwarten. Darüber hinaus ist in Richtung Nordwesten der Horizont 8 entweder nicht verbreitet oder zeigt stagnierende Grundwasserverhältnisse.

Lediglich am westlichen Modellrand sind einige Polygone mit leicht sinkenden Grundwasserständen zu beobachten. Dies ist ein häufiges Phänomen, was auf ausstreichende Grundwasserstauer zurückzuführen ist. Wenn diese Stauer nicht ganz bis zum Modellrand reichen, entstehen hier sehr kleine geologische Fenster. Südwärts der Ortschaft Merken an der Südostspitze des Tagebaus Inden treten Absenkungen auf. So sind im Bereich der Stadt Düren Absenkungen bis etwa 3 m zu erwarten, während die Absenkungen nach Süden hin geringer werden. Diese Absenkungen sind mit der generellen Absenkung durch die Tagebausümpfung zu erklären. In den Bereichen der Ortschaften Zülpich und Euskirchen sind wieder stagnierende Grundwasserstände zu beobachten.

Die Differenzen zwischen den Jahren **2052** und 2021 ([Anlage 40](#)) hingegen zeigen bereits ein einheitlicheres Bild. Hier sind mit Ausnahme der Ortschaft Euskirchen im gesamten Untersuchungsraum steigende Grundwasserverhältnisse zu erwarten. Für die Ortschaft Euskirchen werden stagnierenden Grundwasserstände prognostiziert. Bis **2070** ([Anlage 48](#)) werden hier jedoch ebenfalls Aufhöhungen ausgewiesen und in der gesamten Rur-Scholle sind steigende Grundwasserverhältnisse zu erwarten.

Auf der **Rur-Scholle** wird modellseitig zwar zwischen dem Horizont 7A und 7E unterschieden, bei der Konstruktion der Grundwassergleichen aus den Pegelmesswerten jedoch nicht und es wird der **Horizont 7** betrachtet. Da dem Horizont 7A auf der Rur-Scholle wasserwirtschaftlich eine höhere Bedeutung zukommt, liegt hier der modellseitige Fokus auf diesem Horizont. Bis zum Jahr **2030** ([Anlage 33](#)) treten im Verbreitungsbereich im direkten südlichen Anstrombereich des Tagebaus Inden merkliche Absenkungen bis über 10 m auf. Im weitergefassten Anstrombereich südlich der Stadt Düren treten geringe Absenkungen zwischen 0,1 und 0,5 m auf. Südlich der Ortschaft Vettweiß treten stagnierende Wasserstände auf. Lediglich im Norden der Stadt Euskirchen ist eine geringfügige Absenkung am Rand zur Erft-Scholle zu beobachten, die mit einem Schollenüberstrom zu erklären ist. In den Bereichen nördlich und östlich des Tagebaus Inden sind auf der Rur-Scholle ausschließlich Aufhöhungen erkennbar.

Die Grundwasserdifferenzen zwischen den Jahren **2052** und 2021 ([Anlage 41](#)) sind im Horizont 7A großflächig von Aufhöhungen geprägt. Eine Ausnahme bildet der o.g. Bereich bei der Stadt Euskirchen, der stagnierende Grundwasserstände aufweist. Hier befinden sich die Schollenüberströme in die Erft-Scholle in einem Gleichgewicht mit dem Wiederanstieg. Im Jahr **2070** ([Anlage 49](#)) sind bezogen auf das Referenzjahr 2021 lediglich Aufhöhungen zu beobachten.

Der **Horizont 6D** zeigt im direkten Sumpfungsbereich des Tagebaus Inden bis zum Jahr **2030** ([Anlage 34](#)) noch deutliche Absenkungen von über 10 m. Nördlich des Tagebaus steigen die Grundwasserstände hingegen bereits großflächig bis zu den Ortschaften Gangelt und Heinsberg an. Nordwestlich dieser Ortschaften bis hin zur Maas sind stagnierende Grundwasserstände zu sehen. Die weiteren untersuchten Zeitpunkte **2052** ([Anlage 42](#)) und **2070** ([Anlage 50](#)) sind bezogen auf das Jahr 2021 deutlich von Aufhöhungen von > 10 cm geprägt. Lediglich an den Verbreitungsgrenzen sind an einzelnen Polygonen Absenkungen zu beobachten. Diese sind wie o.g. mit ausstreichenden Grundwasserstauern zu erklären.

Die Differenzen von **2030** bezogen auf das Referenzjahr 2021 im **Horizont 6B** ([Anlage 35](#)) der **Rur-Scholle** zeigen südlich des Tagebaus Inden Absenkungen, während nördlich des Tagebaus und der Stadt Düren bis etwa zur Landesgrenze zu den Niederlanden hin Aufhöhungen zu verzeichnen sind. Dieser Dualismus ist wie oben beschrieben mit dem Ab- und Zustrombereich des Tagebaus und dem graduellen Grundwasserwiederanstieg zu erklären. Der niederländische Teil der Rur-Scholle weist im Wesentlichen stagnierende Grundwasserstände auf. Die größte Absenkung von > 10 m ist an Südrand des Tagebaus Inden zu finden und ist auf die Sumpfung des fortschreitenden Tagebaus zu erklären. Darüber hinaus findet sich ein Absenkungsbereich im Südosten der Stadt Düren mit Absenkungen bis 0,5 m.

Bis zu den Jahren **2052** ([Anlage 43](#)) und **2070** ([Anlage 51](#)) steigen die Wasserstände im **Horizont 6B** der Rur-Scholle immer weiter an, was zu großflächigen Aufhöhungen bezogen auf das Referenzjahr 2021 führt. Es sind lediglich sehr kleinräumige Absenkungen an den Verbreitungsgrenzen des Horizonts 6B zu beobachten, die wie oben beschrieben auf ausstreichende Grundwasserstauer zurückzuführen sind.

Im **Horizont 2 - 5** der **Rur-Scholle** sind im Jahr **2030** ([Anlage 36](#)) südlich des Tagebaus Inden noch Absenkungen bezogen auf das Referenzjahr 2021 zu beobachten. So treten zwischen der Stadt Düren und dem Festgesteinsrand Absenkungen von > 3 m auf. Südlich der Ortschaft Kreuzau sind entweder noch leichte Absenkungen von < 0,5 m oder stagnierenden Wasserstände zu beobachten. Im Bereich des Tagebaus Inden sind bis zur nördlichen Verbreitungsgrenze bei den Ortschaften Freialdenhoven und Jülich Aufhöhungen von > 0,1 m zu sehen. Auffällig ist noch ein Bereich nahe der Ortschaft Schophoven an der Nordost-Böschung des Tagebaus Inden in dem noch Absenkungen auftreten. Diese sind auf mehrere Brunnen der Liegendsumpfung des Tagebaus zurückzuführen.

Die späteren Betrachtungszeitpunkte **2052** ([Anlage 44](#)) und **2070** ([Anlage 52](#)) sind deutlich vom Wiederanstieg dominiert, da zu diesem Zeitpunkt schon länger nicht mehr eine

Liegendsümpfung betrieben wird. Mit vereinzelt Ausnahmen am Festgesteinsrand sind ansonsten nur Aufhöhungen zu beobachten. Die genannten Ausnahmen sind auf die o.g. ausstreichenden Grundwasserstauer zurückzuführen.

Im Betrachtungszeitpunkt **2030** ist der **Horizont 01 - 09** auf der **Rur-Scholle** ([Anlage 37](#)) bereits im nordwestlichen Teil von Aufhöhungen von $> 0,1$ m bezogen auf das Referenzjahr 2021 geprägt. In den Bereichen von der Maas bis zum Tagebau Inden und den Ortschaften Eschweiler und Düren sind großflächige Aufhöhungen zu erkennen. Lediglich in einem Randbereich südwestlich der Ortschaft Schalbruch und der nördliche Randbereich zur Venloer Scholle hin sind noch stagnierende Wasserstände zu beobachten.

Südlich des Tagebaus Inden und der Ortschaft Eschweiler treten noch Absenkungen bis $> 3,0$ m auf. Diese sind insbesondere am Festgesteinsrand zu beobachten. Der südlichste Bereich der Rur-Scholle um die Ortschaft Euskirchen ist ebenfalls von stagnierenden Wasserständen geprägt. Auffällig ist noch ein Bereich zwischen den Ortschaften Zülpich und Euskirchen im Übergang zur Erft-Scholle. Hier steigen die Wasserstände bereits an.

Die Differenzen der Jahre **2052** ([Anlage 45](#)) und **2070** ([Anlage 53](#)) bezogen auf das Referenzjahr 2021 sind im Horizont 01 - 09 ganzheitlich vom Wiederanstieg gekennzeichnet. In der gesamten Scholle sind großflächige Aufhöhungen $>0,1$ m zu beobachten. Lediglich am Festgesteinsrand im Süden der Rur-Scholle sind noch einzelne Polygone zu beobachten, die Absenkungen aufzeigen. Mit zunehmender Zeit gehen diese Absenkungen weiter zurück.

5.4.5. Schollen- und Randüberströme

Für den Prognosezeitraum werden die Bilanzglieder zu den vier Zeitpunkten

- **2030** zur Beendigung des Tagebaubetriebs,
- **2052** zum prognostizierten Erreichen des Zielwasserspiegels im Tagebausee Inden
- **2070** zum prognostizierten Erreichen des Zielwasserspiegels im Tagebausee Hambach,
- **2200** nach abgeschlossenem Wiederanstieg

dargestellt.

Am inneren Rand **Rurand Nord** zwischen Swalmen und Melick-Herkenbosch bleiben die stetigen Netto-Überströme in den oberen Modellleitern von der Venloer in die Rur-Scholle auch im Prognosezeitraum erhalten und gehen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts nur leicht auf

knapp 3,6 Mio. m³/a zurück, wobei auch die leiterspezifische Verteilung weitgehend unverändert bleibt.

Der innere Rand **Meinweg** zwischen Melick-Herkenbosch und Wassenberg erfährt ebenfalls keine nennenswerten Änderungen im Überstromgeschehen. So herrscht bis zum Ende des Prognosezeitraums ein Volumenstrom von der Venloer Scholle in die Rur-Scholle von gut 6,3 Mio. m³/a, welcher weiterhin zu etwa 75 % innerhalb des 2. Modellgrundwasserleiters auftritt.

Am **Wassenberger Horst** zwischen den Ortslagen Wassenberg und Hückelhoven setzt mit Beginn des Prognosezeitraums eine Abnahme des Überstroms bis auf knapp 1,1 Mio. m³/a Ende der 2040er Jahre ein. Anschließend nehmen die weiterhin primär dem 1. und 2. Modellgrundwasserleiter der Rur-Scholle zuströmenden Mengen wieder zu und stabilisieren sich ab den 2080er Jahre bei 1,7 Mio. m³/a.

Über den inneren Rand **Doveren** im Bereich der Ortslagen Hückelhoven - Doveren – Baal strömen zu Beginn des Prognosezeitraums noch weiterhin etwa 0,3 Mio. m³/a der Rur-Scholle zu. Mit dem Ende des Tagebaus Inden geht dieser Volumenstrom jedoch drastisch zurück und kommt ab den 2050er Jahren beinahe komplett zum Erliegen.

Die Überströme im Randbereich **Lövenicher Sprung** unterlaufen im Prognosezeitraum eine vergleichsweise dynamische Entwicklung. Zunächst geht die Überstrommenge in die Erft-Scholle von anfänglich über 8 Mio. m³/a bis 2030 auf knapp 6,6 Mio. m³/a zurück. Mit der schnellen Rücknahme der Liegendsümpfung des Tagebausees Hambach kommt es dann zum Ende der 2030er Jahre zu einer Strömungsumkehr im 10. und 11. Modellleiter, sodass in Kombination mit rückläufigen Abströmen aus dem 9. Leiter der Venloer Scholle 2039 erstmals ein Netto-Abstrom aus der Erft-Scholle stattfindet. Mit dem Tagebauende in Garzweiler – welches in dieser Modellvariante noch für 2039 implementiert ist – setzt eine deutliche Reduktion des Abstroms aus dem 11. Leiter der Erft-Scholle ein, während im Leiter 10 eine erneute Umkehr der Strömung in Richtung der Erft-Scholle auftritt. Da sich auch der Überstrom in die Hauptkiesserie wieder erhöht, weist die Gesamtbilanz in diesem Randbereich ab 2052 erneut einen Zustrom in die Erft-Scholle aus, welcher Ende der 2060er Jahre sein Maximum von nunmehr knapp 2,2 Mio. m³/a erreicht. In Reaktion auf die Rücknahme der seebegleitenden Sümpfung des Tagebausees Garzweiler kommt es ab 2070 erneut zu einer Veränderung der hydraulischen Gradienten in sämtlichen Modellgrundwasserleitern, bis sich ab etwa 2140 ein annähernd stationäres stabiles Fließregime eingestellt hat, in welchem dem 9., 10. und 11. Leiter der Venloer Scholle ca. 2 Mio. m³/a zuströmen, während der 1. Modellleiter knapp 0,3 Mio. m³/a an die Hangendleiter der Erft-Scholle abgibt, sodass langfristig ein Netto-Zustrom von gut 1,7 Mio. m³/a in die Venloer Scholle simuliert wird.

Auch am inneren Rand **Jackerather Horst** südlich des Tagebaus Garzweiler vollzieht der Zustrom in die Erft-Scholle während der Restlaufzeit der Tagebaue Inden und Hambach zunächst nur einen leichten Rückgang von 7,1 auf 6,4 Mio. m³/a. Ab 2030 fällt die Überstrommenge in den Liegendleitern dann rapide und ändert um 2040 ihre Strömungsrichtung, sodass ab 2042 trotz des Zustroms im Modelleiter 8 in der Gesamtbilanz ein Abstrom in die Venloer Scholle ausgewiesen wird. Durch die Entwicklung der Sumpfungsmengen rund um den Tagebausee Garzweiler kommt es in der Folge durch die hydraulische Kopplung an die Hangendleitern der Venloer Scholle zu einer Reduktion des Abflusses im Modelleiter 12 der Erft-Scholle, während sich im 11. Leiter sogar ab 2075 wieder ein Zustrom einstellt. Als Konsequenz erfährt die Erft-Scholle nun wieder einen Netto-Zustrom, der seinen Höhepunkt mit knapp 0,4 Mio. m³/a Anfang der 2080er Jahre erreicht. Die Folgezeit wird durch eine langsame Entwicklung der Volumenströme hin zu einem stationären Endzustand geprägt, in welchem der 11. Modelleiter der Erft-Scholle einen dauerhaften, wenngleich geringen Zustrom verzeichnet, welcher die Abströme aus den Leitern 8 und 12 jedoch nicht ganz ausgleichen kann, sodass sich langfristig ein Gesamtüberstrom von gut 0,2 Mio. m³/a in die tieferen Leiter der Venloer Scholle etabliert.

Eine sehr ähnliche Entwicklung wie am Lövenicher Sprung ist mit etwa 15 Jahren Verzögerung auch im Bereich des **Kaster Sprungs** bei Bedburg zu beobachten. Dort erfahren insbesondere die beiden untersten Liegendleiter auf der Erft-Scholle zu Beginn des Prognosezeitraums noch einen beträchtlichen Zustrom, sodass sich der gesamte Überstrom auf 5,8 bis 6 Mio. m³/a summiert, bevor dieser im Zuge der 2030 einsetzenden Seebefüllung und Reduktion der Sumpfungsmengen des Tagebausees Hambach ebenfalls abnimmt. Dabei erfolgt hier die Strömungsumkehr in Richtung der Venloer Scholle in den Liegendleitern erst in den späten 2040er Jahren, in den Hangendleitern sogar erst im Zeitraum von 2054 (Modelleiter 8) bis 2062 (Modelleiter 7). So ergibt sich auch erst ab 2054 ein aus Sicht der Erft-Scholle negativer Gesamtüberstrom, der zunächst bis auf knapp 1,7 Mio. m³/a Ende der 2060er Jahre ansteigt. Ähnlich wie am Kaster Sprung folgt in Reaktion auf die Entwicklung der Entnahmemengen auf der Venloer-Scholle zunächst eine gegenläufige Entwicklung, in der aber nur eine Reduktion des Überstroms auf ein Minimum von 0,7 Mio. m³/a im Jahr 2078 und keine erneute Strömungsumkehr stattfindet. Anschließend nimmt der Volumenstrom wieder stetig zu, sodass sich zur Mitte des 22. Jahrhundert ein quasi stationäres Fließregime mit einem Volumenstrom von knapp 2,9 Mio. m³/a in Richtung der Venloer Scholle eingestellt hat.

Der Randabschnitt **Fortuna** zwischen Bedburg und Niederaußem verzeichnet bis 2030 noch einen Gesamtüberstrom von etwa 19,7 Mio. m³/a aus der Kölner in die Erft-Scholle, welcher zum Großteil in den Liegendleitern auftritt. Anschließend ist ein starker Rückgang der Mengen zunächst nur im 12. Modellgrundwasserleiter, ab den 2040er Jahren auch in den Leitern 11

und 8 zu beobachten. Ab 2073/2074 erfolgt dann in allen hydraulisch gekoppelten Leitern eine Umkehr der Fließrichtung, sodass die Kölner Scholle einen Netto-Zustrom von bis zu 1 Mio. m³/a gegen Ende der 2070er Jahre erfährt. Dieser hält in den Leitern 4 bis 10 für etwa ein Jahrzehnt an, bevor sich wieder ein Zufluss in die Erft-Scholle einstellt. In den Modellleitern 11 und 12 hingegen bleibt ein dauerhafter Zufluss in die Kölner Scholle erhalten, welcher sich langfristig bei 0,9 Mio. m³/a stabilisiert und damit etwas geringer als der Abfluss in die Erft-Scholle in den übrigen Leitern ist. Im stationären Endzustand herrscht dementsprechend ein Nettozustrom in die Erft-Scholle von 0,1 Mio. m³/a.

Der Zustrom in die Erft-Scholle am inneren Rand **Bergheim**, welcher abgesehen von geringen Mengen im Modellleiter 11 zu über 90 % im 12. Leiter erfolgt, verharrt vom Anfang des Prognosezeitraums bei etwa 2,6 Mio. m³/a, bevor auch hier ab dem Jahr 2030 ein starker Rückgang einsetzt. 2060 erfolgt die Umkehr der Fließrichtung im 12. Leiter, durch den zwischenzeitlichen Anstieg des Volumenstroms im 11. Leiter erhält die Kölner Scholle jedoch in Summe erst 10 Jahre später mehr Wasser als abströmt. Zum Ende des 21. Jahrhunderts kommt der Volumenstrom im Modellleiter 11 quasi zum Erliegen, sodass sich langfristig ein Überstrom von 0,3 Mio. m³/a von der Erft- in die Kölner Scholle einstellt.

Auch im Randbereich **Frechen** entfallen fast drei Viertel des anfänglich noch 11,5 Mio. m³/a betragenden Zustroms in die Erft-Scholle auf den 12. Modellleiter. Daneben speist der Volumenstrom hauptsächlich noch die Modellleiter 11 und 6. Während der Volumenstrom im 12. Leiter unmittelbar mit den rückläufigen Sumpfungsmengen in der Erft-Scholle abnimmt und sich ab 2071 in Richtung der Kölner Scholle umkehrt, setzt die Abnahme in den anderen beiden relevanten Leitern deutlich später ein. Ab 2080 stellt sich für die Kölner Scholle in Summe wieder eine positive Bilanz in diesem Überstrombereich dar, die sich ab den 20er Jahren des 22. Jahrhunderts bei einem Wert von 2 Mio. m³/a stabilisiert.

Über den **Rurand Erft nord** zwischen den Ortslagen Baal und Koslar fließen der Erft-Scholle zu Beginn des Prognosezeitraums gut 14 Mio. m³/a zu. Dieser Zustrom findet weiterhin sowohl in den Liegendgrundwasserleitern als auch den hangenden Modellleitern 6 und 8 statt und entstammt in Teilen dem OSTW auf der Rur-Scholle. Nach dem Ende der Tagebaue Inden und Hambach steigt der Zufluss in die Hangendleiter zunächst an und kann die langsame Abnahme in den Liegendleitern mehr als ausgleichen, weshalb sich der Gesamtüberstrom bis auf 16 Mio. m³/a Mitte der 2040er Jahre steigert. Zwischen 2060 und 2080 erfolgt dann auch ein starker Rückgang des Zustroms in die Hangendleiter, der schlussendlich in eine Strömungsumkehr mündet. Während der Volumenstrom im Liegenden beinahe gänzlich zum Erliegen kommt, erhalten die Modellleiter 1 und 2 der Rur-Scholle nunmehr einen Zufluss aus den hydraulisch gekoppelten Hangendleitern der Erft-Scholle, sodass schlussendlich ab ca.

2120 ein konstanter Überstrom von 6 Mio. m³/a von der Erft- in die Rur-Scholle prognostiziert wird.

Über den inneren Randbereich **Jülich** findet nach 2021 zunächst weiterhin ein Netto-Zustrom von ca. 2,8 Mio. m³/a in die Erft-Scholle statt, der überwiegend in die flachen Hangendleiter gerichtet ist. Einzig im Modelleiter 6 tritt ein vergleichsweise geringer Überstrom in die Rur-Scholle ein. Mit dem zeitgleich implementierten Ende des Tagebaubetriebes auf beiden Schollen erfährt dieser Volumenstrom jedoch eine rasche Umkehr der Strömungsrichtung und hat einen Anteil von beinahe 50 % am maximalen Überstrom von über 12 Mio. m³/a in den 2050er Jahren. In der Folge ist ein kontinuierlicher Rückgang der Volumenströme in allen hydraulisch gekoppelten Leitern zu beobachten und ab dem Erreichen annähernd stationärer Strömungsverhältnisse in diesem Modellbereich um das Jahr 2120 beträgt der Zustrom in die Erft-Scholle über alle Leiter summiert gut 3,7 Mio. m³/a.

Am inneren Rand bei **Stettelnich** treten auch im Prognosezeitraum nur geringe Überströme von der Rur- in die Erft-Scholle auf., welche anfänglich auf die Modellgrundwasserleiter 11 und 12 beschränkt sind und in Summe gut 0,6 Mio. m³/a betragen. In den 2030er Jahren setzt ein Rückgang dieser Volumenströme ein. Ab 2040 tritt zusätzlich ein geringer Zustrom in den 5. Leiter auf. Ab dem frühen 22. Jahrhundert herrscht dann ein konstant geringer Zustrom in verschiedene Hangend- und Liegendleiter, welcher in Summe nur 0,2 Mio. m³/a beträgt.

Der Volumenstrom von der Rur- in die Erft-Scholle im Randbereich **Niederzier** beträgt im Zeitraum von 2021 bis 2030 konstant um 9,4 Mio. m³/a und findet zu etwa 95 % im 11. Modelleiter statt. In der anschließenden Frühphase der Seebefüllung kommt es dann zu einer Strömungsumkehr im Leiter 8, der zuletzt einen geringen Zustrom in die Rur-Scholle zu verzeichnen hatte, sodass die Abnahme der Überstrommengen im Leiter 11 mit Blick auf die Gesamtbilanz mehr als kompensiert werden. Dementsprechend schwankt der Gesamtüberstrom bis Anfang der 2050er Jahre zwischen 12,5 und 13,3 Mio. m³/a, bevor sich auch im 8. Leiter eine etwa 20 Jahre andauernde Phase kontinuierlich abnehmenden Überstroms anschließt. Nachdem sich bis etwa 2120 ein quasi-stationäres Strömungsregime eingestellt hat, beträgt der gesamte Überstrom in die Erft-Scholle noch ca. 4,8 Mio. m³/a, wobei etwa 80 % des Volumenstroms auf den 8. Modellgrundwasserleiter entfallen.

Der Randbereich **Düren** weist in den Jahren 2021 bis 2030 weiterhin einen Überstrom in die Erft-Scholle von insgesamt 18 bis 19 Mio. m³/a auf, welcher zum größten Teil in den Liegendleitern stattfindet. Ab 2030 setzt jedoch ein starker Rückgang des Liegendzustroms ein, sodass sich dieser bis 2040 bereits halbiert hat. Dieser Entwicklung setzt sich auch langfristig fort, während der Zustrom im OSTW leicht zunimmt. Ab den 2120er Jahren stagniert der gesamte Volumenstrom in die Erft-Scholle bei etwa 5,6 Mio. m³/a, wovon etwas mehr als

die Hälfte auf das OSTW entfällt und noch ca. 30 % den Modelleitern 11 und 12 zuströmt, während sich die restliche Menge auf verschiedene Hangendleiter verteilt.

Am **Rurrand Süd** bleibt der konstant hohe Überstrom von der Rur- in die Erft-Scholle in der Größenordnung von knapp 25 Mio. m³/a zunächst auch im Prognosezeitraum erhalten. Erst in den 2060er Jahren setzt ein Rückgang des Zustroms ein. Ausgenommen davon ist nur das OSTW, welches eine leichte Zunahme des Volumenstroms erfährt und so einen Anteil von 30 % an der, ab dem frühen 22. Jahrhundert konstanten, Gesamtüberstrommenge von gut 17 Mio. m³/a hat.

Der äußere **Modellrand Maas-Venlo** zwischen Swalmen im Süden und Venlo im Norden wird, wie in Kapitel 5.3.3 bereits erläutert, hauptsächlich durch eine Gewässerrandbedingung repräsentiert. Der über die Höhenrandbedingung auftretende Volumenstrom in den tieferen Grundwasserleitern ist allgemein gering und führt dem Modell zu Beginn des Prognosezeitraums noch etwas über 0,1 Mio. m³/a im 12. Modellgrundwasserleiter zu. Ab 2040 erfolgt ein Rückgang dieser Menge und ab 2047 kehrt sich die Strömungsrichtung um. Der nach wie vor geringe Abstrom aus dem Modell nimmt über die folgenden Jahrzehnte kontinuierlich zu und stagniert ab den 2090er Jahre dauerhaft bei gut 0,8 Mio. m³/a.

Am äußeren **Nordrand der Venloer Scholle** zwischen Venlo und westlich Hinsbeck treten auf Grund der konstanten Randbedingung im Prognosezeitraum keine nennenswerten Fluktuationen des Überstroms mehr auf. So bleibt es bei einem Abstrom aus dem Modell, der primär aus dem OSTW sowie den Leitern 9 und 10 erfolgt und den Zustrom in verschiedenen Hangendleitern überwiegt. Insgesamt strömen so 5,6 Mio. m³/a aus dem Modell ab.

Der **Viersener Sprung** erstreckt sich im Anschluss als äußere Modellberandung bis nach Dülken. Er verzeichnet im gesamten Prognosezeitraum einen Zustrom in das Modellgebiet, wobei im 6. Modellgrundwasserleiter durchgängig und ab den 2070er Jahren auch im Leiter 11 kleinere Mengen abströmen und so den Nettozustrom reduzieren. Der Zustrom im 2. Modelleiter weist zudem eine über den kompletten Prognosezeitraum leicht ansteigende Tendenz auf, sodass die Gesamtbilanz von anfänglichen 3,5 auf schlussendlich knapp 4 Mio. m³/a im Jahr 2200 anwächst.

Über den äußeren **Rand zur Krefelder Scholle** zwischen Dülken und Schiefbahn fließen auch im Prognosezeitraum größere Wassermengen aus dem Modell ab. Der Abfluss erfolgt zu etwa 75 % aus den drei obersten Modelleitern und variiert über den gesamten Prognosezeitraum zwischen 7,7 und 8 Mio. m³/a.

Der **Nordostrand** zwischen Schiefbahn und Neukirchen weist im gesamten Prognosezeitraum Abströme aus dem Modellgebiet aus, die auch weiterhin fast ausschließlich auf das OSTW beschränkt sind. Während eine leichte Verschiebung der Abstrommenge vom 2. in den 1. Modelleiter in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts stattfindet, erfährt der Abstrom in Leiter 3 in

dieser Zeit eine kontinuierliche Zunahme. Ab den 2090er Jahren stellt sich dann ein dauerhafter Volumenstrom aus dem Modellgebiet in Höhe von 15,5 Mio. m³/a ein.

Der Randbereich **Dormagen** zwischen Neukirchen und dem Rhein bei Dormagen verzeichnet auch im Prognosezeitraum einen dauerhaften Abstrom aus allen Modellgrundwasserleitern, wobei knapp die Hälfte allein aus dem Modelleiter 2 stammt. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts nimmt der Abstrom in allen Leitern kontinuierlich zu, sodass der anfänglich 7,7 Mio. m³/a betragende Gesamtüberstrom schlussendlich bei 10 Mio. m³/a stagniert.

Im Prognosezeitraum ist der Rheinwasserspiegel und damit die Höhenrandbedingung auf einen langjährigen Mittelwert festgelegt; Gleiches gilt für sämtliche Fremdnehmer mit Ausnahme der Wasserwerke. Dementsprechend stellt sich der Zustrom im Randbereich des **Rheins** deutlich weniger fluktuierend als im Kalibrierungszeitraum dar und nimmt von anfänglichen 104 Mio. m³/a über einen Zeitraum von 100 Jahren graduell ab, um sich ab etwa 2120 konstant bei gut 90 Mio. m³/a einzustellen. Der geringe Abstrom in den Liegendleitern summiert sich auf 2,5 Mio. m³/a.

Am Randbereich **Bornheim** zwischen Rheidt am Rhein und Merten an der Grenze zur Erft-Scholle erfolgt im Prognosezeitraum ein Zustrom von anfänglich 5,3 Mio. m³/a, der sich in moderaten Teilmengen auf sämtliche Modellgrundwasserleiter verteilt. Die einzige Ausnahme stellen der 11. und 12. Leiter dar, welche nicht am Überstromgeschehen teilnehmen. Die Zuströme sind überwiegend konstant über den gesamten Prognosezeitraum, einzig der Volumenstrom in den Leiter 10 geht im Zeitraum von 2040 bis 2140 um etwa die Hälfte zurück, sodass sich schlussendlich ein Gesamtzustrom von 4,8 Mio. m³/a einstellt.

Die Randbedingung 2. Art, welche den Zufluss über den **Swistalsprung** im Südosten der Erft-Scholle vorgibt, bleibt im Prognosezeitraum unverändert. Dementsprechend generiert der hydraulisch unwirksame südliche Teilbereich weiterhin keinerlei Überstrom, während im nördlichen Abschnitt konstant 2,2 Mio. m³/a zuströmen, welche in etwa hälftig das OSTW sowie die beiden tiefsten Modelleiter befüllen.

Auch am **Rurrand Rheinbach** zwischen Meckenheim und Odendorf tritt auf Grund des unveränderten – als Randbedingung definierten – Volumenstroms im Prognosezeitraum keine Änderung gegenüber der Kalibrationsphase auf. Dementsprechend herrscht weiterhin ein stetiger Zustrom in den 7. Modellgrundwasserleiter von knapp 1,7 Mio. m³/a und 0,3 Mio. m³/a in den 8. Modellgrundwasserleiter. In Summe ergeben sich damit Volumenströme von 1,9 Mio. m³/a.

Gleichermaßen herrschen am Rand der südlichen Rur-Scholle **zum Eifelgebirge Süd** gegenüber dem Kalibrationszeitraum unveränderte Bedingungen. So wird ein Einstrom in das Grundwassermodell von 12,7 Mio. m³/a angesetzt, der sich mit 1,4 Mio. m³/a auf den

1. Modellgrundwasserleiter, mit 3,9 Mio. m³/a auf den 8. Modellgrundwasserleiter und mit 7,4 Mio. m³/a auf den 12. Modellgrundwasserleiter verteilt.

Ebenso weist der äußere **Modellrand zum Eifelgebirge Nord** weiterhin einen kontinuierlichen Einstrom in die Rur-Scholle auf, der mit knapp 2 Mio. m³/a den 10. und 1,7 Mio. m³/a den 11. Modelleiter befüllt.

Über die **Sandgewand**-Verwerfung als äußeren Modellrand strömen der Rur-Scholle stetig knapp 5 Mio. m³/a zu. Der Einstrom erfolgt vornehmlich (ca. 80 %) in den 1. und untergeordnet in den 10. Modellgrundwasserleiter.

Am **Hoofdbroik** fließt dem 1. Modellgrundwasserleiter der Rur-Scholle auch im Prognosezeitraum eine Wassermenge von zunächst etwa 10,5 Mio. m³/a zu. Dieser Zustrom reduziert sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts leicht auf 9,5 Mio. m³/a und stagniert bis zum Ende des Simulationszeitraums auf diesem Wert.

Über den äußeren Rand zum **Feldbiss** erfolgt in dieser Modellversion auch im Prognosezeitraum keinerlei Grundwasserströmung.

Der Rand **Maas-Rur** erfährt auch im Prognosezeitraum einen anfänglichen Zustrom in den Modelleiter 5 von knapp 3 Mio. m³/a; aus dem 9. Modelleiter fließen dagegen 9,7 Mio. m³/a ab. Während der Zustrom bis zum Beginn des 22. Jahrhunderts nur eine leichte Abnahme auf 2,3 Mio. m³/a erfährt, steigert sich der Abfluss im 9. Modelleiter im selben Zeitraum auf knapp 15,7 Mio. m³/a. Dementsprechend ergibt sich ein stationärer Gesamtabfluss aus dem Modellgebiet von 13,4 Mio. m³/a.

Zwischen der Kölner- und Venloer Scholle findet im Prognosezeitraum in den meisten Modelleitern nur ein geringer Austausch statt, sodass das Strömungsgeschehen hauptsächlich vom 9. und 10. Modelleiter bestimmt wird, die auf Seiten der Kölner Scholle das OSTW im relevanten Abschnitt dieses Randbereichs darstellen. Im tieferen der beiden Leiter ist der Volumenstrom durchgängig in Richtung der Venloer Scholle gerichtet und steigt bis zum Ende der 2030er Jahre auf 2 Mio. m³/a an, um anschließend auf 0,3 Mio. m³/a Anfang der 2070er Jahre abzufallen. In den folgenden 10 Jahre erfolgt dann ein moderater Wiederanstieg des Zustroms in die Venloer Scholle auf dauerhaft knapp 0,6 Mio. m³/a. Der Volumenstrom im 9. Modelleiter hingegen vollzieht eine gänzlich andere Entwicklung. Erste nennenswerte Überströme von bis zu 0,4 Mio. m³/a treten in den 2050er Jahren auf und sind in die Kölner Scholle gerichtet. Nach einem leichten Rückgang dieser Mengen im anschließenden Jahrzehnt setzt dann eine kontinuierliche Zunahme ein, bis sich mit Beginn des 22. Jahrhunderts ein konstanter Volumenstrom von knapp 1,6 Mio. m³/a einstellt. Infolge dieser Entwicklung steigt auch der über alle Leiter summierte Volumenstrom zunächst von anfänglich 2,2 auf 3 Mio. m³/a an, bis 2040 ein stufenweiser Rückgang des Zustroms in die Venloer Scholle erfolgt, welcher zu einer Umkehr der Nettobilanz ab den 2090er Jahren führt. Ab etwa

2120 haben sich konstante Strömungsverhältnisse in allen Leitern eingestellt und die Gesamtbilanz weist einen Zustrom von ca. 0,8 Mio. m³/a in die Kölner Scholle aus.

5.4.6. Bergbaubedingte Wasserhebung im Prognosezeitraum

Auch unter Berücksichtigung der angepassten Planungsszenarien (siehe Kapitel 3.6) werden weiterhin umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen für den sicheren Betrieb der Tagebaue bis zum Ende der Auskohlung und die daran anschließende Phase der Seebefüllung nötig sein. Die im Modell für den Prognosezeitraum implementierten Brunnen basieren hinsichtlich ihrer Lage, Verfilterung und maximaler Förderleistung soweit möglich auf dem seitens der Entwässerungsplanung vorgesehenen Brunnenpark. Zudem wird eine Außerbetriebnahme von Brunnen auf Grund von Überstauung im Bereich der Tagebauseen berücksichtigt.

Die veranschlagten Hebungsmengen ergeben sich im Wesentlichen aus zwei geotechnischen Anforderungen:3.6

- 1) Standsicherheit der Tagebau- bzw. Seeböschungen
- 2) Schutz vor hydraulischem Grundbruch

Um Wasseraustritte zu verhindern und für die Standsicherheit der Böschungen vorteilhafte Strömungsverhältnisse zu gewährleisten, muss auch über das Tagebauende hinaus eine Entwässerung der Hangendleiter erfolgen, welche sich an den leiterspezifischen Überlaufschwelen bzw. Leitpegeln orientiert. Ab dem Zeitpunkt des Einstaus kann im jeweiligen Hangendleiter die Sumpfung reduziert werden und es gilt nur noch, einen vom See ins Gebirge gerichteten Druckgradienten zu erhalten.

Für die Druckentlastung der Liegendleiter bleiben ebenfalls die Vorgaben aus dem bisherigen Tagebaubetrieb gültig. Allerdings wirkt die mit Einsetzen der Befüllung zunehmende Wassersäule im See als Auflast einer aufwärts gerichteten Vertikalströmung im Liegenden entgegen, weshalb die Liegenddrücke parallel zum Wasserstand im See ansteigen können, ohne die Sicherheit vor hydraulischem Grundbruch zu gefährden.

Während der Phase der Seebefüllung ist die Einhaltung beider geotechnischen Kriterien somit vom Seewasserspiegel abhängig und so muss auch die notwendige Sumpfungsmenge de facto als Funktion des Seewasserspiegels und nicht der Zeit verstanden werden. Dementsprechend ergibt sich auch das modellseitig implementierte Mengengerüst der Seebegleitbrunnen direkt aus der in Jahreswerten simulierten Entwicklung des Seewasserspiegels, sodass eine unterjährliche Dynamik auf Grund der zeitlichen Diskretisierung nicht abgebildet werden kann (vgl. Kapitel 4.2).

Vor dem Hintergrund dieser Kriterien sind für den **Tagebau Garzweiler** auch in der im Reviermodell implementierten Planungsvariante zukünftig umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen notwendig. Ab den späten 2020er Jahren wird eine Plateauphase der maximalen Wasserhebung mit 150 – 160 Mio. m³/a erreicht (Abbildung 13). Nach der maximalen Phase der Sumpfung nimmt diese sukzessive bis zum Tagebauende auf rund 90 Mio. m³/a ab. Auch nach Tagebauende muss zur Sicherung der Seeböschungen die Sumpfung weiter betrieben werden, bis der Seewasserspiegel den endgültigen Wasserstand erreicht hat. Diese Mengen werden bis zum Erreichen der Zielhöhe des Tagebausees um das Jahr 2075 vollständig zurückgefahren.

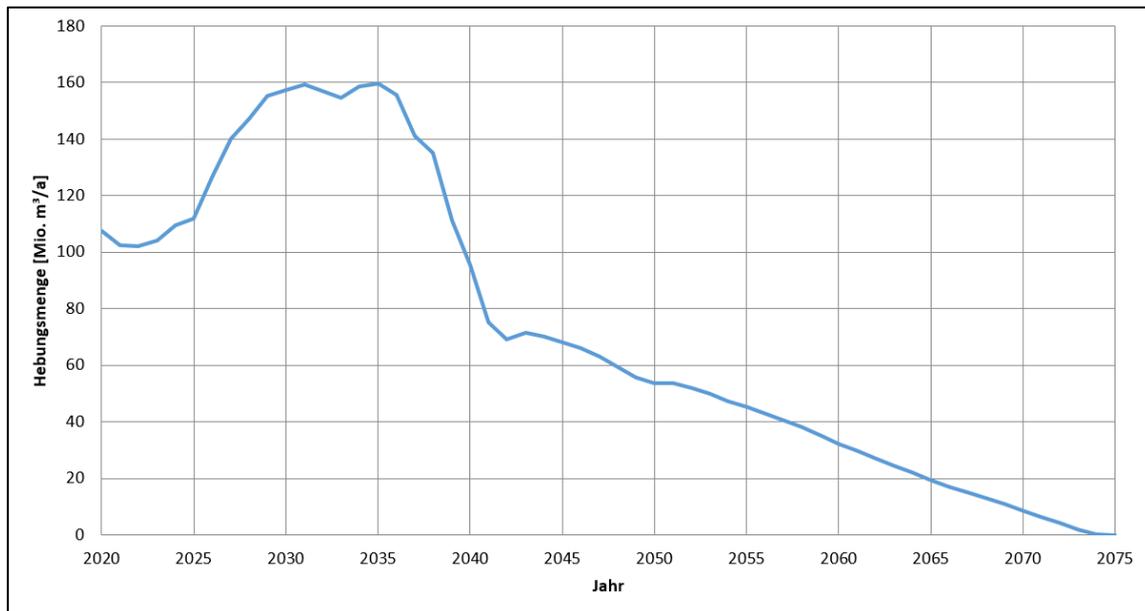


Abbildung 13 Prognostizierte Sumpfungsmengen für den Tagebau Garzweiler

Die nicht durch Brunnen gehobenen Restwassermengen im Tagebau bewegen sich je nach dem zeitlichen Stand der zur Kalibrierung und Prognose verwendeten Eingangsdaten in der Größenordnung der offenen Wasserhaltung. Mit dem im Modell simulierten Ansatz ist das vom Abbau erfasste Gebirge zum Zeitpunkt der Abaggerung optimal entwässert und es entstehen am An schnittspunkt maximale Restwässer aus Vorrat und Zufluss in der Größenordnung von unter 10 Mio. m³/a.

Für den **Tagebau Hambach**, der im Jahr 2021 seine tiefste Auskohlung durchlaufen hat, ist während der Betriebsphase bis zur Tagebauseebefüllung mit einer jährlichen Sumpfungsmenge von 280 bis 320 Mio. m³ rechnen (Abbildung 14). Die im Modell in offener Wasserhaltung abgeführten Restwassermengen betragen um 6 Mio. m³/a, sodass hier eine sehr gute Entwässerungssituation simuliert wird.

Danach kann die Hebungsmenge im Jahr 2031 durch den schnellen initialen Anstieg des Seewasserspiegels bereits auf etwa 210 Mio. m³ reduziert werden. In den Jahren 2033 bis 2038 erfolgt dann eine Stagnation bei ca. 100 Mio. m³/a, bis die mächtige Hauptkiesserie (Hor. 8) ausreichend eingestaut ist, sodass die Sumpfung dieses Grundwasserleiters gefahrlos reduziert werden kann. Anschließend muss nur noch in geringem Umfang eine Entwässerung der oberen Hangendleiter betrieben werden, welche bis zum Erreichen des Zielwasserspiegels Ende der 2060er Jahre ausschleicht.

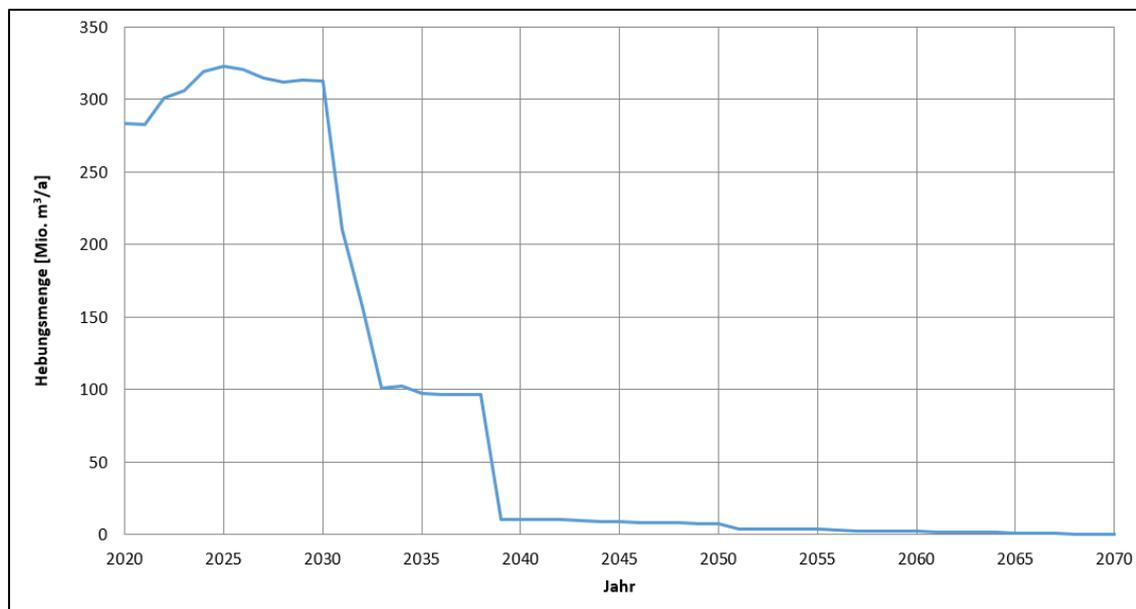


Abbildung 14 Prognostizierte Sumpfungsmengen für den Tagebau Hambach

Im **Tagebau Inden** kann für die Betriebsphase bis zur Tagebauseebefüllung von einer Sumpfungsmenge um ca. 65 Mio. m³/a ausgegangen werden (Abbildung 15). Bei diesem Mengengerüst werden im Modell jährliche Restwassermengen von ca. 2,5 bis 4 Mio. m³/a bilanziert; so kann auch hier die Tagebautwässerung im Modell als optimal bezeichnet werden. Während im ersten Jahr der Seebefüllung noch eine Hebung von gut 51 Mio. m³ prognostiziert wird, kann diese im Folgejahr bereits auf etwa 20 Mio. m³ reduziert werden (Reduzierung Liegendsumpfung) und verringert sich ab 2035 annähernd linear bis zur kompletten Einstellung beim Erreichen des Zielwasserspiegels Anfang der 2050er Jahre.

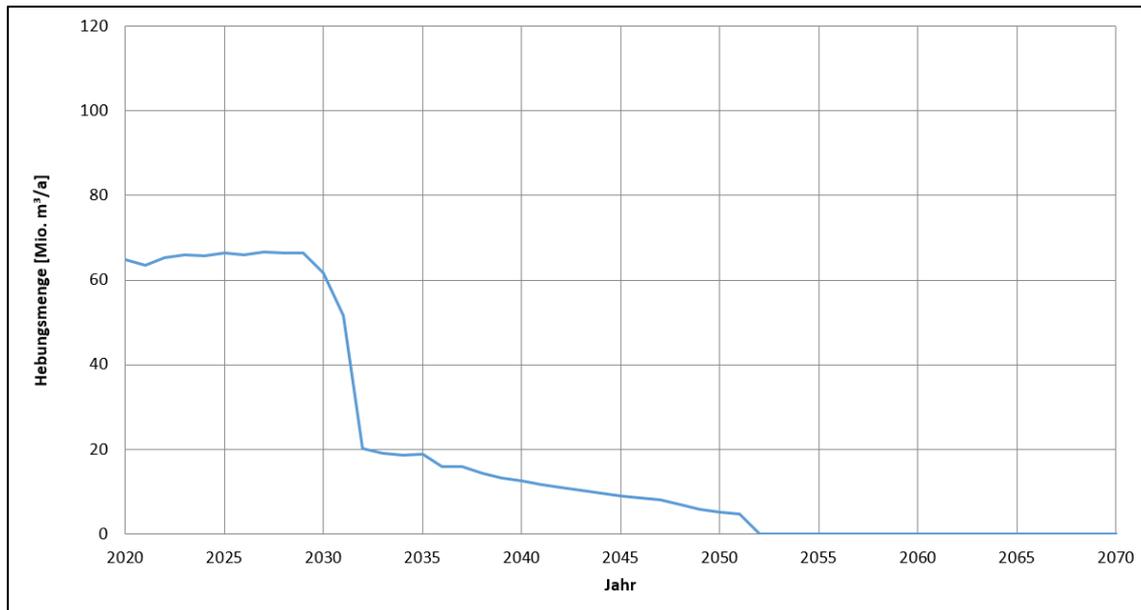


Abbildung 15 Prognostizierte Sumpfungsmengen für den Tagebau Inden

5.4.7. Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer

Das rheinische Braunkohlenrevier ist durch eine Vielzahl öffentlicher und privater Entnehmer geprägt, deren Förderdaten, soweit verfügbar, im Grundwassermodell berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.4 und 5.3.7). Für die Prognoserechnung wurden bergbaufremde Brunnen im Modell grundsätzlich mit der letztmalig übermittelten Hebungsmenge aus dem Jahr 2019 bis zum stationären Endzustand fortgeführt. Lediglich für die bergbaulich bedingte Verschiebung von Entnahmemengen der öffentlichen Wasserversorger wurden sinnvolle Annahmen hinsichtlich der zukünftigen Fördermengen und Förderstandorte getroffen. Dadurch wird gewährleistet, dass die prognostizierten Hebungen und Senkungen der Wasserspiegel bezogen auf das Jahr 2021 vorrangig bergbaubedingt sind. Die getroffenen Aussagen zu Standorten und Fördermengen stellen jedoch keine konkreten Planungen oder Vorgaben dar, sondern lediglich Szenarien als Grundlage für die hier durchzuführenden Modellberechnungen.

Die Wasserversorgungsbrunnen am Standort Holzweiler werden somit in den Prognosen nach Westen verlagert. Im Prognoseszenario werden zudem die Entnahmemengen für das Wasserwerk Fürth aus der Randgalerie des Tagebaus Garzweiler ab 2030 an die Standorte Hoppbruch und Waldhütte verlagert.

Entlang der sog. Erftschiene wird zudem von einer Außerbetriebnahme des Wasserwerks Paffendorf im Jahr 2035 ausgegangen, in deren Folge die Hebungsmengen am Standort Sindorf erhöht werden, bevor auch dort 30 Jahre später die Wassergewinnung gänzlich

eingestellt wird. Ab 2065 erfolgt die Wassergewinnung an der Erftschiene im Prognoseszenario somit nur noch am Standort Dirmerzheim, wo der Wegfall der anderen Standorte durch eine deutliche Erhöhung der Entnahmemenge kompensiert wird.

Darüber hinaus wird auf der Rur-Scholle eine Verlagerung der Wassergewinnung von Bourheim nach Koslar im Jahr 2030 abgebildet.

In früheren Grundwassermodellen wurden die öffentlichen Entnehmer in der Prognose bis zur Höhe des Wasserrechts jährlich um 0,8 % gesteigert. Neuere Erhebungen weisen seit Anfang der neunziger Jahre einen insgesamt fallenden bis stagnierenden Wasserbedarf für das Land Nordrhein-Westfalen aus (Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen, 2016). Ein Vergleich mit den vom Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen vorausgerechneten Daten zur Bevölkerung weist über die Kreise und kreisfreien Städte im rheinischen Revier stagnierende bis wachsende Bevölkerungszahlen aus (Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen, 2019). In Kombination mit dem insgesamt sinkenden Wasserbedarf wurde im vorliegenden Modell von einem konstanten Bedarf ausgegangen. Daher werden im Prognosedatensatz des aktuellen Grundwassermodells die Fremdentnehmer mit konstanten Fördermengen betrieben.

5.4.8. Gewässeraustauschmengen

Mit dem Grundwasserwiederanstieg, der durch die externe Füllung des Tageausees beschleunigt wird, erfahren im oberen Grundwasserstockwerk sukzessive weitere Bereiche eine Anbindung an die Oberflächengewässer. Damit steigen auch die Anzahl der Gewässerabschnitte, die eine Vorflutfunktion übernehmen. Die Zutritte aus der **Erft** in den Grundwasserleiter haben mit dem Ende des Kalibrierungszeitraumes ihren Höhepunkt erreicht. Während der Seebefüllungsphase des Tagebaus Hambach sinken die Mengen von 38,8 auf 20,6 Mio. m³/a ab. Im Zuge des Grundwasserwiederanstiegs übernimmt die Erft insgesamt wieder die Vorflutfunktion und führt im stationären Endzustand 17,2 Mio. m³/a aus dem Modell ab.

Die Vorflutwirkung der **Inde** steigt nach dem Ende der Tagebauaktivitäten von 2,7 auf 7,2 Mio. m³/a an.

Der **Maas** als einem der wesentlichen Vorfluter im Modellgebiet strömen im Prognosezeitraum relativ gleichbleibend um 95 Mio. m³/a zu.

Die Abstrommengen in die **Nette** sind im Prognosezeitraum mit einer Größenordnung von nahezu konstant 10,6 Mio. m³/a nur geringen Änderungen unterworfen.

Die Vorflutwirkung der **Niers** nimmt nach der Tagebauaktivität in der Venloer Scholle bis auf 19,2 Mio. m³/a zu.

Der **Nordkanal** übernimmt seine Wirkung als Vorfluter direkt nach Ende der Tagebauaktivität in der Venloer Scholle und erfährt eine Steigerung der Abflussmenge auf konstante 1,6 Mio. m³/a ab dem Ende des 21. Jahrhunderts.

Die Abstrommungen in die **Norf** steigen von 2,6 im Jahr 2030 auf 11,6 Mio. m³/a im stationären Endzustand.

Die Vorflutwirkung der **Rur** nimmt nach dem Ende der Tagebauaktivität in der Rur-Scholle ab dem Jahr 2030 kontinuierlich zu und steigt auf 108 Mio. m³/a an.

Der **Schwalm** strömen auch zukünftig vergleichsweise hohe Mengen zu. Sie schwanken bis in die 2080er Jahre zwischen 40 und 45 Mio. m³/a und fallen zum Ende des Jahrhunderts auf einen konstanten Wert von ca. 33 Mio. m³/a ab.

Nach dem Ende der Tagebauaktivität in Inden übernimmt die **Wurm** binnen eines guten Jahrzehnts wieder Vorflutfunktion und die Abstrommenge erreicht 5,5 Mio. m³/a im stationären Endzustand.

Der Austausch zwischen den **Gewässern der Kölner Scholle** und dem Grundwasserleiter bleibt bis zum Jahr 2050 annähernd konstant um 6 Mio. m³/a. Während des Grundwasseranstiegs sinkt diese Zustrommenge und nach dem Grundwasserwiederanstieg ergibt sich eine Menge von etwa 0,5 Mio. m³/a, die den Gewässern zugeführt wird.

Gewässeraustauschmengen [Mio. m ³ /a]	2030	2052	2070	2200
Erft	38,79	32,64	20,58	-17,25
Inde	-2,75	-4,53	-6,41	-7,19
Maas	-95,17	-95,5	-95,9	-96,21
Nette	-10,62	-10,64	-10,71	-10,61
Niers	-6,74	-8,05	-14,95	-19,2
Nordkanal	0,52	-0,68	-1,07	-1,64
Norf	-2,63	-3,01	-4,03	-11,58
Rur	-19,95	-51,77	-72,52	-108,07
Schwalm	-45,09	-42,86	-42,43	-33,17
Wurm	2,06	-1,5	-3,85	-5,54
Gewässer Kölner Scholle	6,83	6,12	4,43	-0,41

Tabelle 4 Gewässeraustauschmengen im Prognosezeitraum

5.4.9. Versickerungs- und Direkteinleitungsmaßnahmen

Im Grundwassermodell wird der zum Halten der Grundwasserstände in den grundwasserabhängigen schützenswerten Feuchtgebieten des Untersuchungsraums Garzweiler und zur Stützung des Grundwasserhaushaltes notwendige Wasserbedarf ausgewiesen. Dabei handelt es sich um Infiltrationsmaßnahmen und Direkteinleitungen in Gewässer. Die Infiltrationen werden zum Großteil in das obere Grundwasserstockwerk und zu einem geringen Anteil in den Liegendleiter eingebracht. Die Infiltrationen werden sowohl punktuell als auch linienhaft im Grundwassermodell umgesetzt und repräsentieren so Versickerungsbrunnen und Versickerungsschlitze. Im Gegensatz zur Kalibrierungsphase werden in der Prognose die Versickerungsrandbedingungen als Randbedingungen zweiter Art (Q-Randbedingung) mit Nebenbedingung umgesetzt. Als Nebenbedingung wird ein Potential vorgegeben, bei dem die Einleitung durch die Q-Randbedingung eingeschränkt wird. Das Potential orientiert sich zu Beginn der Prognosephase an den Wasserständen, die auch in der Kalibrierungsphase im Bereich der Anlage zu beobachten sind. Im Laufe der Prognosephase kann wegen der zurückgehenden Sumpfungsmengen und der ansteigenden Grundwasserspiegel im Umfeld die anlagenbedingte Überhöhung zurückgefahren werden. Der Verlauf des Wasserbedarfs korrespondiert grundsätzlich mit der Intensität der Sumpfungsmaßnahmen für den Tagebau Garzweiler. Dementsprechend nehmen auch die

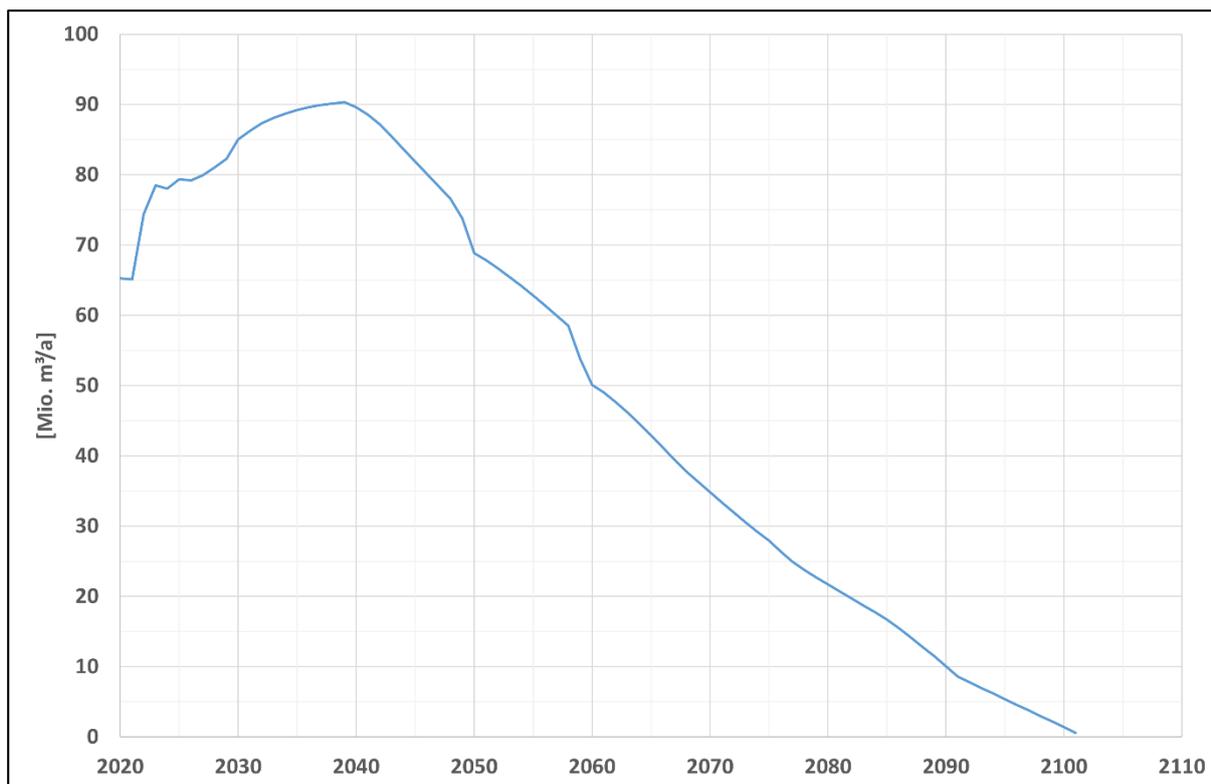


Abbildung 16 Versickerungsmengen im Untersuchungsraum Garzweiler für den Prognosezeitraum über Versickerungsanlagen

zum Schutz der Feuchtgebiete eingebrachten Wassermengen seit dem Beginn der Maßnahmen in den achtziger Jahren stetig zu und erreichen zum Tagebauende 2038 den Maximalwert von über 90 Mio. m³/a (Abbildung 16).

Danach reduziert sich der Wasserbedarf und beträgt im Jahr 2050 noch etwas über 70 Mio. m³/a und sinkt innerhalb von 10 Jahren auf Werte um ca. 55 Mio. m³/a. Maßgeblich wird dies durch die aus Sicherheitsgründen im Umfeld des Restlochs noch zu betreibenden Entwässerungsmaßnahmen und den direkten Zusammenhang zwischen Entwässerungs- und Versickerungsleistung bestimmt. Die Infiltrationsmaßnahmen müssen bis weit nach Tagebauende fortgeführt werden und können erst um 2100 eingestellt werden, wenn sich im Bereich der Venloer Scholle wieder Grundwasserstände eingestellt haben, die einen Verzicht auf Stützungsmaßnahmen erlauben. Mit den aktuell bereits umgesetzten und den für die Zukunft geplanten Maßnahmen werden sumpfungsbedingte Einflüsse aus den schützenswerten Feuchtgebieten ferngehalten.

5.4.10. Befüllung der Tagebauseen

Im vorliegenden Kapitel werden die Dynamiken der Tagebauseefüllungen beschrieben. Dabei ist bezüglich der Zeitangaben zu beachten, dass das hier beschriebene Modell zu Beginn des Wasserwirtschaftsjahrs 1971 startet und die Zeitschrittweite ein Jahr beträgt, so dass die vorliegenden Modellergebnisse und Summenangaben sich stets auf das Ende des jeweils genannten Wasserwirtschaftsjahrs beziehen. Unterjährige und damit auch saisonale Entwicklungen werden dementsprechend nicht abgebildet.

Tagebausee Garzweiler

Da dem hier vorgestellten Reviermodell noch der unter 3.6.3 beschriebene Planungsstand zugrunde liegt, beginnt die Füllung des Tagebausees Garzweiler modellseitig im Jahr 2040. Es wird eine jährliche Entnahmemenge aus dem Rhein von rd. 106 Mio. m³/a angenommen, welche jedoch in Abhängigkeit vom Sumpfungswasserdargebot auch für die ökologischen Bedarfe des Nordraums genutzt wird, sodass die tatsächliche Befüllmenge des Sees sich bereits in der Frühphase der Befüllung bei etwa 75 Mio. m³/a einpendelt und von 2060 bis zum Erreichen des Zielwasserspiegel 2075 auf knapp 64 Mio. m³/a abfällt. Danach kann die Einleitung stark zurückgefahren und voraussichtlich um das Jahr 2080 in Gänze eingestellt werden. Der Tagebausee bekommt im lokalen Einzugsgebiet nun eine Vorflutfunktion und es

stellt sich binnen 15 bis 20 Jahren eine konstante Überlaufmenge von ca. 7,4 Mio. m³/a ein. Die Bilanzgrößen der Befüllung des Tagebausees Garzweiler sind in Abbildung 17 dargestellt.

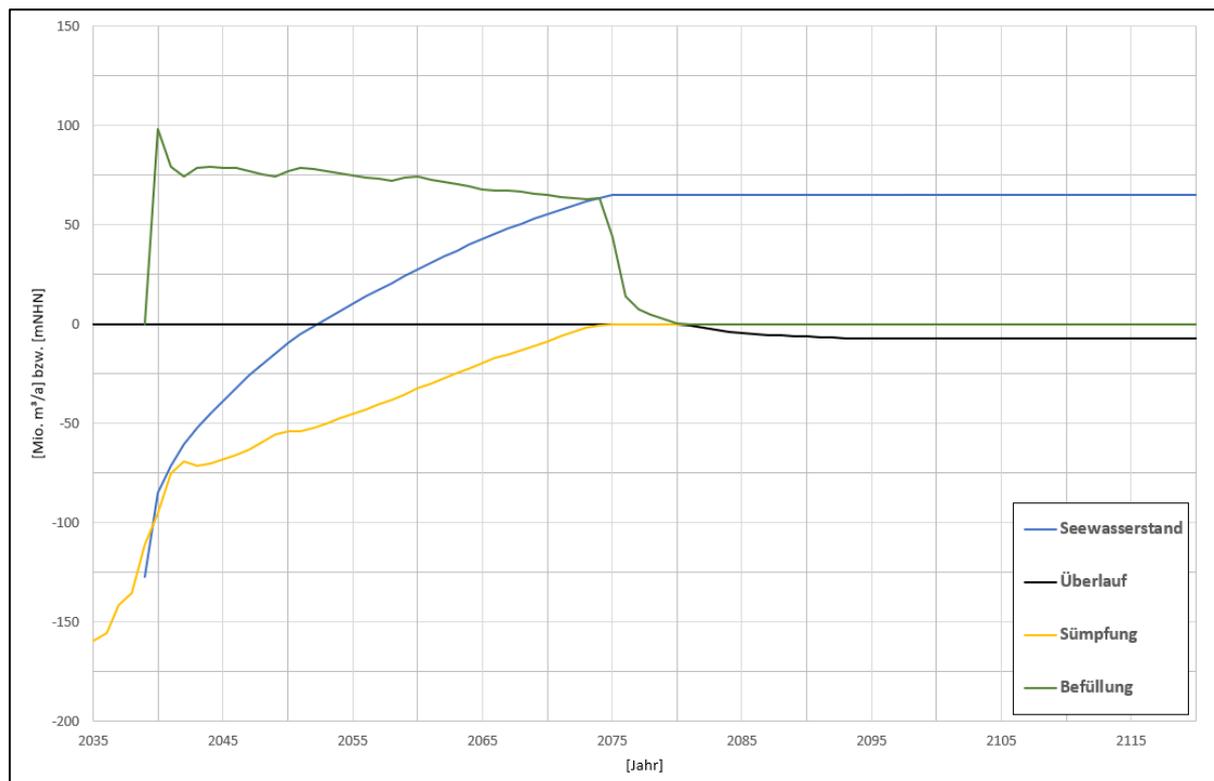


Abbildung 17 Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Garzweiler

Tagebausee Hambach

Gemäß der aktuellen Planung beginnt auch modellseitig die Befüllung des Tagebausees Hambach im Jahr 2031 und es wird die durchschnittliche jährliche Rheinwassermenge von 230 Mio m³ angesetzt, welche ausschließlich der Seebefüllung dient. Ergänzend dazu wird der Tagebausee mit der nach Bedienung der sonstigen Bedarfe zur Verfügung stehenden Sumpfungswassermenge befüllt. Dabei ist im hier zu Grunde liegenden Szenario – entgegen neuerer Planungen – noch ein bis zum Jahr 2038 zu deckender Kühlwasserbedarf der Kraftwerke angesetzt. Daneben gehen eine Stützung der Erft mit Sumpfungswasser sowie kleinere Bedarfsmengen für Ersatzwasserbereitstellung, ökologische Maßnahmen und Immissionsschutz in die Bilanz ein.

Unter diesen Rahmenbedingungen ergibt sich bereits innerhalb des ersten Jahrzehnts eine beinahe komplette Einstellung der seebegleitenden Sumpfung, sodass auch die Befüllmenge auf die ausschließliche Zuleitung von Rheinwasser zurück fällt. Die Zielhöhe des Seewasserspiegels von 65 mNHN wird um das Jahr 2070 erreicht. Infolgedessen dient die danach stattfindende Befüllung nur noch dem Ausgleich des Gebirgsverlustes bzw. dem Wiederauffüllen der angeschlossenen Grundwasserleiter und fällt im simulierten Szenario

kontinuierlich, bis sie um das Jahr 2095 gänzlich eingestellt werden kann. Ab diesem Zeitpunkt fungiert der Tagebausee als lokaler Vorfluter und führt einen Großteil des zuströmenden Grundwassers über den Überlauf ab. Die Überlaufmenge nimmt über die folgenden 30 - 40 Jahre sukzessive zu und beträgt schlussendlich im stationären Zustand etwa 22,5 Mio. m³/a. Die Bilanzgrößen der Befüllung des Tagebausees Hambach sind in Abbildung 18 dargestellt.

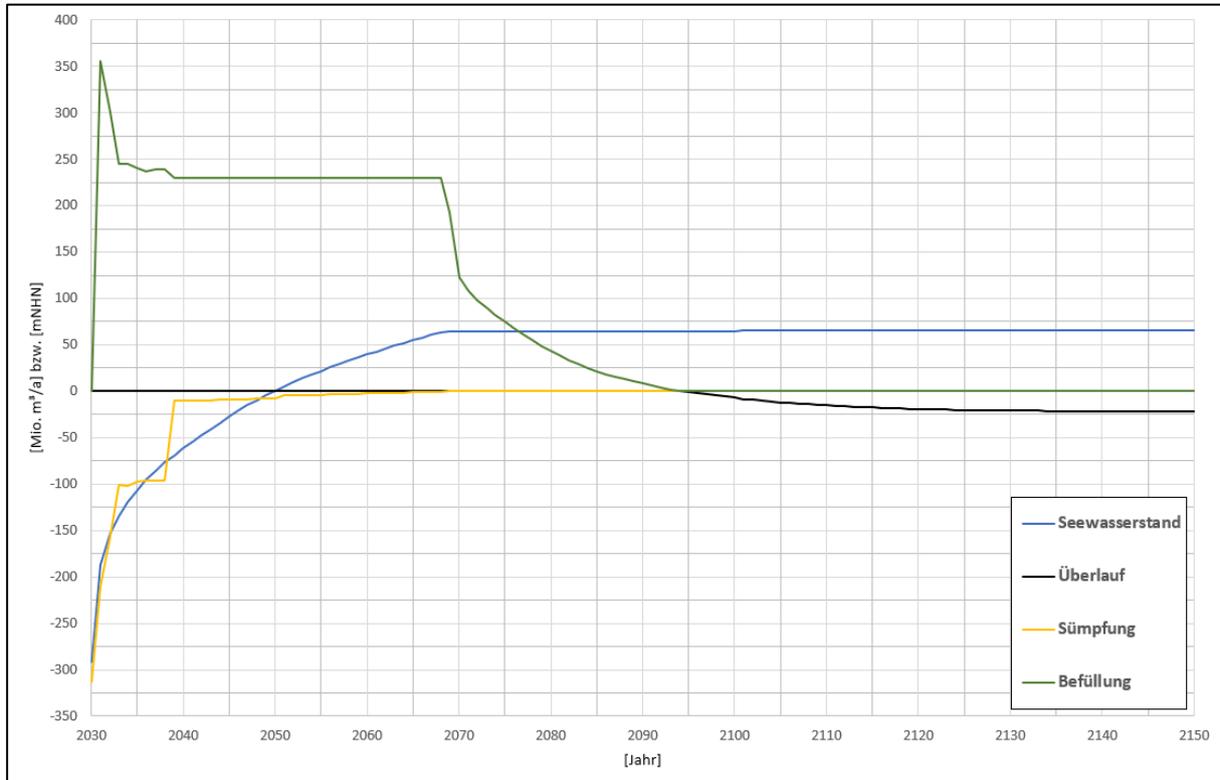


Abbildung 18 Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Hambach

Tagebausee Inden

Die Befüllung des Tagebausees Inden beginnt im Modell mit dem Jahr 2031 und speist sich ebenfalls aus dem verfügbaren Sumpfungswasser der Seebegleitbrunnen sowie einer jährlichen Entnahmemenge aus der Rur, welche mit rd. 36 Mio. m³/a angenommen wird.

Da im Falle von Inden im implementierten Szenario die sonstigen Bedarfe die mittels Sumpfungswasser gedeckt werden müssen, gering sind, wurde die gesamte Menge für die Seebefüllung bilanztechnisch angesetzt. Die Erreichung des Zielwasserspiegels wird bis Mitte der 2050er Jahre prognostiziert, wobei sich wiederum eine mehr als 20 Jahre dauernde Phase anschließt, in der zunehmend geringere Befüllmengen erforderlich sind, um den Zielwasserspiegel zu halten, bis der Wiederanstieg in den umliegenden Grundwasserleitern abgeschlossen ist. Ab diesem Zeitpunkt erfährt der Tagebausee einen Nettozustrom aus dem Gebirge und führt diese Mengen über die Randbedingung des Überlaufs ab. Ab etwa 2120 hat sich diese Überlaufmenge dann bei einem annähernd stationären Wert von 2,2 bis 2,3 Mio.

m³/a stabilisiert. Die Bilanzgrößen der Befüllung des Tagebausees Inden sind in Abbildung 19 dargestellt.

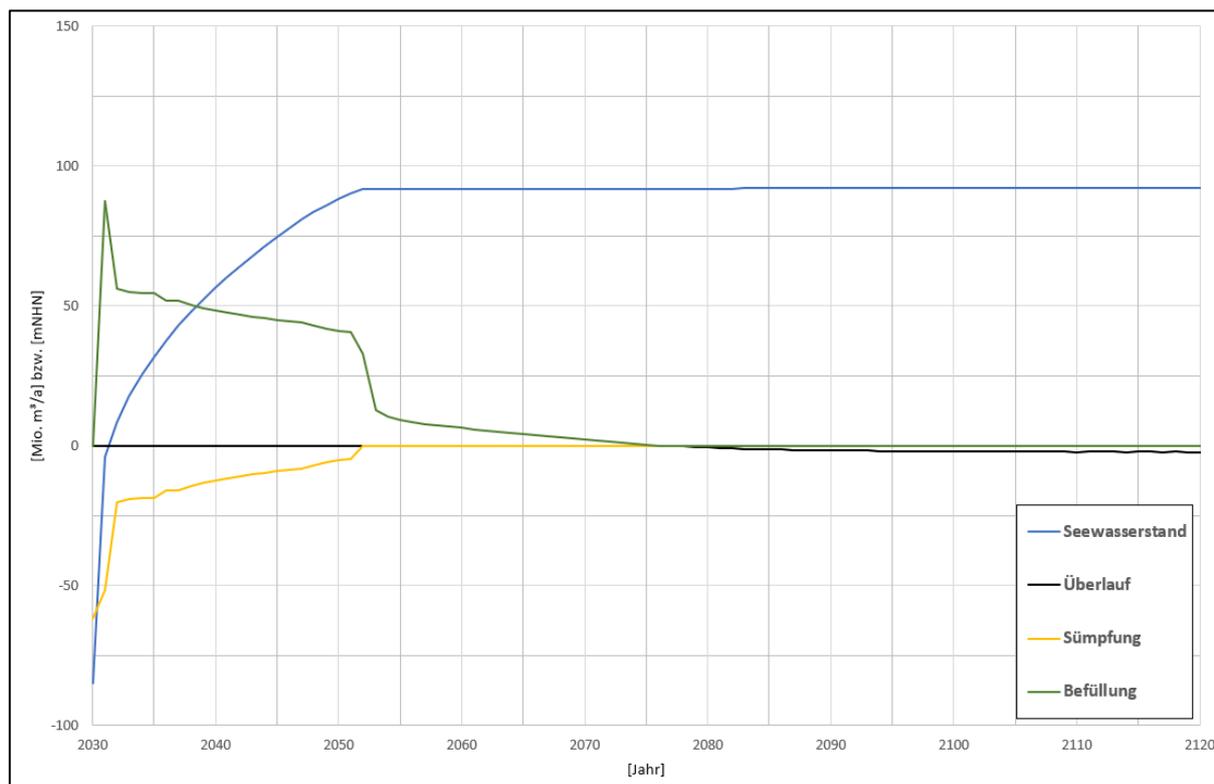


Abbildung 19 Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Inden

6. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt das Grundwassermodell, dessen Simulationsergebnisse in den folgenden Verfahren eingesetzt werden:

- Anpassung des Sumpfungswasserrechts Tagebau Inden
- Planfeststellungsverfahren Tagebausee Inden
- Braunkohlenplanänderungsverfahren Tagebau Hambach
- Planfeststellungsverfahren Tagebausee Hambach

Hierzu werden im Kapitel 2 die Aufgabenstellung und die Aktualisierung der Modelldaten beschrieben. Das verwendete Grundwassermodell für das Rheinische Braunkohlerevier deckt ein Modellgebiet ab, welches neben den in den genannten Verfahren verwendeten Untersuchungsräumen auch den „Nordraum“ mit der Venloer Scholle und einem Teil der Krefelder Scholle hinausreicht. Damit ist sichergestellt, dass die Schollenüberströme als wesentliche Bilanzglieder des Untersuchungsraums im Simulationszeitraum dynamisch berücksichtigt werden. Das Modellgebiet wird im Kapitel 3 hinsichtlich der geohydrologischen

und der hydrologischen Verhältnisse beschrieben. Weiterhin wird ausgeführt, welche Grundwasserentnahmen und Tagebauaktivitäten für den Grundwasserhaushalt mengenmäßig relevant sind und in der Modellbetrachtung Eingang finden. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf Änderungen gelegt, die sich gegenüber Vorgängermodellen im Untersuchungsraum ergeben haben. Erwähnt seien hier besonders die geänderten Tagebauführungen, reduzierte Abbaufelder und Seegeometrien und -bathymetrien und darauf basierend Grundwasserentnahmen während des Tagebaubetriebes und der Seebefüllung.

Der für die Simulationen verwendete Programmcode GWDREI weist einige Spezifika auf, die die bergbaulichen Besonderheiten bei der Berechnung der nichtstationären gesättigten Strömung ermöglichen. Im Kapitel 4 wird erläutert, wie die Berechnung im Allgemeinen erfolgt und wie die bergbauspezifischen Funktionen Anwendung finden.

Zur Erarbeitung belastbarer Simulationsergebnisse wurde der eigentlichen Prognosesimulation eine umfangreiche Kalibrierungsphase vorangestellt, in der die Simulationsergebnisse an Beobachtungen des Grundwasserstands und Bilanzgrößen gespiegelt werden. Dabei zeigt sich, wie im Kapitel 5.3 dargestellt, dass für die Kalibrierungsphase eine gute Anpassung der simulierten an die beobachteten Grundwasserstände erreicht wurde. Ebenso wurden plausible Strömungsbilder und Bilanzgrößen errechnet. Damit wurde die Belastbarkeit des Grundwassermodells für die Prognosesimulationen für den Untersuchungsraum nachgewiesen.

Die Parametrisierung und die Ergebnisse der Prognosesimulation werden im Kapitel 5.4 erläutert. Daraus ergeben sich die bergbaulich bedingten Auswirkungen auf die Grundwasserleiter durch Differenzen der Grundwasserstände für die Jahre 2030, 2052 und 2070 im Vergleich zu 2021. Für das obere Grundwasserstockwerk werden ergänzend Differenzen der Grundwasserstände 2200 zu 2021 diskutiert und dargestellt. Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Prognosesimulation sind noch ausstehende bergbaulich bedingtehebungsmengen und die Bilanzgrößen der Seefüllungen in Abhängigkeit von Seespiegel und Zeit.

Zur Beurteilung der Auswirkungen über das Tagebauende hinaus wurde ein Zustand betrachtet, der sich nach Grundwasserwiederanstieg einstellt und die Einflüsse der Tagebauseen, der Kippen, der bergbaubedingten Verlagerung von Wasserversorgungsentnahmen, der bergbaubedingten Bodenbewegungen und der Niedrighaltungsmaßnahmen in der Erftniederung berücksichtigt. Es ergibt sich ein Fließbild, welches in weiten Bereichen mit den Verhältnissen vor Beginn der großräumigen bergbaulichen Aktivitäten übereinstimmt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mit dem hier beschriebenen Grundwassermodell für das Rheinische Braunkohlerevier die für den sicheren Betrieb der Tagebaue zu erwartende Wasserhebung unter dem Gesichtspunkt einer schonenden Beanspruchung des

Wasserhaushaltes ermittelt wurde. Das vorliegende Modell beschreibt die komplexen hydrogeologischen Verhältnisse im Modellgebiet und somit auch in den Untersuchungsräumen der Tagebaue Inden und Hambach mit einer entsprechend hohen Genauigkeit, so dass es für die Betrachtung potentieller Auswirkungen der erforderlichen Entwässerung aber auch des Grundwasserwiederanstiegs sowie des Ablaufs der Seefüllungen ein verlässliches Instrument zur Entscheidungsfindung darstellt.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Geohydrologische Regionalprofile	11
Abbildung 2	Zuordnung der geologischen Grundwasserleiter & -stauer zu den Modellschichten ..	12
Abbildung 3	Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung	17
Abbildung 4	Grundwasserentnahmen Dritter und für die Tagebauentwässerung im Modellgebiet	21
Abbildung 5	Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Garzweiler und den zukünftigen Tagebausee. Die rote Betriebslinie zeigt den im Grundwassermodell umgesetzten, die schwarze den aktuellen Planungsstand.	23
Abbildung 6	Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Hambach und den zukünftigen Tagebausee	24
Abbildung 7	Übersicht über die Betriebsflächen des Tagebaus Inden und den zukünftigen Tagebausee	25
Abbildung 8	Grundwasserentnahmen im Modellgebiet für den Kalibrierungszeitraum	69
Abbildung 9	Wasserhebung im Untersuchungsraum Garzweiler im Kalibrierungszeitraum	70
Abbildung 10	Wasserhebung des Tagebaus Hambach im Kalibrierungszeitraum	71
Abbildung 11	Wasserhebung des Tagebaus Inden im Kalibrierungszeitraum	72
Abbildung 12	Förderung der öffentlichen und privaten Grundwasserentnehmer im Modellgebiet für den Kalibrierungszeitraum	73
Abbildung 13	Prognostizierte Sümpfungsmengen für den Tagebau Garzweiler	134
Abbildung 14	Prognostizierte Sümpfungsmengen für den Tagebau Hambach	135
Abbildung 15	Prognostizierte Sümpfungsmengen für den Tagebau Inden	136
Abbildung 16	Versickerungsmengen im Untersuchungsraum Garzweiler für den Prognosezeitraum über Versickerungsanlagen	139
Abbildung 17	Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Garzweiler	141
Abbildung 18	Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Hambach ..	142
Abbildung 19	Bilanzgrößen in Abhängigkeit vom Seewasserstand des Tagebausees Inden.....	143

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Stand der Geologie in allen geologischen Räumen	12
Tabelle 2	Zeitabhängigkeit der Daten im Kalibrierungszeitraum des Grundwassermodells	35
Tabelle 3	Gewässeraustauschmengen im Kalibrierungszeitraum	68
Tabelle 4	Gewässeraustauschmengen im Prognosezeitraum	138

9. Anlagenverzeichnis

<u>Anlage 1</u>	Übersichtsplan des Rheinischen Braunkohlenreviers
<u>Anlage 2</u>	Konstruierte Grundwassergleichen OSTW, 1970
<u>Anlage 3</u>	Konstruierte Grundwassergleichen OSTW, 2021
<u>Anlage 4</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 9B, 2021
<u>Anlage 5</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 8, 2021
<u>Anlage 6</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 7, 2021
<u>Anlage 7</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 6D, 2021
<u>Anlage 8</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 6B, 2021
<u>Anlage 9</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2021
<u>Anlage 10</u>	Konstruierte Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2021
<u>Anlage 11</u>	Verteilung der langjährigen Mittelwerte der Grundwasserneubildung
<u>Anlage 12</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 1. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 13</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 5. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 14</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 6. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 15</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 8. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 16</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 9. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 17</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 10. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 18</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 11. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 19</u>	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im 12. Modellgrundwasserleiter
<u>Anlage 20</u>	Kalibrierungsergebnis OSTW, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 21</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 9B, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 22</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 8, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 23</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 7, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 24</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 6D, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 25</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 6B, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 26</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 2 - 5, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 27</u>	Kalibrierungsergebnis Horizont 01 - 09, 2021 mit Vergleichsmessstellen
<u>Anlage 28</u>	Ganglinienbericht
<u>Anlage 29</u>	Streudiagramme Residuen
<u>Anlage 30</u>	Grundwasserabsenkungen OSTW, 2021-2030
<u>Anlage 31</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 9B, 2021-2030

<u>Anlage 32</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 8, 2021-2030
<u>Anlage 33</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 7, 2021-2030
<u>Anlage 34</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6D, 2021-2030
<u>Anlage 35</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6B, 2021-2030
<u>Anlage 36</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 2 - 5, 2021-2030
<u>Anlage 37</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 01 - 09, 2021-2030
<u>Anlage 38</u>	Grundwasserabsenkungen OSTW, 2021-2052
<u>Anlage 39</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 9B, 2021-2052
<u>Anlage 40</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 8, 2021-2052
<u>Anlage 41</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 7, 2021-2052
<u>Anlage 42</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6D, 2021-2052
<u>Anlage 43</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6B, 2021-2052
<u>Anlage 44</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 2 - 5, 2021-2052
<u>Anlage 45</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 01 - 09, 2021-2052
<u>Anlage 46</u>	Grundwasserabsenkungen OSTW, 2021-2070
<u>Anlage 47</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 9B, 2021-2070
<u>Anlage 48</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 8, 2021-2070
<u>Anlage 49</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 7, 2021-2070
<u>Anlage 50</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6D, 2021-2070
<u>Anlage 51</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 6B, 2021-2070
<u>Anlage 52</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 2 - 5, 2021-2070
<u>Anlage 53</u>	Grundwasserabsenkungen Horizont 01 - 09, 2021-2070
<u>Anlage 54</u>	Grundwasserabsenkungen OSTW, 2021-2200
<u>Anlage 55</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2030
<u>Anlage 56</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 9B, 2030
<u>Anlage 57</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 8, 2030
<u>Anlage 58</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 7, 2030
<u>Anlage 59</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6D, 2030
<u>Anlage 60</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6B, 2030
<u>Anlage 61</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2030
<u>Anlage 62</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2030
<u>Anlage 63</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2045

<u>Anlage 64</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 9B, 2045
<u>Anlage 65</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 8, 2045
<u>Anlage 66</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 7, 2045
<u>Anlage 67</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6D, 2045
<u>Anlage 68</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6B, 2045
<u>Anlage 69</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2045
<u>Anlage 70</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2045
<u>Anlage 71</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2052
<u>Anlage 72</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 9B, 2052
<u>Anlage 73</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 8, 2052
<u>Anlage 74</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 7, 2052
<u>Anlage 75</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6D, 2052
<u>Anlage 76</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6B, 2052
<u>Anlage 77</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2052
<u>Anlage 78</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2052
<u>Anlage 79</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2070
<u>Anlage 80</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 9B, 2070
<u>Anlage 81</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 8, 2070
<u>Anlage 82</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 7, 2070
<u>Anlage 83</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6D, 2070
<u>Anlage 84</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6B, 2070
<u>Anlage 85</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2070
<u>Anlage 86</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2070
<u>Anlage 87</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2070
<u>Anlage 88</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 9B, 2100
<u>Anlage 89</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 8, 2100
<u>Anlage 90</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 7, 2100
<u>Anlage 91</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6D, 2100
<u>Anlage 92</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 6B, 2100
<u>Anlage 93</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 2 - 5, 2100
<u>Anlage 94</u>	Prognose Grundwassergleichen Horizont 01 - 09, 2100
<u>Anlage 95</u>	Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2200

[Anlage 96](#) Prognose Grundwassergleichen OSTW, 2400

[Anlage 97](#) Bilanztabelle der inneren und äußeren Ränder

[Anlage 98](#) Übersichtsplan der Randüberströmmungen

10. Literaturverzeichnis

- Erftverband, Bezirksregierung Düsseldorf, Bezirksregierung Köln, Forschungszentrum Jülich GmbH, Geologischer Dienst NRW; LANUV NRW, RWE Power AG (2012): Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung im Rheinischen Braunkohlenrevier, Abschlussbericht der AG Grundwasserneubildung.
- Holzbecher, E. (1996): Modellierung dynamischer Prozesse in der Hydrologie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kinzelbach, W. (1992): Numerische Methoden zur Modellierung des Transports von Schadstoffen im Grundwasser. Schriftenreihe gwf Wasser – Abwasser, Band 21. Oldenbourg Verlag München Wien
- Kunkel, R., Wendland, F. (2002): The GROWA98 Model for Water Balance Analysis in Large River Basins – the River Elbe Case Study. J. Hydrol., 259, 152–162.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2022): Ermittlung von Gebieten mit potenziellen Geländeversäunungen im Rheinischen Braunkohlenrevier in der Nachbergbauphase - Projekt Flurabstandsprognose – (Entwurf des Abschlussberichts). Recklinghausen.
- Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (2016): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in NRW – Teil 1: Wasserversorgung, Artikel-Nr.: Q109 201651
- Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (2019): NRW (ge)zählt: Vorausberechnung der Bevölkerung in den kreisfreien Städten und Kreisen Nordrhein-Westfalens 2018 bis 2040/60, Artikel-Nr.: Z249 201954
- Luckner, L. und Schestakow, W. (1975): Migrationsprozesse im Boden- und Grundwasserbereich. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) (Hrsg.) (2017): Monitoring Garzweiler II – Jahresbericht 2016. Bearbeitung durch Entscheidungsgruppe Monitoring Garzweiler II und ahu AG. Düsseldorf / Köln.

RWE Power AG (2000): Bericht über die Auswirkungen der Grundwasserabsenkung durch die Entwässerungsmaßnahmen des Braunkohlebergbaus, Bericht 1: Revierbericht, Stand 2015, Wasserwirtschaftliche Planung und Genehmigungen.

RWE Power AG (2013): Grundwassermodell für das Rheinische Braunkohlenrevier, Bericht 5.5, Fortschreibung der Grundwassermodelle, Stand 2012, Wasserwirtschaftliche Planung und Genehmigungen.

RWE Power AG (2016): Bericht über die Auswirkungen der Grundwasserabsenkung durch die Entwässerungsmaßnahmen des Braunkohlebergbaus, Bericht 1: Revierbericht, Stand 2015, Wasserwirtschaftliche Planung und Genehmigungen.

RWE Power AG (2019): Antrag auf Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Fortsetzung der Entnahme und Ableitung von Grundwasser für die Entwässerung des Tagebaus Hambach im Zeitraum 2020 – 2030, Anlage G: Grundwassermodell, Stand 10/2015.

Schrey, H. P. (1993): Simulation des Bodenwasserhaushaltes auf der Grundlage der digitalen Bodenkarte 1:50.000 in NRW. In: Grundwasserneubildung aus Niederschlag, LfU-Schriften, Reihe Grundwasserüberwachungsprogramm, Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Abt. IV – Wasser, Karlsruhe.

Schroeder, M., Wyrwich, D. (1990): Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildung.- DGM, 34 (1/2): 12-16.