



RWE Power AG
Wasserwirtschaftliche
Planung und Genehmigung

**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: Oktober 2015

Köln, April 2019

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
ANLAGENVERZEICHNIS.....	5
1 EINLEITUNG	7
2 AUFGABENSTELLUNG UND AKTUALISIERUNG DER MODELLEDATEN.....	7
3 MODELLGEBIET.....	9
3.1 Definition	9
3.2 Geohydrologische Verhältnisse	9
3.2.1 Geologischer Aufbau	9
3.2.2 Tektonische Verhältnisse.....	14
3.2.3 Durchlässigkeits- und Speicherparameter	17
3.2.4 Grundwasserneubildung.....	17
3.3 Hydrologische Verhältnisse	19
3.3.1 Rhein.....	19
3.3.2 Gewässersystem Erft.....	19
3.3.3 Gewässersystem Rur	20
3.3.4 Gewässersystem Inde	20
3.3.5 Gewässersystem Wurm.....	21
3.3.6 Gewässersystem Jüchener Bach und Nordkanal.....	21
3.3.7 Gewässersystem Niers.....	21
3.3.8 Gewässersystem Nette.....	21
3.3.9 Gewässersystem Schwalm.....	21
3.3.10 Stillgewässer	22
3.4 Grundwasserentnahmen	22
3.5 Braunkohlenbergbau	24
3.5.1 Tagebau Hambach	24
3.5.2 Tagebau Garzweiler	24
3.5.3 Tagebau Inden	24
3.5.4 Alttagebaue	25

4	RECHENPROGRAMM	25
4.1	Diskretisierung in Raum und Zeit	25
4.2	Bergbaubezogene Besonderheiten der verwendeten Software	26
4.3	Verfahren	26
5	DURCHFÜHRUNG DER BERECHNUNGEN	32
5.1	Definition der Modellierungsphasen	33
5.2	Kalibrierung	34
5.2.1	Wesentliche Parametervariationen	36
5.2.2	Grundwasserstände	37
5.2.3	Überströme über die Schollenränder	40
5.2.4	Gewässeraustauschmengen	44
5.2.5	Wasserhebung Tagebau Hambach	44
5.2.6	Füllverhalten vorhandener Seen in verkippten Bereichen	45
5.2.7	Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer	46
5.3	Prognose	47
5.3.1	Grundwasserdifferenzen	48
5.3.2	Grundwasserstände im stationären Endzustand	50
5.3.1	Bilanzbetrachtungen	51
6	ZUSAMMENFASSUNG	55
7	LITERATURVERZEICHNIS	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zuordnung der geologischen Grundwasserleiter / -stauer zu den Modellschichten.....	14
Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung	19
Abbildung 3: Grundwasserentnahmen im Modellgebiet.....	23
Abbildung 4: Modellwasserhebung Tagebau Hambach im Kalibrierungszeitraum, ohne Außengalerien	45
Abbildung 5: Revierweite Förderung der öffentlichen und privaten Grundwasserentnehmer, einschließlich der Alttagebaue	46
Abbildung 6: Wasserhebung Tagebau Hambach im Prognosezeitraum (ohne Außengalerien).....	54

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtsplan des Rheinischen Braunkohlenreviers
Anlage 2	Verteilung der langjährigen Mittelwerte der Grundwasserneubildung
Anlage 3	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 1. Modellgrundwasserleiter
Anlage 4	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 6. Modellgrundwasserleiter
Anlage 5	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 9. Modellgrundwasserleiter
Anlage 6	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 10. Modellgrundwasserleiter
Anlage 7	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 11. Modellgrundwasserleiter
Anlage 8	Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte, 12. Modellgrundwasserleiter
Anlage 9	Grundwassergleichen OSTW 10/2015 mit Vergleichsmessstellen
Anlage 10	Grundwassergleichen Horizont 8 10/2015 mit Vergleichsmessstellen
Anlage 11	Grundwassergleichen Horizont 6B 10/2015 mit Vergleichsmessstellen
Anlage 11	Grundwassergleichen Horizont 2-5 10/2015 mit Vergleichsmessstellen
Anlage 12	Grundwassergleichen Horizont 09 10/2015 mit Vergleichsmessstellen
Anlage 14	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten an Grundwassermessstellen, OSTW
Anlage 15	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten an Grundwassermessstellen, 6. Modellgrundwasserleiter
Anlage 16	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten an Grundwassermessstellen, 10. Modellgrundwasserleiter
Anlage 17	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten an Grundwassermessstellen, 11. Modellgrundwasserleiter
Anlage 18	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten an Grundwassermessstellen, 12. Modellgrundwasserleiter
Anlage 19	Bilanzen – Innere und äußere Ränder
Karte G1c	Prognose der Grundwasserdifferenz zwischen 10/2030 und 10/2015 für das obere Grundwasserstockwerk
Karte G1d	Prognose der Grundwassergleichen für den stationären Endzustand für das obere Grundwasserstockwerk
Karte G3c	Prognose der Grundwasserdifferenz zwischen 10/2030 und 10/2015 für den Grundwasserleiter 8

[Karte G6c](#) Prognose der Grundwasserdifferenz zwischen 10/2030 und 10/2015 für den Grundwasserleiter 6B

[Karte G7c](#) Prognose der Grundwasserdifferenz zwischen 10/2030 und 10/2015 für den Grundwasserleiter 2-5

[Karte G8c](#) Prognose der Grundwasserdifferenz zwischen 10/2030 und 10/2015 für den Grundwasserleiter 09

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 im 6-jährigen Turnus vorzulegenden Modellberichtes nachvollziehbar dokumentiert.

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 Kölner Scholle mit ihrem im Westen gelegenen Villebereich. 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 Gesamtraum 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 den Antrag auf Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Fortsetzung der Entnahme und Ableitung von Grundwasser für die Entwässerung des Tagebaus Hambach wurde ein aktualisiertes Modell, namentlich Modell 2017 verwendet, welches speziell zur Auswertung des Untersuchungsraums der Erft-Scholle, Ville und linksrheinischen Kölner Scholle umgesetzt wurde. In dem für das vorliegende Genehmigungsverfahren erarbeiteten Modell wurden die geplanten Hebungsmengen aktualisiert und deren bergbaubedingte Auswirkungen berechnet. Dazu wurden weiterhin die erforderlichen Randbedingungen (z.B. Brunnen, Neubildung usw.) modellgebietsweit aktualisiert und die jüngsten geologischen Kartierungen im Bereich der Erft-Scholle und Ville eingearbeitet. Die aufgrund der umfangreichen Aktualisierungen notwendige Neukalibrierung und die Prognosesimulationen erfolgten mit Fokus auf den Untersuchungsraum.

2 Aufgabenstellung und Aktualisierung der Modelldaten

Komplexe geohydraulische Strömungsvorgänge können nur mit Grundwassermodellen untersucht werden, welche die natürlichen Gegebenheiten des heterogenen 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.

Bereits in den achtziger 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.

Entsprechend wurden bis vor rd. zehn Jahren 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 erstmals 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.

Mit dem bei der RWE Power AG betriebenen und ständig weiterentwickelten Grundwassermodell werden die zahlreichen wasserwirtschaftlichen Aufgaben begleitet, die sich aus der notwendigen Entwässerung der Tagebaue ergeben. Auch für die wasserrechtliche Erlaubnis für die Sümpfung des Tagebaus Hambach vom 30.12.1999 (Az.: h2-7-4-5), die bis zum 31.12.2020 befristet ist, lieferte das Grundwassermodell die erforderlichen Aussagen zu Wasserspiegelveränderungen und Wasserbilanzmengen.

Zur Aktualisierung und Fortschreibung der Modelldaten wurden alle modellrelevanten Daten in das gesamte Modellgebiet eingearbeitet, die bis zum Jahr 2015 erfasst wurden. Dies betraf die Abgrenzung und Verbreitung der Grundwasserleiter und Grundwasserstauer, die Geländehöhen, die Tagebauführung, die Gewässerdaten, die Höhe und die räumliche Verteilung der mittleren Grundwasserneubildung, Hebungsmengen aller Tagebaue sowie Grundwasserentnehmer-daten Dritter und die Angaben zu Grundwasserinfiltrationen und Gewässereinleitungen.

Ein Schwerpunkt der Bearbeitung war die Einarbeitung der Erft-Schollengeologie und der Villedgeologie, welche vom Geologischen Dienst NRW aktualisiert, von den Fachabteilungen der RWE-Power AG an die vorhandenen Flächen angepasst und nachfolgend in das Reviermodell implementiert wurden.

Weiterhin wurde die bisherige im Reviermodell vorhandene langjährige Neubildungsverteilung durch die mit dem Erftverband, dem LANUV, dem GD NRW und dem FZ Jülich abgestimmte Neubildungsverteilung ersetzt. Die aktualisierte Neubildungsverteilung beruht auf den Arbeiten der AG Grundwasserneubildung (Erftverband et al., 2012). Aus den untersuchten Ansätzen wurden die Ergebnisse als

flächendifferenzierte Rasterdaten nach Berechnungsansätzen von SCHRÖDER & WYRWICH (Schroeder, M., Wyrwich, D., 1990) verwendet.

Die Abgrabungs- und Verkippungsstände aller Tagebaue wurden auf Basis bestehender Bestandsaufnahmen und der heute innerhalb der Genehmigungen geplanten Stände aktualisiert. Die Abgrabungen und Verkippungen in der Vile, die weit vor dem Beginn der Simulation (1970) ihren Anfang nahmen und noch in die Kalibrierungszeit (bis 2015) hineinreichen, wurden entsprechend den vorliegenden Kenntnissen hierzu angesetzt.

Sämtliche im Modellgebiet befindlichen und bekannten Grundwassernutzer der Entnehmerdatenbank des Erftverbandes wurden im Modell berücksichtigt.

Für die Ermittlung der notwendigenhebungsmengen des Tagebau Hambachs wurden die maßgeblichen Wasserspiegel zur Gewährleistung der Standsicherheit als Zielgröße verwendet.

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 Ortslagen 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 m NHN an. In westlicher Richtung geht sie bei etwa 100 m NHN in das Niederrheinische Tiefland über ([Anlage 1](#)).

Das Modellgebiet reicht damit wesentlich über den Untersuchungsraum, der die Erft-Scholle und die linksrheinische Kölner Scholle einschließlich der Vile beinhaltet, hinaus. Dadurch ist sichergestellt, dass die für den Untersuchungsraum relevanten Schollenüberströme dynamisch berücksichtigt werden.

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

Wechselagerung 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 Kölner, Erft-, Rur- und Venloer Scholle gegliedert. Dabei werden die Kölner und die Erft-Scholle von der Ville unterbrochen. Die weiträumig verbreiteten, wasserstauenden Tonhorizonte und Braunkohleflöze trennen das Grundwasser in mehrere übereinander angeordnete Horizonte.

In der **Venloer Scholle** folgen im Quartär von oben nach unten die Schichten 19 bis 14 (1. Modellgrundwasserleiter), nach unten durch den Tegelenton 13 (1. Modellstauer) vom Horizont 12 (2. Modellgrundwasserleiter) getrennt. Die Reuver-Serie leitet die tertiäre Abfolge mit den Reuvertönen A, C (2. Modellstauer) und E (3. Modellstauer) sowie den sandigen Einlagerungen 11B und 11D (3. Modellgrundwasserleiter) ein. Die Rottonserie 9o (4. Modellstauer) und 9u (5. Modellstauer) unterlagert das sandige Zwischenmittel Horizont 10 (4. Modellgrundwasserleiter). Als weitere sandige Zwischenlage wurde der Horizont 9B zwischen dem 4. und 5. Modellstauer formal im Grundwassermodell als 5. Modellgrundwasserleiter berücksichtigt. Unter den Rottonen folgt die fluviatile Hauptkiesserie Horizont 8 (6. Modellgrundwasserleiter). Sie wird vom Neurather Sand 6D durch das Flöz Garzweiler 6E bzw. dessen schluffigem Unterbegleiter 6D3 (6. Modellstauer) getrennt. Der Neurather Sand wird durch die Schluffhorizonte 6D2 (7. Modellstauer) und 6D1 (8. Modellstauer) in 3 Grundwasserleiter gegliedert (7., 8. und 9. Modellgrundwasserleiter) und bildet damit das Auflager über dem Flöz Frimmersdorf 6C (9. Modellstauer). Der Frimmersdorfer Sand 6B (10. Modellgrundwasserleiter) ist damit eingebettet zwischen dem Flöz 6C und dem unterlagernden Flöz Morken 6A (10. Modellstauer). Die Liegendabfolge fasst die Schichten 04 bis 5 (11. Modellgrundwasserleiter) oberhalb des Ratinger Tones 03 (11. Modellstauer) zusammen und schließt die Abfolge unterhalb des 11. Modellstauers mit der marinen Abfolge der Schichten 01 bis 02 (12. Modellgrundwasserleiter) ab.

Von allen Teilschollen ist die **Erft-Scholle** während ihrer Entstehung eine der am tiefsten abgesunkenen und weist dementsprechend mit ca. 1200 m auch die größten Sedimentmächtigkeiten auf. Die Basis wird von Sedimentgesteinen des Devons und des Karbons gebildet. Das Erdmittelalter ist in den Ablagerungen der Erft-Scholle nicht vertreten. Die tertiären Auffüllungen bestehen aus marinen Sanden und Tonen sowie fluviatilen Sanden und Kiesen. Darin sind zum Teil sehr mächtige Braunkohlenflöze eingelagert. Das Quartär besteht aus sandig-kiesigen Terrassenablagerungen sowie eiszeitlichen Lösslehmauflagerungen. Von oben nach unten folgen hier auf die eiszeitlichen Lösslehmauflagerungen zunächst die holozänen Talterrassen 19A unterlagert von den älteren Flussterrassen 16. Der Komplex wird zum 1. Modellgrundwasserleiter

zusammengefasst. Die ältere quartäre Abfolge wird durch die Tegelenschichten 13 (1. Modellstauer) eingeleitet. Es schließen sich nach unten die Sande der Prätegelenschichten 12 (2. Modellgrundwasserleiter) an. Die tertiäre Abfolge der Erft-Scholle umfasst von oben nach unten zunächst die Tone der Reuver-Serie 11E (2. Modellstauer) und 11A (3. Modellstauer). Die Zwischenmittel bilden in der Erft-Scholle den vertonten 3. Modellgrundwasserleiter. Die Sande 10 unterlagern die Reuver-Serie und bilden den 4. Modellgrundwasserleiter. Die Rottonserie 9C (4. Modellstauer) und 9A (5. Modellstauer) wird vom sandigen Zwischenmittel 9B (5. Modellgrundwasserleiter) unterbrochen. Nach unten schließen sich die mächtigen fluviatilen Sand- und Kiesablagerungen der Hauptkies-Serie 8 (6. Modellgrundwasserleiter) an. Die unterlagernden frühmiozänen Ablagerungen der Inden-Schichten wurden in der Erft-Scholle als sandig-tonige Wechselfolge abgelagert. Die tonigen Lagen 7F und 7B bilden den 6. und 7. Modellstauer. Die sandigen Zwischenmittel 7E und 7A wurden als 7. und 8. Modellgrundwasserleiter im Modell berücksichtigt. An der Basis folgt Flöz Garzweiler 6E (8. Modellstauer) und überlagert damit den Grundwasserleiter 6D (9. Modellgrundwasserleiter). Das Flöz Frimmersdorf 6C an seiner Basis wurde als 9. Modellstauer berücksichtigt. Ihm folgt nach unten der Frimmersdorfer Sand 6B (10. Modellgrundwasserleiter). Das Flöz Morken 6A (10. Modellstauer) bildet die Basis der Hangendgrundwasserleiter. Die Liegendschichten fassen von oben nach unten zunächst die Horizonte 2-5 zum 11. Modellgrundwasserleiter zusammen. Der Ton 1 (11. Modellstauer) trennt sie von der marinen Abfolge 01-09 (12. Modellgrundwasserleiter).

In der **Kölner Scholle** überlagern Lösslehmauflagerungen der Mittel- und Niederterrasse die pleistozänen Hauptterrassenschotter des Rheins (1. Modellgrundwasserleiter). Zum Erhalt der 12 Grundwasserleitermodellstruktur wurden weitere 5 Modellgrundwasserleiter ohne stratigraphische Zuordnung in das Modell eingefügt. Sie wurden miteinander und mit dem 1. Modellgrundwasserleiter gekoppelt, so dass die ersten 6 Grundwasserleiter ein mächtiges oberes Grundwasserstockwerk bilden, welches die Hauptflözgruppe diskordant überlagert. Die Hauptflözgruppe setzt sich im Modellgebiet aus den Flözen Morken 6A, Frimmersdorf 6C und Garzweiler 6E zusammen. Lediglich Flöz Morken ist in einigen Bereichen der Kölner Scholle unverritz geblieben und bildet dort den 1. Modellstauer. Unterlagert wird die Hauptflözgruppe vom Sand 5 (7. Modellgrundwasserleiter). Der Ton 5 (7. Modellstauer) trennt den Sand 5 vom Sand 4 (8. Modellgrundwasserleiter). Diese Schicht besteht aus untermiozänen, marinen Sedimenten und ist in der Regel feinkörnig ausgebildet. Typisch sind vereinzelte grobkörnige Einschaltungen sowie wechselnde Schluffanteile. Er tritt als eigenständiges Schichtpaket lediglich in der Ville auf, ist dort allerdings nur gering mächtig ausgebildet. Der Ton 3 (8. Modellstauer) trennt den Sand 4 vom Sand 2 (9. Modellgrundwasserleiter), welcher durch das mächtige Tonpaket 1 (9. Modellstauer) unterlagert wird. Ihm folgen zur Basis der Sand 09 (10. Modellgrundwasserleiter), der Ton 08

(10. Modellstauer), der Sand 07 (11. Modellgrundwasserleiter), der Ton 06 (11. Modellstauer) und schließlich als 12. Modellgrundwasserleiter das Schichtpaket der Sande 02 bis 05. Das sukzessive Ausgehen der Tone 5, 3 und 1 nach Osten und Norden prägen das Strömungsbild im oberen Stockwerk der Kölner Scholle. Durch die Versatzbeträge zu den Basisflächen des oberen Stockwerks der Ville ergibt sich eine weitgehend entkoppelte Situation.

Abweichend von den großräumig gleichmäßig einfallenden Schollen, stellt die **Ville** mit ihrer lokal begrenzten Verbreitung und großen Verwurfshöhen eine Besonderheit dar. Sie bildet einen im Westen der 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. Auf Grund der besonderen tektonischen Struktur im Bereich der Ville ist die Grundwassersituation im oberen Grundwasserleiter der Ville – östlich des Louisensprungs – weitgehend entkoppelt von der Situation in der Erft- bzw. Kölner Scholle. Durch die Hochlage des Hauptflözes und des Tones 5 wird das obere Grundwasserstockwerk ausschließlich durch die Regeneration aus dem Niederschlag gebildet. Ein Zustrom aus den benachbarten Schollen in den oberen Grundwasserleiter findet nicht statt. Es handelt sich somit um ein lokales Grundwassersystem mit Hochplateau-Charakter. In weiten Teilen der Ville wird das obere Grundwasserstockwerk nicht mehr durch gewachsenes Gebirge sondern durch verkippten Abraum gebildet. Dieser Kippenkörper stellt keine homogene Einheit dar, sondern ist viel mehr durch Heterogenitäten geprägt, die sich aus den nicht einheitlichen Materialien des Abraums ergeben haben und in ihren Einzelheiten nicht bekannt sind. Auch die darunterliegenden Schichten weisen sehr heterogene, gestaffelte Strukturen auf, die sich aufgrund der massiven tektonischen Beanspruchung und den damit verbundenen unterschiedlich stark ausgeprägten Sedimentations- und Erosionsprozessen ergeben haben.

In der **Rur-Scholle** sind im Lockergestein sowohl über als auch in und unter den abbauwürdigen Kohleflözen verschiedene, voneinander getrennte Grundwasserleiter von Bedeutung. Im Quartär folgen von oben nach unten betrachtet die kiesig und sandig aufgebauten Grundwasserleiter 18, 16, 14 (1. Modellgrundwasserleiter) und 12 (2. Modellgrundwasserleiter) aufeinander, die je nach Ausbildung der zu den Tegelen-Schichten 13 (1. Modellstauer) gehörenden Tone mehr oder weniger stark miteinander kommunizieren und einen freien bzw. halbgespannten Grundwasserspiegel besitzen. Das Tertiär beginnt von oben mit den pliozänen, überwiegend sandig und stellenweise kiesig aufgebauten Grundwasserleitern 10 (4. Modellgrundwasserleiter) und 9B (5. Modellgrundwasserleiter), die durch die Tone der Reuver-Serie 11E (2. Modellstauer

sowie 3. Modellgrundwasserleiter vertont) und 11A (3. Modellstauer) sowie der Rotton-Serie 9C (4. Modellstauer) und 9A (5. Modellstauer) voneinander und vom nächst tieferen bzw. höheren Leiter getrennt sind. Die Grundwasserspiegel sind wie in allen tieferen Grundwasserleitern gespannt, sofern sich nicht schon die bisherige Grundwasserabsenkung ausgewirkt hat. Der aus sandig-kiesigen Schichten aufgebaute Hauptgrundwasserleiter 8 (6. Modellgrundwasserleiter) bildet den Übergang zum Miozän. Er erreicht eine Mächtigkeit von bis zu 100 m und bildet das für die Nutzung wichtigste tiefere Grundwasserstockwerk. Nach unten folgt die Oberflözserie, die in der westlichen zentralen Rur-Scholle ein kompaktes Flöz bildet. Dieses spaltet sich nach Osten zum Rurrand hin auf in die Flöze Schophoven 7F (6. Modellstauer) und Friesheim 7B (7. Modellstauer). Nach Norden werden diese Flöze immer geringmächtiger und sind in der nördlichen Rur-Scholle nur noch lokal verbreitet. Die sandigen Zwischenmittel 7C und 7E haben nur geringe Mächtigkeit und besitzen daher keine übergeordnete wasserwirtschaftliche Bedeutung. Lokal ist jedoch der Horizont 7E für die Tagebautwässerung von Bedeutung. Zwischen Oberflöz und Hauptflözserie befindet sich der Grundwasserleiter 7A. (8. Modellgrundwasserleiter). Dieser vertont zum Südwestrand der Rur-Scholle im Gebiet der abgebauten Tagebaue Zukunft-West, Inden, Lucherberg, Konzendorf und Düren. Nach Westen steigt seine Mächtigkeit auf 20 bis 30 m an. Die Hauptflözserie ist unterteilt in die Flöze Garzweiler 6E (8. Modellstauer), Frimmersdorf 6C (9. Modellstauer) und Morken 6A (10. Modellstauer) mit den sandigen Zwischenmitteln Neurather Sand 6D (9. Modellgrundwasserleiter) und Frimmersdorfer Sand 6B (10. Modellgrundwasserleiter). Entlang einer Linie zwischen Eschweiler in der Rur-Scholle und Bergheim in der Erft-Scholle spaltet sich das Hauptflöz in die Teilflöze Garzweiler und Frimmersdorf auf, so dass hier die Verbreitung des Grundwasserleiters 6D beginnt. Auf der Linie Baesweiler – Jülich geht das Flöz Garzweiler aus, so dass die Grundwasserleiter 6D und 7A ein gemeinsames Grundwasserstockwerk bilden. Der Grundwasserleiter 6B, das sandige Zwischenmittel zwischen Flöz Morken und Flöz Frimmersdorf, ist fast in der gesamten Rur-Scholle verbreitet. Lediglich im Bereich des Tagebaus Zukunft-West ist er vertont. Die oligozänen Liegendschichten 2-5 (11. Modellgrundwasserleiter) unter Flöz Morken wurden mit Mächtigkeiten von bis zu 470 m erbohrt. In der nördlichen Rur-Scholle bestehen sie aus Schluffen und Sanden. Südlich der Linie Baesweiler – Barmen ist der Ton 1 (11. Modellstauer), der teilweise auch als Kohleflöz ausgebildet ist, verbreitet. Durch diesen differenziert sich der Grundwasserstand in den Liegendschichten, so dass die Horizonte 01-09 als tieferer Liegendgrundwasserleiter zusammengefasst werden können (12. Modellgrundwasserleiter). Vom Tagebau Inden nach Süden schalten sich in die Liegendschichten sowohl oberhalb als auch unterhalb des Tones 1 weitere geringmächtige Ton- und Kohlelagen ein. Diese haben aber keine wesentliche hydraulische Wirkung, so dass sie zu keiner nennenswerten Differenzierung des

Grundwasserstandes beitragen. Das hydrologische System der tertiären Lockersedimente wird nach unten durch das Grundgebirge begrenzt.

Im Rahmen der Modellpflege fand im Vorfeld der hier beschriebenden Simulationen eine komplette Aktualisierung der Geologie der Erft-Scholle und dem von Bedburg im Norden und Kierdorf im Süden angrenzenden Teil der Ville statt, wobei der Louisensprung als östliche Begrenzung der Überarbeitung diente. In dem genannten Bereich wurden die hydrogeologischen Modellvorstellungen anhand der aktuellsten Bohrungen durch den Geologischen Dienst und der Fachabteilung des Bergbautreibenden überarbeitet und in das Grundwassermodell überführt.

Die geohydrologischen Regionalprofile sind im Erläuterungsbericht dargestellt. Die jeweilige Zuordnung der geologischen Grundwasserleiter bzw. Grundwasserstauer zu den insgesamt zwölf Modellgrundwasserleitern beschreibt die Abbildung 1.

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

Abbildung 1: 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. 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 Übergang 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 Verwurfsystem die Bezeichnung Kasterer Sprung. Diese letztgenannten Sprünge streichen von West nach 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. Der Rövenicher Sprung grenzt die Erft-Scholle im Südwesten gegen die Rur-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 Südwest nach Nordost 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 innerhalb 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 dieses Sprungsystem vor allem in den Horizonten 6B und 6D hydraulisch wirksam. Die Elsdorfer und Etzweiler Störungen können als Fortsetzungen des Steinstraß-Sprungsystems im zentralen Teil des Tagebaus Hambach gedeutet werden. Abweichend davon weisen sie aber ein West - Ost Streichen auf. Ihre hydraulische Wirksamkeit in den grundwasserführenden Horizonten 6B und 7 wird entwässerungstechnisch berücksichtigt. Im Bereich Niederzier besteht über die Auffächerung des Rurrand-Sprungsystems eine Verbindung von den Grundwasserleitern der Erft-Scholle zu den Grundwasserleitern der Rur-Scholle. Durch die Auffächerung werden die über den Rurrand hier lokal in die Erft-Scholle einströmenden Grundwässer parallel in Richtung des südöstlichen Tagebaurandes geleitet. 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.

Im Osten bildet die Abfolge von Wiedenfelder Sprung im Nordosten, Horremer Sprung, Erftsprung und Swistsprung im Südosten die Begrenzung zur **Kölner Scholle** bzw. deren Teiglied der Ville Hochscholle. Die Geologie der Kölner Scholle selbst wird weniger durch die tektonischen Strukturen als durch das sukzessive Ausgehen der Tone 5, 3 und 1 nach Osten und Norden geprägt. Die nördliche Abgrenzung zur Venloer Scholle ergibt sich durch das Einsetzen der Verbreitung der Hauptflözgruppe. Im Osten grenzt die Kölner Scholle an an den Rand des Rheinischen Schiefergebirges, wobei die wasserwirtschaftlich relevanten Horizonte der südwestlichen Kölner Scholle südlich von Sechtem weitgehend vertont sind. Der rechtsrheinische Teil der Kölner Scholle wird im hier beschriebenen Modell aufgrund der wasserwirtschaftlichen Dominanz des Rheins nicht abgebildet.

Im Gegensatz zum zentralen Bereich der Kölner Scholle wird die **Ville** wesentlich durch die tektonischen Strukturen geprägt. Das Villeplateau entstand durch erdzeitgeschichtliche Hebungen, welche die Ville noch heute mit bis zu 165 m NHN über die Erft-Scholle und das Rheintal deutlich um teilweise über 100 m heraushebt. Der Ostrand der Ville bildet als heute noch gut erkennbarer tektonisch vorgebildeter Erosionsrand den Anschluß an die tektonisch nur wenig untergliederten Lockergesteinsschichten des westlichen Rheintals bzw. der zentralen Kölner Scholle. Auf Grund der besonderen tektonischen Struktur im Bereich der Ville ist die Grundwassersituation im oberen Grundwasserleiter der Ville – östlich des Louisensprungs – weitgehend entkoppelt von der Situation in der Erft- bzw. Kölner Scholle. Durch die Hochlage des Hauptflözes und des Tones 5 wird das obere Grundwasserstockwerk ausschließlich durch die Regeneration aus dem Niederschlag gebildet. Ein Zustrom aus den benachbarten Schollen in den oberen Grundwasserleiter findet nicht statt. Es handelt sich somit um ein lokales Grundwassersystem mit Hochplateau-Charakter. Weiterhin bilden die zahlreichen Staffelsprungsysteme der Ville mit ihren großen Verwurfshöhen und den darin enthaltenen hochgehobenen Kohle- und Tonvorkommen eine hydraulische Barriere zwischen der Erft-Scholle und der zentralen Kölner Scholle, so dass nur in den tiefen Leitern vereinzelte Verbindungen beobachtet werden können.

Der Übergang von der Erft-Scholle zur **Rur-Scholle** wird in weiten Teilen 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 von 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 relativ 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 Leckage 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 Horizonte im Rheinischen Braunkohlenrevier bekannt. Innerhalb dieses Wertespektrums wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte im Zuge der Modellkalibrierung variiert. Das nutzbare Porenvolumen errechnet sich dynamisch aus den verwendeten Durchlässigkeitsbeiwerten.

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 mit 0,25 bis 0,5 l/(s*km²) nur geringe durchschnittliche absolute Abweichungen.

Im vorliegenden Modell für den Erlaubnis Antrag wurden die Berechnungsergebnisse nach Schröder und Wyrwich (1990) übernommen. Die ermittelten Werte ([Anlage 2](#)) liegen zum überwiegenden Teil zwischen 2 und 9 l/(s*km²). Kleinräumig kommt es zu Über- und Unterschreitungen dieser Werte auf minimal -4 l/(s*km²) und maximal 14 l/(s*km²). Der Durchschnittswert liegt aufgrund des Einflusses durch die vergleichsweise trockene Erft-Scholle bei etwa 5,9 l/(s*km²). Damit liegt im Reviermodell die Gesamtsumme der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung bei etwa 751 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. Daher ergeben sich vorübergehend erhöhte Neubildungsraten mit Werten von bis zu 20 l/(s*km²). 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 Nutzungsänderungen 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 2015 lag im Tätigkeitsbereich des Erftverbandes bei einer Höhe von 643 mm, was einem normalen mittleren Niederschlag entspricht. Das Sommer- und ebenfalls das für die Grundwasserneubildung entscheidende Winterhalbjahr sind im langjährigen Mittel als normal einzustufen. Die Grundwasserneubildungsrate lag 2015 bei 105 % des vieljährigen Mittels (Erftverband, 2015). Abbildung 2 zeigt die Höhe der Schwankungen der Grundwasserneubildung innerhalb des Kalibrierungszeitraumes als prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittel. Die Grundwasserneubildung wirkt sich je nach hydrologischen und hydrogeologischen Randbedingungen unterschiedlich auf den Grundwasserstand aus. In Wiederergänzungsbereichen mit einem flurfernen Grundwasserspiegel reagiert der

Grundwasserstand verzögert und ausgeglichen auf Niederschlagsereignisse bzw. die Grundwasserneubildung.

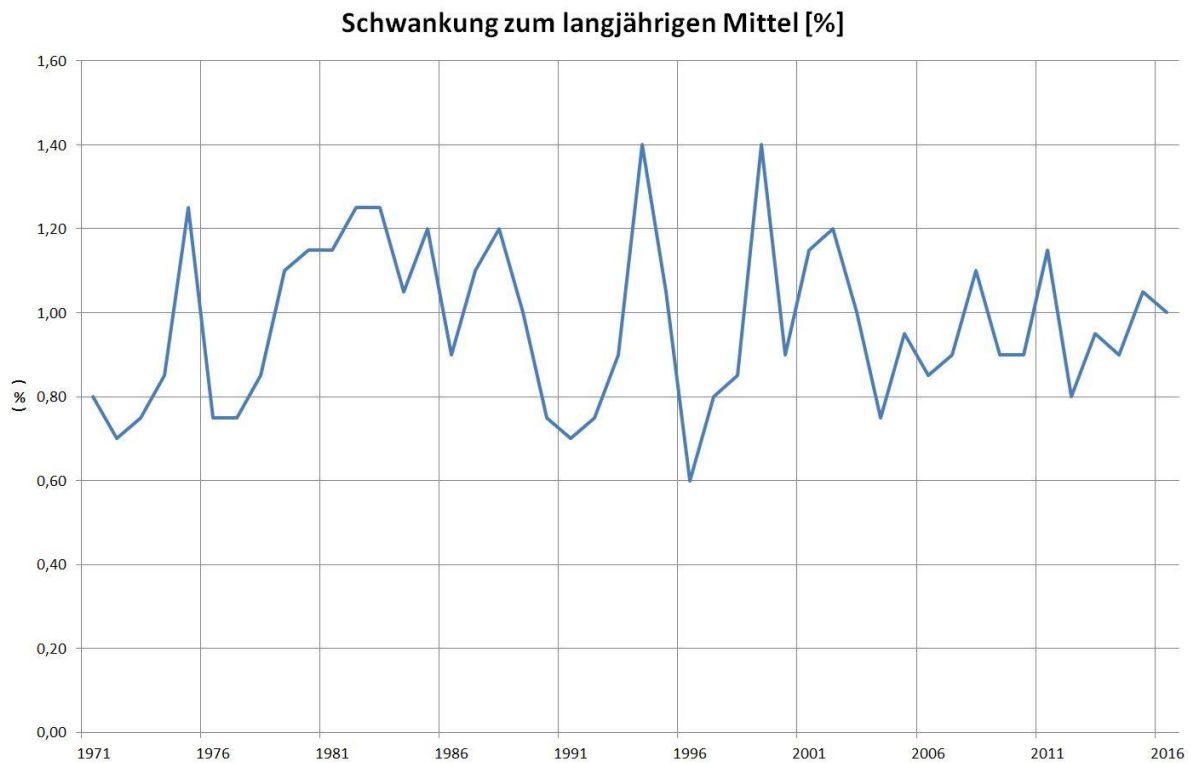


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Grundwasserneubildung

3.3 Hydrologische Verhältnisse

3.3.1 Rhein

Die Grundwasserverhältnisse im mächtigen Oberen Grundwasserstockwerk der 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 wieder.

3.3.2 Gewässersystem Erft

Aufgrund der Vielzahl von Nebenarmen und dem ausgeprägtem Einfluss wird im Untersuchungsraum 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-Holzmülheim. 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.

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 Einzugsgebiet hat eine Größe von 359 km². Das Abflussregime ist geprägt durch eine stark schwankende Wasserführung mit zum Teil hohen Abflussspitzen. An der Mündung beträgt die Mittelwasserführung (MQ) etwa 4 m³/s. 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.

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 m NHN. 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. Auf der gesamten Länge der Wurm beträgt der Höhenunterschied etwa 120 m, was einem mittleren Gefälle von 2,3 ‰ entspricht. Die Wassermenge in Aachen oberhalb der Einmündung des Haarbaches beträgt bei Mittelwasserführung etwa 0,3 m³/s. An der Mündung kommen dann fast 3,5 bis 4 m³/s zum Abfluss. Die Größe des Einzugsgebietes beträgt etwa 354 km².

3.3.6 Gewässersystem 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, Reydt 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.

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 Modellgebiet 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

Auf der **Venloer Scholle** fand die Kiesgewinnung meist in den Flussauen statt. Die sich daraus ergebenden Seestrukturen wurden modelltechnisch berücksichtigt. Zu erwähnen sind in diesem Kontext an der Schwalm die Auskiesungen westlich von Brüggem und der Hariksee, an der Nette die Seenkette vom Breyeler See bis zum Gladbacher Bruch und am Jüchener Bach die der Pferdsbroich und das Angelgewässer Büttgerwald.

In der **Erft-Scholle** sind keine wasserwirtschaftlich bedeutenden Seen vorhanden.

In der **Kölner Scholle** hat der Kiesabbau eine Reihe von Stillgewässern, vor allem nördlich und südlich von Köln, geschaffen. Daher fanden große Auskiesungen wie der Fühlinger See bei der Modellerstellung Berücksichtigung.

Hinzu kommen Seen, die nach Beendigung der zahlreichen kleineren Tagebaugruben in der **Ville** entstanden sind. Hierzu zählen 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 und viele mehr an.

Entlang der Rur wurde in großem Umfang Kies gewonnen. Die dadurch entstandenen Stillgewässer auf der **Rur-Scholle** wurden ebenso modelltechnisch umgesetzt, wie auch die Tagebauseen der Alttagelbaue bei Düren und Zülpich. Der Blausteinsee entstand als Landschaftssee in der Rekultivierung des ehemaligen Tagebaus Zukunft. Er wurde zu Beginn des Jahrhunderts mit Sumpfungswasser gefüllt. Da der Blausteinsee aufgrund seiner exponierten Lage keine Vorflutwirkung hat, wird er weiterhin künstlich gespeist.

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 2015 zwischen 1400 und ca. 850 Mio. m³/a, wobei die hohen Mengen in den 1970er Jahren im Zusammenhang mit den Villetagebauen gehoben wurden (s. Abbildung 3). Ab dem Jahr 1998 sind alle nicht tagebaubedingten Brunnendaten aus der vom Erftverband gepflegten Entnehmerdatenbank übernommen worden. Die Sumpfungsmenge für den Tagebau Hambach, ohne Außengalerien, beträgt in 2015 ca. 310 Mio. m³/a.

In der **Erft-Scholle** spielen die Entnahmen privater Grundwasserentnehmer vergleichsweise eine untergeordnete Rolle. Es sind vornehmlich Entnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung sowie in geringem Umfang für die Industrie vorhanden.

Der größere Anteil der nicht zur Sumpfung benötigten Hebungsmengen wird in der **Kölner Scholle**, meist in Rheinnähe in großen Galerien für die Industrie und die Trinkwasserversorgung gehoben.

Auf der **Venloer Scholle** verteilen sich die Entnahmen neben den Sumpfungsmengen für den Tagebau Garzweiler auf zahlreiche mittlere und kleinere Entnehmer.

Die Grundwasserentnahmen auf der **Rur-Scholle** ergeben sich aus den Sumpfungsmengen für den Tagebau Inden, die ihr Maximum seit einigen Jahren überschritten haben, und den Entnahmen für die Industrie und die öffentliche Wasserversorgung. Dabei wurden auch die Entnahmen auf dem niederländischem Teil der Rur-Scholle berücksichtigt.

Wie bereits erwähnt wurden mit der Simulation ab dem Jahr 1998 bis zu dem Jahr 2015 alle Fremdentnehmerdaten auf Basis der Fremdentnehmerdatenbank des Erftverbandes übernommen. In dem davor liegenden Zeitraum von 1970 bis 1997 wurden die aus unterschiedlichen Quellen zusammengestellten Brunnendaten der Nichttagebaubrunnen aus den Vorgängermodellen belassen. Die sich daraus in 1998 ergebende detaillierte brunnen- und horizontscharfe Neuaufteilung, mit der auch Veränderungen des Brunnenansatzpunktes einhergehen können, führt teilweise bei den berechneten Ganglinien im Kalibrierungszeitraum, 1970 bis 2015, zu Sprüngen.

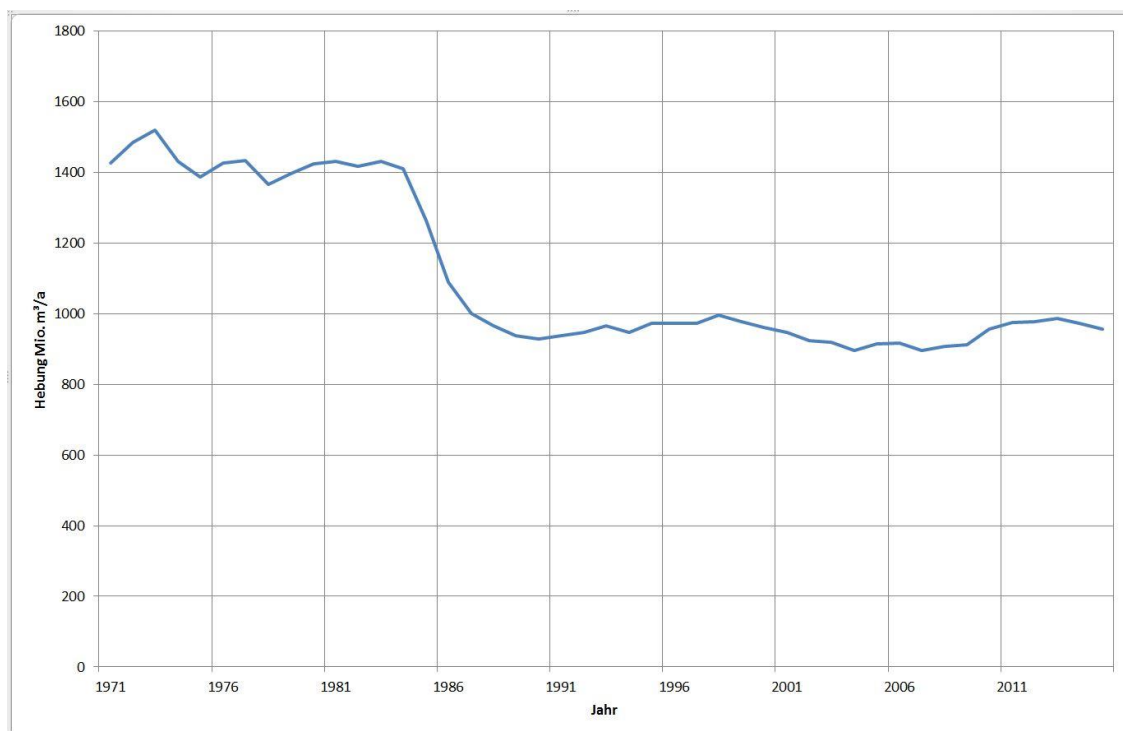


Abbildung 3: Grundwasserentnahmen im Modellgebiet

3.5 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.

3.5.1 Tagebau Hambach

Der Tagebau Hambach wurde im Jahre 1978 aufgeschlossen. Seither entwickelt er sich um einen zuvor östlich vor Niederzier eingerichteten Drehpunkt in Uhrzeigerrichtung zunächst in nordöstlicher dann in östlicher und schließlich in südöstlicher Richtung. Durch das starke Einfallen der Schichten nach Nordosten zum Beckenzentrum hin erreicht der Tagebau zwischen 2025 und 2030 die Maximalteufe. Er wird dazu unter Beibehaltung des vorhandenen Drehpunktes nach Südosten schwenken. Die Auskohlung wird in etwa Mitte des Jahrhundert beendet sein. Die Daten für die Abgrabungen und Verkippungen wurden jahresscharf, nach den Aufmaßen der Fachabteilungen (für die Vergangenheit) und nach dem erwarteten Tagebaufortschritt in das Reviermodell eingebaut.

3.5.2 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 herum wurde dann der Bereich zwischen der A44 und der A61 überschwenkt. Bevor die A61 überbaggert wird, musste für die A44 eine neue Trasse auf der Kippe hergestellt werden. Dies erfolgte durch eine entsprechende Dammschüttung. Nach 2017 erfolgt der Abbau in westlicher Richtung, bis ab ca. 2025 östlich der Ortschaft Holzweiler ein weiterer Drehpunkt eingerichtet wird. Zwischen 2025 und 2044 überschwenkt der Tagebau dann entgegen dem Uhrzeigersinn den Bereich nordwestlich von Holzweiler.

3.5.3 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 stellt die Ortslage von Merken dar, im Süden die A4 und im Südwesten die Ortslage Lucherberg. Der Lucherberger See wird 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 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 Altdorf und 230 m im Nordosten westlich von Schophoven.

3.5.4 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.

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 Modellknotennetze (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 Ortsdiskretisierung 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 Nachbarpunkten gegeben. Die Fließwegbreite wird durch Summation der Lote vom anliegenden Dreiecksschwerpunkt auf die Dreiecknetzseite berechnet. Die Ortsdiskretisierung 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.

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
- Tagebauseefüllung mit vorgegebenem Endwasserspiegel
- Exfiltration an Tagebauböschungen oder Überlauf eines Tagebausees

Randbedingung 2. Art, Grundwasserneubildung mit zeitlichem Gang

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.

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 Leakagekopplung 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 Leakagekopplung der Grundwasserleiter als zweidimensionales Modell (quasi-dreidimensional)
- Räumlicher Strömungsraum direkt gekoppelter Grundwasserleiter als dreidimensionales Modell
- Horizontal ebener Strömungsraum für mehrere getrennte Grundwasserleiter mit vertikaler Leakagekopplung 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 (Leckage-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 Rauigkeitsparameter.

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 z.B. 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. Dieser Zielwasserspiegel setzt die Steuerung von Entwässerungsbrunnen in Abhängigkeit von einem Restlochfüllprozess zur Gewährleistung der Böschungsstabilität durch Festlegung eines Zieles in einem Bezugselement um. Ein solches Ziel kann die Einstellung der Grundwasserstände im böschungsnahen Restlochbereich 10 m unter dem jeweils aktuellen Tagebauseespiegel sein.

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_f -Wert berechnet.

5 Durchführung der Berechnungen

Der Datensatz stellt zunächst nur eine Sammlung zusammengestellter Einzeldaten dar und ist von vornherein für eine Berechnung interessierender Strömungsprobleme im Untersuchungsraum nicht ohne weiteres 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 Einzelemente 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.

Im ersten Schritt, der Kalibrierung, wurden für den Zeitraum 1970 bis 2015 alle verfügbaren zeitabhängigen Daten jahresscharf im Modelldatensatz eingebaut. Dies sind insbesondere die flächendifferenzierte Neuverteilung der Grundwasserneubildungsraten und der jährliche Gang der Grundwasserneubildung, der Einbau und die Anpassung der aktuellen Erft-Schollen- und Villedgeologie, die jahresscharfe Überarbeitung der Tagebaufortschritte bis 2015 und bis zur Beendigung des Tagebaus, die fremden (nicht Tagebau-) Grundwasserentnehmer sowie die Randbedingungen am geometrischen Modellrand. Der Einbau aller Daten über den Untersuchungsraum des vorliegenden Antrags hinaus hat den Vorteil, die Zu- und Abströme in und aus diesem Raum abzubilden. Die Kalibrierung selbst fand innerhalb des Untersuchungsraumes statt, da die außerhalb des Untersuchungsraumes gelegenen Modellteilgebiete für die hier beschriebenen Untersuchungen bereits ausreichend kalibriert waren. Die Kalibrierungsrechnungen im Untersuchungsraum wurden ständig mit jeweils verbesserten Parametern wiederholt, bis die diesem Bericht angehängte Anpassung (zum Beispiel Pegelganglinien ([Anlagen 14 bis 18](#)), Gleichbilder ([Anlagen 9 bis 13](#)) und Diagramme von Volumenströmen (Abbildung 5)) der Rechenergebnisse an die Beobachtungen erreicht wurde.

Um im zweiten Schritt möglichst klar interpretierbare Prognosen rechnen zu können, wurde folgender Weg beschritten. Die witterungsbedingten Einflüsse wurden 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 2015 nicht mehr verändert. Für bergbaulich bedingte Verschiebungen von Entnahmemengen an Wasserwerken wurden die zum Zeitpunkt des Modellaufbaus aktuellen und mit den Fachbehörden abgestimmten Szenarien übernommen. Im Untersuchungsraum ist in diesem Kontext für den Betrachtungszeitraum nur die Verlagerung der Entnahmen von Glesch nach Paffendorf relevant. Im Wesentlichen wurden die Wasserwerke mit ihrer im Wasserwirtschaftsjahr 2015 beobachteten Hebungsmenge an den vorhandenen Hebungsstandorten innerhalb des näher dargestellten Untersuchungszeitraums bis 2030 unverändert weitergeführt. Somit ist gewährleistet, dass zeitabhängige Veränderungen ab dem Jahr 2016 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 Ergebnis u. a. die zukünftigen auf das Jahr 2015 bezogenen bergbaubedingten Entwicklungen der Wasserspiegel aus.

Im dritten Schritt wurde für den Ausblick auf einen stationären Endzustand der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsraum im Nachgang der instationären Berechnung eine weitere Simulation durchgeführt. Die Simulation berücksichtigt neben den prognostizierten Geländesetzungen und -hebungen (infolge der Grundwasserabsenkung und des Grundwasserwiederanstiegs) auch die vom Erftverband vorgesehenen Niedrighaltungsmaßnahmen des Grundwasserstandes in der Erfttaue.

Im Folgenden werden die Phasen Kalibrierung und Prognose mit besonderem Fokus auf den Untersuchungsraum und ausgewählte Grundwasserleiterstrukturen erläutert. Beachtung finden das obere Grundwasserstockwerk wegen seiner Bedeutung für zahlreiche Schutzgüter und der Horizont 8 (Hauptkiesserie) als Hauptgrundwasserleiter mit Relevanz für nicht bergbaulich bedingte Entnahmen. Auf den Horizont 6B wird wegen seiner besonderen Bedeutung für die Tagebauentwässerung eingegangen. Zur Beurteilung der Auswirkungen der tiefen Liegendentwässerung des Tagebaus Hambach auch über die Grenzen der Erft-Scholle hinweg werden die Horizonte 2-5 und 01-09 betrachtet. Der Sand 2 ist auf der Kölner Scholle darüber hinaus auch für die Wasserversorgung relevant.

5.2 Kalibrierung

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

Für das Untersuchungsgebiet 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 10/2015. Für den Zeitraum bis 2015 stehen zum einen sowohl genügend Messwerte zu den gehobenen Sumpfungswassermengen als auch zu den Förderdaten der übrigen Grundwassernutzer zur Verfügung. Zum anderen existieren umfangreiche Messergebnisse über Grundwasserstände in den verschiedenen Grundwasserleitern 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 Sumpfungmaßnahmen 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 Grundwassermessungen unter Berücksichtigung der besonderen hydrogeologischen Verhältnisse im Rheinischen Braunkohlenrevier konstruiert und nachfolgend z.T. durch gezielte Messungen ergänzt bzw. durch Einarbeitung neuerer geologischer Erkenntnisse berücksichtigt.

Bedingt durch den Neueinbau der Erft-Scholle und der Ville und deren Anbindung an die Kölner sowie die Erft-Scholle lag der Schwerpunkt der Kalibrierung in diesem Bereich. Bei der Kalibrierung wurden im Wesentlichen folgende Parameter in den zulässigen Vertrauensbereichen variiert:

- Durchlässigkeitsparameter der Grundwasserleiter einschließlich der zugehörigen freien Porenvolumina.
- Durchlässigkeitsparameter der Grundwasserstauer und der Deckschicht bzw. des Auelehmes.
- Kolmationsparameter der Gewässer.
- Hydraulische Wirksamkeit der Verwerfungen.
- Höhenlagen von geologischen Modellelementen.
- Wirksamkeit der Grundwasserneubildung.

Zur Kalibrierung wurden knapp 4.000 Grundwassermessstellen berücksichtigt, deren Messwerte jeweils mit dem am Pegelstandort berechneten Grundwasserstand verglichen wurden. Der berechnete Grundwasserstand ergibt sich als Mischwert aus der räumlichen

Interpolation der drei Eckpunkte des Modellnetzdreiecks in dem sich die Grundwassermessstelle befindet.

5.2.1 Wesentliche Parametervariationen

Das **obere Grundwasserstockwerk** wird wesentlich durch quartäre Sande und Kiese gebildet, bei fehlenden Geringleitern an der Basis auch durch die darunterliegenden älteren Sedimente. Daher wird diese Strömungseinheit im Grundwassermodell durch den ersten und gegebenenfalls auch tiefere Modellgrundwasserleiter beschrieben. Das obere Grundwasserstockwerk hat insbesondere in der Kölner Scholle Bedeutung für die öffentliche und private Wasserversorgung. 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. Das Grundwasserfließbild der Ville weist demgegenüber keine eindeutige Richtung auf. Die Geologie wird im Kalibrierungszeitraum wegen der Tagebauaktivität im Berechnungszeitraum im Bereich des ehemaligen Tagebaus Frechen und des Tagebaus Ville verändert. 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 komplex. In den Kippenkörpern der Alttagebaue der Ville haben sich überwiegend Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und $7 \cdot 10^{-4}$ m/s eingestellt. Der obere Grundwasserleiter der Erft-Scholle ist in einigen Bereichen über den gesamten Kalibrierungszeitraum von 1970 bis 2015 trocken gefallen. Für diese Bereiche wurden im ersten Modellgrundwasserleiter daher typische Durchlässigkeitsbeiwerte angesetzt, die sich im Allgemeinen zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $4 \cdot 10^{-3}$ m/s bewegen. Maximale Durchlässigkeitsbeiwerte werden im ersten Modellgrundwasserleiter der Erft-Scholle im Bereich der Erftniederung erreicht. In Richtung der Ville nehmen die Durchlässigkeitsbeiwerte ab und liegen zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und $8 \cdot 10^{-4}$ m/s ([Anlage 3](#)).

Der **6. Modellgrundwasserleiter** repräsentiert auf der Erft-Scholle den Hauptgrundwasserleiter 8 und weist in der Regel hohe Durchlässigkeitsbeiwerte auf. In der zentralen Erft-Scholle sind geringere Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s nur im Umfeld von Bedburg, Lechenich und Meckenheim anzutreffen ([Anlage 4](#)). In der Kölner Scholle bildet der 6. Modellgrundwasserleiter einen Teil des mächtigen oberen Grundwasserstockwerks mit entsprechend hohen durch die Terrassenkiese des Rheins geprägten Durchlässigkeitsbeiwerten.

Der **9. Modellgrundwasserleiter** repräsentiert in der Kölner Scholle den Sand 2. Dieser weist dort weiträumig Durchlässigkeitsbeiwerte um $5 \cdot 10^{-4}$ m/s auf, im Bereich der südlichen

Ville etwa eine Dekade geringer. In der nördlichen Ville wurde der Sand 2 großflächig als vertont angenommen. Auf der Erft-Scholle stellt der 9. Modellgrundwasserleiter den Horizont 6D dar. Dieser ist südlich einer Linie zwischen den Ortslagen Bedburg, Niederzier und der Ortslage Langerwehe auf der Rur-Schollenseite vertont. Nördlich dieser Linie weisen die Durchlässigkeiten Werte um $8 \cdot 10^{-5}$ m/s auf. ([Anlage 5](#)).

Der **10. Modellgrundwasserleiter** stellt auf der Erft-Scholle den Horizont 6B dar. Im nordwestlichen Teil der Erft-Scholle wurde dieser Grundwasserleiter mit Durchlässigkeitsbeiwerten zwischen $3 \cdot 10^{-5}$ m/s und $2 \cdot 10^{-4}$ m/s parametrisiert. Im übrigen Verbreitungsbereich weist er vergleichsweise geringe Durchlässigkeitsbeiwerte um $1 \cdot 10^{-5}$ m/s auf. In der Erft-Scholle vertont der Horizont 6B südlich und östlich des Tagebaus Hambach. Der Horizont 6B ist auf der Kölner Scholle nicht verbreitet ([Anlage 6](#)). Hier bildet der 10. Modellgrundwasserleiter den Sand 09 ab. Dieser weist im Bereich der Ton 1 - Verbreitung weitgehend Durchlässigkeitsbeiwerte von $3 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $3 \cdot 10^{-4}$ m/s auf. Nördlich davon ist der Sand 09 Teil des oberen Grundwasserstockwerks und wird mit etwas höheren Durchlässigkeitsbeiwerten bis ca. $1 \cdot 10^{-3}$ m/s parametrisiert.

Bedingt durch die unterschiedliche Genese nehmen die Durchlässigkeiten mit zunehmender Teufe ab. Dementsprechend liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte des **11. Modellgrundwasserleiters**, der auf der Erft-Scholle das Horizontpaket 2 - 5 abbildet, in weiten Bereichen des Reviers zwischen $3 \cdot 10^{-6}$ m/s und $8 \cdot 10^{-5}$ m/s. Der durchschnittliche Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. In der südlichen Erft-Scholle zeigen sich, südlich der Ortslagen Heimerzheim und Großbüllesheim Vertonungen ([Anlage 7](#)). In der Kölner Scholle bildet der 11. Modellgrundwasserleiter den Horizont 07 ab.

Der **12. Modellgrundwasserleiter** fasst in der Erft-Scholle die Grundwasserleiter 01-09 zusammen, in der Kölner Scholle die Schichten 02-05. Naturgemäß ist dieser Liegendgrundwasserleiter durch geringe Durchlässigkeiten in allen Modellbereichen gekennzeichnet. Lediglich in einzelnen Bereichen der Kölner Scholle werden Durchlässigkeitsbeiwerte in der Größenordnung um $2 \cdot 10^{-4}$ m/s erreicht. Vertonte Bereiche finden sich 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 8](#)).

5.2.2 Grundwasserstände

Der Nachweis über die Güte der Kalibrierung erfolgt über den Vergleich der an einer Vielzahl von Grundwassermessstellen gemessenen und zu den am Modellknoten des Messstellenstandortes 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 2015 berechneten Modellganglinie dargestellt (vgl. [Anlage 14-18](#)). Besonderes Augenmerk wurde während der Kalibrierung auf eine möglichst gute Nachbildung der Grundwasserverhältnisse im oberen Grundwasserstockwerk gelegt, da hier die Relevanz für viele Schutzgüter besonders hoch ist. Dort findet sich naturgemäß auch die größte Anzahl an Grundwassermessstellen, welche insbesondere in der Umgebung schützenswerter Feuchtgebiete für die Kalibrierung herangezogen wurden. Die Datenmenge 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 wird für den Untersuchungsraum die Kalibrierungsgüte anhand ausgewählter Grundwassermessstellen aufgezeigt. Insofern Grundwassermessstellen in den letzten Jahren einen Defekt aufgewiesen haben, werden diese trotzdem in der Gangliniendarstellung berücksichtigt, um einen möglichst langen Vergleichszeitraum zu erhalten. In den Karten wird jedoch auf eine Darstellung unplausibler Grundwasserstände auf Basis von defekten Grundwassermessstellen verzichtet.

Mit der Kalibrierung wurde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Grundwasserständen für das **obere Grundwasserstockwerk** des Jahres 2015 erreicht ([Anlage 9](#)). Es ist ersichtlich, dass die im Wesentlichen durch topographische Gegebenheiten, Vorfluter, Grundwasserentnehmer und Tagebaue geprägten Grundwasserverhältnisse durch das Modell gut nachgebildet werden. Geringe Abweichungen treten vor allem in Bereichen geringer Grundwassermächtigkeiten oder in Gebieten mit extrem flachen Gradienten auf. Die Kölner Scholle mit ihrem mächtigen oberen Grundwasserstockwerk ist durch die Vorflutwirkung des Rheins und das Wechselspiel mit der Erft-Scholle unter dem Villerücken hindurch, sowie einer Reihe leistungsstarker Grundwasserentnehmer im Ballungsraum Köln geprägt. Die gemessenen Werte konnten im Allgemeinen sehr gut nachgebildet werden. Dies gilt ebenso für den hydraulisch schwierigen Bereich des Ton 1 - Ausstriches wie auch für den Übergangsbereich der Südtagebaue zur Kölner Scholle. Auch hier werden die Fließverhältnisse, die durch steile Gradienten in den östlichen Staffeln geprägt sind, gut nachgebildet. Das obere Grundwasserstockwerk der Erft-Scholle weist nur noch geringe Fließmächtigkeiten auf. Das hydraulische Wechselspiel der Erft-Scholle mit allen Nachbarschollen, also auch der südlichen Rur-Scholle und

insbesondere der Kölner Scholle konnte mit dem Reviermodell unter besonderer Berücksichtigung des Untersuchungsraumes für die Sümpfungserlaubnis Hambach jedoch gut abgebildet werden. Im Bereich des westlichen Triplepunktes bei Baal wurden die gemessenen Pegelwerte im Trend ebenso gut nachgebildet wie im Bereich des östlichen Triplepunktes bei Bedburg.

Die **Hauptkiesserie Horizont 8** (6. Modellgrundwasserleiter) ist bis auf die Kölner Scholle im gesamten Rheinischen Braunkohlenrevier verbreitet ([Anlage 10](#)). Aufgrund der guten Durchlässigkeiten handelt es sich dabei um einen der wasserwirtschaftlich bedeutendsten Horizonte. In der Erft-Scholle wurde im Tagebaubereich Hambach und nordwestlich davon zwischen den Ortslagen Welldorf und dem westlichen Triplepunkt bei Baal eine, der Datengrundlage angemessene Übereinstimmung mit den Pegelmesswerten erreicht. Südlich des Tagebaus Hambach ist der Horizont 8 in weiten Bereichen trocken gefallen. Hier bildet sich lediglich ein Basisabfluss mit geringen Fließmächtigkeiten auf dem Unterlager der Oberflözgruppe aus. Dennoch wurde unter diesen hydraulisch schwierigen Rahmenbedingungen ein gutes Kalibrierungsergebnis erzielt. Dafür sprechen die Grundwassermessstellen nördlich der Ortslage Swisttal zwischen dem Straßfelder Sprung und dem Swistsprung.

Im **Frimmersdorfer Sand 6B** (10. Modellgrundwasserleiter) wurde in der Kalibrierung ein gutes Ergebnis erzielt ([Anlage 11](#)). Der Frimmersdorfer Sand ist in der Kölner Scholle nicht als selbstständiger Grundwasserleiter ausgebildet. Er ist Teil des mächtigen oberen Grundwasserstockwerkes. In der Erft-Scholle ist der 10. Modellgrundwasserleiter nur im Nordwestteil der Erft-Scholle verbreitet. Er vertont südöstlich einer Linie Kaster-Elsdorf-Nörvenich. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse zu den gemessenen Werten sind im Allgemeinen gering. Westlich der Ortslage Titz vollzieht die berechnete Ganglinie der Grundwassermessstelle 875364 den Verlauf der gemessenen Werte sehr gut nach. In unmittelbarer Nähe zum Sümpfungstrichter können aufgrund des dort dynamischen Fließgeschehens naturgemäß vereinzelt auch deutlichere Differenzen auftreten, die zweistellige Werte annehmen. Die Ganglinie des Modellknotens an der Messstelle 571771 bildet den gemessenen Gang ebenfalls sehr gut ab.

Der **Liegendgrundwasserleiter 2-5** ([Anlage 12](#)) wird in der Kölner Scholle durch den Sand 2 repräsentiert. Er bildet eine wesentliche hydraulische Verbindung zwischen Kölner Scholle (9. Modellgrundwasserleiter) und Erft-Scholle (11. Modellgrundwasserleiter). Die gute Nachbildung der Strömungsverhältnisse im Sand 2 in der Kölner Scholle in den Bereichen, in denen der Ton 3 verbreitet ist, trägt zu einem guten Kalibrierungsergebnis in der Erft-Scholle bei. In der südlichen Erft-Scholle werden im Allgemeinen etwas steilere Gradienten ermittelt, so dass sich in Teilbereichen Abweichungen von mehr als 10 m

ergeben können. Die Zuströmung zum Sumpfungsschwerpunkt am Nordrand des Tagebaus Hambach wird sehr gut nachgebildet. In der Umgebung des Tagebaus Hambach liegen die berechneten Grundwasserspiegel tendenziell eher etwas zu hoch. Mit einer Differenz von etwa 20 m zu den hier vornehmlich betrachteten Grundwassermessstellen des Horizontes 5 ist mit dem Mischwasserspiegel des Grundwassermodells der für die Tagebauentwässerung relevante Druckspiegel des Horizontes 2 sehr gut abgebildet.

Der tiefere **Liegendgrundwasserleiter 01-09** wird durch die Horizonte 01-09 unterhalb des Ratinger Tones abgebildet ([Anlage 13](#)). In der Kölner Scholle repräsentiert der 10. Modellgrundwasserleiter den Horizont 09. Der Vergleich von beobachteten und berechneten Grundwasserständen zeigt eine insgesamt gute Anpassung. Exemplarisch seien hier die Messstelle 852543 am Kloster Burbach, die Messstelle 853362 östlich des ehemaligen Tagebaus Frechen sowie für den rheinnahen Bereich die Messstelle 852291 in Wesseling genannt. Da der Horizont 09 durch seine flächige Verbreitung die Ville überbrückt und somit ein wesentliches Bindeglied zwischen Erft-Scholle und Kölner Scholle darstellt, ist die gute Anpassung der Strömungssituation eine wesentliche Voraussetzung, um etwaige Einflüsse aus der Erft-Scholle auf die Kölner Scholle abbilden zu können. In der Erft-Scholle werden die Horizonte 01 bis 09 durch den 12. Modellgrundwasserleiter beschrieben. Hier liegen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten in Tagebaunähe bei rund 10 m.

Zur visuellen Unterstützung können den [Anlagen 14-18](#) mehr als einhundert Ganglinienvergleiche entnommen werden. Dabei wurde Wert auf einen möglichst langen Vergleichszeitraum gelegt, auch wenn das Peilrohr heute im Zweifelsfall defekt oder nicht mehr messbar ist.

5.2.3 Überströme über die Schollenränder

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 Triplepunkt mit dem Lövenicher Sprung, geht über den Jackerather Horst und endet mit dem Kaster Sprung am östlichen Triplepunkt. Für den Rand zwischen der Erft-Scholle und der Kölner Scholle folgen die Abschnitte Fortuna, Bergheim und Frechen. Der Rand zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle wird von Nordwesten nach Südosten in die Teilabschnitte Rurrand-

Erft nord, Jülich, Stetternich, Niederzier, Düren und Rurrand Süd untergliedert. 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 2015 als Endzeitpunkt der Kalibrierung und 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 19](#)). 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. Für die inneren Schollenränder sind beide Werte der benachbarten Standorte jeweils auf einem Blatt zusammengefasst worden.

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. Er beträgt im Jahr 1976 3,5 Mio. m³/a, erhöht sich dann bis 1983 auf 7,1 Mio. m³/a und 7,9 Mio. m³/a im Jahr 2000. Bis zum Jahr 2015 nimmt er dann auf 6,4 Mio. m³/a ab. Die Volumenströme ergeben sich aus dem 11. Modellgrundwasserleiter.

Der innere **Rand Jackerather Horst** südlich des Tagebaus Garzweiler weist im Kalibrierungszeitraum durchweg Volumenströme von der Venloer Scholle in die Erft-Scholle auf. Sie liegen zwei Jahre vor Beginn des Tagebaus Hambach bei 7,3 Mio. m³/a, verteilt auf die tieferen Modellgrundwasserleiter. Bis 1983 haben sie sich auf 13,7 Mio. m³/a gesteigert und verringern sich bis zum Jahr 2015 wieder auf 9,0 Mio. m³/a. Die Verteilung der Volumenströme auf die einzelnen Modellgrundwasserleiter hat sich im gesamten Kalibrierungszeitraum nur unwesentlich geändert.

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 1,2 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. Im restlichen Kalibrierungszeitraum verbleiben die Austauschmengen bei 7,0 Mio. m³/a bis 9,7 Mio. m³/a.

Über den **Rand Venloer-Kölner Scholle** fließen aus der Kölner Scholle zu Beginn der Kalibrierung ca. 4,4 Mio. m³/a in Richtung Norden. Danach erfolgt ein Einstrom in Richtung Kölner Scholle von bis zu 3,2 Mio. m³/a in 2015.

Der **Randbereich Dormagen** zwischen Neukirchen und dem Rhein bei Dormagen verzeichnet im Kalibrierungszeitraum ab 1983 einen Abstrom von 4,7 Mio. m³/a und steigert sich sukzessive. In 2015 liegt dieser bei 9,0 Mio. m³/a.

Der **Randbereich des Rheins** erstreckt sich von Dormagen im Norden bis nach Rheidt im Süden. Mithilfe von sechs Stützstellen zwischen Mondorf und Dormagen wurden die Rheinwasserspiegel zwischen 1970 und dem Jahr 2015 rekonstruiert. Dem Modellgebiet strömen im Jahr 1976 zunächst 9,1 Mio. m³/a zu. Im Jahr 1983 erfolgt bei hohen Rheinwasserständen ein Abstrom von 26,3 Mio. m³/a. Ab 2000 liegen die Zuströme zwischen 83,4 und 126,1 Mio. m³/a. Die teilweise deutlichen Einströme in das Modellgebiet bzw. die in Teilabschnitten verringerten Ausströme werden vornehmlich durch die ufernahen Fassungsanlagen der Industrie und öffentlicher Entnehmer südlich und nördlich des unmittelbaren Stadtgebietes der Stadt Köln bestimmt.

Der **Randbereich Bornheim** verläuft von Rheidt am Rhein bis nach Merten an der Grenze zur Erft-Scholle. Im gesamten Kalibrierungszeitraum finden dort Einströme in einer Größenordnung zwischen 3,2 Mio. m³/a und 29,0 Mio. m³/a hauptsächlich in den 1. Modellgrundwasserleiter der Erft-Scholle statt.

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 wirksam ist und dort somit keine Volumenströme stattfinden, erfolgt über den Swistalsprung Nord ein kontinuierlicher Einstrom in den 1. und 11. Modellgrundwasserleiter der Erft-Scholle von 6,4 Mio. m³/a.

Der **Rurrand Rheinbach** zwischen Meckenheim und Odendorf verzeichnet über den gesamten Kalibrierungszeitraum einen stetigen Zustrom in den 7. Modellgrundwasserleiter von 1,7 Mio. m³/a und 0,3 Mio. m³/a in den 8. Modellgrundwasserleiter. In Summe ergeben sich damit Volumenströme von 2,0 Mio. m³/a.

Im **Randabschnitt Fortuna** zwischen Bedburg und Niederaußem strömen größere Mengen den Liegendgrundwasserleitern der Erft-Scholle zu. In diesem Randabschnitt findet der Hauptaustausch zwischen den beiden Teilschollen mit Volumenströmen um ca. 23,0 Mio. m³/a im Kalibrierungszeitraum statt.

Der innere **Rand Bergheim** behandelt den Grenzbereich entlang des ehemaligen Tagebaus Bergheim zwischen den Modellbereichen Kölner Scholle und Erft-Scholle. Im Trend nehmen die Volumenströme zwischen beiden Randbereichen zwischen 1976 und 2015 von ca. 2,4 Mio. m³/a auf 2,3 Mio. m³/a kaum ab. Die Hauptaustauschmengen fallen dabei im 11. und 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 Südeviers. Der Volumenstrom steigt von 8,9 Mio. m³/a im Jahr 1976 auf 10,9 Mio. m³/a im Jahr 1983 an. 2015 hat sich der Volumenstrom auf 10,8 Mio. m³/a eingestellt. Der Überstrom in die Erft-Scholle findet hauptsächlich im 11. und 12. Modelleiter statt.

Der **Rurrand Süd** erstreckt sich von Nörvenich bis auf die Höhe von Swisttal im Süden. Über diesen Grenzbereich strömt im Kalibrierungszeitraum Grundwasser von der südlichen Rur-Scholle in die Erft-Scholle. Die Überströme nehmen dabei von anfangs knapp 20,2 Mio. m³/a auf 19,5 Mio. m³/a im Jahr 2015 geringfügig ab.

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 von 1976 mit 21,6 Mio. m³/a bis zum Jahr 2015 auf 30,0 Mio. m³/a zunehmen.

Der innere **Rand Niederzier** zwischen den Ortslagen Niederzier und Huchem-Stammeln markiert einen Grenzbereich zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle an dem ein kontinuierlicher Abstrom in die Erft-Scholle stattfindet. Er variiert zwischen 10,0 Mio. m³/a im Jahr 1983 und 5,7 Mio. m³/a im Jahr 2012. Zum Ende der Kalibrierung im Jahr 2015 liegt er bei 6,7 Mio. m³/a.

Der innere Rand zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle bei **Stetternich** ist hydraulisch wirksam. Dort erfolgt kein Grundwasseraustausch.

Über den kurzen inneren **Randbereich Jülich** im unmittelbaren Stadtgebiet Jülich finden ebenfalls keine Volumenströme statt.

Der **Rurrand Erftnord** markiert die Grenze zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle zwischen den Ortslagen Baal und Koslar. Im Kalibrierungszeitraum ist die Fließrichtung von der Rur-Scholle in die Erft-Scholle gerichtet. Die Überströme steigen von anfangs 2,4 Mio. m³/a auf 8,8 Mio. m³/a an. Das Wasser kommt dabei in erster Linie den Liegendgrundwasserleitern der Erft-Scholle zugute.

5.2.4 Gewässeraustauschmengen

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. Die Einflüsse durch die Entwässerungsmaßnahmen in der Erft-Scholle auf die Grundwasserleiter der Kölner Scholle nehmen bis 2015 grundsätzlich leicht zu und versteilen den Gradienten zwischen den Gewässern und dem Grundwasserleiter in der Kölner Scholle zusätzlich, so dass sich der Zustrom in das Grundwasser von 1976 von ca. 18 Mio. m³/a auf ungefähr 28 Mio. m³/a im Jahr 2015 erhöht.

Durch die bereits in 1970 in Teilbereichen der Erft-Scholle abgesenkten Grundwasserstände ist die Vorflutwirkung der **Gewässer der Erft-Scholle** nur räumlich begrenzt vorhanden. Im Wesentlichen infiltrierten die Oberflächengewässer mit einer Menge von 39 Mio. m³/a in 1976. Diese Menge hat sich bis 2015 auf 57 Mio. m³/a erhöht.

5.2.5 Wasserhebung Tagebau Hambach

Für die Darstellung der modellierten Wasserhebung des Tagebaus Hambach (Abbildung 4) im Kalibrierungszeitraum wurde die Förderung der jeweiligen Sumpfungsbunnen summiert. Generell ist die Korrelation zwischen veränderlichen Rahmenbedingungen bei der Gewinnung, wie z.B. einer zunehmenden Teufenlage der Braunkohlenflöze und den Anforderungen an die Entwässerungsmaßnahmen gut erkennbar. Die angefallenen Wasserhebungen werden mit dem Grundwassermodell gut nachgebildet. Die Abweichungen liegen in der Regel unter 10 %.

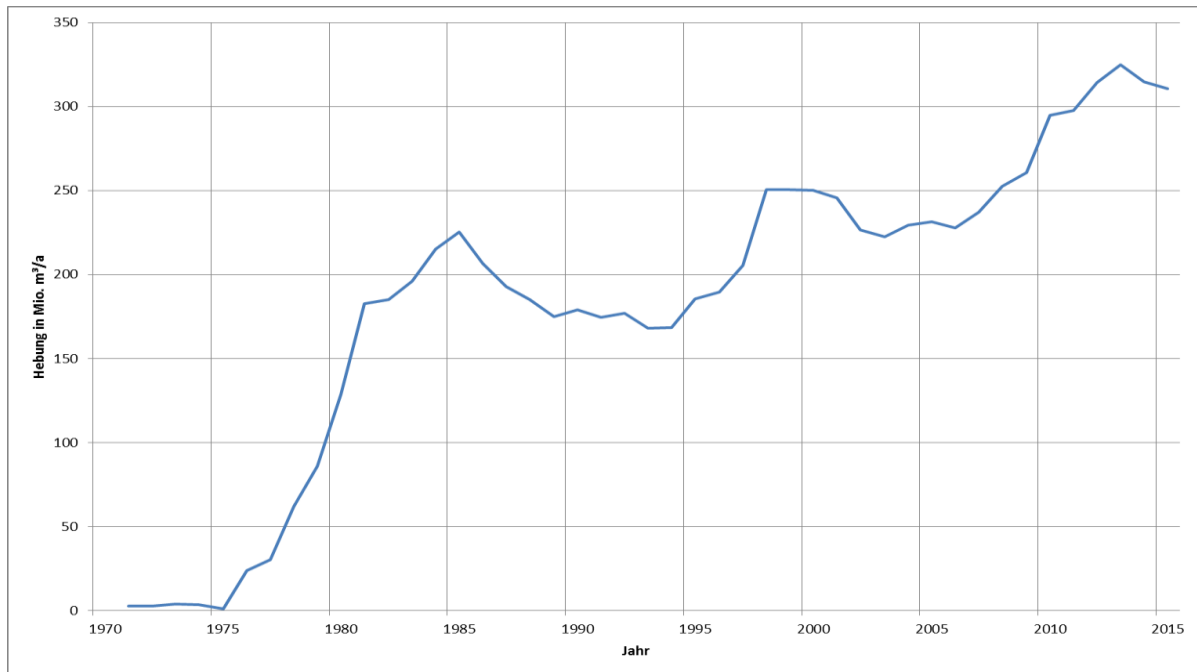


Abbildung 4: Modellwasserhebung Tagebau Hambach im Kalibrierungszeitraum, ohne Außengalerien

5.2.6 Füllverhalten vorhandener Seen in verkippten Bereichen

Die Abbildung von Tagebauseen im Modell erfolgt über eine entsprechend angepasste Kippengeometrie, so dass ihr hydrogeologisches Verhalten nachgebildet werden kann. Der Füllvorgang wird über eine potentialabhängige Randbedingung 2. Art gesteuert. Im Kalibrierungszeitraum wird die jeweilige Füllmenge des Sees als Randbedingung 2. Art vorgegeben. Der Volumenstrom der Einleitmenge wird dabei reduziert, sobald die Zielhöhe erreicht ist. Der freie Wasserspiegel der Tagebauseen wird simuliert, indem der obersten Kippenschicht ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-2}$ m/s und eine Porosität von 100 % zugewiesen wird. Die Seesohle wird durch die Unterkante der obersten Kippscheibe gebildet. Mit den gemessenen Einleitmengen, dem Seewasserspiegel, Kippenwassermessstellen und Grundwassermessstellen im Bereich der ehemaligen Tagebaue wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte und Porenvolumina der einzelnen Kippschichten so eingestellt, dass die Messwerte rechnerisch im Modell bestmöglich an den entsprechenden Modellknoten nachgebildet wurden. Der lange Kalibrierungszeitraum für das Kippenmaterial stellt sicher, dass in den Modelldurchlässigkeiten auch die einleitungsbedingten Kornumverteilungen und Setzungen indirekt ausreichend Eingang gefunden haben und eine gute Voraussetzung für die anschließende Prognose bilden.

Die seit den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts im Südevier angelegten Seen wurden mit einem Leckageansatz beschrieben. Ihre Entstehungen sind wenig dokumentiert, was einen direkten Vergleich von Messreihen ausschließt und die Überprüfung der

Kalibrierungsgüte auf Stichtagsereignisse und Plausibilitätsüberlegen einschränkt. Dies gilt auch für größere Seen wie den Köttinger See und den Concordia See, welche in den fünfziger Jahren geschaffen wurden.

5.2.7 Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer

Der berechnete Verlauf der Fördermengen der öffentlichen und privaten Grundwasserentnehmer konnte für den frühen Simulationszeitraum der siebziger Jahre nicht von der Förderung für die Villealttagebaue separiert werden. Im Kalibrierungszeitraum stimmen die berechneten Fördermengen gut mit den gemessenen Werten überein (Abbildung 5). Daraus folgt unmittelbar, dass die in das Grundwassermodell eingebauten gemessenen Mengen auch durch die Modellbrunnen gut umgesetzt werden konnten. Die in den 1970er Jahren erkennbaren hohen Abweichungen haben ihre Ursache vornehmlich in den ehemals zur Verfügung stehenden Messmethoden und Instrumenten. Für einige Standorte fehlen genaue Angaben über den Brunnenausbau, die Filterlagen, sowie die anteilige Förderung aus den verschiedenen Grundwasserleitern. Durch öffentliche und private Grundwasserentnehmer wurden im Jahr 2015 revierweit etwa 430 Mio. m³ Wasser gefördert.

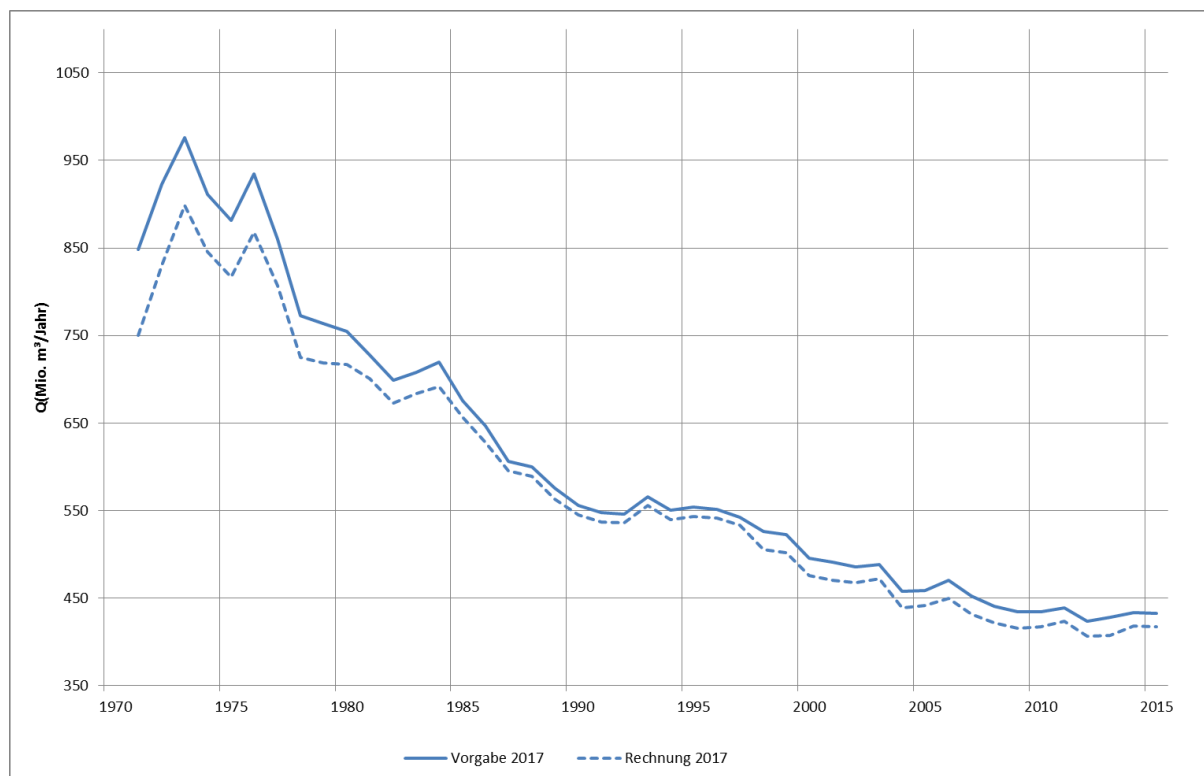


Abbildung 5: Revierweite Förderung der öffentlichen und privaten Grundwasserentnehmer, einschließlich der Alltagebaue

5.3 Prognose

Die in Kapitel 5.2 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, hier insbesondere für den Untersuchungsraum der Sumpfungserlaubnis Hambach, 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 gehorchen:

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 Abraumschnitt 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 lässt sich gut aus Differenzendarstellungen zwischen ausgewählten Prognosezeitpunkten (2020, 2025 und 2030) und dem Referenzzeitpunkt des Jahres 2015 ablesen. Die sich für den Untersuchungsraum ergebenden Differenzen werden im folgenden Kapitel 5.3.1 beschrieben.

Weiterhin wurde zur Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse nach Tagebauende und nach dem großräumigen Grundwasserwiederanstieg eine Simulation für den stationären Endzustand im Jahr 2200 durchgeführt. Dieser Ausblick berücksichtigt die Tagebauseen nach Füllung, bergbaulich bedingte Bodenbewegungen und die Niedrighaltungsmaßnahmen in der Erftaue. Diese Prognosesimulation ist im Kapitel 5.3.2 beschrieben.

Die Kartendarstellungen der Prognoseergebnisse für die Grundwasserdifferenzen erfolgt in den Karten des Erläuterungsberichts. Die prognostizierten Grundwasserstände für den stationären Endzustand können der [Karte G1d](#) des Erläuterungsberichts entnommen werden.

5.3.1 Grundwasserdifferenzen

In der Erft-Scholle wirken die Entwässerungsmaßnahmen für den Tagebau Hambach fort. Die entwässerungstechnisch bereits heute beanspruchten Grundwasserleiter werden auch zukünftig bis zum Durchschreiten des Tagebautiefsten von weiteren Absenkungen betroffen sein, bevor dann in den Folgejahren der Grundwasserwiederanstieg eintritt. In der Kölner Scholle zeigen sich im äußersten Nordwesten Einflüsse durch die Entwässerungsmaßnahmen. Vornehmlich wird dadurch allerdings eher der Grundwasserwiederanstieg in den Regionen jenseits der Verbreitungsgrenze des Ton 1 oder in Bereichen geologischer Fenster verzögert. Bei durchgehender Verbreitung der Tonhorizonte verbleiben die Grundwasserstände auf weitgehend unbeeinflusstem Niveau oder erreichen dieses zügig nach der Reduzierung der Sumpfungmaßnahmen.

Oberes Grundwasserstockwerk ([Karte G1c](#) im Erläuterungsbericht)

Im Detail zeigen die Prognosen der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Tagebaus Hambach zwischen den Jahren 2015 und 2030 für das obere Grundwasserstockwerk Absenkungen in einer Größenordnung von < 10 m in unmittelbarer Nähe zum Sumpfungstrichter. Dabei werden mit zunehmender Entfernung zum Sumpfungsschwerpunkt abnehmende Grundwasserabsenkungen auf einer Fläche von südlich Kerpen bis im Nordwesten von Bedburg ausgewiesen. Mit dem Erreichen des Tagebautiefsten und der damit verbundenen Fortführung der Entwässerung im oberen Grundwasserstockwerk werden im Umfeld der Ortschaft Heppendorf Absenkungen bis zu ca. 5 m prognostiziert.

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 den tieferen Grundwasserleitern besteht. In der südlichen Erft-Scholle sind Grundwasserabsenkungen $< 0,5$ m entlang der Swist prognostiziert, die sich südöstlich von Weilerswist bis in den Norden von Meckenheim erstrecken. Große Flächen sind bereits zum Bezugszeitpunkt 10/2015 trocken bzw. weisen Bereiche mit geringer Grundwassermächtigkeit auf. Das Sprungsystem bei Metternich bildet eine hydraulische Grenze nach Norden entlang der Linie Metternich, Heimerzheim und Dünstekoven.

Nördlich von Euskirchen wird aufgrund einer Kopplung des oberen Grundwasserstockwerks mit dem Grundwasserleiter 9B bzw. im Süden mit dem Grundwasserleiter 8 eine Grundwasserabsenkung < 3 m prognostiziert. Im Bereich der Ortschaft Mülheim liegt nördlich des Sprungs von Wichterich ein geologisches Fenster vor, welches bis in den Grundwasserleiter 8 reicht, so dass dort ebenfalls lokal Absenkungen < 3 m eintreten können. Grundwasserabsenkungen $< 0,5$ m sind entlang des Rurrandes südöstlich von Niederzier, südwestlich von Nörvenich und südlich der Ortschaft Erp prognostiziert.

Am nördlichen Triplepunkt der Erft-Scholle sind auf Basis der Modellprognosen lokal kleinräumige Grundwasserabsenkungen < 3 m durch diverse Kopplungsbereiche zu den tieferen Leitern abgebildet. Die dargestellte Grundwasserabsenkung an der Grenze zur Venloer Scholle rührt aus der nahenden Sümpfung für den Tagebau Garzweiler.

Die Vile 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 von Alltagebauen Kopplungsbereiche vorhanden. Im Bereich des ehemaligen Tagebaus Fortuna-Garsdorf, südlich des Peringsmaares, liegen daher kleinräumig prognostizierte Absenkungen von bis zu ca. 50 m vor.

In der linksrheinischen Kölner Scholle ist südwestlich von Pulheim über die Druckentspannung der Liegendgrundwasserleiter in der Erft-Scholle eine geringfügige Grundwasserabsenkung des Grundwasserstandes von $< 0,5$ m prognostiziert. Sehr lokal begrenzt kann diese auch bis zu 3 m erreichen. Im Bereich der Ortschaft Geildorf, südlich von Brühl, werden mit dem Grundwassermodell Absenkungen $< 0,5$ m, kleinräumig auch < 5 m ausgewiesen.

Grundwasserleiter 8 ([Karte G3c](#) im Erläuterungsbericht)

Im Bereich des Tagebaurandes werden im Grundwasserleiter 8 südlich der Ortschaft Hependorf im Sümpfungsschwerpunkt maximale Absenkungen von rund 50 m prognostiziert. Die großräumige Grundwasserabsenkung erstreckt sich dabei von Bedburg bis in die südliche Erft-Scholle nordwestlich von Meckenheim, entlang einer Linie von Buir nach Erp. Die prognostizierten Grundwasserabsenkungsbeträge nehmen in Richtung Süden ab und weisen überwiegend Größenordnungen von < 3 m zwischen Weilerswirst und Meckenheim auf. Der Versatz der Vile Scholle zur Erft-Scholle bildet eine natürliche Grenze in Richtung Nordosten. Im Norden der Erft-Scholle sind ebenfalls Grundwasserabsenkungen vorhanden, die im Wesentlichen auf instationäre Effekte der vorausgegangenen Sümpfungen und den Austausch mit tieferen Leitern zurückzuführen sind.

Grundwasserleiter 6B ([Karte G6c](#) im Erläuterungsbericht)

Der Grundwasserleiter 6B weist in seiner Verbreitung Ähnlichkeiten mit dem Horizont 6D auf und ist für die Entwässerung des Tagebaus Hambach derzeit noch von wesentlicher Bedeutung. Die fortzuführende Sümpfung zur Druckentspannung von 50 m im Bereich des Tagebaus führt zu prognostizierten Differenzen im Süden bei Frauwüllesheim von < 20 m. Die prognostizierten Differenzen im Norden der Erft-Scholle von < 3 m sind entsprechend zu den Absenkungen in den Horizonten 7 und 8 einzuordnen.

Grundwasserleiter 2-5 ([Karte G7c](#) im Erläuterungsbericht)

Durch die erforderlichen Sumpfungmaßnahmen zur Druckentspannung im Grundwasserleiter 2-5 kommt es während des weiteren Tagebaubetriebes fast in der gesamten Erft Scholle, insbesondere südlich des Tagebaus, zu einer kontinuierlichen Druckspiegelabsenkung. Der sich ergebende Sumpfungstrichter wandert mit dem weiteren Abbaufortschritt nach Südosten. Hier sind Absenkungen von > 50 m im direkten Tagebauumfeld prognostiziert. Die prognostizierte Druckspiegelreduzierung setzt sich mit bis zu 20 m auch bis in die südliche Erft-Scholle bei Heimerzheim fort.

In der linksrheinischen Kölner-Scholle werden Grundwasserabsenkungen westlich des Kierberger Sprungs nordwestlich von Merten (Bornheim) von < 3 m prognostiziert. Der Einfluss der Tagebausümpfung ist in diesem Teilbereich somit deutlich schwächer ausgeprägt. Die Differenzen betragen im Bereich der alten Ville-Tagebaue < 0,5 m bzw. bis zu 1 m.

Grundwasserleiter 01-09 ([Karte G8c](#) im Erläuterungsbericht)

Bis 2030 wird die Sumpfungsmenge im Grundwasserleiter 01-09 aufgrund des tieferen Einschneidens des Tagebaus und der damit verbundenen erforderlichen Druckentlastung bzw. Einhaltung der zulässigen Überdrücke weiter zunehmen. In der Erft-Scholle wird flächig eine weitere Druckreduzierung von weiträumig 20 bis zu 50 m prognostiziert. Auch in der südlichen Erft-Scholle sind noch prognostizierte Absenkungen von < 20 m ausgewiesen. Die Absenkungen am Rande der nördlichen Erftscholle entstammen der nahenden Liegendsümpfung für den Tagebau Garzweiler.

In Richtung der linksrheinischen Kölner Scholle nehmen die Absenkungsbeträge deutlich ab. Während in der westlichen und nördlichen Ville die Prognosen bei bis zu < 50 m liegen, sind jenseits des Sprungsystems im Bereich der östlichen bzw. südlichen Ville flächig nur noch Differenzen von < 3 m ausgewiesen. Im Umfeld von Frechen und südwestlich von Hürth liegen die prognostizierten Grundwasserstandsveränderungen bei < 1 m, im Stadtgebiet von Köln bei < 0,5 m.

5.3.2 Grundwasserstände im stationären Endzustand

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, auch dieses wurde im stationären Endzustand im Grundwassermodell berücksichtigt.

Im **oberen Grundwasserstockwerk** ([Karte G1d](#) im Erläuterungsbericht) des Rheinischen Braunkohlenreviers stellt sich ein stationärer Endzustand ein, dessen Fließbild in weiten Bereichen mit den Verhältnissen vor Beginn der großräumigen bergbaulichen Aktivitäten übereinstimmt. Die von den drei Großtagebauen Garzweiler, Hambach und Inden hinterlassenen Tagebauseen sowie ihre Kippenkörper verändern lokal das Fließbild des oberen Grundwasserstockwerks. Erwartungsgemäß sind die stärksten Grundwasserwiederanstiege in der Erft-Scholle zu verzeichnen. In den Bereichen der Erfttaue mit ehemals flurnahen Grundwasserständen wurde der Grundwasserwiederanstieg entsprechend den Vorgaben des Erftverbandes auf 3 m unter Flur modellseitig begrenzt.

In der Kölner Scholle ist der Grundwasserwiederanstieg bereits heute in weiten Bereichen erfolgt. In der Ville ist der Grundwasserwiederanstieg ebenfalls weitgehend erfolgt, hier hat sich durch die nachbergbauliche Landschaftsgestaltung mit der den Wiederanstieg begrenzenden Seenlandschaft eine neues Grundwasserregime ausgebildet. Erst jenseits der Ton-1-Verbreitung dominiert die Vorflutwirkung des Rheins das Fließgeschehen mit einem deutlich auf den Vorfluter gerichteten Abstrom.

5.3.1 Bilanzbetrachtungen

Überströme über die Schollenränder

Überströme über die Schollenränder können sowohl über innere als auch äußere Modellränder stattfinden ([Anlage 19](#)). Ihre Lage ist in ([Anlage 1](#)) abgebildet. Dabei gelten die bereits im Kapitel 5.2.3 dargelegten Hintergründe und Abgrenzungen auch für die im Folgenden beschriebene Prognose.

Über den Lövenicher Sprung fließen ca. 7 bis 8 Mio. m³/a der Erft-Scholle zu. Mit dem weiter nach Süden wandernden Sumpfungsschwerpunkt reduziert sich der Überstrom auf unter 4 Mio. m³/a in 2030.

Der Jackerather Horst markiert einen wichtigen Grenzbereich zwischen der Venloer Scholle und der Erft-Scholle. Dort strömte bereits im Kalibrierungszeitraum Wasser von der Venloer Scholle in die Erft-Scholle. Diese Fließrichtung bleibt auch zukünftig mit zunächst 7,9 Mio. m³/a im Jahr 2020 und 7,2 Mio. m³/a im Jahr 2030 erhalten.

Über den Kaster Sprung strömt bis 2030 kontinuierlich Wasser in die Erft-Scholle ein. Die Menge schwankt dabei zwischen 7,8 und 9,1 Mio. m³/a. Nach Ende der Tagebaue Hambach und Garzweiler nimmt der Volumenstrom stetig ab.

Über den Rand Venloer-Kölner Scholle fließen der Kölner Scholle ab 2015 3,3 Mio. m³/a und bis zu 4,6 Mio. m³/a in 2030 zu.

Der Rand bei Dormagen wird auch in Zukunft weiterhin durch den Rhein mitgeprägt. Im gesamten Prognosezeitraum finden über die Modellberandung Abströme von 6,4 Mio. m³/a statt.

Der Rand des Rheins wird im Prognosezeitraum mit konstanten Wasserspiegeln betrieben. Dementsprechend bleiben die Einströme bis 2030 mit um die 100 Mio. m³/a weitgehend konstant. Die Einstrommenge in das Modell kommt durch die in unmittelbarer Rheinnähe liegenden großen Fremdentnahmen zustande.

Der Randbereich Bornheim verzeichnet auch im Prognosezeitraum stetige Einströme in das Modellgebiet. Diese liegen mit 11,6 Mio. m³/a in derselben Größenordnung wie zum Ende des Kalibrierungszeitraums.

Der äußere Rand entlang des Swisttalsprunges Nord weist auch im Prognosezeitraum einen kontinuierlichen Einstrom von 6,4 Mio. m³/a in den 1. Modellgrundwasserleiter der Erft-Scholle auf.

Der äußere Modellrand Swisttalsprung Süd bezeichnet die Nordgrenze der südlichsten Erft-Scholle jenseits der Modellgrenze der Kölner Scholle. Wie im Kalibrierungszeitraum wird die Verwerfung auch im Prognosezeitraum als hydraulisch wirksam modelliert, so dass dort keine Volumenströme stattfinden.

Der Rurrand Rheinbach setzt die aus dem Zeitraum 1976 bis 2015 bekannten konstanten Einströme von 2,0 Mio. m³/a über den gesamten Prognosezeitraum fort.

Der Rurrand Süd weist wie im Kalibrierungszeitraum auch zukünftig vergleichsweise hohe Überströme von der Rur-Scholle in die Erft-Scholle aus. Die Fließrichtung bleibt mit 19,6 Mio. m³/a im Jahr 2020 und 19,5 Mio. m³/a im Jahr 2030 bestehen.

Über die Grenze zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle bei Düren strömen zum Ende des Kalibrierungszeitraumes knapp 30 Mio. m³/a in die Erft-Scholle ein. Bei gleich bleibender Fließrichtung bleiben die Mengen bis 2020 mit 31,2 Mio. m³/a weitestgehend konstant. Die Volumenströme steigen bis 2030 leicht auf 34,4 Mio. m³/a an und setzen diese Tendenz bis zum Zeitpunkt der Auskohlung des Tagebaus Hambach fort.

Bei Niederzier strömt auch im Prognosezeitraum stetig, wenn auch in variierenden Mengen, Wasser der Erft-Scholle zu. Während die Mengen aus dem Kalibrierungszeitraum bis 2020 zunächst auf 7,6 Mio. m³/a zurückgegangen sind, steigen sie danach bis zum Jahr 2030 bis auf 8,8 Mio. m³/a an.

Der innere Rand Jülich ist weiterhin hydraulisch wirksam, so dass dort auch im Prognosezeitraum keine Volumenströme stattfinden. Gleiches gilt für den inneren Rand zwischen der Erft-Scholle und der Rur-Scholle bei Stetternich. Er ist wie bereits im

Kalibrierungszeitraum auch im Prognosezeitraum hydraulisch wirksam, so dass dort ebenfalls keine Volumenströme stattfinden.

Der Rurrand Erft nord weist über den gesamten Prognosezeitraum Überströme von der Rur-Scholle in die Erft-Scholle aus. Sie zeigen einen leichten Anstieg auf 8,9 Mio. m³/a. Ab dem Jahr 2020 steigen sie weiterhin bis auf 9,1 Mio. m³/a im Jahr 2030 an.

Der Randbereich Fortuna verzeichnet zwischen 2015 und 2030 einen leichten Anstieg des Einstroms in die Erft-Scholle von ca. 23 Mio. m³/a auf ca. 25 Mio. m³/a.

Der innere Rand bei Bergheim markiert einen Grenzbereich zwischen der Erft-Scholle und der Kölner Scholle. Die Fließrichtung von der Kölner Scholle in die Erft-Scholle bleibt bis zum Ende des Tagebaus Hambach hinaus erhalten. Die ausgetauschte Wassermenge nimmt dabei zunächst bis 2030 auf 2,8 Mio. m³/a zu und verringert sich in den Folgejahren.

Der Randbereich Frechen zeigt auch im Prognosezeitraum Überströme von der Kölner Scholle in die Erft-Scholle. Sie steigen bis 2030 zunächst auf ca. 12 Mio. m³/a an und fallen danach.

Wasserhebung Tagebau Hambach

Die Tagebaue Garzweiler und Inden heben die für die Standsicherheit der Böschungen notwendigen Wassermengen wie im Modellbericht 2013. Für den Tagebau Hambach sind auch zukünftig die umfangreichsten Entwässerungsmaßnahmen notwendig. Seine Wasserhebung (Abbildung 6) wird bis etwa 2026 auf über 418 Mio. m³/a ansteigen (ohne Außengalerien). Nach Durchschreiten des Abbautiefsten nehmen die Hebungsmengen bis zum Zeitpunkt der Auskohlung im Jahr 2045 auf etwa ca. 280 Mio. m³/a ab. Zur Begleitung der Tagebauseefüllung sind an der Böschung relativ geringe Hebungsmengen von etwa 20 Mio. m³/a erforderlich. Diese Mengen werden bis zum Erreichen der Zielhöhe des Tagebausees um das Jahr 2080 auf 0 zurückgefahren.

Die Restwassermengen im Tagebau bewegen sich je nach dem zeitlichen Stand der zur Kalibrierung und Prognose verwendeten Eingangsdaten in der Größenordnung der offenen Wasserhaltung. Die modellseitig betriebenen Tagebaubrunnen wurden im Prognosezeitraum entsprechend der Abbauplanung angesetzt. Mit dem im Modell simulierten Ansatz ist das vom Abbau erfasste Gebirge zum Zeitpunkt der Abbaggerung optimal entwässert und es entstehen am Anschnittpunkt maximale Restwässer aus Vorrat und Zufluss in der Größenordnung von unter 5 Mio. m³/a.

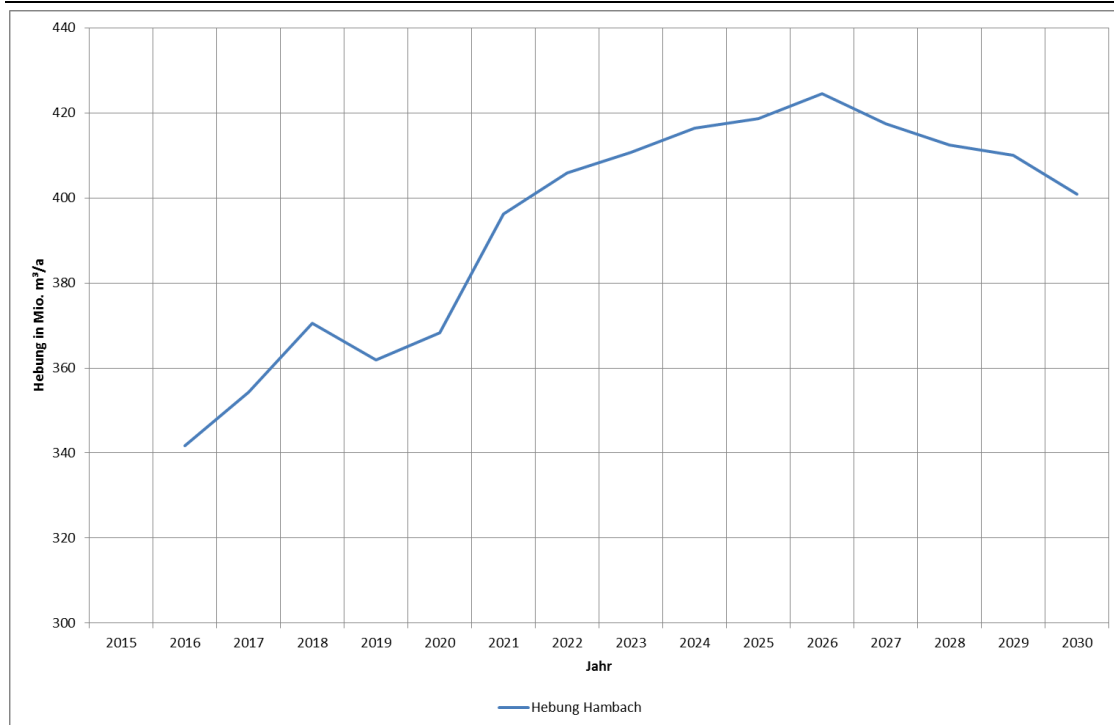


Abbildung 6: Wasserhebung Tagebau Hambach im Prognosezeitraum (ohne Außengalerien)

Förderung der öffentlichen und privaten Entnehmer

Besonders die Kölner Scholle ist durch eine Vielzahl öffentlicher und privater Entnehmer geprägt, deren Förderdaten, soweit verfügbar, im Grundwassermodell berücksichtigt werden. Für die Prognoserechnung wurden fremde Brunnen im Modell grundsätzlich mit der Hebungsmenge aus dem Jahr 2015 bis zum stationären Endzustand fortgeführt. Lediglich für bergbaulich bedingte Verschiebungen von Entnahmemengen 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 2015 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 Brunnen am Standort Titz werden hierbei in den Prognosen mit leicht erhöhten Mengen weiter betrieben. Im gewählten Szenario werden die Standorte Glesch, Paffendorf, Sindorf und Türnich sukzessive außer Betrieb genommen, so dass in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts die gesamte Trinkwasserversorgung vom Standort Dirmerzheim aus sichergestellt wird, was für den stationären Endzustand vollumfänglich, aber für die Differenzenbetrachtungen nur hinsichtlich der Verlagerung der Hebungsmengen von Glesch nach Paffendorf relevant ist.

In früheren Grundwassermodellen wurden die öffentlichen Entnehmer in der Prognose bis zur Höhe der Wasserrechts jährlich um 0,8 % gesteigert. Neuere Erhebungen weisen seit Mitte der achtziger Jahre einen insgesamt stagnierenden bis sinkenden Wasserbedarf aus. Ein Vergleich mit den vom Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen ausgewiesenen Daten zur langfristigen Bevölkerungsentwicklung im rheinischen Revier weist über die einzelnen Regionen allenfalls ein moderates Wachstum, eher aber konstante Bevölkerungszahlen aus. 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.

Gewässeraustauschmengen

Aufgrund der weiterhin andauernden Einflüsse der Sümpfungsmaßnahmen des Tagebau Hambach ergeben sich nur geringfügige Änderungen in der Vorflutwirkung bzw. Grundwasserspeisung der Gewässer. Für den Prognosezeitraum können daher ähnliche Austauschmengen wie im Kalibrierungszeitraum (Kapitel 5.2.4) beobachtet werden.

6 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt das Grundwassermodell, dessen Simulationsergebnisse im Erläuterungsbericht zum Antrag auf Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Fortsetzung der Entnahme und Ableitung von Grundwasser für die Entwässerung des Tagebau Hambachs bis 2030 verwendet werden.

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 deutlich über den im Erläuterungsbericht betrachteten Untersuchungsraum 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 ergeben haben. Erwähnt seien hier die räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung, die nicht bergbaulichen Entnahmen ab 1998 auf Basis der Entnehmerdatenbank des Erftverbands und die Überarbeitung des geologischen Modells der Erft-Scholle und der Ville.

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 5.2 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 im Wasserrechtsverfahren betrachteten Untersuchungsraum nachgewiesen.

Die Parametrisierung und die Ergebnisse der Prognosesimulation werden im Kapitel 5.3 erläutert. Daraus ergeben sich die bergbaulich bedingten Auswirkungen auf die Grundwasserleiter durch Differenzen der Grundwasserstände für die Jahre 2020, 2025 und 2030 im Vergleich zu 2015 im Untersuchungsraum.

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 Wasserversorgungs-entnahmen, 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 Reinische Braunkohlerevier die für den sicheren Betrieb der Tagebaue zu erwartende Wasserhebung unter dem Gesichtspunkt einer schonenden Beanspruchung des Wasserhaushaltes ermittelt wurde. Das vorliegende Modell für den Wasserrechtsantrags Hambach beschreibt die komplexen hydrogeologischen Verhältnisse im Modellgebiet und somit auch im Untersuchungsraum mit der bestmöglichen Genauigkeit, so dass es für die Betrachtung potentieller Auswirkungen der erforderlichen Entwässerung für den Tagebau Hambach ein verlässliches Instrument zur Entscheidungsfindung darstellt.

7 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.

Erftverband (2015): Wasserwirtschaft für unsere Region. Jahresbericht Erftverband 2015.

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.

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

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

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.