



Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde HGMJaWa-2020

Kurzfassung Modellbeschreibung

Auftraggeber: LEAG - Lausitz Energie Bergbau AG
Vom-Stein-Straße 39
03050 Cottbus

Bestell-Nr.:

Auftragnehmer: Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
Nonnenstraße 9
04229 Leipzig

Projekt Nr.: 2022/0012

Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Thom
M.Sc. S. Köhler
Prof. Dr.-Ing. H. Mansel
(Sachverständiger für Montanhydrologie)

Leipzig, August 2022

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	III
Literaturverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2 Allgemeine Gebietsbeschreibung	3
2.1 Lage	3
2.2 Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord	5
2.3 Klima	5
2.4 Wasserhaushalt	7
2.5 Hydrogeologie	8
3 Hydrogeologisches 3D-Strukturmodell „Jänschwalde“	9
3.1 Horizontaler und vertikaler Modellaufbau	9
3.2 Ausweisung des Haupthangendgrundwasserleiters	10
3.3 Programmsystem GMS (Groundwater Modeling System)	11
3.4 Pleistozänes Rinnensystem	11
3.5 Allgemeiner Aufbau des hydrogeologischen 3D-Strukturmodells	12
3.6 Aufbau des 3D-Kippenmodells	12
4 Grundwasserströmungsmodell HGM Jänschwalde 2020	14
4.1 Programmsystem PCGEOFIM®	14
4.2 Berechnungsmethodik	15
4.2.1 Einschwingphase	16
4.2.2 Kalibrierungsphase	16
4.2.3 Epignose	16
4.2.4 Prognose	16
4.3 Äußere Randbedingung	16
4.3.1 Haupthangendgrundwasserleiter	17
4.3.2 Liegendgrundwasserleiter	18
4.4 Grundwasserneubildung	18
4.4.1 Modellseitige Vorgabe der Grundwasserneubildung	18
4.4.2 Programmsystem ArcEGMO	19
4.4.3 Kopplung ArcEGMO-PCGEOFIM	20
4.4.4 Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen	21
4.5 Randbedingung „See“	22
4.6 Randbedingung „Fluss“	24
4.7 Randbedingung „Brunnen“	24
4.7.1 Bergbauliche Entwässerung	24
4.7.2 Wasserwerke	25
4.8 Umsetzung von Wasserhaltungs- bzw. Wasserversorgungsmaßnahmen	26
4.9 Dichtwand und Verdichtungsdämme	27
5 Modellkalibrierung	28
5.1 Aktualisierung von Wasserstandsdaten und Stammdaten	28
5.2 Modellgüte HGMJaWa	28
6 Ergebnis und Prognose	30
6.1 Erläuterung der Prognosezeitpunkte	30
6.2 Erstellung von Hydrodifferenzen	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Langjährige Mittelwerte der drei Referenzperioden 1961-90, 1971-2000 und 1981-2010 der Station Cottbus	5
Tabelle 2	Wasserhebungen durch Wasserwerke (ohne bergbaubedingte Entnahmen)	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Darstellung des Modellgebietes mit Lupenstruktur	4
Abbildung 2	Abweichungen der Jahresniederschlags- bzw. Verdunstungssummen am Standort Cottbus vom langjährigen Mittelwert (1961-2015) im Vergleich mit der kumulativen klimatischen Wasserbilanz	6
Abbildung 3	Jahresgang der kumulativen klimatischen Wasserbilanz; links: Vergleich der Referenzperioden; rechts: Zeitraum 1998-2015	7
Abbildung 4	Modellgrundwasserleiterzuordnung (Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2018)	10
Abbildung 5	Kohlefelder und Rinnenverbreitung im Niederlausitzer Braunkohlenrevier [L28], Modellgebiet ist rot gekennzeichnet	11
Abbildung 6	Horizontale hydraulische Kopplung der Erosionsrinnen im hydrogeologischen 3D-Strukturmodell	12
Abbildung 7	Horizontale hydraulische Kopplung des technologischen Kippenmodells im hydrogeologischen 3D-Strukturmodell	13
Abbildung 8	Schematischer Berechnungsablauf	15
Abbildung 9	Lage und Art der äußeren Randbedingungen im Modell HGMJaWa	17
Abbildung 10	Prinzipdarstellung des Grundwasserneubildungsverlaufs in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes	19
Abbildung 11	Übersichtsschema zum Aufbau des Programmsystems ArcEGMO	19
Abbildung 12	Berechnete mittlere Wasserhaushaltskomponenten (1981-2010)	21
Abbildung 13	Prinzipdarstellung der Modellankopplung eines Standgewässers an die MGWL	22
Abbildung 14	Modellkopplung eines Fließgewässers an den Modellgrundwasserleiter	24
Abbildung 15	Lage der Tagebaut entwässerung im HGMJaWa	25
Abbildung 16	Lage von Grundwasserentnahmestellen mit Angaben zu den genehmigten Entnahmemengen (Quelle: UWB SPN, GWAZ, GeWAP)	27
Abbildung 17	Modellanpassung im Haupthangendgrundwasserleiter (<i>links: Scatterplot; rechts: Klassen der Standardabweichung</i>)	29

Literaturverzeichnis

- L1 **1. Broschüre im EU-Projekt NEYMO:** Lausitzer Neiße-Charakteristik und Klima der Region
- L2 **AQUAVEO:** GMS User Manual (v8.3) - <http://www.aquaveo.com>, 2012
- L3 **Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge:** Stratigraphie des Känozoikums in Brandenburg mit spezieller Berücksichtigung des Braunkohlenreviers Lausitz, 1/2-2004
- L4 **Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge:** Zur Gliederung der quartären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Greifenhain (LAUBAG) und in seinem Umfeld, 1/1995
- L5 **Büro für angewandte Geologie Gouthier:** Hydrogeologisches Gutachten zur Dokumentation der Grundwasserverhältnisse auf dem Gelände des Kraftwerks Jänschwalde 2015, 02/2016
- L6 **Büro für Angewandte Hydrologie:** ArcECGMO onlineDokumentation „<http://www.doku.arcegmo.de>“, 2016
- L7 **Christian Niemann-Delius, Rolf Dieter Stoll, Carsten Drebenstedt und Klaus Müllensiefen:** Der Braunkohlentagebau; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg, 2009
- L8 **Deutscher Wetterdienst (DWD):** Mittlere jährliche Klimatische Wasserbilanz der Gewässeroberfläche (mittlere Tiefe 6m). <http://www.dwd.de>
- L9 **DHI-WASY GmbH:** Ergebnisse geohydraulischer Berechnungen mit dem Programm FEFLOW zur Flutung des Cottbuser Sees, Juli 2012.
- L10 **Dyck und Peschke:** Grundlagen der Hydrologie; Verlag für Bauwesen; Berlin 1995
- L11 **FUGRO Consult GmbH:** Aufbau eines geologischen Strukturmodells für den Bereich Burg-Peitzer-Hauptrinne, 2013
- L12 **FUGRO Consult GmbH:** Antrag auf wasserrechtliche Planfeststellung des Vorhabens „Gewässerausbau Cottbuser See, Teilvorhaben 2 – Herstellung des Cottbuser Sees“, 2014
- L13 **Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung:** Wasserversorgungskonzept Schwarzes Fließ 2012, 01/2013
- L14 **Golden Software LLC:** Sufer 13, User`s Guide; Golden Software, 2015
- L15 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells zur Ermittlung der Grundwasserneubildung für das Gebiet der Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord, 2017
- L16 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Ergebnisbericht-Grundwasserströmungsmodell „Jänschwalde-Nord“, Leipzig 2014
- L17 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** PCGEOFIM – Anwenderdokumentation - Geofim-Datenbasis, 2016.
- L18 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** PCGEOFIM – Anwenderdokumentation - Teil Theorie, 2017.
- L19 **Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft Wroclaw:** Ausführung eines hydrodynamischen Modells für die Region des bestehenden Tagebaus Jänschwalde und des geplanten Tagebaus Jänschwalde-Nord, 2016
- L20 **IPP Hydro Consult GmbH:** Wasserwirtschaftliche Untersuchungen zum Mittel- und Oberlauf der Malxe; 2013

- L21 **Landesumweltamt Brandenburg:** Verordnung über den Braunkohleplan Tagebau Jänschwalde, Potsdam, 2002.
- L22 **Landesumweltamt Brandenburg:** Datenanfrage - Durchflüsse und Wasserstände folgender Fließgewässer: Neiße, Malxe, Schwarzes Fließ; 24.03.2016
- L23 **Landesumweltamt Brandenburg:** Handlungskonzept für die Stabilisierung der Grundwasserverhältnisse in der Lieberoser Hochfläche, 31.03.2011
- L24 **Landesumweltamt Brandenburg:** Untersuchungen zum Rückgang der Seewasserstände im Raum Guben-Lieberose, Cottbus 2010
- L25 **LMBV Senftenberg:** Hydrologische Berechnung (Einschätzung-HE) „Herstellung des Klinger See und Herstellung der Vorflut“, 2003
- L26 **LMBV Senftenberg:** Hydrologische Berechnung (Einschätzung-HE) 6. Nachtrag „Herstellung des Klinger See und Herstellung der Vorflut“, 2014
- L27 **Merkblatt ATV-DVWK-M 504:** Korrekturverfahren nach Richter in Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden, September 2002
- L28 **Nowel, W.; Bönisch, R.; Schneider, W.; Schulze, H.:** Geologie des Lausitzer Braunkohlenreviers. Senftenberg, 2. Aufl. 1995
- L29 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Steckbriefe zur Bewertung der Wasserstandsentwicklung für wasserabhängige Landschaftsteile im hydrologischen Wirkungsbereich des Tagebaues Jänschwalde, Leipzig 2019
- L30 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde HGMJaWa 2017 - Modellbeschreibung. - Leipzig : Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2018
- L31 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Fortführung des hydrogeologischen Großraummodells Jänschwalde/ Cottbus-Nord in den Verantwortungsbereichen der LMBV - HGMJaWa 2018 - Modellbeschreibung. - Leipzig : Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2019
- L32 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde – Grundwasserströmungsverhältnisse in der Bergbaufolgelandschaft Jänschwalde - Herleitung des 3-Seen-Konzepts - Leipzig : Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2021
- L33 **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH:** Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde – Fachgutachterliche Bewertung: Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft Jänschwalde im geohydraulischen Kontext - Leipzig : Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2021

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AFB	Abraumförderbrücke
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
ArcEGMO	GIS gestütztes Einzugsgebietsmodell
BA	Bauabschnitt
BWHM	Bodenwasserhaushaltsmodell
DGM	Digitales Geländemodell
gE	Grundmoräne der Elster-Kaltzeit
GeWAP	Gesellschaft für Wasserver- und Abwasserentsorgung-Hammerstrom/Malxe-Peitz mbH
GIS	Geographisches Informationssystem
GMS	Groundwater Modeling System von AQUAVEO™
GOK	Geländeoberkante
gS	Grundmoräne der Saale-Kaltzeit
gW	Grundmoräne der Weichsel-Kaltzeit
GWAZ	Gubener Wasser- und Abwasserzweckverband
GWGL	Grundwassergleichen
GWGLP	Grundwassergleichenplan
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermodell
GWMST	Grundwassermessstelle
HGMJaWa	Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde
HH-GWL	Haupthangendgrundwasserleiter
IBGW	Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
Jaenau06	Grundwassermodell Klinger See der LMBV
KWB	Klimatische Wasserbilanz
LEAG	Lausitz Energie Bergbau AG
LMBV	Lausitzer u. Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
MGWL	Modellgrundwasserleiter
nb	nachbergbaulich
NQ, MQ, HQ	Niedrig-, Mittel-, Hochwasserabfluss
PCGEOFIM	Simulationsprogramm für Geofiltration und Geomigration
RDV	Rütteldruckverdichtung
RL	Tagebaurestloch bzw. Restloch
RS	Randschlauch
SUP	Strategische Umweltprüfung
UWB SPN	Untere Wasserbehörde Spree-Neiße
VEM	Vattenfall Europe Mining AG

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Hydrogeologische Großraummodell Jänschwalde (HGMJaWa) wurde für die Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse, ihrer Entwicklung und die Prognose des Grundwasserwiederanstiegs nach Beendigung des aktiven Tagebaubetriebs aufgebaut. In seinen Grenzen bildet es die durch den Bergbau beeinflussten Gebiete im Großraum der Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord ab. Für die laufenden Anforderungen bei den Planungen in den Bereichen Grundwasserabsenkung, bodenmechanische Standsicherheit, Wasserbau und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr durch Grundwasserwiederanstieg erfolgt eine regelmäßige Fortschreibung, Aktualisierung und Qualifizierung des Hydrogeologischen Großraummodells Jänschwalde.

Für den Bereich Jänschwalde existieren bisher ein Grundwassermodell „Hydrogeologisches Großraummodell Jänschwalde“ (HGMJaWa) der LEAG und ein Grundwassermodell „Klinger See“ (Jaenau06) der LMBV. Beide Modelle überschneiden sich räumlich. Aus Gründen der Konsistenz und Transparenz der Ergebnisse für den Bereich Cottbus-Nord/Jänschwalde wird ein den gesamten Bereich abdeckendes Hydrogeologisches Großraummodell betrieben.

Vor diesem Hintergrund wurde 2017 eine aufwendige Modellüberarbeitung vorgenommen. Durch eine Neustrukturierung des 3D-Hydrogeologischen Strukturmodells sollen Unschärfen in der Berechnung der nachbergbaulichen Grundwasserströmungsverhältnisse minimiert werden. Diese beinhaltete eine Erweiterung des Grundwasserströmungsmodells HGMJaWa auf das Sanierungsgebiet B5 der LMBV bis zum südlich der Bundesautobahn A15 verlaufenden Grenzfließ.

Zur Erfassung des nördlichen unterirdischen Einzugsgebietes wurde die nördliche Modellgrenze bis auf das Quellgebiet des Grano-Buderoser-Mühlenfließ erweitert.

Da die Landnutzung einen bedeutenden Einfluss auf die Höhe der Grundwasserneubildung und somit direkt auf die Grundwasserstände hat, wurde eine Aktualisierung der Randbedingung Grundwasserneubildung durch flächendeckend konsistente und aktuelle Daten durchgeführt. Die Ermittlung der Modelleingangsgröße Grundwasserneubildung erfolgt mit Hilfe des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO. Dieses ermöglicht die räumlich differenzierte sowie zeitlich variable Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen, einschließlich der schnellen Abflusskomponenten, des Gerinneabflusses und der Grundwasserneubildung.

Der vorliegende Bericht beschreibt in Form einer Kurzdokumentation das Grundwasserströmungsmodell HGMJaWa. Das aktuelle Modell beruht auf dem Basismodell HGMJaWa 2018 ([L31]). Das Grundwasserströmungsmodell ist als ständig arbeitendes Modell (SAM) konzipiert, welches fortlaufend qualifiziert wird. Insbesondere die hochsensitiven Eingangsparameter Tagebauentwässerung und Grundwasserneubildung haben großen Einfluss auf die sich prognostisch einstellenden Grundwasserstände.

Datenrecherchen, Modellaktualisierungen sowie die Kalibrierung erfolgen in enger Abstimmung mit der LEAG sowie der LMBV. Die relevanten Daten wurden durch die LEAG und LMBV bereitgestellt. Die seit 2018 durchgeführten Aktualisierungen sind im Detail in den Fachbeiträgen zum Zielabweichungsverfahren [L32], zur Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft Jänschwalde [L33] sowie im Gutachten zur Bewertung der Wasserstandsentwicklung für wasserabhängige Landschaftsteile im hydrologischen Wirkungsbereich des Tagebaues Jänschwalde [L29] dokumentiert.

Das Grundwassermodell (GWM) ist dabei so konzipiert, dass zukünftig folgende hydrogeologische Berechnungen durchgeführt werden können:

- *Berechnung von Szenarien als Entscheidungsvorlagen für wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Maßnahmenvarianten,*
- *Berechnung von Grundwasserstandsentwicklungen einschließlich des quasistationären Endzustandes als Grundlage zur Abgrenzung vorhabenbezogener Untersuchungsräume, für die Erstellung von geotechnischen Gutachten und Planungen von Sanierungsmaßnahmen,*
- *Berechnung von Wasserbilanzen als Grundlage für wasserwirtschaftliche und geotechnische Planungen sowie Beschaffenheitsgutachten,*

2 Allgemeine Gebietsbeschreibung

2.1 Lage

Das Modellgebiet liegt vollständig im Land Brandenburg nordöstlich von Cottbus und erstreckt sich entlang der deutsch-polnischen Grenze. Es erfasst weite Teile der Lieberoser und Gubener Hochfläche. Das Neißeetal und die Spree-Malxe-Niederung bilden die bedeutenden Vorfluter. Das Modellgebiet besitzt eine Ausdehnung von 37 km in Nord-Süd- und 26 km in Ost-West-Richtung. Mit einer Gesamtfläche von ca. 790 km² dient es der Erfassung und Darstellung verschiedener Gebietszustände: der Tagebauentwässerung, der hydraulischen Wirkung von Dichtwänden und der Grundwasserstandsentwicklung. Innerhalb des Modellgebietes liegen der aktive Tagebau Jänschwalde sowie der Tagebau Cottbus-Nord. Als Untersuchungsrahmen wird folgender Koordinatenausschnitt betrachtet (Abbildung 1):

- RW 5456000 – 5482000
- HW 5728000 – 5774000 (*Gauß-Krüger-Bessel, Lagestatus 110*)

Die Oberflächenstruktur ist durch fluviatile und glazigene Prozesse der Vergletscherungsphasen der Elster-, Saale- und Weichselkaltzeit im Pleistozän geprägt. Von Westen bis Nordosten ist das Gebiet durch flachwellige Hochflächen charakterisiert. Diese Hochflächen untergliedern sich in die Lieberoser, die Gubener und die Hornoer Hochfläche. Im Süden wird die von +65 m NHN auf bis zu +100 m NHN nach Nordosten hin ansteigende Jungmoränenlandschaft durch die Spree-Malxe-Niederung begrenzt. Im Osten markiert das Neißeetal die naturräumliche Grenze der Hochflächen. Die Hochfläche ist durch zahlreiche eingesenkte Seen, Moore und Fließe geprägt. Große Teile der Flächen werden von Kiefernwäldern und Laub- und Mischwäldern eingenommen, im nordöstlichen Teil erfolgt eine landwirtschaftliche Nutzung.

Die Jänschwalder Laßzinswiesen schließen sich südlich an die Hochflächen an. Sie sind ein nahezu kreisförmiges Gebiet von 5 bis 5,5 km Durchmesser, welches nordöstlich von Peitz auf einem Geländeniveau von rd. +60 bis +61,5 m NHN liegt. Diese Tieflage der Laßzinswiesen und die sie umringenden Hochflächen sind die hydrologischen Ursachen für das Entstehen eines Feuchtgebietes. Über ein engmaschiges Grabensystem werden die Laßzinswiesen in Richtung Malxe entwässert.

Die Spree-Malxe-Niederung im Zentrum des Modellgebietes verläuft von Südosten nach Westen und bildet die natürliche Tieflage im Modellgebiet. Ab der Ortslage Bohrau ist der Verlauf der Malxe durch den Tagebau Jänschwalde unterbrochen. Derzeit entwässert das südliche Einzugsgebiet der Malxe über den Malxe-Neiße-Kanal in die Neiße.

Im Süden des Modellgebietes dominieren die Braunkohletagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord das Landschaftsbild. Das Jether Grenzfließ markiert den südlichen Grenzverlauf des Modellgebietes. Der südliche Teil ist bis auf die Außenkippe des Tagebaus Cottbus und die Bärenbrücker Höhen mit ca. +95 m NHN morphologisch eher flach.

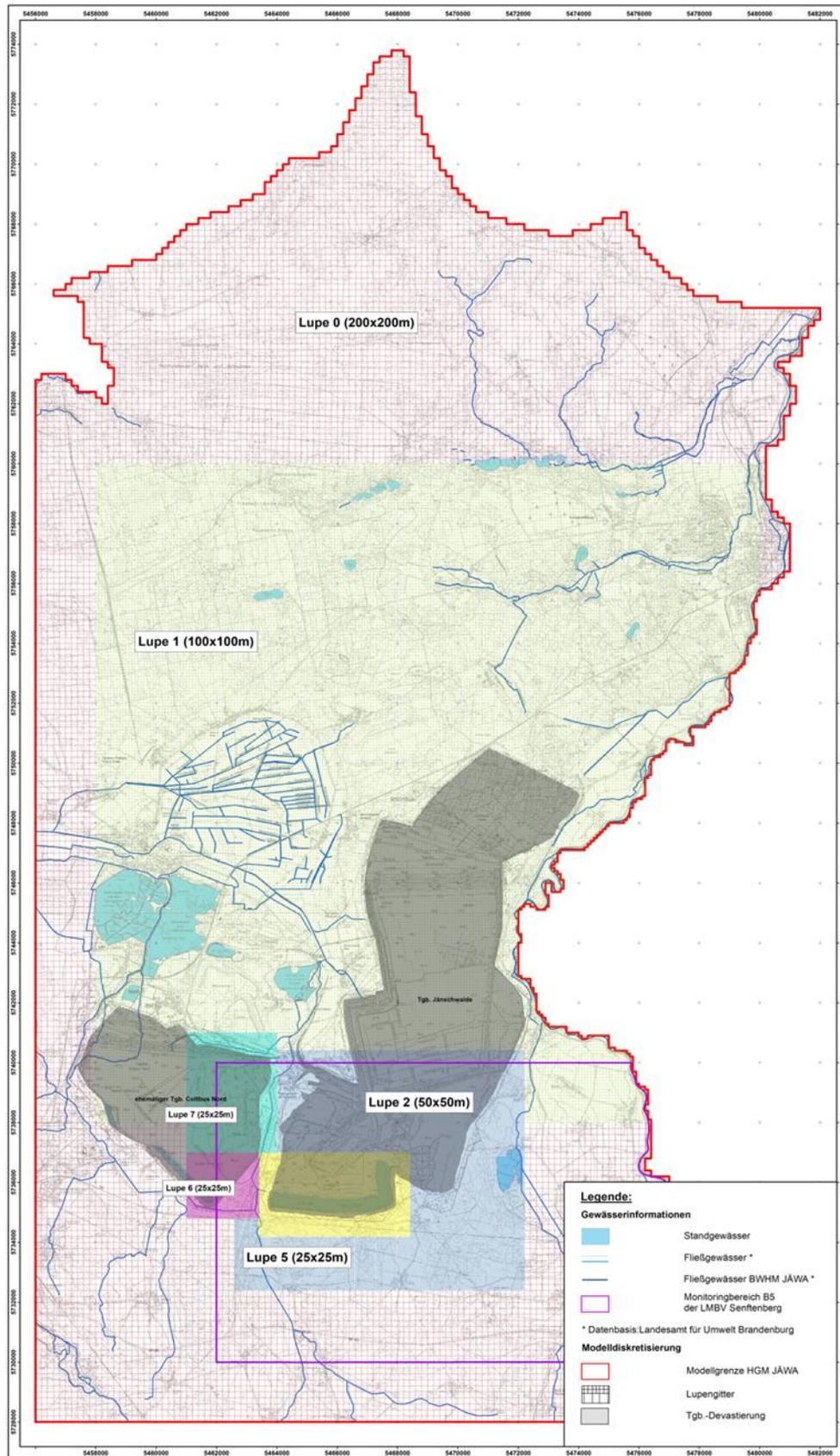


Abbildung 1 Darstellung des Modellgebietes mit Lupenstruktur

2.2 Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord

Die Braunkohlenfelder Jänschwalde und Cottbus-Nord liegen östlich der Stadt Cottbus im südlichen Teil des Modellgebiets (Abbildung 1). Durch einen ca. 6 km langen in N-S-Richtung verlaufenden Landpfleiler sind beide Abbaufelder getrennt.

Seit Ende der 1970er Jahre erfolgt die Kohleförderung zur Versorgung des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde in beiden Tagebauen. Es wird der 2. Lausitzer Flözhorizont abgebaut. Im Tagebau Cottbus-Nord liegt dieser in 30 bis maximal 45 m Tiefe und ist 8 bis 10 m mächtig. In Jänschwalde beträgt die Abraummächtigkeit 45 bis 95 Meter, bei einem 10 bis 12 Meter mächtigen Braunkohleflöz.

Der Abbau des Kohleflözes macht den Betrieb einer Vielzahl an Filterbrunnen im Vorfeld und in den Randbereichen der Tagebaue notwendig. Hierbei erfolgt die Entwässerung der Hangendschichten sowie eine Entspannung des Druckniveaus im Liegenden. Die dicht nebeneinander liegenden Tagebaue verursachen einen ineinandergreifenden Entwässerungstrichter. Um die Auswirkungen der bergmännischen Wasserhaltung beider Tagebaue auf die natürlichen Grundwasserhöhen möglichst gering zu halten, wurden unterirdische Dichtwände installiert.

Der Tagebau Cottbus-Nord hat 2015 seine Endstellung erreicht. Seitdem findet die bergbauliche Sanierung statt, sodass 2018 mit der Flutung begonnen werden konnte [L7].

Die geplante Endstellung des Tagebaus Jänschwalde wird 2023 in Höhe der Ortslage Taubendorf erreicht. Die Bergbaufolgelandschaft sieht eine land-, forst-, und wasserwirtschaftliche Nutzung vor. Wesentliche wasserwirtschaftliche Elemente werden die Wiederherstellung des Flussbetts der Malxe zwischen Mulknitz und Heinersbrück sowie der entstehende Klinger See, der Grubenteich und die Seen im Bereich der Ortslagen Heinersbrück, Jänschwalde und Taubendorf sein.

2.3 Klima

Das Modellgebiet befindet sich in der stark kontinental beeinflussten gemäßigten Klimazone des Norddeutschen Tieflands. Für die klimatische Charakterisierung des Modellgebietes wurden langjährige Messreihen 1961-2021 als Tageswerte der Klimastation Cottbus des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Mit den Parametern Lufttemperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer können aus den Messreihen klimatische Aussagen abgeleitet werden. Der DWD stellt nach der WMO-Richtlinie (World Meteorological Organisation) 30-jährige Messreihen zur Verfügung. Tabelle 1 stellt zusammenfassend einen Auszug dar.

Tabelle 1 Langjährige Mittelwerte der drei Referenzperioden 1961-90, 1971-2000 und 1981-2010 der Station Cottbus

	1961-1990	1971-2000	1981-2010
Lufttemperatur [°C] ¹	8,9	9,3	9,6
Niederschlag [mm/a] ¹ (unkorrigiert)	563	560	568
Sonnenscheindauer [h] ¹	1679	1671*	1741
potentielle Evapotranspiration [mm] ²	667,4	679,7	700,7
klimatische Wasserbilanz [mm]	-54,1	-69,5	-80,9

¹ Daten des DWD; ² Berechnung nach Turc/Ivanov; * Observatorium Lindenberg

Abbildung 2 zeigt die kumulative klimatische Wasserbilanz (KWB) sowie die Abweichung der Jahreswerte gegenüber den langjährigen Mittelwerten (1961-2015) des Niederschlags und der Verdunstung. Die Niederschlagshöhen wurden nach dem Verfahren nach Richter korrigiert [L27]. Die potentielle Verdunstung wurde nach dem Turc/Ivanov-Verfahren aus Tageswerten der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und Sonnenscheindauer berechnet [L6].

Die KWB gibt Auskunft über das Feuchteverhältnis in einem Gebiet und dient damit als ein Indikator für das Wasserdargebot in einem bestimmten Zeitraum. Die klimatische Wasserbilanz entspricht dem potentiellen Wasserdargebot, d.h. der Differenz zwischen den langjährigen Mittelwerten von Niederschlag und potentieller Verdunstung [L10]. Aus den langjährigen Zeitreihen der Klimastation Cottbus ergibt sich eine negative KWB (vgl. Tabelle 1).

Beim Vergleich der Schwankungsbreiten der Jahressummen des Niederschlags wird deutlich, dass im Zeitraum von 1961 bis 1990 wiederholt mehrere Jahre mit höheren Niederschlägen in Folge (z.B. 1977-1981) sowie auch Zeiträume mit geringeren Niederschlägen (1988-1992) auftreten. Ab den 2000er Jahren zeichnet sich hingegen ein jährlicher Wechsel zwischen hohen und niedrigen Niederschlagssummen ab. Betrachtet man den Verlauf der potentiellen Verdunstung, unterliegt diese nur geringen Schwankungsbreiten. Vergleicht man nun die kumulative KWB in Abbildung 2 mit den dargestellten Schwankungsbreiten, lassen sich deutlich Zeiträume mit einem potentiellen Gebietswasserüberschuss bzw. -defizit ableiten.

Eine Betrachtung des Trends zeigt einen leichten Anstieg der Niederschlagssummen [vgl. L1]. Demgegenüber steht ein deutlicher Anstieg der potentiellen Verdunstung. Dieser Zusammenhang, aus einem nur leichten Anstieg der Jahressummen des Niederschlags und größeren Zunahme der potentiellen Verdunstung wird insbesondere ab Anfang der 2000er Jahre deutlich. Ab 2000 kommt es im Modellgebiet zu einem klimatisch bedingten deutlichen Wasserdefizit, welches sich ab 2009/2010 wieder leicht erholt.

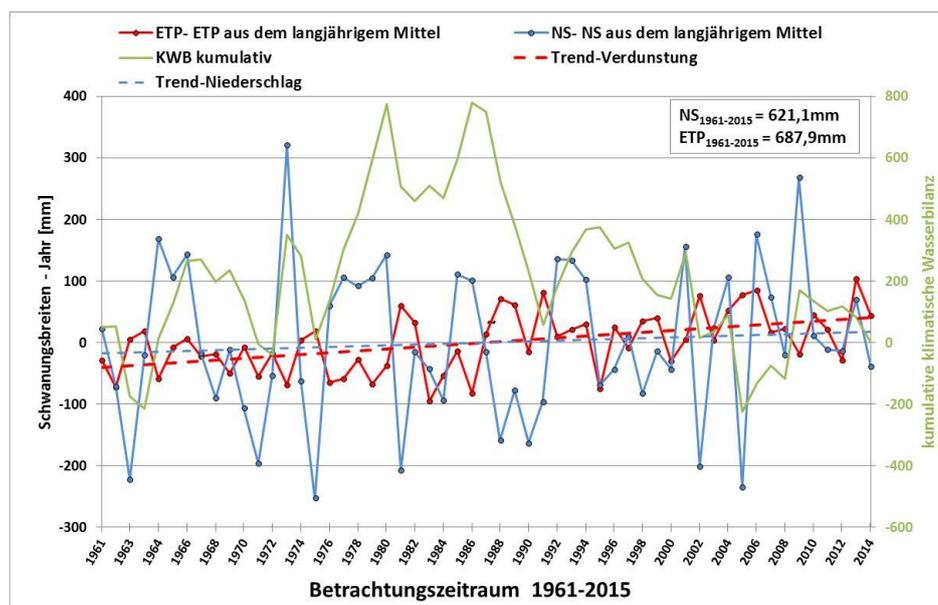


Abbildung 2 Abweichungen der Jahresniederschlags- bzw. Verdunstungssummen am Standort Cottbus vom langjährigen Mittelwert (1961-2015) im Vergleich mit der kumulativen klimatischen Wasserbilanz

Anhand der klimatischen Wasserbilanz in Abbildung 3 wird die innerjährliche Wasserdargebotsituation im Modellgebiet verdeutlicht. Die linke Abbildung vergleicht die mittleren Monatssummen der Referenzzeiträume 1961-1990, 1971-2000 sowie 1981-2010 mit dem Zeitraum 1998-2015. Mit den jüngeren Referenzzeiträumen vergrößert sich die Amplitude der jeweiligen Graphen. In den dargestellten Referenzzeiträumen verringert sich demnach das potentielle Wasserdargebot zunehmend. Besonders deutlich wird der Rückgang in den Sommermonaten. Die Darstellung weist auf ein vermindertes Wasserdargebot im Sommer und ein nur geringfügig höheres Dargebot im Winter hin. Die detaillierte Darstellung des Zeitraums 1998-2015 in Abbildung 3 (rechts) lässt Rückschlüsse über eine zunehmende Tendenz zu Extremereignissen zu. Deutlich markieren die Jahre 2002 und 2010 niederschlagsreiche Jahre, die auf eine kurzzeitige Stabilisierung des Wasserdargebots hinweisen (vgl. Abbildung 2). Demgegenüber stehen extreme Trockenperioden in den Jahren 2003 und 2006.

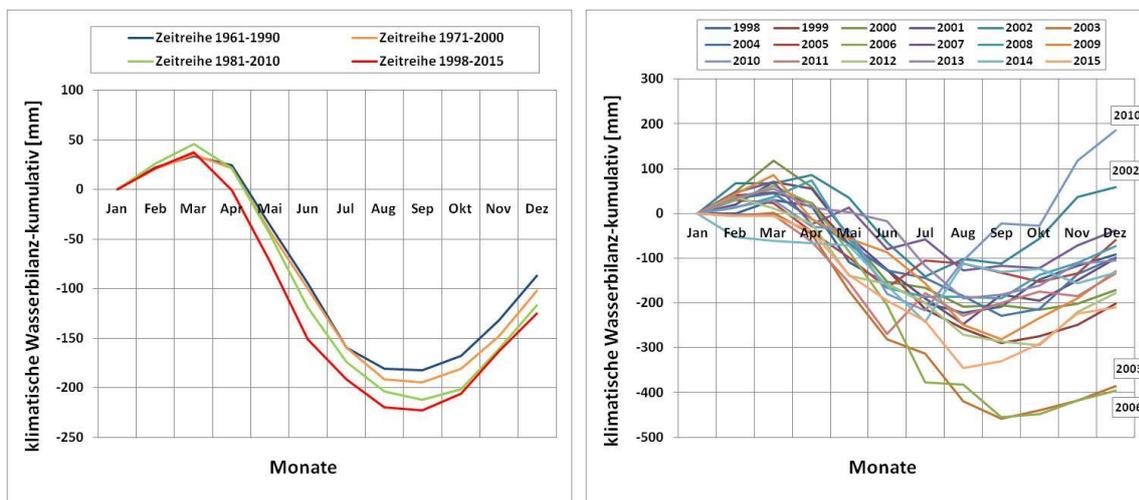


Abbildung 3 Jahresgang der kumulativen klimatischen Wasserbilanz;
links: Vergleich der Referenzperioden; rechts: Zeitraum 1998-2015

2.4 Wasserhaushalt

Die Hauptabflussrichtungen im Modellgebiet erfolgen in östliche Richtung zur Lausitzer Neiße und in südliche Richtung zur Malxe-Spree-Niederung. Sie bilden die natürliche Drainage der pleistozänen und tertiären Haupthangendgrundwasserleiter. Somit verläuft eine Wasserscheide zwischen der Lausitzer Neiße und der Spree in Nordwest-Südost-Richtung.

Im Bereich der Gubener und Horner Hochfläche entwässern das Grano-Buderoser-Mühlenfließ mit seinen kleineren Zuflüssen sowie das Schwarze Fließ bei Guben in Richtung der Lausitzer Neiße. Weitere nennenswerte seitliche Zuflüsse der Lausitzer Neiße im Modellgebiet sind die Moaske und das Eilenzfließ nordöstlich des Tagebaus Jänschwalde.

Die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse werden maßgeblich durch die mit dem Braunkohletagebau einhergehende bergmännische Wasserhaltung und -ableitung geprägt. Ein großer Teil des Sumpfungswassers des Tagebaus Jänschwalde dient als Brauchwasser im Kraftwerk Jänschwalde. Ein weiterer Teil wird zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes geschützter Naturräume genutzt.

Südlich der Malxe verläuft auf dem Landpfeiler zwischen den Tagebauen Cottbus-Nord und Jänschwalde das verlegte Trinitzfließ. Über das Trinitzfließ werden derzeit die Bärenbrücker Teiche mit Sumpfungswasser beider Tagebaue versorgt. Der Hammergraben, welcher den Tagebau Cottbus-Nord westlich umfließt, versorgt die Peitzer Teichlandschaft mit Wasser. Am westlichen Modellgebietsrand verläuft die Spree in nördliche Richtung.

Neben der Vielzahl an Fließgewässern befinden sich eine Reihe von Standgewässern im Modellgebiet. Im Norden des Modellgebietes sind hier beispielsweise der Pinnower See, der Großsee, der Kleinsee, der Deulowitzer See, der Schenkendöbener See, das Speicherbecken Krayne und der Pastlingsee zu erwähnen. Südlich der Malxe liegen die Peitzer und die Bärenbrücker Teiche.

2.5 Hydrogeologie

Die pleistozänen und tertiären Sande und Kiese der Hangendschichten des 2. Lausitzer Flözes sind durch lokal verbreitete grundwasserstauende Schichten (Geschiebemergel, Schluffe, etc.) in Teilgrundwasserleiter gegliedert. Durch die flözleeren pleistozänen Rinnensysteme bestehen großräumige hydraulische Kontakte zu den tertiären Liegendgrundwasserleitern G 8, G 7, G 6 und G 5 [L7].

Die tertiäre Schichtenfolge beginnt mit den Sanden des GWL 800. Die darüber lagernde Spremberger-Folge setzt sich aus Sanden des GWL 700, Tonen und Schluffen zusammen. Die Basis wird durch den 4. Lausitzer Flözhorizont gebildet.

Der tieferliegende Abschnitt der Briesker Formation gliedert sich in einen unteren Teil, meist schluffig, und einen oberen Teil, meist sandig. Die Basis der Briesker Formation wird durch den 3. Lausitzer Flözhorizont gebildet. Zum schluffigen Teil gehören die Ablagerungen der GWL 620 und 630. Der sandige Teil setzt sich aus einer Wechsellagerung von Schluffen und Sanden der GWL 610 und 500 sowie dem Unterbegleiterkomplex des 2. Lausitzer Flözhorizontes zusammen.

Das 2. Lausitzer Flöz ist durch zwei Zwischenmittel aufgespaltet und somit in drei Flözbänke gegliedert. Die summarische Mächtigkeit aller drei Bänke beträgt ca. 12 m. Im Hangenden des 2. Lausitzer Flözes folgen die obersten tertiären Ablagerungen der Briesker Folge. Diese werden durch Schluffe und Sande des GWL 400 bzw. GWL 300 gebildet.

Im Hangenden des Tertiärs folgen die Ablagerungen des Quartärs. Diese sind durch die Sedimente der verschiedenen Inlandseisvorstöße geprägt. Im Südwesten sind die Sedimente des Baruther Urstromtals anzutreffen. Im Osten kommen die Sedimente des Taubendorfer Sanders vor.

3 Hydrogeologisches 3D-Strukturmodell „Jänschwalde“

Grundlage für die numerische Berechnung der Grundwasserströmung ist die hydrogeologische Modellbildung auf der Grundlage der Interpretation der geologischen Schichten innerhalb des betrachteten Modellgebietes. Die hydrogeologisch relevanten Einheiten werden nach Tiefe, Abfolge und Ausdehnung unterteilt und generalisiert in einem hydrogeologischen Strukturmodell dargestellt.

Der Aufbau des hydrogeologischen 3D-Strukturmodells erfolgte mit dem Programmsystem GMS (Groundwater Modeling System) von AQUAVEO™. Die hydrogeologischen Verhältnisse des vorbergbaulichen sowie des geplanten nachbergbaulichen Zustands werden in zwei separaten Modellen abgebildet, dem vorbergbaulichen und nachbergbaulichen Modell.

3.1 Horizontaler und vertikaler Modellaufbau

Für die numerische Lösung der Grundwasserströmung ist es erforderlich, den zu untersuchenden Raum in einzelne Zellen zu zerlegen.

Der Modellraum orientiert sich an geologischen und hydrologischen Rändern und dort, wo kein derartiger Modellrand zugewiesen werden konnte. Insbesondere an den in das Gebiet einfließenden oder ausfließenden Volumenströmen wurden die Ränder über die Einzugsgebiete bzw. hydraulischen Potentiale ermittelt. Die **horizontal ebene Modellstruktur** (siehe Abbildung 1) des Grundwassermodells (GWM) besteht aus einem Grundraster mit einer Kantenlänge von 200 m x 200 m. In den Fokusbereichen wird der Strömungsraum wie folgt verfeinert:

<i>Lupe 1</i>	<i>100 m x100 m (Tagebau Jänschwalde)</i>
<i>Lupe 2</i>	<i>50 m x50 m (Monitoringbereich B5 der LMBV)</i>
<i>Lupe 5</i>	<i>25 m x25 m (Klinger See)</i>
<i>Lupe 6</i>	<i>25 m x25 m (Cottbuser Ostsee – südöstlicher Bereich)</i>
<i>Lupe 7</i>	<i>25 m x25 m (Cottbuser Ostsee – nordöstlicher Bereich)</i>

Die **vertikale Modellstruktur** des HGMJaWa orientiert sich an der lithofaziellen Gliederung des Gebietes und berücksichtigt 20 Modellgrundwasserleiter (MGWL). Die Struktur der MGWL ist in Abbildung 4 dargestellt. Hydraulisch miteinander verbundene Grundwasserleiter können in der Grundwassergleichen als ein einheitliches Grundwasserstockwerk zusammengefasst werden.

Die vertikalen Gliederungsebenen werden im Folgenden als MGWL („Modellgrundwasserleiter“) bezeichnet, gleichgültig ob es sich um einen Grundwasserleiter im klassischen Sinn oder einen sogenannten Grundwassergeringleiter oder -stauer handelt. Die hydraulischen Eigenschaften des jeweiligen MGWL werden durch seine Parameter definiert. Die Aufstellung der Kopplungsmatrix im numerischen Modell PCGEOFIM erfolgt in horizontaler Richtung entlang der Verbreitung der MGWL. Die vertikale Kopplung ergibt sich aufgrund der Bedingung, dass die Liegendhöhe eines MGWL gleich der Hangendhöhe eines (tiefer) folgenden MGWL ist.

System	MGWL	k_f -Werte [m/s]	Schichtenfolge	Darstellung im GWGL-Plan
QUARTÄR	MGWL 1	10^{-3} bis 10^{-5}	Holozän	Haupthangendgrundwasserleiter
	MGWL 2	10^{-6}	gW^1	
	MGWL 3	10^{-4} bis 10^{-5}	GWL130	
	MGWL 4	10^{-6}	$gS3^2$	
	MGWL 5	10^{-3} bis 10^{-5}	GWL140	
	MGWL 6	10^{-6} bis 10^{-8}	$gS2^2$	
	MGWL 7	10^{-3} bis 10^{-5}	GWL150	
	MGWL 8	10^{-5} bis 10^{-6}	$gS1^2$	
	MGWL 9	10^{-4} bis 10^{-5}	GWL160	
	MGWL 10	10^{-5} bis 10^{-8}	$gE2^3$	
	MGWL 11	10^{-6}	GWL170-180	
TERTIÄR	MGWL 12	10^{-5}	GWL300	
	MGWL 13	10^{-6}	OBGL_MF2 ⁴	
	MGWL 14	10^{-4} bis 10^{-5}	GWL410	
	MGWL 15	10^{-7} bis 10^{-9}	MF2 ⁵	
	MGWL 16	10^{-4} bis 10^{-6}	GWL500	Liegend-GWL 500
	MGWL 17	10^{-7}	UBGL_MF2 ⁶	
	MGWL 18	10^{-4} bis 10^{-6}	GWL600	Liegend-GWL 600
	MGWL 19	10^{-7} bis 10^{-8}	MF3+MF4 ⁷	
	MGWL 20	10^{-4} bis 10^{-6}	GWL700-800	Liegend-GWL 800

¹ gW - Weichsel-Kaltzeit; ² gS1, gS2, gS3 - Saale-Kaltzeit; ³ gE2 - Elster-Kaltzeit;

⁴ OBGL MF2 – Oberbegleiter Miozänes Flözbank 2;

⁵ MF2 - Miozänes Flözbank 2; ⁶ UBGL MF2 – Unterbegleiter Miozänes Flözbank 2; ⁷ MF3+MF4 - Miozänes Flözbank 3+4

Abbildung 4 Modellgrundwasserleiterzuordnung (Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2018)

3.2 Ausweisung des Haupthangendgrundwasserleiters

Der Fokus bei der Abbildung der Grundwassergleichen liegt auf den Haupthangend-GWL (HH-GWL) (siehe Abbildung 4).

Die Zuweisung der MGWL in den HH-GWL-Komplex wurde anhand von Grundwassermessstellen (GWMST) durchgeführt. Hydraulisch miteinander verbundene Grundwasserleiter können modelltechnisch in den Grundwassergleichen als ein einheitliches Grundwasserstockwerk zusammengefasst werden. In der Darstellung der Grundwassergleichen wird die Grundwasseroberfläche des obersten wassererfüllten MGWL abgebildet.

3.3 Programmsystem GMS (Groundwater Modeling System)

Das hydrogeologische Strukturmodell Jänschwalde wurden mit dem Programmsystem GMS (Groundwater Modeling System) von AQUAVEO™ [L2] erstellt. Das Programmsystem GMS bietet die Möglichkeit, geologische sowie hydrogeologische Daten zu dreidimensionalen Struktur-, Parameter- und Strömungsmodellen zu entwickeln. Durch die Berücksichtigung von Punkt-, Flächen- und 3D-Informationen können komplexe stratigrafische Modellräume modelliert werden. Des Weiteren können zur optimalen Nachbildung der jeweiligen geologischen Struktur im Programm integrierte Berechnungsverfahren, wie zum Beispiel Interpolations- und Verschneidungsalgorithmen, verwendet werden. GMS bietet darüber hinaus vielfältige Möglichkeiten der Visualisierung, z.B. drehbare 3D-Darstellungen und frei wählbare Profilschnitte mit beliebiger Orientierung.

3.4 Pleistozänes Rinnensystem

Die Rinnensysteme können einen wesentlichen Einfluss auf das Grundwassergeschehen haben. Beispielsweise können ursprüngliche Grundwasserleiterverbreitungen durch die Rinnen gestört/ausgeräumt sein oder es kann über die Ränder der Rinnen zu hydraulischen Kopplungen von eigentlich getrennten Grundwasserstockwerken kommen.

Bei den im Modellgebiet Jänschwalde wirksamen Rinnen sind vor allem die Lieberose-Gubener sowie die Burg-Peitzer Hauptrinne zu nennen. Daneben spielen zahlreiche weitere Rinnensysteme eine wichtige Rolle, wie die Bärenbrücker Rinne, die Taubendorfer Rinne, die Kerkwitzer Rinne, die Tranitz-Heinersbrücker Rinne, die Dubrau-Bohrauer Rinne, die Forster Rinne, die Komptendorfer und Gahryer Rinne sowie die Schlichower Rinne und die Kolkwitzer Rinne.

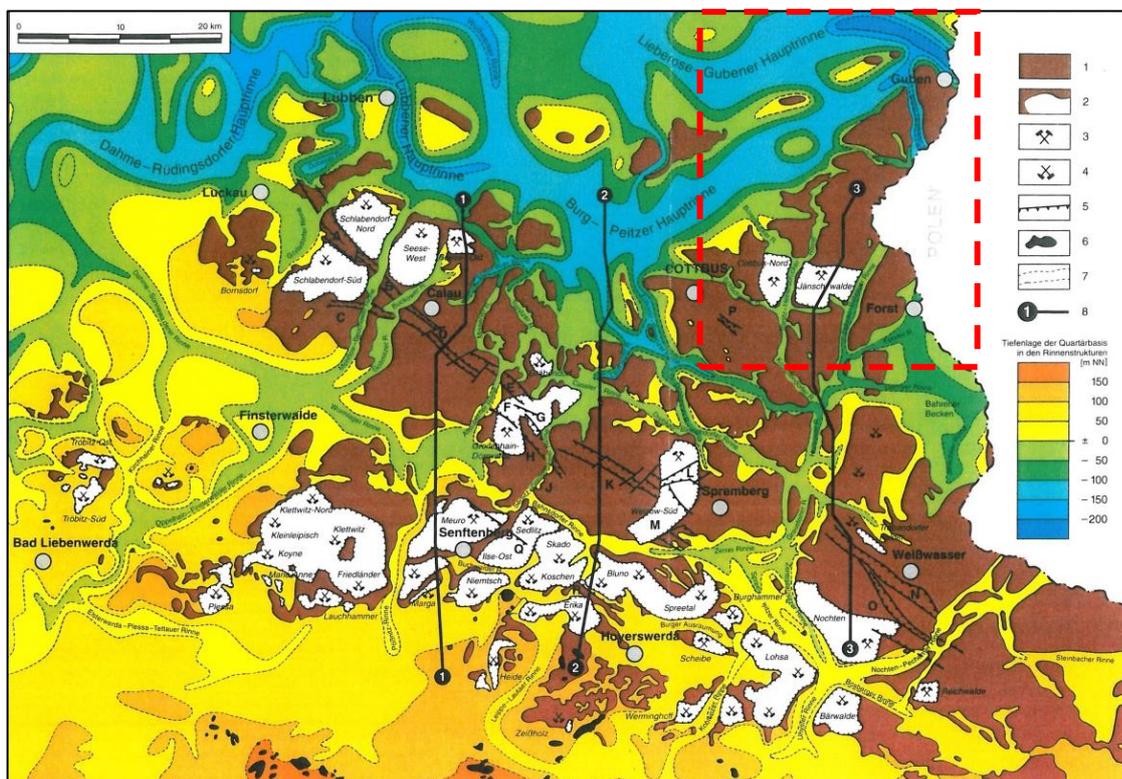


Abbildung 5 Kohlefelder und Rinnenverbreitung im Niederlausitzer Braunkohlenrevier [L28], Modellgebiet ist rot gekennzeichnet

3.5 Allgemeiner Aufbau des hydrogeologischen 3D-Strukturmodells

Die horizontale Ausdehnung des Strukturmodells folgt der Ausdehnung des Grundwasserströmungsmodells. Der vertikale Aufbau ist durch die Nutzungs- bzw. Beeinflussungskriterien definiert und entspricht dem hydrostratigrafischen Normalprofil der LEAG.

Die hydrogeologisch relevanten rolligen und bindigen Schichten des 3D-Strukturmodells wurden hinsichtlich Verbreitung, Unterkanten und Mächtigkeiten in die Rasterstruktur des GW-Modells überführt. Dabei wurden im Allgemeinen die Flöze mit den zugehörigen bindigen Hangend- und Liegendbegleitern zusammengefasst überführt (die Vorgabe der vertikalen Durchlässigkeit definiert in diesen Fällen die Schicht mit dem geringsten k_f -Wert). Die Erosionsrinnen wurden in mehrere Modellgrundwasserleiter aufgeteilt, um die Nachbildung der horizontalen Strömung der angrenzenden angeschnittenen Grundwasserleiter in den Rinnen modellseitig zu gewährleisten. Dazu erfolgt zunächst der Aufbau eines 3D-Strukturmodells ohne Rinnenan Kopplung, in dem Rinnensysteme hauptsächlich durch den MGWL 10 repräsentiert sind (siehe Abbildung 6). In einem zweiten Schritt werden die an die Rinnen angrenzenden rolligen tertiären MGWL (16, 18 und 20) an die Rinnen angebunden, indem in der Höhe der Ober- und Unterkanten der MGWL die Schichten über die Rinnen hinweg weitergeführt werden.

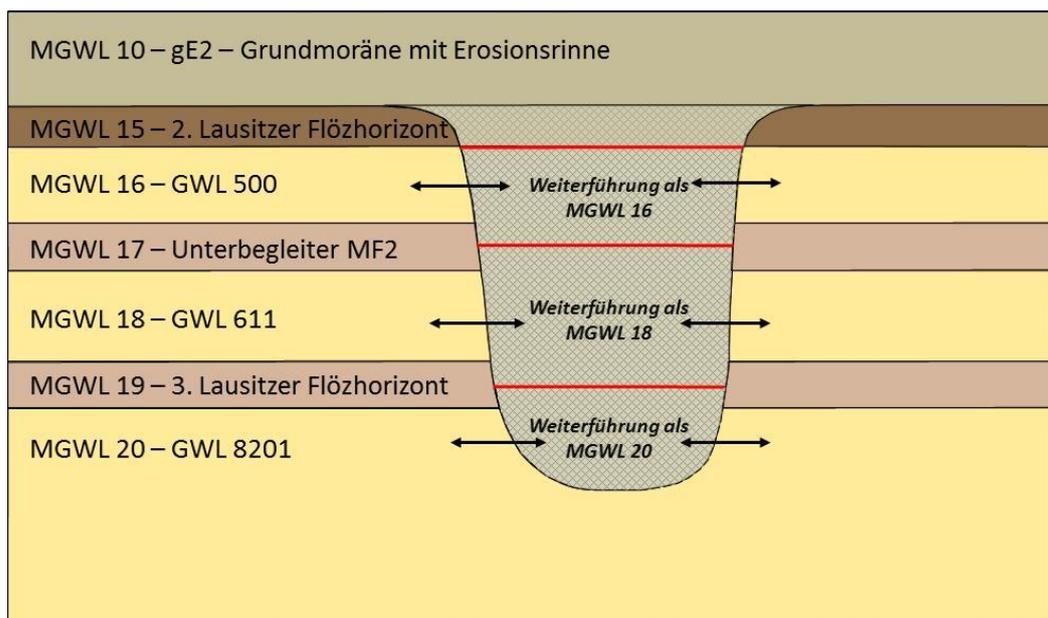


Abbildung 6 Horizontale hydraulische Kopplung der Erosionsrinnen im hydrogeologischen 3D-Strukturmodell

3.6 Aufbau des 3D-Kippenmodells

Das nachbergbauliche 3D-Kippenmodell Jänschwalde als Teilmodell des nachbergbaulichen 3D-Strukturmodells berücksichtigt die großflächigen Veränderungen des Gebirgsaufbaus infolge bergmännischer Abtragung und Umlagerung des Deckgebirges. Im Vordergrund standen die Abbildung des vertikalen Aufbaus des entstehenden Innenkippenmassives sowie deren hydraulische Anbindung an das gewachsene Gebirge.

Das Kippenmodell berücksichtigt die zur Braunkohlenförderung im Abbaufeld Jänschwalde angewandte Fördertechnik:

- Vorschnittbetrieb - läuft dem Brückenbetrieb voraus und ist an Absetzer gekoppelt,
- Brückenbetrieb - Abraum, der mit der Abraumförderbrücke transportiert und verkippt wird,
- Grubenbetrieb - in diesem Bereich wird die Kohle gewonnen, verladen und abtransportiert.

Aus der genannten Fördertechnik resultieren vier zu berücksichtigende Arbeitsebenen:

1. Vorkippe
2. Ebenen der Abraumförderbrücke (AFB)
3. Absetzer-Ebene
4. Hochschüttung der Absetzerebene als Kulturboden

Abbildung 7 zeigt schematisch den Aufbau des Kippenmassivs. Die im Modell verwendeten Liegendhöhen und Mächtigkeiten der verschiedenen Kippenarbeitsebenen ergeben sich aus den bergmännisch-technologischen Daten.

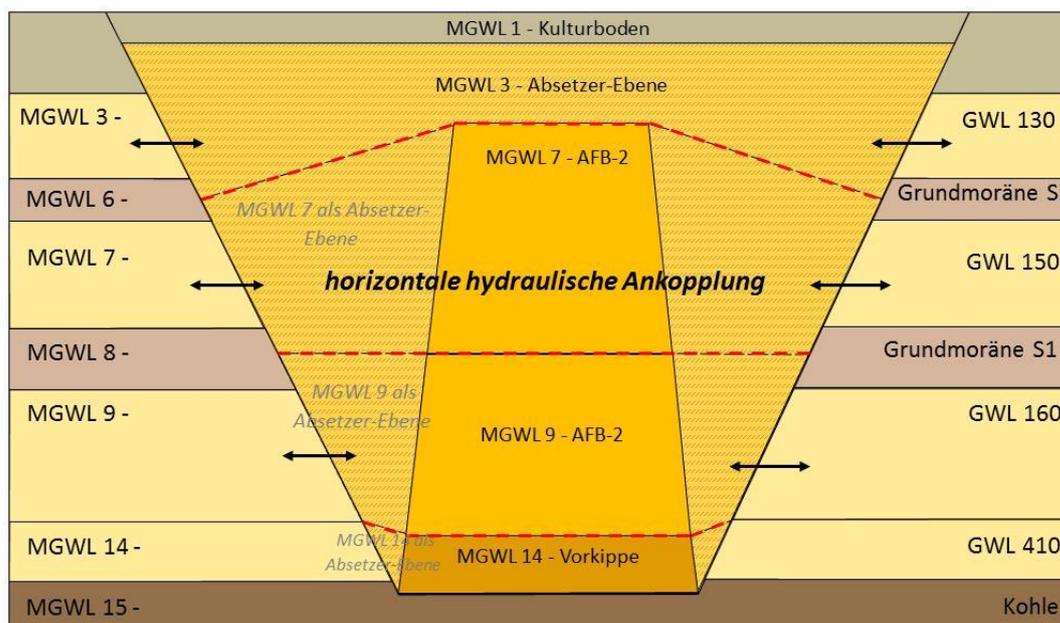


Abbildung 7 Horizontale hydraulische Kopplung des technologischen Kippenmodells im hydrogeologischen 3D-Strukturmodell

Im Kippenrandbereich stehen im Gewachsenen die Modellgrundwasserleiter MGWL 1, 3, 7, 9 und 14 des vorbergbaulichen 3D-Strukturmodells an. Zur Nachbildung der horizontalen Grundwasserströmung wurden die Modellgrundwasserleiter innerhalb des 3D-Kippenmodells weitergeführt. Somit ist eine tiefendifferenzierte Parametrisierung der geohydraulischen Eigenschaften möglich.

4 Grundwasserströmungsmodell HGM Jänschwalde 2020

Das HGMJaWa beschreibt die großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse im quartären Haupthangendgrundwasserleiter sowie in den tertiären Grundwasserleitern als 3D-Mehrschichtmodell. Die Modellbasis bilden die Liegendhöhen des untersten tertiären Grundwasserleiters G8. Das Modellgebiet ist so gewählt, dass sämtliche hydraulisch wirksamen Einheiten berücksichtigt werden können.

4.1 Programmsystem PCGEOFIM®

PCGEOFIM® eingetragene Handelsmarke

Als mathematisches Modell wird das für montanhydrologische Aufgabenstellungen besonders geeignete Programmsystem PCGEOFIM [14] genutzt, dessen Lösungsalgorithmus auf der Finite-Volumen-Methode basiert und das sich durch Bilanztreue und eine flexible Gitterstruktur auszeichnet. PCGEOFIM wird seit Jahrzehnten für die modelltechnische Begleitung montanhydrologischer Fragestellungen im Rahmen des aktiven Bergbaus wie auch der Sanierungstagebaue im Mitteldeutschen und Lausitzer Revier angewendet.

Das Programmsystem PCGEOFIM ermöglicht die Modellierung von Tagebauentwicklungen sowie das Schütten von Kippen. Durch Einführung zeitabhängiger Parameter ist es möglich, die hydraulischen Eigenschaften der Modellgrundwasserleiter durch Änderung der Durchlässigkeit zu verändern. Entsprechend des Tagebaufortschritts können Modellgrundwasserleiter sogar zeitvariabel vollständig entfernt bzw. als Kippen-Modellgrundwasserleiter neu aufgebaut werden.

Die Festlegung der Randbedingungen erfolgt entsprechend den hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnissen. Hierbei können beispielsweise Einzugsgebietsgrenzen, Verbreitungsgrenzen, Vorfluter etc. als natürliche Randbedingung betrachtet werden. Grundsätzlich sind drei Arten von Randbedingungen zu unterscheiden:

- **RB 1. Art (Vorgabe von Standrohrspiegelhöhen)**
Wasserspiegel von Oberflächengewässern, die vom Grundwasserleiter unbeeinflusst bleiben, weit entfernte Ränder, die von der Grundwasserströmung im zu modellierenden Gebiet unwesentlich beeinflusst werden, künstlich gestützte Potentiale durch Infiltration oder Entnahme
- **RB 2. Art (Vorgabe einer Zu- oder Abströmung)**
z.B. von außen zu- oder abfließender Grundwasserstrom, eine undurchlässige Barriere
- **RB 3. Art (Kombination aus RB 1. und 2. Art)**
Interaktion Oberflächenwasser-Aquifer, dabei wird das äußere Potential durch einen Widerstand abgeschwächt im Aquifer wirksam z.B. kolmatierte Oberflächengewässer, Brunneintrittswiderstand.

Allgemein bewirkt die Vorgabe von Festpotentialen, dass der Grundwasserspiegel auf einem bestimmten Niveau gehalten wird. Durch die Tagebauentwässerung können die dem Modell vorgegebenen ortsdiskreten Spiegelhöhen unterschritten werden. Durch die zusätzliche Einführung von Nebenbedingungen für die Grundwasserströmung bzw. Grundwasserspiegel (Q_{\min} und Q_{\max} bzw. H_{\max} und H_{\min}) in PCGEOFIM können die Ein- und die Ausspeiserate der entsprechenden Randbedingung mit sinnvollen Werten (Grenzwerte) begrenzt werden. Wird der vorgegebene

Grenzwert erreicht, übernimmt PCGEOFIM bei einer entsprechenden Grenzwertverletzung die jeweilige Nebenbedingung. Diese Grenzwerte verhindern somit ein mögliches numerisch verursachtes „künstliches“ Auf- oder Anheben der Grundwasserstände.

Durch spezielle Randbedingungen können die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- bzw. Fließgewässern und Grundwasser abgebildet werden. Durch die Einführung einer Seerandbedingung wird in PCGEOFIM die hydraulische Kopplung zwischen Grundwasser und Standgewässern (Seen, Restlöcher) beschrieben. Die Vorgabe der Randbedingung Grundwasserneubildung kann orts-, zeit- und flurabstandsabhängig erfolgen. Die Flussrandbedingung beschreibt durch Vorgabe von Durchflussganglinien die hydraulische Interaktion zwischen Fließgewässern und Grundwasser.

4.2 Berechnungsmethodik

Im HGMJaWa werden verschiedene Berechnungsphasen durchlaufen, welche durch unterschiedliche Zustände charakterisiert sind. Aus den zur Verfügung stehenden Beobachtungspunkten wird die Modellkalibrierung für den Zeitraum von 01/1995 bis 01/2005 durchgeführt. In Abbildung 8 sind exemplarisch die Berechnungsphasen des Grundwassermodells dargestellt.

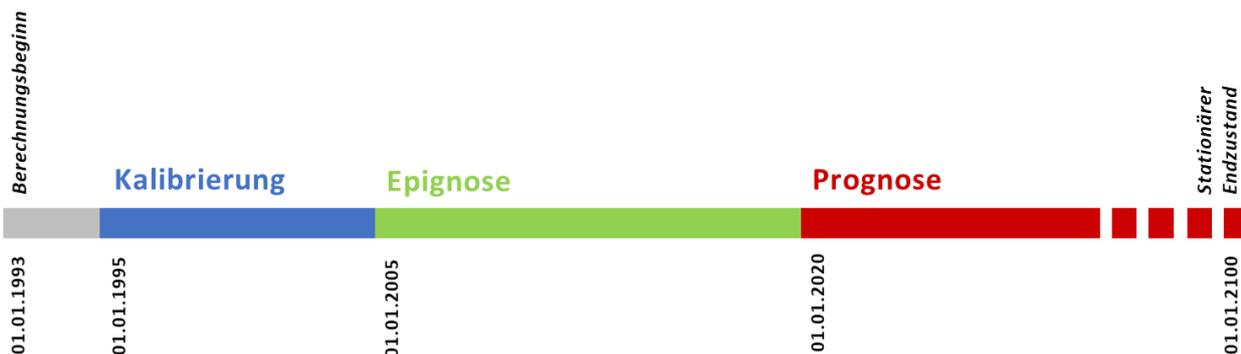


Abbildung 8 Schematischer Berechnungsablauf

Der zeitliche Berechnungsablauf ist in 4 Zeitabschnitte gegliedert:

01/1993-01/1995	<u>Einschwingphase</u> Ermittlung der Anfangsbedingung
01/1995-01/2005	<u>Kalibrierungsphase:</u> instationäre Kalibrierung des GWM
01/2005-01/2020	<u>Epignose:</u> Abbildung der beobachteten Verhältnisse
01/2020-01/2100	<u>Prognose:</u> Berechnung der zukünftigen Grundwasserverhältnisse

4.2.1 Einschwingphase

Die Einschwingphase dient der modellinternen Anpassung der Anfangsbedingung und der zu Beginn der Kalibrierung angenommenen Randbedingungen, dabei ist ein ausreichend großer Zeitraum zu berücksichtigen.

4.2.2 Kalibrierungsphase

Die instationäre Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells erfolgt für den Zeitraum 1995 bis 2005. Der Vorgang dient zur Ermittlung und Absicherung der hydrogeologischen Parameter und deren Verteilung auf Basis der gemessenen Grundwasserdynamik. Dabei sollen die simulierten Ergebnisse mit den gemessenen Werten bzw. beobachteten Verhältnissen in eine bestmögliche Übereinstimmung gebracht werden. Dies erfolgt durch schrittweise systematische Änderung der Rand- und Anfangsbedingungen sowie der Aquiferparameter (z.B. den speicherwirksamen Größen, der hydraulischen Durchlässigkeiten, den Parametern der Kolmation der Oberflächengewässer) in definierten Intervallen.

4.2.3 Epignose

In der Epignose wird das Grundwassermodell für den Zeitraum 01/2005-01/2020 auf Plausibilität geprüft, d.h. es werden auf Basis des kalibrierten Grundwassermodells die Grundwasserströmungsverhältnisse für einen Zeitraum berechnet, der nicht mit in die Kalibrierung einbezogen wurde.

4.2.4 Prognose

In der Prognoserechnung werden die zukünftig zu erwartenden Systemverhältnisse in Form von Szenarien auf Basis des kalibrierten Grundwasserströmungsmodells berechnet. Es werden die Randbedingungen gemäß der Planung, Entwicklungen bzw. verschiedener Szenarien angewendet.

Die Berechnung erfolgt ab 01/2020 bis zum Erreichen stationärer Grundwasserströmungsverhältnisse nach Beendigung der bergbaulichen Sümpfung. Formal wurde der Zeitpunkt 01/2100 gewählt, der lange genug nach dem tatsächlichen Erreichen stationärer Grundwasserströmungsverhältnisse liegt. Für die Prognoserechnung wurde die mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell berechnete mittlere jährliche ortsdiskrete flurabstandabhängige Grundwasserneubildung auf Basis der Klimanormalreihe 1981-2010 angesetzt. Für die Fließgewässer im Modellgebiet wurden mittlere Abflussverhältnisse verwendet.

4.3 Äußere Randbedingung

An den Modellrändern können über das Grund- und Oberflächenwasser Austauschprozesse mit den angrenzenden Gebieten erfolgen. Die Wahl der Modellränder ist daher so zu definieren, dass eine Beeinflussung durch bergbauliche Prozesse ausgeschlossen werden kann. In der Regel eignen sich Wasserscheiden (Einzugsgebietsgrenzen), Fließ- oder Standgewässer. Die Festlegung der Ränder des Grundwassermodells und damit die Größe des Modellraums wurden auf Basis der Grundwassergleichen des Haupthangendgrundwasserleiters erarbeitet. Abbildung 9 zeigt das Modellgebiet und die Bereiche, in denen die äußeren Randbedingungen definiert wurden.

Haupthängendgrundwasserleiter

Liegendgrundwasserleiter

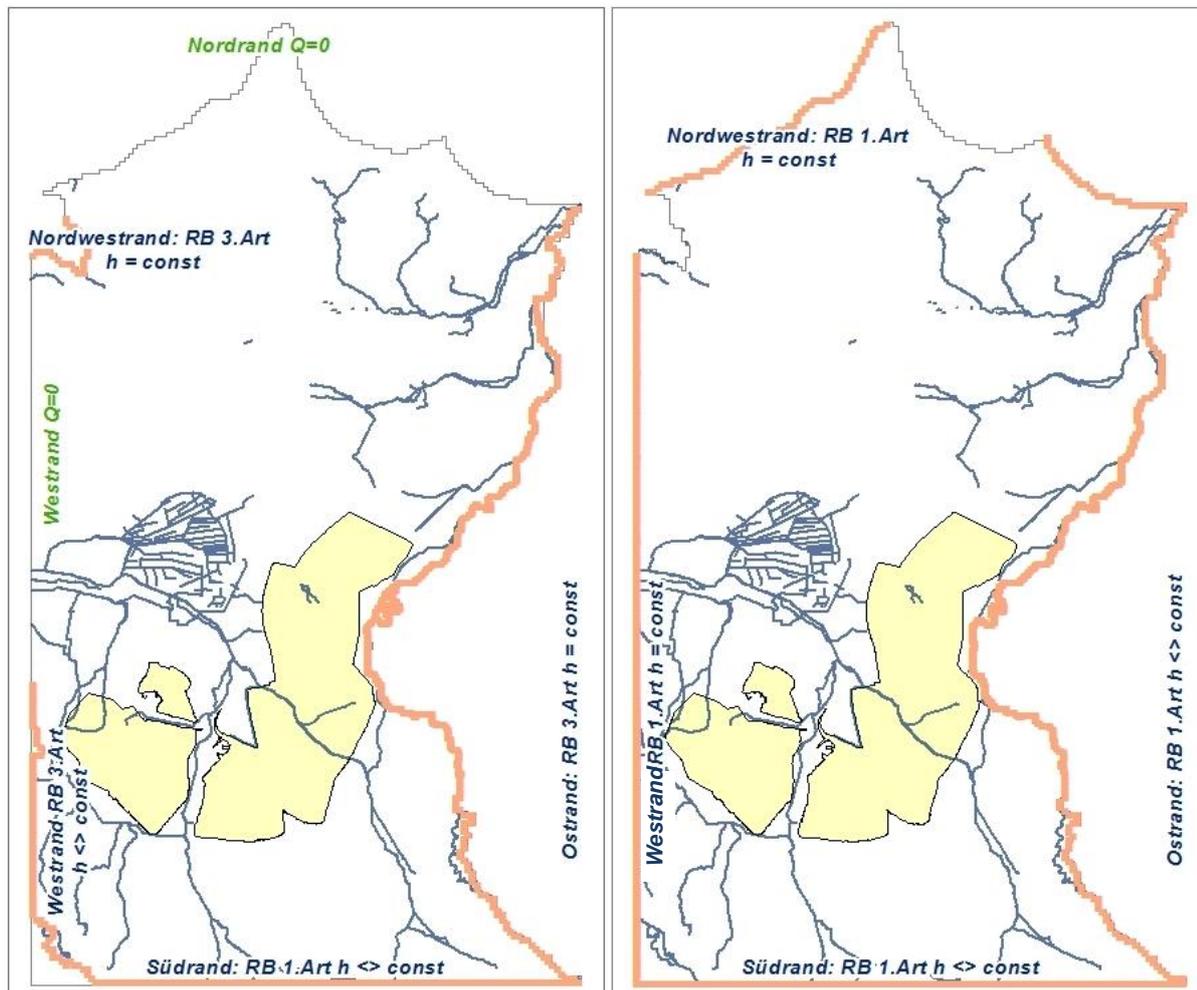


Abbildung 9 Lage und Art der äußeren Randbedingungen im Modell HGMJaWa

4.3.1 Haupthängendgrundwasserleiter

Die äußeren Ränder des Modells HGMJaWa sind als „no-flow“-Bedingung ($Q = 0$, d.h. RB 2. Art) und als RB 1. und 3. Art (H-gesteuert) definiert. Die „no-flow“-Vorgabe gilt an den Einzugsgebietsgrenzen – hier ist davon auszugehen, dass keine Grundwasserbewegungen über die Einzugsgebietsgrenzen stattfinden. Der südliche Westrand wird als RB 3. Art, der nördliche als RB 2. Art definiert.

Die Vorgabe einer RB 1. Art ist immer besonders sorgfältig vorzunehmen, da mit der Definition des Wasserstandes am Rand ein Zu- oder Abströmen über die Modellränder angenommen wird, wodurch der definierte Wasserstand gewährleistet wird. Am Westrand und am Ostrand sind über einen langen Zeitraum nahezu konstante Wasserstände im Zeitraum 1993 bis 2016 durch die gemessenen Wasserstände gesichert. Die Randbedingungen 1. Art bzw. 3. Art sind damit bestätigt. Die Vorgabe des Prognosewasserstandes orientiert sich an den nahezu stabilen Zuständen im Zeitraum 1993 bis 2016.

4.3.2 Liegendgrundwasserleiter

Die äußeren Ränder der Liegendgrundwasserleiter des Modells HGMJaWa sind als RB 1. Art definiert. Die Wahl der RB 1. Art ist auch hier mit Sorgfalt vorzunehmen, da insbesondere der südwestliche und östliche Modellrand durch die Sümpfung der Tagebaue Cottbus-Nord und Jänschwalde beeinflusst werden. Der südliche Modellrand ist durch einen langen Zeitraum nahezu konstanter Grundwasserstände bestätigt.

Die tertiären Liegendgrundwasserleiter GWL500, 600 und 800 zeigen ein relativ ebenes Ablage-nungsniveau mit eigener Wasserführung im Modellgebiet. Im Bereich der Rinnensysteme wurden die tertiären GWL 500, 600 und 800 zum Teil großflächig und tiefgreifend erodiert. In diesen Bereichen liegen größtenteils Lagerungsverhältnisse mit einer großen Heterogenität (Aufbau und Material) vor. Es ist davon auszugehen, dass die quartären und tertiären GWL in den Rinnensystemen hydraulisch gekoppelt sind.

4.4 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung stellt die Randbedingung am oberen Modellrand des HGMJaWa dar. Einflussfaktoren wie Witterung und Klima, Landnutzung und Vegetation, Bodeneigenschaften, Morphologie und Grundwasserflurabstand werden mit der Grundwasserneubildung im Grundwasserströmungsmodell implizit berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Grundwasserneubildung wurde das GIS-gekoppelte hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO [L6] verwendet. Die IBGW GmbH erstellte damit ein Bodenwasserhaushaltsmodell (BWHM) für das Modellgebiet Jänschwalde [L15].

Mit dem BWHM ist es möglich, die Grundwasserneubildung in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität standortgerecht unter Berücksichtigung der im Modellgebiet tatsächlich vorherrschenden klimatischen und standörtlichen Gegebenheiten zu ermitteln. Das Verfahren bietet größtmögliche Flexibilität in der Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen oder alternativen Landnutzungsszenarien sowie verschiedenen meteorologischen Bezugsreihen. Ebenso können im Planungsprozess unterschiedliche Bodenaufbauten bzw. Pflanzenbewuchsarten in ihrer Wirkung auf den Bodenwasserhaushalt betrachtet werden.

4.4.1 Modellseitige Vorgabe der Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist die Wassermenge, die das Grundwasser aufgrund der Versickerung von Niederschlagswasser oder aus Oberflächengewässern erreicht.

Die Abhängigkeit der Grundwasserneubildung vom Grundwasserflurabstand kann in PCGEOFIM als zeitvariable Funktion des im Modell berechneten Grundwasserstandes bzw. Grundwasserflurabstandes erfolgen. Bei einem geländegleichen Grundwasserstand ist in der Lausitz im langjährigen Mittel die potentielle Verdunstung größer als der Niederschlag. In Abhängigkeit von Bodenart, Kapillaraufstieg und Flächennutzung nimmt die tatsächliche Verdunstung mit zunehmendem Grundwasserflurabstand mehr oder weniger schnell ab. Die nachfolgende Abbildung 10 verdeutlicht exemplarisch den Zusammenhang zwischen Grundwasserflurabstand und Grundwasserneubildung.

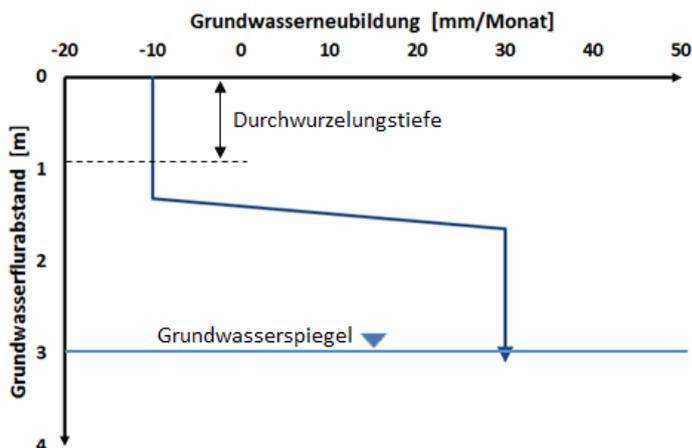


Abbildung 10 Prinzipdarstellung des Grundwasserneubildungsverlaufs in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes

Liegt der Grundwasserspiegel unterhalb des effektiven Wurzelraumes, jedoch noch im Bereich der mittleren kapillaren Aufstiegshöhe, so wird für die pflanzenverfügbare Wassermenge die kapillare Aufstiegsrate berücksichtigt. Wenn der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser die Ausschöpfungstiefe nicht erreicht, sind die Verdunstung und somit die Grundwasserneubildung unabhängig vom Grundwasserflurabstand. Im Allgemeinen ist bei einer Ausschöpfungstiefe von mehr als 2 bis max. 4 m die Verdunstung unabhängig vom Grundwasserflurabstand.

4.4.2 Programmsystem ArcEGMO

ArcEGMO besteht aus Komponenten, die wie folgt inhaltlich unterschieden werden können (vgl. Abbildung 11):

- **Programmkomponenten**, die die Schnittstellen zu den raum- und zeitbezogenen Eingangsdaten und Modellergebnissen darstellen,
- **Modellkomponenten**, die die hydrologischen Prozesse innerhalb einer Modellebene beschreiben und
- **Module**, die jeweils genau einen hydrologischen Teilprozess beschreiben.

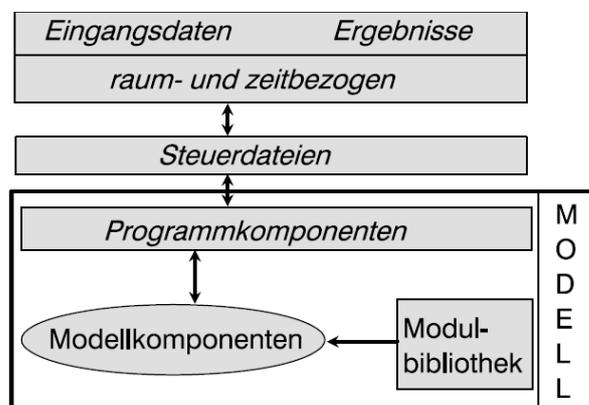


Abbildung 11 Übersichtsschema zum Aufbau des Programmsystems ArcEGMO

Das hydrologische Modell mit den verwendeten Programm- und Modellkomponenten sowie den Modulbibliotheken wird im Wesentlichen bestimmt über:

- Art und Detailliertheit der GIS-Datenbasis,
- die verwendeten prozessbeschreibenden Module bzw.
- der räumlichen Auflösung der Modellebenen.

ArcEGMO ist modular aufgebaut und kann verschiedene Teilmodelle für unterschiedlichste Fragestellungen zur Verfügung stellen. Eingesetzt werden kann es als:

- Niederschlags-Abfluss-Modell,
- Niederschlagsereignisbezogene Betrachtung zur Hochwasseranalyse,
- Bodenwasserhaushaltsmodell,
- Grundwassermodell oder
- Pflanzenwachstumsmodell.

Für die vorliegende Problemstellung der räumlich und zeitlich variablen Berechnung der Grundwasserneubildung als Modelleingangsgröße für das Grundwassermodell HGMJaWa wird ArcEGMO als Bodenwasserhaushaltsmodell eingesetzt, wobei vorrangig die Abflussbildungsmodellebene (ABI) verwendet wird.

4.4.3 Kopplung ArcEGMO-PCGEOFIM

ArcEGMO stellt die zeitlich und räumlich differenzierte Grundwasserneubildung als Eingangsgröße für das Grundwassermodell HGMJaWa bereit. Die Kopplung des BWHM und des HGMJaWa erfolgt offline über Datentabellen. Die Anwendung der berechneten Grundwasserneubildungsraten (in ARCEGMO = Sickerwasserraten) im Grundwasserströmungsmodell erfordert eine Überführung der Ergebnisse in die PCGEOFIM-Parameterstruktur.

Der Bodenwasserhaushalt wird neben den klimatischen Komponenten (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind und Strahlung) auch durch die Höhe des Grundwasserspiegels bzw. den Grundwasserflurabstand als ein Simulationsergebnis mit PCGEOFIM beeinflusst. Für die Ableitung des standortspezifischen funktionalen Zusammenhangs erfolgt die Berechnung der Grundwasserneubildung in sieben Berechnungsläufen für die Grundwasserflurabstände 0,1 m, 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m und 10 m. In jedem der Berechnungsdurchläufe wird im gesamten Modellgebiet jeweils ein einheitlicher Grundwasserflurabstand angenommen, bei sonst unveränderter Parametrisierung des Modells. Für jede der Grundwasserneubildungsklassen wird somit eine Funktion ermittelt, die den Zusammenhang von Grundwasserflurabstand und -neubildung am jeweiligen Standort beschreibt.

Die Grundwasserneubildung wird dem GWM in Abhängigkeit des Flurabstandes (zeitvariabel) übergeben. Dies ermöglicht die Ermittlung des Schwankungsverhaltens der Grundwasserstände sowie der Seewasserstände unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Neben der Grundwasserneubildung werden im HGMJaWa die zeitlich variablen Wasserhaushaltsgrößen wie Niederschlag und Verdunstung (auch tiefenabhängige Gewässerverdunstung) berücksichtigt.

4.4.4 Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen

Als meteorologischer Bezugszeitraum für die Berechnung des Wasserhaushaltes dient die klimatische Reihe 1981-2010. In der Kalibrierungs- und Epignosephase werden auf Basis der klimatischen Reihe monatliche Grundwasserneubildungswerte angesetzt. In der Prognoserechnung bilden die mittleren Verhältnisse der Klimareihe 1981-2010 die Grundlage.

Als dominierende Einflussgrößen des Gebietswasserhaushaltes kommen dem Niederschlag und der potentiellen Verdunstungshöhe besondere Bedeutung zu. Diese Größen sind stark von den standörtlichen Gegebenheiten abhängig. Abbildung 12 zeigt die mittlere jährliche Gebietswasserhaushaltsbilanz für die Klimanormalperiode 1981- 2010. Sie zeigt die prozentualen Anteile der mit dem BWHM berechneten Bilanzgrößen. Die reale Verdunstungshöhe beträgt 508 mm/a und hat mit circa 78 % den größten Anteil an der Wasserhaushaltsbilanz. Etwa ein Fünftel (ca. 125 mm/a) des Niederschlagsdargebotes geht durchschnittlich, unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse, in die Speisung des Grundwasserspeichers ein. Der Kanalisationsabfluss mit ca. 2 % und die schnellen Abflusskomponenten (Oberflächen- und hypodermischer Abfluss) haben mit nur 0,4 % einen vergleichsweise geringen Anteil an der Bilanz.

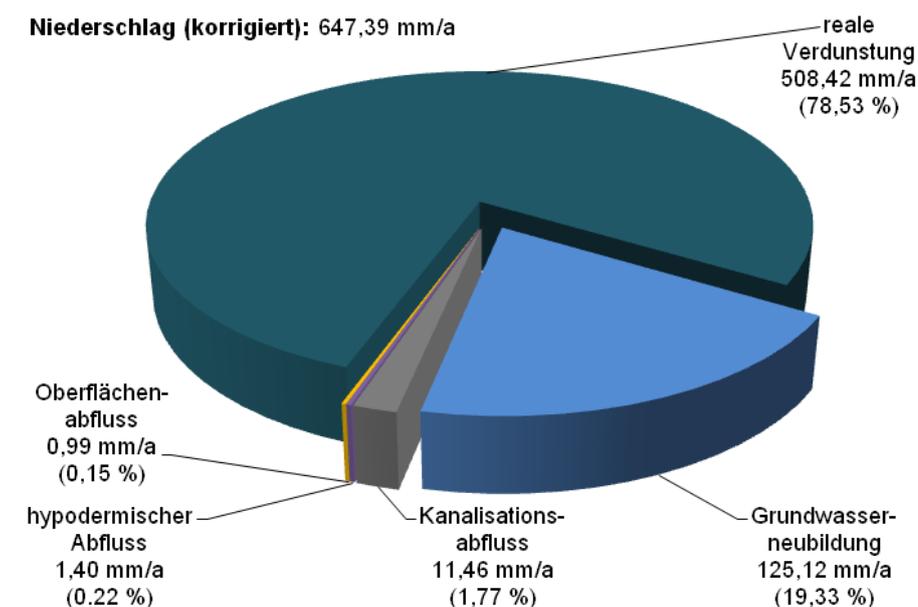


Abbildung 12 Berechnete mittlere Wasserhaushaltskomponenten (1981-2010)

Die Klimadaten Niederschlag, Verdunstung und Gewässerverdunstung werden als Monatswerte von 1993-12/2019 in folgenden Eingangsdaten berücksichtigt:

-*klim.dbf* korrigierter Niederschlag und Grasreferenzverdunstung,
-*evap.dbf* Zehrung auf freien Wasserflächen in Abhängigkeit der Gewässertiefe.

4.5 Randbedingung „See“

Im HGMJaWa wird eine Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer in Abhängigkeit der jeweiligen Grundwasserstände und des Kolmationsgrades im Standgewässer berücksichtigt. Im HGMJaWa sind 30 Objekte als Randbedingung See definiert.

Als Randbedingung See sind die Tagebaurestseen, natürliche Seen, Teichgruppen und Vernäsungsflächen in grundwassererfüllten Geländesenken enthalten. Sie können wasserstand- oder durchflussgesteuert (h- oder Q-gesteuert) sein. Zeitliche Randbedingungen wie Flutungsbeginn etc. werden berücksichtigt.

Die Abbildungsgenauigkeit der Wechselwirkungen See-Grundwasser richtet sich hierbei nicht nach der Ortsdiskretisierung des Modells, sondern ergibt sich aus der die Hohlform beschreibenden Datenbasis. Die Kontur der Hohlform sollte hierfür möglichst exakt durch Punktdaten (Vermessungsdaten bzw. Lotungsdaten) beschrieben werden. Diese werden trianguliert und durch schrittweises Vorgeben einer Wasserspiegellage wird das Hohlraumvolumen des Sees berechnet. Aus dem sich daraus ergebenden geometrischen Modell und der explizit vorzugebenen horizontalen und/oder vertikalen Gewässerkopplung kann so eine relativ exakte Berechnung der Wasserstands-Flächen- bzw. Wasserstands-Volumen-Funktion erfolgen. Abbildung 13 zeigt die prinzipielle Ankopplung der Modellelemente entsprechend der Hohlformkontur des Standgewässers.

Die hydraulische Kopplung eines Sees an den Grundwasserkörper erfordert einen Wert für die hydraulische Durchlässigkeit an der Grenzfläche Grundwasser-Gewässersohle (Kolmationsschicht). Die Vorgabe der Kolmationsschicht erfolgt hierbei ortsdiskret. Vereinfacht wird zwischen einer horizontalen und vertikalen Kopplung unterschieden. Bei horizontaler Kopplung wird der Leitwert durch die Gebirgseigenschaften, den Abstand des Seeufers zum Elementmittelpunkt und die Anbindebreite bestimmt. Vertikale Kopplungen wirken durch die Flächenausdehnung sowie die Seegrundkolmation analog einer Randbedingung 3. Art. Die Angabe einer Sohlhöhe bei beiden Kopplungsarten wird als Schwelle interpretiert, oberhalb der ein Abfluss aus dem See in den Grundwasserleiter oder auch aus dem Grundwasserleiter in den See erfolgen kann. In jedem Fall erfolgt eine Bilanzierung der grundwasserseitigen Zu- und Abflüsse.

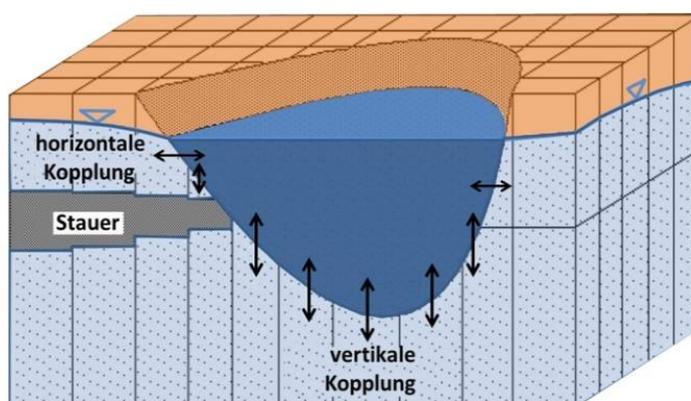


Abbildung 13 Prinzipdarstellung der Modellankopplung eines Standgewässers an die MGWL

Die Änderung des im Standgewässer vorhandenen Wassers berechnet sich aus der Summe der Flüsse zwischen dem Aquifer und dem Standgewässer plus Summe der oberirdischen Zuflüsse minus Zehrung. Sie wird mit folgender Bilanzgleichung beschrieben:

$$\sum_{\text{alle Kopplungen}} L_{\text{See}} (H_{\text{See}} - H_{\text{LUPE,IS,JZ,MG}}) + \sum_{\text{oberirdische Zuflüsse}} Q_{\text{zu}} + Z(\text{Fläche}_{\text{See}}) = \text{Fläche}_{\text{see}}(H_{\text{See}}) \Delta H_{\text{See}} / \Delta t$$

Die Zehrung wird aus der klimatischen Wasserbilanz für Oberflächengewässer gemäß den Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet [L8].

Das folgende Schema gibt eine Übersicht zur modellseitigen Abbildung aller im HGMJaWa berücksichtigter Standgewässer.

Steuerung von Standgewässern

Es sind zwei Steuerungsvarianten der Standgewässer zu unterscheiden:

1. h-Steuerung

Als Randwert werden Seewasserstände $h(t)$ definiert. Das GWM berechnet die notwendige Wassermenge nach Abzug der limnologischen Bilanzgrößen: Grundwasserzufluss, Gewässerzehrung, oberirdischer Zufluss, Kopplung-Fließgewässer (oder Brunnen), um den definierten Seewasserstand zu einem vorgegebenen Zeitpunkt zu erreichen.

Anwendungsbeispiel:

Berechnung der notwendigen Wassermenge zum Erreichen eines Zielwasserstandes

2. Q-Steuerung

Als Randwert werden Volumenströme $Q(t)$ definiert. Das GWM berechnet nach Abzug der limnologischen Bilanzgrößen Grundwasserzufluss, Gewässerzehrung, oberirdischer Zufluss, Kopplung-Fließgewässer (oder Brunnen) den sich daraus ergebenden Seewasserstand.

Anwendungsbeispiel:

Berechnung des Seewasserstandes bei entsprechender Einleitung oder Entnahme.

Kopplung von Standgewässern an Fließgewässer

Standgewässer können an Fließgewässer z.B. über die Festlegung von Überlaufhöhen gekoppelt werden. Ist die Überlaufhöhe eines Sees bekannt, kann diese der Randbedingung explizit zeitabhängig vorgegeben werden. Im Ergebnis berechnet das GWM die zulässige Überschusswassermenge entsprechend der definierten Überlaufhöhe. Wird die Überlaufhöhe im See nicht erreicht, wird kein Wasser abgeleitet.

4.6 Randbedingung „Fluss“

Die Randbedingung Fluss im Modellgebiet bildet die Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleiter und Fließgewässer ab. Wasserbilanzseitig werden dabei im Grundwasserströmungsmodell die Basisabflüsse oder explizit vorzugebende Quellen und Senken (z.B. Zu- / Abläufe oder Überschusswassermengen) berücksichtigt, unberücksichtigt bleiben die schnellen Abflussanteile Zwischenabfluss und Oberflächenlandabfluss. Alle wesentlichen Fließgewässer innerhalb des Modellgebiets werden als gekoppelte RB 3. Art (RB Fluss) umgesetzt. Der Durchfluss und somit der Flusswasserspiegel werden aus dem Grundwasserzu- oder -abfluss, der Gewässergeometrie, dem Gefälle sowie der Rauigkeit für jeden Zeitschritt berechnet [L18]. Fluss- und Grundwasserstand bedingen sich dabei in Abhängigkeit der vorgegebenen Kolmation gegenseitig. Das Flussbett wird entsprechend seines Verlaufs und seiner Geometrie an die betreffenden Elemente des Grundwassermodells gekoppelt (vgl. Abbildung 14).

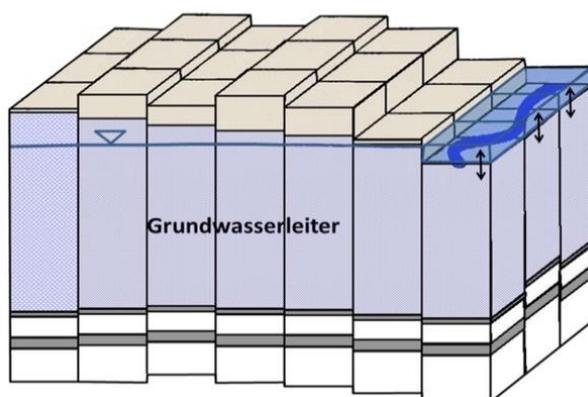


Abbildung 14 Modellkopplung eines Fließgewässers an den Modellgrundwasserleiter

4.7 Randbedingung „Brunnen“

4.7.1 Bergbauliche Entwässerung

Alle im Modellgebiet als Folge der Bergbautätigkeit erbauten Brunnen und Entwässerungsmaßnahmen sowie sonstige relevante Entnahmebrunnen, die einen deutlichen Einfluss auf die Grundwasserdynamik ausüben, finden im Modell Berücksichtigung. Die modellseitigen Umsetzungen erfolgen als RB Brunnen und RB Tagebau. Die Randbedingungen werden zeitvariabel entsprechend ihrer Betriebsdauer vorgegeben.

Durch den Randbedingungstyp Tagebau "t" wird die Grundwasserförderung, Ableitung der Sickerwässer an den Böschungen etc. potentialgesteuert umgesetzt. Dieser Randbedingungstyp stellt eine Erweiterung der Randbedingung 1. Art dar, d.h. durch die Vorgabe eines Entwässerungsziels wird dem explizit vorzugegebenen Grundwasserleiter eine entsprechende Wassermenge entnommen, um den definierten Zielwasserstand zu erreichen. Wird das definierte Entwässerungsziel unterschritten, ist die Randbedingung nicht wirksam.

Die Vorgabe des Absenkziels im HGMJaWa erfolgte auf Basis der Grundwassergleichenpläne. Die zeitliche Diskretisierung erfolgte in Jahresschritten.

Für den Randbedingungstyp „Brunnen“ werden neben der Vorgabe der zu hebenden Wassermengen die Sohlage, Filterlänge, Kolmation und Betriebszeiten vorgegeben. Eingang in das Modell HGMJaWa finden alle umgesetzten Filterbrunnen der Rand-, Feld- und Kippenriegel ab 1996. Abbildung 15 zeigt alle Filterbrunnen des Tagebaus Jänschwalde. Die Steuerung der Brunnen erfolgt über die Vorgabe der monatlichen Fördermenge. Zur Bilanzierung der gehobenen Sumpfungswassermengen werden die Brunnen entsprechend ihrer Einstufung als Feld-, Kippen- oder Randriegel gruppiert. Im Monitoringbereich B5 der LMBV werden zusätzlich alle Randriegel aus dem GWM „Jaenau“ als Randbedingungstyp „Brunnen“ übernommen.

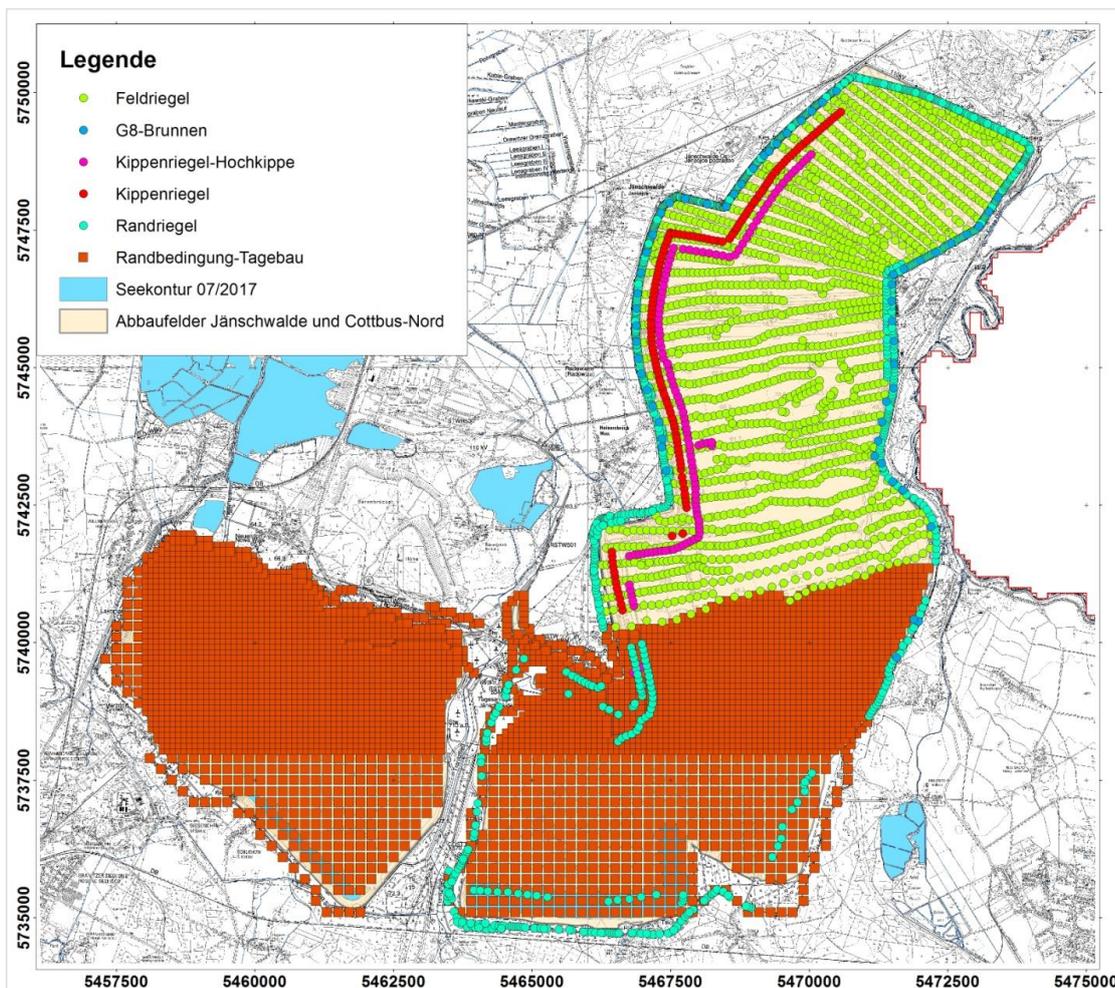


Abbildung 15 Lage der Tagebautwässerung im HGMJaWa

4.7.2 Wasserwerke

Im Bereich des Kraftwerks Jänschwalde betreibt die LEAG Brunnen zur Grundwasserfreihaltung der tiefengegründeten Kraftwerksanlagen. Die Brunnengalerie besteht aus dem „Nordriegel“ mit 20 Brunnen und dem „Südriegel“ mit 13 Brunnen. Die Entnahmemengen der jeweiligen Brunnenriegel werden dem Grundwassermodell als Jahresmittelwerte vorgegeben. Die mittlere jährliche Grundwasserentnahmerate gestaltet sich wie folgt:

Nordriegel: 931 m³/h (20 Brunnen)

Südriegel: 724 m³/h (13 Brunnen)

In der Tabelle 2 werden die im Modell HGMJaWa implementierten Grundwasserentnahmen durch Wasserwerke aufgelistet.

Tabelle 2 Wasserhebungen durch Wasserwerke (ohne bergbaubedingte Entnahmen)

Bez. im Modell	Kurzbezeichnung	Nutzung	Mittlere Entnahmemenge
DR1	DREW 1_07	WW-Drewitz II ab 03/2012	264,5 m ³ /d (Mittelwert)
DR2	DREW 2_09		
DR3	DREW 3_09		
SD1	SCHENK 2_02	WW-Schenkendöbern ab 2006	631,8 m ³ /d
SD2	SCHENK 3_05		631,8 m ³ /d
SD3	SCHENK 4_02		631,8 m ³ /d
SD4	SCHENK 5_02		631,8 m ³ /d
PE1	PEITZ_1-77	WW-Peitz Zeitreihe 1997-2012	313,8 m ³ /d
PE2	PEITZ_2-99		313,8 m ³ /d
PE3	PEITZ_3-77		313,8 m ³ /d
PE4	PEITZ_4-99		313,8 m ³ /d
TD1	TD_1-77	WW-Taubendorf Zeitreihe 1997-2012, stillgelegt am 09/2012	58,4 m ³ /d
TD2	TD_2-77		58,4 m ³ /d
TD3	TD_3-93		58,4 m ³ /d

4.8 Umsetzung von Wasserhaltungs- bzw. Wasserversorgungsmaßnahmen

Grundwasserabhängige Landschaftsteile werden durch bereits laufende und geplante Maßnahmen im HGMJaWa berücksichtigt und fortlaufend nachgeführt. Folgende Maßnahmen werden berücksichtigt:

- *Wassermanagement der Jänschwalder Laßzinswiesen*
- *Wasserversorgung - Schwarzes Fließ*
- *Wasserversorgung - Seen im Nordraum von Jänschwalde.*

Im nördlichen Modellgebiet (siehe Abbildung 16) befinden sich im Umfeld des Pinnower Sees, Deulowitzer Sees, Großsees und Kleinsees mehrere Brunnenstandorte zur Grundwasserentnahme. Die Symbolgröße der Brunnenstandorte ist nach der genehmigten bzw. beantragten Entnahmemenge gestaffelt.

Die angegebenen Entnahmemengen stellen die maximal genehmigten Förderraten dar. Um die Brunnen im Modell HGMJaWa wasserbilanzseitig berücksichtigen zu können, sind diese nach Lage, Ausbau und Förderraten in das Modell zu überführen. Diese Informationen müssen durch die jeweiligen Betreiber übergeben werden.

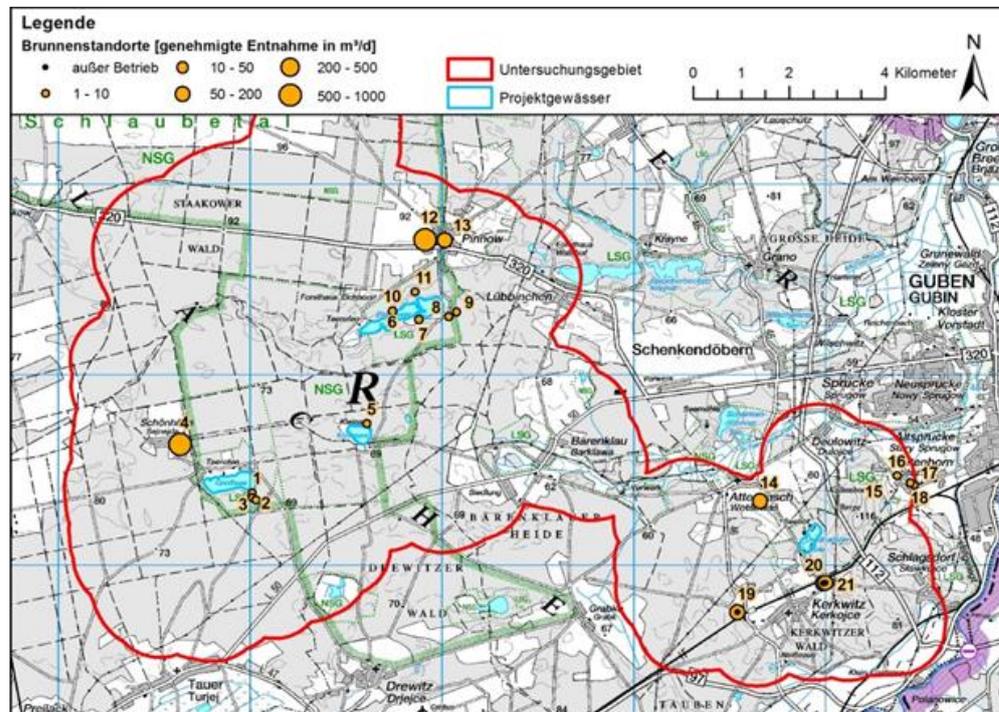


Abbildung 16 Lage von Grundwasserentnahmestellen mit Angaben zu den genehmigten Entnahmemengen (Quelle: UWB SPN, GWAZ, GeWAP)

4.9 Dichtwand und Verdichtungsdämme

Es sind im Modell die Dichtwände an der Westmarkscheide des Tagebaus Cottbus-Nord und an der Ostmarkscheide des Tagebaus Jänschwalde zu berücksichtigen. In den Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord wurden Verdichtungsdämme errichtet.

Die Dichtwände bzw. Verdichtungsdämme werden im Grundwasserströmungsmodell als richtungsabhängige Störungen abgebildet. Die Einführung eines richtungsabhängigen Störfaktors vermindert den horizontalen Austausch über die betreffende Grenzfläche zweier benachbarter Elemente. Modellseitig wurde für die Dichtwände ein Störfaktor von $STOX=STOY=1 \cdot 10^{-5}$ angesetzt. Dieser stellt den kf-Wert $\leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s sicher. Die Abbildung des Baufortschritts erfolgt zeitabhängig.

Die im Modellgebiet vorhandenen Verdichtungsdämme sind sogenannte RDV-Dämme (Rüttel-druckverdichtungs-Damm). Diese können sowohl über Störfaktoren als auch durch eine Verringerung der Durchlässigkeitsbeiwerte bei einem entsprechend feinem Modellgitter berücksichtigt werden. Die Wirkung der RDV-Dämme wird mit Faktoren zwischen $1 \cdot 10^{-1}$ und $5 \cdot 10^{-1}$ abgebildet.

Die Auswahl der Modellzellen erfolgte durch 3D-Verschneidung der Planungsunterlagen mit dem hydrogeologischen Strukturmodell. Im Modell werden die RDV-Dämme ab deren Fertigstellung implementiert. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, dass sich die hydraulische Leitfähigkeit der relevanten Modellelemente um eine Zehnerpotenz verringert.

5 Modellkalibrierung

Die vollständige Überarbeitung des dem Grundwasserströmungsmodells zugrunde liegenden geologischen Strukturmodells erfordert eine umfangreiche Modellkalibrierung für das gesamte HGMJaWa-Modellgebiet. Schwerpunkt der Kalibrierung ist die Abbildung der Strömungsverhältnisse im HH-Grundwasserleiterkomplex. Die Modellkalibrierung erfolgt auf Basis von gemessenen Wasserständen [L22], Durchflüssen sowie Überleit- und Ableitmengen im Zeitraum 01/1995 bis 01/2005.

Das für diese Aufgabenstellung zugrunde liegende Basismodell ist vollständig in der Modelldokumentation von 2018 [L30] beschrieben.

5.1 Aktualisierung von Wasserstandsdaten und Stammdaten

In PCGEOFIM erfolgt die Vorgabe der Grundwassermessstellen in der Pegelstamm- (*pest.dbf) und der Pegelbewegungsdatei (*pebe.dbf). Diese Daten werden bei der Mengenströmungsrechnung nur für die grafische Ausgabe von Isolinien und Ganglinien benötigt. Die Lage der GWMST wird in der Stammdatei über die x,y-Koordinaten und den MGWL beschrieben, die Messwerte sind in der Bewegungsdatei enthalten. Im Isolinienplan erscheint am Pegelstandort eine Beschriftung mit gemessenem und berechnetem Wert, mittels Pegelganglinien kann der Vergleich beider Zeitverläufe gezeigt werden.

Stamm- und Bewegungsdaten

Aktuell liegen Stammdaten zu 1823 Messstellen (GWMST, Lattenpegel und Durchflussmessstellen) und dazugehörig 297.319 Bewegungsdaten für das Gesamtmodell vor [L22]. Die Messdaten werden jährlich fortgeschrieben.

Von Relevanz für die Modellkalibrierung sind insbesondere GWMST, welche den Wasserstand im Haupthangendgrundwasserleiter messen und eindeutig einem Modellgrundwasserleiter (MGWL) zugeordnet sind.

Im Modell werden die grundwasserleitenden und grundwasserstauenden Horizonte durch die Modellgrundwasserleiter (MGWL) abgebildet. Die Berücksichtigung der GWMST im Modell HGMJaWa erfordert zwingend die Vorgabe des MGWL. Bei GWMST, für welche Angaben zum Ausbau (Filterunterkante, Filteroberkante usw.) unvollständig sind, erfolgt die Einordnung und Überprüfung durch den Vergleich mit benachbarten GWMST sowie über eine lagebezogene Verschneidung mit dem hydrogeologischen Strukturmodell.

5.2 Modellgüte HGMJaWa

Im Zuge der Modellkalibrierung wurde über eine gezielte Veränderung der Parameter (i.A. des k_f -Wertes) unter Berücksichtigung geohydraulischer Grenzen sowie der Ankopplung Randbedingungen-Grundwasserleiter das Simulationsergebnis mit einer möglichst geringen Standardabweichung an die beobachteten Messwerte angepasst.

Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die modellseitige Abbildung der beobachteten Grundwasserstandsentwicklungen in den letzten Jahren gelegt. Betrachtet man den gesamten Kalibrierungszeitraum 01/1995 bis 01/2005, liegt die Standardabweichung zwischen den gemessenen

und berechneten Pegelmesswerten für den Haupthangendgrundwasserleiter bei 3,87 m. Dabei gibt es natur- und modellbedingt räumliche Unterschiede der Modellgüte, die auf die Grundwas-
serdynamik und die Abbildung der hydraulischen Gradienten zurückzuführen sind. Das Modell ist
in sensiblen Naturbereichen (Neißeau, Trinitzfließ und Kathlower Teiche) hinreichend genau
kalibriert.

Die Modellanpassung im Haupthangend-GWL zeigt die nachfolgende Abbildung 17 eines 1:1-
Plots sowie der Häufigkeitsverteilung der Standardabweichung aus berechneten und gemessen
Werten über den gesamten Kalibrierungszeitraum 1995-2005. Aus 476 Oberflächen- und Grund-
wassermessstellen (vgl. gemessen – berechnet) konnte eine für das Modellgebiet insgesamt zu-
friedenstellende Güte erreicht werden.

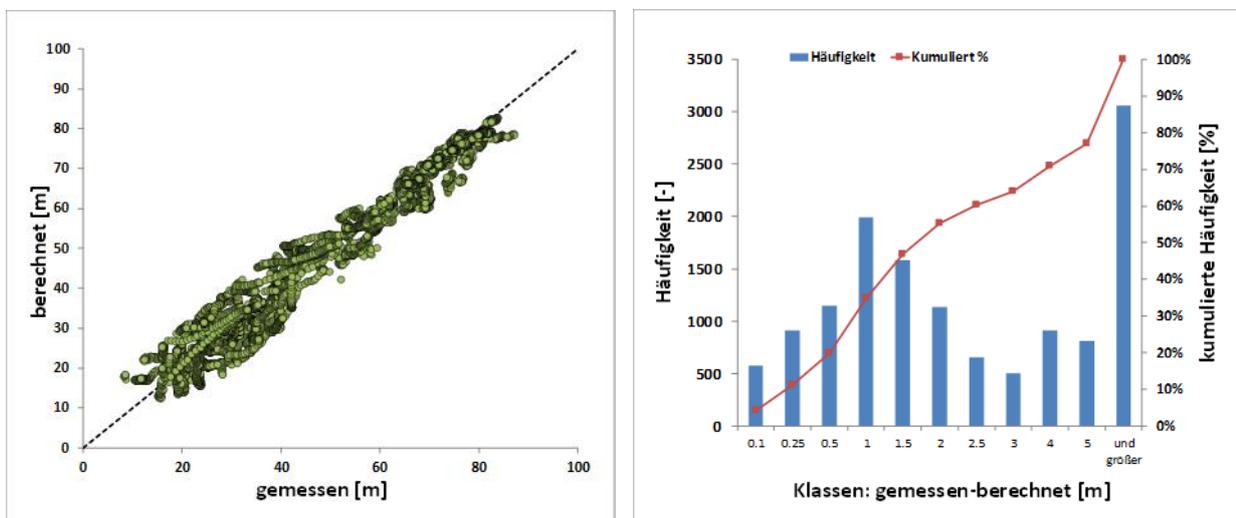


Abbildung 17 Modellanpassung im Haupthangendgrundwasserleiter (links: Scatterplot; rechts: Klassen der Standardabweichung)

Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Standrohrspiegelhöhen an den be-
rücksichtigten Grundwassermessstellen ergeben sich vor allem aus folgenden Gründen:

- Die Modelldiskretisierung und damit verbundene Lageverschiebung der Tagebautwässerung im Modell,
- Die Umsetzung der zeitlichen Auflösung der Randbedingung Tagebautwässerung – die Umsetzung der bergmännischen Wasserhaltung erfolgt zum Teil als RB "Tagebau" in Jahresschritten,
- Schwierigkeiten in der Abbildung der Strömungsverhältnisse zu Beginn des Kalibrierungszeitraums aufgrund unsicherer Eingangsdaten der Brunnenfördermengen,
- Schwierigkeiten in der Ermittlung der Anfangswasserstände in den liegenden und schwebenden GWL sowie in den Stauhorizonten,
- Unsicherheiten bei der Zuordnung von GWMST zu Grundwasserleitern.

Im Bereich der aktiven Tagebaue ist ein weiteres Kriterium für die Modellgüte der Vergleich zwischen der tatsächlich gehobenen und der berechneten Wasserhebung. Im Ergebnis der Modellkalibrierung hat sich gezeigt, dass die Wasserhebung gut abgebildet werden kann.

6 Ergebnis und Prognose

6.1 Erläuterung der Prognosezeitpunkte

Die Darstellung der Prognoseergebnisse ist auf die zu erwartenden Beeinflussungsbereiche des Tagebaus Jänschwalde ausgerichtet. In der Berechnung der Flurabstände wurde der Hauptthangendgrundwasserleiter (HH-GWL) berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass die Flurabstände unter Ansatz des aktuellen DGM 11/2020 berechnet werden. Jede Nutzungsänderung bzw. Veränderung der Geländemorphologie kann eine Veränderung der Flurabstände nach sich ziehen. Die Prognoserechnung erfolgt unter Berücksichtigung mittlerer klimatischer Bedingungen in Form von mittleren Grundwasserneubildungsraten.

Die Auswertung der Prognoseergebnisse für den Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis 2023 - 2044 für die betrachteten Zeitpunkte (12/2022, 12/2033, 12/2044, 01/2100) erfolgt in Form von:

- *Grundwassergleichenplänen für den HH-GWL,*
- *Grundwasserflurabständen als flächige Darstellung des Abstandes zwischen Geländeoberkante und der berechneten Grundwasseroberfläche des HH-GWL,*
- *Ganglinien virtueller Pegelstandorte ([L29])*
- *Hydrodifferenzpläne aus den Grundwassergleichen und des bergmännisch unbeeinflussten Zustands im nördlichen Modellgebiet zum Referenzzeitpunkt (Referenzzeitpunkt 1998).*

Die Prognosezeitpunkte bis 2023 stellen, bezogen auf den derzeitigen Zustand, eine zeitnahe Prognose dar. Zu diesen Zeitpunkten erfolgt die Weiterführung der Tagebaut entwässerung bis zur geplanten Endstellung des Tagebaus Jänschwalde, d.h.:

- *Die Feldriegel rücken bis zur nordöstlichen Grenze des Abbaufeldes vor*
- *Bis Ende 2018 gehen die Randriegel im nordöstlichen Abbaufeld in Betrieb.*

Der Prognosezeitpunkt 2033 konnte im Bereich nördlich des Tagebaus sowie innerhalb der vorhabenbedingten Grundwasserabsenkung mittels der Ganglinien der virtuellen Pegelstandorte als wesentlicher Zeitpunkt der maximalen Absenkung ermittelt werden. 2044 wiederum stellt das Ende des Vorhabens dar.

Der Prognosezeitpunkt 2100 stellt einen Zeitpunkt dar, in dem sämtliche bergbaulichen Wirkungen der Grundwasserabsenkung und des -wiederanstieges abgeschlossen sind. Aus den Ganglinien der virtuellen Pegel zeigt sich, dass dieser Zustand bereits ab 2050 bzw. 2060 nach Abschluss der Flutung der Bergbaufolgeseen erreicht sein wird.

6.2 Erstellung von Hydrodifferenzen

Zur Abschätzung der Reichweite der vorhabenbedingten Beeinflussung werden sog. Hydrodifferenzen gebildet. Die Ermittlung der Linie der Reichweite der vorhabenbedingten Beeinflussung erfolgt durch die Differenzbildung zwischen dem berechneten Prognosewasserstand und dem Referenzzeitpunkt (hier: Beginn des Vorhabens).

Für die Differenzenbildung werden für die entsprechenden Prognosezeitpunkte sowie den Referenzzeitpunkt die Grundwasserhöhen über das gesamte Modellgebiet als Raster exportiert.

Anschließend wird zellweise das Potential des gewählten Prognosezeitraums mit dem Referenzpotential verglichen, um Unterschiede zu identifizieren. Es ist zu beachten, dass die definierte Rasterweite sowie die Modelldiskretisierung die Genauigkeit limitieren können.

Je nach Aufgabenstellung werden die Hydrodifferenzen klassifiziert. Hier wurden als maßgebende Differenzlinien die Werte 0,25 m, 0,50 m, 1,00 m und 2,00 m verwendet.

Geringere Werte als 2,00 m unterliegen wegen der natürlichen Grundwasserdynamik und auch aus modelltechnischer Sicht bestimmten Grenzen der Aussagekraft:

- *Natürliche Grundwasserspiegelschwankungen von 1- 2 m sind zu beobachten,*
- *Die Modellgüte ist auf $\pm 1,0$ m begrenzt und*
- *Überlagerungen von inneren und äußeren Randbedingungen können auftreten. Bei Vorgabe von Festpotentialrändern kann die 0 m-Linie dem Verlauf der äußeren Randbedingungen folgen, wodurch die Absenkungsreichweite deutlich überschätzt werden könnte.*