



G.E.O.S.

**INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH**

Ergebnisbericht

Hydrogeologisches Gutachten als Ergänzung zum Rahmenbetriebsplan für die Erweiterung des Kalksteintagebaus Förderstedt

Projekt-Nr. G.E.O.S.: 12220036

Vertr.-Nr. 2223203

**Auftraggeber: CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG
An der Löderburger Bahn 4a
39418 Staßfurt**

Halsbrücke, 15.11.2023

G.E.O.S.
Ingenieurgesellschaft mbH

Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

Telefon: +49(0)3731 369-0
Telefax: +49(0)3731 369-200

E-Mail: info@geosfreiberg.de
www.geosfreiberg.de

Geschäftsführer:
Jan Richter

HRB 1035 Amtsgericht
Registergericht Chemnitz

Sparkasse Mittelsachsen
IBAN: DE30 8705 2000 3115 0191 48
SWIFT (BIC): WELADED1FGX

Deutsche Bank AG
IBAN: DE59 8707 0000 0220 1069 00
SWIFT (BIC): DEUTDE8CXXX

USt.-IdNr.: DE811132746



Bearbeitungsnachweis

Auftraggeber:	CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG An der Löderburger Bahn 4 a 39418 Staßfurt
Projekt-Nr. G.E.O.S.:	12220036
Bearbeitungszeitraum:	10/2022-11/2023
Bearbeiter:	R. Löser, M. Pohl, S. Graupner, K.-H. Allmer
Land/Landkreis/Kommune:	Staßfurt
Messtischblatt:	4035 - Atzendorf 4036 – Calbe (Saale) 4135 - Staßfurt 4136 – Nienburg (Saale)
Seitenanzahl Text:	84
Anzahl der Anlagen:	10

Halsbrücke, 15.11.2023



i. V. Dietmar Nehring
Projektleiter
NLL Standort Halle



i. A. Martin Pohl
Projektbearbeiter
FB Hydrogeologie



i. A. Ralf Löser
Projektbearbeiter
FB Modellierung & Risikoanalysen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Anlass und Aufgabenstellung.....	11
2 Vorgehensweise.....	12
3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.....	13
4 Abbauplanung und betrachtete Szenarien.....	14
5 Datengrundlage.....	15
6 Hydrogeologisches Strukturmodell.....	16
6.1 Digitales Geländemodell.....	16
6.2 Freiwasser und Anthropogene Bildungen	16
6.2.1 Freiwasser	16
6.2.2 Anthropogene Bildungen	17
6.3 Geologische Bildungen	17
6.3.1 Quartär.....	17
6.3.2 Tertiär.....	18
6.3.3 Keuper	18
6.3.4 Muschelkalk.....	19
6.3.5 Buntsandstein.....	19
6.3.6 Zechsteinzersatz	20
6.3.7 Zechsteinsalz	20
6.4 Hydrogeologische Kennwerte.....	20
6.5 Grundwasserchemie.....	21
7 Grundwasserdynamik des Istzustandes	22
7.1 Hydrologie und Grundwasserneubildung.....	22
7.2 Grundwasserförderungen	24

7.2.1	Wasserhaltung des KT Förderstedt	24
7.2.2	Grundwasserförderung der Marbebrunnen	26
7.2.3	Grundwasserförderung der Salzbrunnen.....	28
7.2.4	Weitere Grundwasserförderungen im Untersuchungsgebiet	29
7.3	<i>Messungen des Grundwasserstandes</i>	<i>30</i>
7.3.1	Messungen des Wasserstandes im Bereich des Abbaus	30
7.3.2	Messstellen zur Eigenüberwachung des KT Förderstedt	30
7.3.3	Messstellen im Bereich Marbe/Salzbrunnen	31
7.3.4	Messstellen im Bereich IAA Unseburg	32
7.3.5	Messstellen des Landesmessnetzes	33
7.4	<i>Zeitreihen des Grundwasserstandes</i>	<i>34</i>
7.5	<i>Hydroisohypsen im Muschelkalk im Einflussbereich des KT Förderstedt</i>	<i>35</i>
8	Grundwasserströmungsmodell	35
8.1	<i>Verwendete Software.....</i>	<i>36</i>
8.2	<i>Modellgrundlagen</i>	<i>36</i>
8.2.1	Abgrenzung und räumliche Diskretisierung	36
8.2.2	Vertikale Untergliederung in Modellschichten.....	36
8.2.3	Zeitliche Zuordnung.....	37
8.2.4	Randbedingungen.....	37
8.2.5	Materialparameter	38
8.2.6	Berücksichtigung des Kalksteintagebaus.....	39
8.2.7	Berücksichtigung der IAA Unseburg.....	40
8.3	<i>Modellkalibrierung am Istzustand</i>	<i>40</i>
8.3.1	Kalibrierung.....	40
8.3.2	Abweichungen der Modellergebnisse von den Messwerten.....	43
9	Modellergebnisse für den Kalksteintagebau im Istzustand	47

9.1	<i>Berechnete Grundwasserstände im Istzustand</i>	47
9.2	<i>Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltung im Istzustand.....</i>	50
9.3	<i>Fördermenge zur Wasserhaltung und Grundwasserbilanz im Istzustand ..</i>	52
10	Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung durch den Kalksteintagebau.....	54
10.1	<i>Berechnete Grundwasserstände.....</i>	57
10.2	<i>Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltung</i>	61
10.3	<i>Fördermengen zur Wasserhaltung und Grundwasserbilanz</i>	61
10.4	<i>Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens</i>	62
10.4.1	<i>Istzustand im Bereich des Marbegrabens.....</i>	63
10.4.2	<i>Prognose der maximalen Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens</i>	66
10.5	<i>Auswirkungen auf ausgewählte Schutzgüter.....</i>	68
10.5.1	<i>Landwirtschaft</i>	68
10.5.2	<i>Wasserabhängige Ökosysteme</i>	70
11	Wiederanstieg nach Abschluss der Wasserhaltung im Kalksteintagebau.....	71
11.1	<i>Zeitlicher Verlauf des Wiederanstieges</i>	72
11.2	<i>Grundwassersituation im Endzustand.....</i>	77
12	Zusammenfassung der Modellergebnisse.....	80
	Verwendete Unterlagen.....	81

TABELLENVERZEICHNIS

		Seite
Tabelle 1	Zeitliche Zustände und Szenarien	15
Tabelle 2	Hydrogeologische Kennwerte im Untersuchungsgebiet	21
Tabelle 3	Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet	29
Tabelle 4	Messstellen zur Eigenüberwachung	30
Tabelle 5	Ausgewählte Messstellen der CSD im Bereich IAA Unseburg	32
Tabelle 6	Messstellen des Landesmessnetzes	33
Tabelle 7	Modellschichten und Parametrisierung	37
Tabelle 8	Materialparameter k_f -Wert und effektive Porosität n_e	39
Tabelle 9	Aktuelle Freiwasserstände in den aufgelassenen Steinbrüchen nördlich des KT Förderstedt, ermittelt anhand des DGM 5 und aktueller Orthophotos, und modellierte Grundwasserstände im Istzustand (ktf040_ist_01.fem)	63
Tabelle 10	Annahmen zur Wasserhaushaltsbilanz der Kippenflächen	72

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

		Seite
Abbildung 1	Niederschlag, Potenzielle Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 2008-2022	23
Abbildung 2	Im Rahmen der Wasserhaltung des Kalksteintagebaus Förderstedt geförderte Wassermengen Zeitraum 2008-2022	25
Abbildung 3	Geschätzte Bilanz der Wasserhaltung KT Förderstedt im Zeitraum 2008-2022	26
Abbildung 4	Lage der Marbebrunnen (MBr) und Salzbrunnen (SBr, vgl. Abschnitt 7.2.3) im Untersuchungsgebiet	27
Abbildung 5	Grundwasserförderung im Bereich des Marbegrabens bei Förderstedt (Marbebrunnen)	28
Abbildung 6	Grundwasserförderung der Förderanlage Salzbrunnen	29
Abbildung 7	Grundwasserpegel bzw. Wasserstandsmessstellen im Bereich des Abbaus	30
Abbildung 8	Grundwassermessstellen zur Eigenüberwachung des Kalksteintagebaus Förderstedt	31
Abbildung 9	Grundwassermessstellen im Messprogramm der CSD im Bereich Marbe/Salzbrunnen	32
Abbildung 10	Ausgewählte Messstellen der CSD im Bereich IAA Unseburg	33
Abbildung 11	Messstellen des Landesmessnetzes	34
Abbildung 12	Grundwasserstand im GWL Muschelkalk, Landesmessstelle Atzendorf WB	34
Abbildung 13	Muschelkalk, beeinflusst durch die Wasserhaltung KT und die Förderanlage Marbe	35
Abbildung 14	Abgleich der Annahmen zur Anisotropie des GWL Muschelkalk anhand der aus Messdaten erstellten blau dargestellten Hydroisohypsen (ktf028_ist_KTan.fem, nach 15 a Simulationszeit)	41
Abbildung 15	Berechneter Grundwasserstand im Bereich der Salzbrunnen SBr VI, SBr IV und SBR IVa nach Optimierung des k_f -Wertes des Quartärs	42

Abbildung 16	Ermittlung der Durchlässigkeit des Muschelkalks anhand der Absenkung an den Marbebrunnen	42
Abbildung 17	Absenkung an den Marbebrunnen.....	43
Abbildung 18	Differenz der modellierten Grundwasserstände von den gemessenen Grundwasserständen im Quartär/Tertiär (gelb) und im Muschelkalk (blau) (ktf040_ist_01.fem, nach 15 a Simulationszeit).....	44
Abbildung 19	Vergleich der gemessenen und berechneten Wasserstände im Bereich des KT Förderstedt, kalibriertes Modell im Istzustand (ktf040_ist_01.fem, nach 15 a Simulationszeit)	46
Abbildung 20	Modellierte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Istzustand zum Ende des Berechnungszeitraums 2008 bis 2022 und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Verbreitungsgrenze des Muschelkalks (ktf040_ist_01.fem)	48
Abbildung 21	Modellierte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Istzustand zum Ende des Berechnungszeitraums 2008 bis 2022 und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Grundkarte TK 25 (ktf040_ist_01.fem)	49
Abbildung 22	NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Istzustand (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_ist_01.fem)	50
Abbildung 23	SW-NE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Istzustand (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_ist_01.fem)	50
Abbildung 24	Differenzen zwischen dem modellierten Grundwasserstand im Grundwasserleiter Muschelkalk im Istzustand (ktf040_ist_01.fem) und dem hypothetischen Zustand ohne Wasserhaltung (ktf040_ist_01_KTaus.fem)	51
Abbildung 25	Bilanzgebiet im Istzustand (ktf040_ist_01.fem) mit Absenkungsbeträgen (Isolinien) und Strömungsrichtungsindikatoren im Modelllayer 6 (Muschelkalk) .	53
Abbildung 26	Vereinfachte Übersichtsdarstellung des Abbauplans mit Endkontur des Abbaus vor der Stilllegung	55
Abbildung 27	Vereinfachte Übersichtsdarstellung des Kippenplans mit Endkontur der Innenkippen vor der Stilllegung	55
Abbildung 28	SW-NE-Schnitt durch den Tagebau im geplanten Zustand vor dem Wiederanstieg des Grundwassers mit Zuordnung der Materialparameter.....	56
Abbildung 29	Lage der Wasserhaltung im Prognosezustand zur maximalen Grundwasserbeeinflussung	57
Abbildung 30	Modellierte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Verbreitungsgrenze des Muschelkalks (ktf040_prog_abbau_01.fem)	58
Abbildung 31	Modellierte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Grundkarte TK 25 (ktf040_prog_abbau_01.fem).....	59
Abbildung 32	NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_prog_abbau_01.fem)	60
Abbildung 33	SW-NE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_prog_abbau_01.fem)	60
Abbildung 34	Differenzen zwischen dem modellierten Grundwasserstand im Grundwasserleiter Muschelkalk im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (ktf040_prog_abbau_01.fem) und dem hypothetischen Zustand ohne Wasserhaltung	61

Abbildung 35	Bilanzgebiet im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (ktf040_prog_abbau_01.fem)	62
Abbildung 36	Freiwasserstände in den aufgelassenen Steinbrüchen nördlich des KT Förderstedt, ermittelt anhand des DGM 5 und aktueller Orthophotos nach [LAVG 23-2] (rot, in [m NHN]), und Hydroisohypsen im Muschelkalk als Modellergebnis für den Istzustand (ktf040_ist_01.fem).....	64
Abbildung 37	Auswertung der Sentinel-2-Satellitenimages, jeweils Zeitraum August-September, durch Berechnung des NDWI (Normalized Difference Water Index) 65	65
Abbildung 38	NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche bei maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens (die Geometrie der Altabbau wurde nicht detailliert nachgebildet).....	67
Abbildung 39	Absenkung bei maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens ausgehend vom Istzustand.....	68
Abbildung 40	Zusätzliche Absenkung im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung ausgehend vom Istzustand [m].....	69
Abbildung 41	Grundwasserflurabstand in [m] (blaue Isolinien) und die Grenze des Bereiches der zusätzlichen Absenkung (cyane Isolinie)	70
Abbildung 42	Grundwasserflurabstand in [m] (blaue Isolinien) und die Grenze des Bereiches der zusätzlichen Absenkung (cyane Isolinie) im Bereich Rennegraben und Bodeniederung.....	71
Abbildung 43	Entwicklung des berechneten Freiwasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung	72
Abbildung 44	Freiwasserfläche bei Wasserstand 14,9 m NHN.....	73
Abbildung 45	Freiwasserfläche bei Wasserstand 34,9 m NHN.....	74
Abbildung 46	Freiwasserfläche bei Wasserstand 55,9 m NHN.....	75
Abbildung 47	Freiwasserfläche bei Wasserstand 59,0 m NHN.....	76
Abbildung 48	Entwicklung des berechneten Freiwasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung (logarithmische Darstellung).....	77
Abbildung 49	Berechnete Hydroisohypsen im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung und Strömungsvektoren im Grundwasserleiter Muschelkalk (ktf040_renat.fem)	78
Abbildung 50	NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_renat.fem)	79
Abbildung 51	SW-NE-Schnitt mit Darstellung der der Grundwasseroberfläche im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_renat.fem)	79

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Übersichtsplan
Anlage 2	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes Blatt 1: mit Hydroisohypsen aus [HK 50] Blatt 2: mit Hydroisohypsen aus [LHW 22-2]
Anlage 3.1	Messstellen des Grundwasserstandes
Anlage 3.2	Zeitreihen des Grundwasserstandes ausgewählter Messstellen
Anlage 3.3	Mittlerer Grundwasserstand (Tabelle)
Anlage 3.4	Mittlerer Grundwasserstand (Karte 1:50000)
Blatt 1	Mittlerer Grundwasserstand Zeitraum 2008-2022
Blatt 2	Mittlerer Grundwasserstand Zeitraum 2019-2022
Anlage 3.5	Hydroisohypsen im Bereich KT Förderstedt: Mittlerer Grundwasserstand im Zeitraum 2008-2022
Anlage 4.1	Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet
Anlage 4.2	Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet
Anlage 5	Verbreitungen und Stützstellen der Unterkanten der Modellschichten
Anlage 5 Bl. 1	Verbreitung der quartären Bildungen im Untersuchungsgebiet
Anlage 5 Bl. 2	Stützstellen und interpolierte Höhenlinien der Unterkante Quartär
Anlage 5 Bl. 3	Verbreitung des Tertär im Untersuchungsgebiet
Anlage 5 Bl. 4	Stützstellen und interpolierte Höhenlinien der Unterkante Tertiär
Anlage 5 Bl. 5	Verbreitung des Keuper im Untersuchungsgebiet
Anlage 5 Bl. 6	Stützstellen und modellierte Höhenlinien der Unterkante Keuper
Anlage 5 Bl. 7	Verbreitung des Muschelkalks im Untersuchungsgebiet
Anlage 5 Bl. 8	Stützstellen und modellierte Höhenlinien der Unterkante Muschelkalk
Anlage 5 Bl. 9	Verbreitung des Buntsandsteins im Untersuchungsgebiet
Anlage 5 Bl. 10	Stützstellen und modellierte Höhenlinien der Unterkante Buntsandstein
Anlage 5 Bl. 11	Verbreitung und modellierte Höhenlinien der Unterkante des Zechsteinresiduats
Anlage 6	Geologisches Strukturmodell: Modellschnitte
Anlage 6.1	Schnittspuren
Anlage 6.2	Modellschnitte
Anlage 7	Parameter des kalibrierten Modells
Anlage 7.1	Hydraulische Leitfähigkeit im kalibrierten Modell
Anlage 7.2	Grundwasserneubildung im kalibrierten Modell
Anlage 8	Abweichung der modellierten Grundwasserstände von den Messwerten
Anlage 9	Modellergebnisse
Anlage 9.1	Berechneter Grundwasserstand Layer 6 (Muschelkalk) im Istzustand
Anlage 9.2	Berechneter Grundwasserstand Layer 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Abbau bis 4. Abbausohle)
Anlage 9.3	Berechneter Grundwasserstand Layer 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Abbau bis 3. Abbausohle)
Anlage 9.4	Berechneter Grundwasserstand Layer 6 (Muschelkalk) im Langzeitzustand nach Grundwasserwiederanstieg
Anlage 10	Vergleich der Wasserchemie 2019 - 2023

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BWE	Bergwerkseigentum
CSD	CIECH Soda Deutschland
DGM	Digitales Geländemodell
ETR	reale Verdunstung
EZG	Einzugsgebiet
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermessstelle
GWN	Grundwasserneubildung
IAA	Industrielle Absetzanlage
k_f	Hydraulische Leitfähigkeit k_f [m/s]
KT	Kalksteintagebau
KTF	Kalksteintagebau Förderstedt
n_e	Effektive Porosität n_e [m ³ /m ³]
OK	Oberkante
P	Niederschlag
P_{korr}	korrigierter Gebietsniederschlag
R	Abfluss
RBP	Rahmenbetriebsplan
RMS	Root Mean Square (mittlerer quadratischer Fehler = Wurzel aus der Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Modell- und Messwerten)
SQRT	Quadratwurzel
Summe d. quadr. Abw.	Quadratsumme der Differenzen
Tgb	Tagebau
UK	Unterkante
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
ZPS	Zentraler Pumpensumpf

1 Anlass und Aufgabenstellung

Im Kalksteintagebau Förderstedt wird seit den 1950er Jahren Kalkstein gewonnen, der überwiegend als Rohstoff für die Sodaherstellung im wenige Kilometer entfernten Sodawerk Staßfurt der CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG Verwendung findet. Die Rohstoffgewinnung und die Verkipfung nicht verwertbaren Materials erfolgt derzeit innerhalb des bestandsgeschützten Bergwerkseigentums (BWE) III-A-g-284/90/182. An das Bergwerkseigentum grenzen die Bewilligungsfelder Förderstedt II-B-g-235/92 und Förderstedt-Marbe II-B-g-318/95 an, die zur Erweiterung der Rohstoffgewinnung beantragt und ausgewiesen wurden (vgl. Anlage 1).

Für die zukünftige Förderung von Kalkstein ist eine Erweiterung des Tagebaus „Förderstedt“ auf die angrenzenden Bewilligungsfelder geplant. Hierzu soll ein aktualisierter Rahmenbetriebsplan erstellt und für dessen Zulassung ein Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt werden.

Das Vorhaben ist in der Tischvorlage zum Scopingverfahren vom Oktober 2020 in seinen wesentlichen Teilen dargestellt [Cie 20-3]. Geplant ist eine laterale Erweiterung und Vertiefung des Tagebaus und eine Verlängerung der Gesamtlaufzeit auf weitere 44 Jahre. Dies macht eine Ausweitung der Wasserhaltung und eine weitere Absenkung des Grundwasserstandes erforderlich. Die damit verbundenen Eingriffe in das Grund- und Oberflächenwasser im Umfeld des Tagebaues sollen in einem hydrogeologischen Gutachten in ihren Auswirkungen dargestellt werden. Zusätzlich soll der nach Abschluss des Tagebaus und Einstellung der Wasserhaltung erfolgende Wiederanstieg des Grundwassers und insbesondere die Auffüllung des Tagebau-Restloches mit Freiwasser prognostisch ermittelt werden.

Die G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH wurde durch die Ciech Soda Deutschland GmbH & Co. KG mit der Erarbeitung eines hydrogeologischen Gutachtens inklusive der Erstellung eines Grundwasserströmungsmodells beauftragt. Im Gutachten sollen die Ergebnisse der vorangegangenen Bearbeitung durch die IHU GmbH und WT-Georingenieure [IHU 08-1] berücksichtigt und fortgeschrieben werden. Diese Bearbeitung beinhaltet ein numerisches Grundwassermodell, welches als Basis für die vorliegende Bearbeitung zu verwenden und anhand der zwischenzeitlich aufgelaufenen Daten und Planungsvorgaben zu aktualisieren war.

2 Vorgehensweise

Aufarbeitung und Auswertung der aufgelaufenen Daten seit 2007

Der Ausgangsdatenstand ist im „Hydrogeologische Gutachten als Ergänzung zum Rahmenbetriebsplan für den Kalksteintagebau Förderstedt“ [IHU 08-1] dokumentiert. Zwischenzeitlich sind alle wesentlichen Daten zu Fördermengen und Grundwasserständen im Rahmen der Betriebsdokumentation, Eigenüberwachung und Umweltmonitoring kontinuierlich erhoben worden. Diese Daten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgewertet und als Grundlage für die durchzuführende Grundwassermodellierung verwendet, so dass das Hydrogeologische Gutachten den aktuellen Datenstand darstellt.

Geologisches Strukturmodell

Das geologische Strukturmodell beschreibt die Geometrie und Parameter der für die Grundwasserströmung wesentlichen geologischen Bildungen im Untersuchungsgebiet. Im Rahmen der bisherigen Bearbeitung wurden die geologischen Bildungen Quartär, Tertiär, Keuper und Muschelkalk berücksichtigt. Im Rahmen der aktuellen Bearbeitung wurden zusätzlich der Buntsandstein und der Zechsteinersatz modelliert, da diese die Grundwasserströmung zwischen Muschelkalk und Bode beeinflussen. Weiterhin wurde die Hohlraumgeometrie des Tagebaues und anthropogene Aufschüttungen als zusätzliche Bestandteile in das Strukturmodell integriert.

Die Geometrie der genannten Bildungen wurde aus der bisherigen Bearbeitung übernommen und ergänzt durch zusätzlich recherchierte Stützstellen. Hierzu gehören u. a. die 14 erstmals berücksichtigten Erkundungsbohrungen des KT Förderstedt aus dem Jahr 1969. Die Geometrien des Buntsandsteins und Zechsteinersatzes wurden erstmals anhand von Aufschlussdaten modelliert.

Die Modellierung der Geometrie wurde mit der Software Geovia Surpac™ durchgeführt. Hierzu wurden Höhenmodelle aller Schichtunterkanten erstellt, wobei vom DGM25 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (Modelloberkante) ausgegangen und schrittweise über Quartär, Tertiär, Keuper, Muschelkalk, Buntsandstein bis zur Unterkante des Zechsteinersatzes (Modellunterkante) vorgegangen wurde. Als Stützstellen wurden zunächst die Verbreitungsgrenzen verwendet, an denen die Schichtunterkante mit der Schichtoberkante zusammenfällt, welche der bekannten Unterkante der Hangenden Schicht entspricht. Weiterhin wurden die Höhenlinien der Schichtunterkanten des bestehenden Modells aus [IHU 08-1] und zusätzliche Aufschlussdaten berücksichtigt. Zur Erstellung der Schichtunterkanten wurde eine lineare Interpolation der Stützstellen für das gesamte Untersuchungsgebiet durchgeführt.

Modellierung der Grundwasserströmung

Das im Jahr 2008 erstellte hydrogeologische Gutachten beinhaltet eine Grundwassermodellierung mit MODFLOW, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit anhand der aufgelaufenen Daten aktualisiert wurde. Das Modell wurde in dreidimensionaler Form in die Finite-Elemente-Software FEFLOW® übertragen, welche eine flexible und anschauliche Nachbildung von Geometrien und Grundwasserströmungen ermöglicht. Dabei wurde das Modell nach Süden bis zur Bode erweitert. Diese Erweiterung bedingt die beschriebene Ergänzung des Modells um die hydrogeologisch relevanten Bildungen Buntsandstein und Zechsteinersatz.

Das Strömungsmodell kann nach erfolgreicher Kalibrierung anhand der Messdaten den Istzustand beschreiben und für Prognoseberechnungen zukünftiger Zustände verwendet werden.

3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet umfasst entsprechend der Aufgabenstellung den derzeitigen und zukünftigen potenziellen Einflussbereich des Tagebaus Förderstedt auf das Grund- und Oberflächenwasser. Der Einfluss auf das Grundwasser umfasst das Gebiet, in dem eine Absenkung des Grundwasserstandes durch die Wasserhaltung im Tagebau möglich ist. Dieses Gebiet ist vollständig im Untersuchungsraum zum Schutzgut Wasser der Tischvorlage zum Scopingverfahren für den Kalksteintagebau Förderstedt enthalten ([Cie 20-3], vgl. Anlage 1). Standgewässer werden ebenfalls nur innerhalb dieses Gebietes beeinflusst, wenn sie in Verbindung mit dem Grundwasser stehen. Eine mengenmäßige oder stoffliche Beeinflussung von Fließgewässern, die hydraulisch mit dem Grundwasser verbunden sind, kann dagegen auch weiter im Unterstrom liegende Gewässerabschnitte betreffen. Deshalb kann der Tagebau Förderstedt potenziell die Wasserführung und die stoffliche Qualität des Marbegrabens und der Bode beeinflussen. Das Untersuchungsgebiet beinhaltet deshalb beide Fließgewässer bis zu ihrer Mündung.

Für die numerische Modellierung der Grundwasserströmung wurde das beschriebene Untersuchungsgebiet erweitert. Das Modellgebiet erstreckt sich nach Norden bis zur Grenze des unterirdischen Einzugsgebietes der Bode, die etwa zwischen Borne und Eickendorf verläuft. Das Gebiet nördlich dieser Grenze entwässert sowohl ober- als auch unterirdisch in Richtung Elbe und wird nicht betrachtet, da eine Beeinflussung durch den Tagebau Förderstedt ausgeschlossen werden kann. Der Verlauf der Grenze orientiert sich an der unterirdischen Wasserscheide nach Hydrogeologischer Karte 1:50000 Blatt Staßfurt/Calbe (vgl. Anlage 2 Blatt 1). Aktuellere Hydroisohypsenpläne des Landes Sachsen-Anhalt, herausgegeben 2014/15 zur Beschreibung langjährig mittlerer Bedingungen, weichen nur unwesentlich von diesem Verlauf ab (Anlage 2 Blatt 2).

Nach Süden wird das Modellgebiet bis zur Bode geführt, beginnend bei Unseburg und verlaufend über Staßfurt bis nach Neugattersleben. Die Bode stellt eine natürliche Randbedingung für die oberflächennahe Grundwasserströmung dar und bestimmt damit die Grenze des Untersuchungsgebietes.

Nach Westen wurde das Modellgebiet bis zur Nullstromlinie zwischen der nördlichen Gebietsgrenze bei Borne und der Bode bei Unseburg geführt. Eine Grundwasserströmung über diese Linie findet im Wesentlichen nicht statt und eine Beeinflussung des Gebietes westlich dieser Grenze durch den Tagebau Förderstedt kann ausgeschlossen werden.

Im Osten verläuft eine Wasserscheide zwischen der nördlichen Einzugsgebietsgrenze am Wartenberg etwa entlang der Bundesautobahn A14 und weiter bis zur Bode bei Löbnitz. Der in der Hydrogeologischen Karte 1:50000 verzeichnete Verlauf dieser Wasserscheide wurde als östliche Grenze des Modell- bzw. Untersuchungsgebietes übernommen (vgl. Anlage 2 Blatt 1). Aktuellere Hydroisohypsenpläne des Landes Sachsen-Anhalt weichen nur unwesentlich von diesem Verlauf ab (Anlage 2 Blatt 1). Das Modellgebiet wurde an der Bode noch etwas weiter bis Neugattersleben geführt, um den Untersuchungsraum zum Schutzgut Wasser in ausreichendem Maße zu berücksichtigen.

Insgesamt entspricht die aktuelle Abgrenzung des Untersuchungsgebietes bzw. des Modellgebietes für das Grundwasserströmungsmodell im Wesentlichen dem in [IHU 08-1] untersuchten Modellgebiet mit folgenden Ausnahmen:

- Die Bode wird mit der aktuellen Bearbeitung als südliche Modellgrenze verwendet. Damit kann der Einfluss des Tagebaus auf die Wasserstände an der Bode über deren gesamten Verlauf untersucht werden.
- Nach Osten wird das Modell nicht bis zur Saale bei Nienburg geführt, sondern lediglich bis zur Wasserscheide zwischen Wartenberg und Bode. Soll ein Abstrom in Richtung

Saale berücksichtigt werden, ist dies durch eine entsprechende Randbedingung weiterhin möglich.

Das aktuelle Untersuchungs- und Modellgebiet und die Grenzen des in [IHU 08-1] betrachteten Modellgebietes sind in Anlage 2 in der Karte dargestellt.

4 Abbauplanung und betrachtete Szenarien

Das hydrogeologische Gutachten von 2008 [IHU 08-1] beschreibt den Betriebszustand des Tagebaus um das Jahr 2007, in dem auch eine Stichtagsmessung der Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet durchgeführt wurde, als Ausgangszustand. Dieser wurde in [IHU 08-1] zur Kalibrierung des Strömungsmodells herangezogen. Anschließend wurden mit dem kalibrierten Modell die Prognoseszenarien „Zwischenstand“ (ca. 10 Jahre nach dem Ausgangszustand), „Tagebauendzustand vor Tagebauflutung“ und „Endzustand nach Tagebauflutung“ einschließlich des Aufgangs des Freiwasserspiegels berechnet.

Die vorliegende Aktualisierung integriert die seit dem Jahr 2007 aufgelaufenen Messdaten, was eine Neufestlegung des Istzustandes erforderlich macht. Als Istzustand wird im Folgenden der Betriebszustand zu Beginn der Betriebsplanperiode 2021-25 betrachtet [Cie 20-1]. Dieser Zustand ist durch eine aktuelle vollständige Vermessung der Tagebaukontur im Jahr 2022 dokumentiert. Da die Grundwasserstände im Bereich des Tagebaus und im weiteren Untersuchungsgebiet im Rahmen mehrerer Messprogramme des AG kontinuierlich gemessen werden, kann auch die Modellkalibrierung anhand des Istzustandes durchgeführt werden. Die im Zeitraum 2008 bis 2022 aufgelaufenen Messdaten sind in Abschnitt 7 dargestellt. Anhand der mittleren Grundwasserstände der hydrologischen Jahre 2019 bis 2022 wurden Hydroisohypsen erstellt, die den Istzustand beschreiben. Die Berechnungen mit dem Grundwasserströmungsmodell erfolgen mit konkretem zeitlichen Bezug für die Periode 2008 (Anfangsbedingungen) bis 2022 (Istzustand).

Für die Erweiterung des Tagebaus wurde eine Abbau- und Kippenplanung durchgeführt [Cie 23-1]. Diese beschreibt die Teufen und Lage der Abbausohlen und die Lage und Oberflächenform der Kippen für nicht verwertbares Material. Für die Ermittlung der maximalen Auswirkung des Betriebes auf das Grund- und Oberflächenwasser ist die maximale Ausdehnung und Tiefe des Abbaus relevant, wenn diese Flächen mittels der Wasserhaltung entwässert werden und noch nicht bereits wieder überkippt sind. Hier wurde unterschieden zwischen dem Zustand der maximalen Ausdehnung nach Norden, in welchem der Bereich des Marbegrabens am stärksten beeinflusst wird und der noch vor dem Ende der Abbautätigkeit stattfindet, und dem Zustand kurz vor der Einstellung des Tagebaubetriebes mit maximaler Ausdehnung nach Südosten, in dem der Bereich zwischen Tagebau und der Bode am stärksten beeinflusst wird. Der Zustand der maximalen Ausdehnung nach Südosten wird sich etwa 44 Jahre nach dem Istzustand, d. h. etwa um das Jahr 2070, einstellen und ist im der Abbau- und Kippenplan dokumentiert. Nach Einstellung der Rohstoffförderung wird der Tagebau geschlossen und geflutet. Die Geometrie von Abbau und Kippen im Zustand während und nach der Flutung beschreibt die Abbau- und Kippenplanung [Cie 23-1] ebenfalls.

Zusammenfassend werden im hydrogeologischen Gutachten folgende zeitliche Szenarien betrachtet:

Tabelle 1 Zeitliche Zustände und Szenarien

Szenario	Betriebszustand	Geometrie	Hydrologischer Zustand
Istzustand	2022	Vermessung 2022	2008-2022
Zustand des maximalen Eingriffs im Bereich Marbegraben	vor etwa 2070	max. Ausdehnung des Abbaus Richtung NW, noch ohne Überkippung mit Abraum	langjährig mittlere Verhältnisse
Endzustand des Abbaus mit maximalem Eingriff im Bereich Bode	etwa 2070 vor Schließung	Abbau- und Kippenplanung im Rahmen RBP	langjährig mittlere Verhältnisse
Zeitraum der Flutung	etwa 2070 bis ?	Abbau- und Kippenplanung im Rahmen RBP	langjährig mittlere Verhältnisse
Langzeitzustand	?	Abbau- und Kippenplanung im Rahmen RBP	langjährig mittlere Verhältnisse

5 Datengrundlage

Die Datenbasis für die vorliegende Arbeit stellt das Hydrogeologische Gutachten aus dem Jahr 2008 dar [IHU 08-1]. Im Jahr 2020 erfolgte eine aktuelle Recherche zu hydrologischen und hydrogeologischen Daten, die im vorliegenden Gutachten ebenfalls berücksichtigt wurden [RC 20-1]. Im Rahmen der aktuellen Bearbeitung wurden vom AG weitere Daten zur Verfügung gestellt und es wurden zusätzliche Recherchen durchgeführt. Dabei handelt es sich um die folgenden Daten und Informationen:

- Aufschlusdaten aus der Recherche der Geowissenschaftlichen Komplexbetreuung der IAA der Sodawerke Staßfurt [GEOS 14-3]
- Aufschlusdaten von 100 zusätzlichen Bohrungen des Geologischen Landesamtes [LAGB 22-1]
- Meteorologische Daten: Niederschlag KT Förderstedt und Marbe, zusätzlich Niederschlagsstation Bördeland-Kleinmühligen. Klimastationen: Magdeburg und Bernburg Nord [DWD 23-1]
- Grundwasserneubildung aus [LHW 22-3] (ArcEGMO-Gebietswasserhaushaltsbilanzen)
- Pegeldata Bode, Pegel Staßfurt [LHW 22-4]
- Betriebsdokumentation mit erfassten Grundwasserförderungen im KT Förderstedt und an den Marbe- und Salzbrunnen und mit Wasserstandsmessungen an Pegeln im Abbaubereich
- Grundwasserstandsmessungen an den Pegeln im nahen Tagebaumfeld im Rahmen der Eigenüberwachung KT Förderstedt
- Grundwasserstandsmessungen an den Pegeln im Bereich Marbegraben und IAA Unseburg durch GEOS NL Halle im Auftrag von Ciech Soda Deutschland
- Grundwasserstände an den Landesmessstellen [LHW 23-1]
- Vermessungsdaten der Tagebaukontur aus der aktuellen Abbaudokumentation des AG
- Geplante Tagebaukontur bis zum Ende der Abbautätigkeit und Endkontur nach Stilllegung

Die Messdaten der Grundwasserstände und Fördermengen der Marbe- und Salzbrunnen und des KT Förderstedt wurden bis Ende 2022 berücksichtigt.

6 Hydrogeologisches Strukturmodell

In [IHU 08-1] wurde ein hydrogeologisches Strukturmodell erarbeitet, welches die Geometrie der geologischen Bildungen Quartär, Tertiär, Keuper und Muschelkalk im Untersuchungsgebiet beschreibt. Die Grenzen des damals zugrundegelegten Untersuchungsgebietes sind in Anlage 2 enthalten. Mit der aktuellen Bearbeitung wurde das Untersuchungsgebiet bis zur Bode erweitert. Daraus resultiert die Notwendigkeit, auch den Buntsandstein und den wasserleitenden Zersatz des Zechstein als Geometrie zu berücksichtigen. Weiterhin wurden mit der aktuellen Bearbeitung die Geometrien des Freiwassers der Standgewässer und des KT Förderstedt und der anthropogenen Auffüllungen (Kippen, Halden und Absetzanlagen) berücksichtigt.

Die in [IHU 08-1] erarbeiteten Geometrien wurden als Basis für die Erweiterung des Strukturmodells verwendet. Hierzu wurden die Mächtigkeiten und modellierten Schichtunterkanten der Bildungen Quartär, Tertiär, Keuper und Muschelkalk für die aktuelle Bearbeitung übernommen. Diese Geometrien wurden anschließend ergänzt anhand der Aufschlusssdaten von insgesamt 1753 Bohrungen aus der Landesbohrdatenbank des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt [LAGB 15-1]. Im Rahmen der aktuellen Bearbeitung wurden 100 zusätzliche Aufschlüsse aus dieser Datenbank recherchiert [LAGB 22-1].

Als zusätzliche Erweiterung der Datenbasis wurden die 14 Erkundungsbohrungen am Kalksteintagebau Förderstedt des Jahres 1969 in das Strukturmodell übernommen. Die Schichtverzeichnisse wurden dem Erläuterungsbericht zur Erkundung entnommen [IZ 70-1]. Die Bohrungen erreichten die Basis des Muschelkalkes, was eine exaktere Modellierung der Geometrie des Muschelkalkes im unmittelbaren Bereich des KT Förderstedt erlaubt.

6.1 Digitales Geländemodell

Die Modelloberkante bzw. die Oberkante der jüngsten geologischen Bildung, i. d. R. des Quartärs, beschreibt das digitale Geländemodell (DGM). Es wurden die aktuellen Vermessungsdaten des AG des Jahres 2022 für den Kalksteintagebau Förderstedt verwendet. Für das weitere Untersuchungsgebiet wurden die Daten des aktuellen DGM25 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt herangezogen (Aktualität Stand 2017, [LAVG 22-1]).

6.2 Freiwasser und Anthropogene Bildungen

6.2.1 Freiwasser

Freiwasser des KT Förderstedt und einiger Standgewässer im Untersuchungsgebiet wird im Strukturmodell als Geometrie vorgehalten, die zur numerischen Modellierung der Grundwasserströmung mit entsprechenden Parametern belegt werden kann.

Nach dem Ende des Gesteinsabbaus und der Wasserhaltung im KT Förderstedt wird sich in dessen teilweise mit Innenkippen konturierten Hohlform ein Restsee bilden. Die Verbreitung des Restsees ist auf die Abbaufäche beschränkt. Die Oberkante der für das Freiwasser vorgehaltenen Geometrie der Hohlform entspricht der interpolierten Geländeoberkante, welche annähernd der historischen Geländeoberkante im Bereich des Tagebaus entspricht. Die Unterkante wird gebildet durch die Oberkante des Abbaus und der Kippen, welche aus den Vermessungsdaten von 2022 des KT Förderstedt und der Abbau- und Kippenplanung entnommen wurden. Innerhalb der beschriebenen Geometrie kann sich im Strömungsmodell ein freier Wasserspiegel einstellen entsprechend der aktuellen Grundwasserdynamik.

6.2.2 Anthropogene Bildungen

Bei den anthropogenen Bildungen im Untersuchungsgebiet handelt es sich um die Kippen des KT Förderstedt, die Industrielle Absetzanlage (IAA) Unseburg, die Rückstandshalde des Sodawerks bei Staßfurt und weitere kleinere Objekte, u. a. die Hohlformen und Kippen der Altsteinbrüche im Bereich des Marbegrabens nordwestlich des KT Förderstedt. Die Oberkante der Aufschüttungen entspricht der Geländeoberkante. Die Unterkante wurde nur im KT Förderstedt exakt anhand der bekannten Sohlhöhen der Abbaue modelliert. Bei den anderen Objekten wurde die Unterkante durch Interpolation ermittelt. Sie entspricht in diesen Fällen annähernd der historischen Geländeoberkante. Eine detailliertere Nachbildung der Geometrie der anthropogenen Bildungen ist zur Modellierung der Grundwasserströmung mit vorliegender Aufgabenstellung nicht erforderlich.

6.3 Geologische Bildungen

Analog zum bestehenden Modell wurden die geologischen Bildungen Quartär, Tertiär, Keuper und Muschelkalk im Strukturmodell nachgebildet. Ergänzt wurden die Bildungen Buntsandstein und Zechsteinresiduat.

Die horizontalen Verbreitungen der geologischen Bildungen wurden analog zur bestehenden Bearbeitung in [IHU 08-1] der Hydrogeologischen Karte 1:50000 entnommen. Bezüglich der Verbreitungen bestehen keine Unterschiede zur aktuellen Bearbeitung. Es wurde lediglich eine Überarbeitung der Schichtunterkanten entsprechend der aktuellen Datenlage durchgeführt. Dabei ist insbesondere die Unterkante des Muschelkalks im Bereich des KT Förderstedt zu nennen, welche unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Erkundungsbohrungen von 1969 präzisiert wurde.

6.3.1 Quartär

Quartäre Ablagerungen wurden als flächendeckend verbreitet angenommen, lediglich im Bereich von Abbauen wie im KT Förderstedt fehlt diese geologische Bildung. Es handelt sich um pleistozäne Ablagerungen der Weichsel- und Saale-Eiszeit.

Ungegliedertes Quartär im Bereich der Bodeniederung

In der Saale-Kaltzeit kam es durch die Saalevereisung und den Einfluss der Bode zur Verzahnung von fluviatilen Schotterkörpern (Terrassen) und Schmelzwasserbildungen, die in der Bodeniederung den oberen GWL bilden [GEOS 14-3]. In der sich anschließenden Weichsel-Kaltzeit bildete sich eine Überdeckung mit Löss.

Bei dem quartären Grundwasserleiter handelt es sich um eine Wechsellagerung von gut wasserleitenden Sanden und Kiesen der Bodeterrassen mit gering leitendem Geschiebemergel. Der GWL ist teilweise mit Löss oder Lösslehm bedeckt, lokal sind holozäne Deckschichten wie Aue-mergel oder Mudden verbreitet.

Aufgrund der häufigen Wechsellagerung mit stark schwankenden Mächtigkeiten der genannten Bildungen und deren oft begrenzten horizontalen Verbreitung wurde der GWL als Ungegliedertes Quartär kartiert [HK 50]. In [GEOS 14-3] wurde versucht, mehrere Wechsellagerungen von Sand, Kies und Geschiebemergel geometrisch nachzubilden. Im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung wurde das Ungegliederte Quartär als eine Modellschicht im Strukturmodell nachgebildet. Die Verbreitung wurde entsprechend [HK 50] berücksichtigt und ist in Anlage 5 Blatt 1 dokumentiert. Die Anlage 5 Blatt 2 enthält die Stützstellen der Schichtunterkanten.

Quartäre Ablagerungen außerhalb der Bodeniederung

Im Untersuchungsgebiet nördlich des Staßfurt-Egelner Salzsattels sind die quartären Schichten in mehrere Horizonte zu untergliedern, die sich hinsichtlich der Genese und damit auch lithologisch unterscheiden [IHU 08-1]. Eine Löss- bzw. Lösslehmauflage aus der Weichsel-Kaltzeit ist flächendeckend vorhanden. Sande und Kiese der Weichsel-Kaltzeit (S2n-W-Ho) und der Saale-Nachschüttphase (S1n-W-Ho) sind lokal im Bereich der Marbe-Niederung bei Glöthe/Förderstedt und im Bereich der Bode östlich von Staßfurt vorhanden. Diese Bildungen sind grundwasserleitend. Die älteren Saale-I-Geschiebemergel und -lehme (SI) schließen sich in einigen Bereichen im Liegenden der Sande an oder sind vor allem im Norden des Untersuchungsgebietes als alleinige quartäre Bildung verbreitet. Diese Bildungen wirken nicht als Grundwasserleiter. Im Norden des Untersuchungsgebietes werden die Saale-I-Geschiebemergel lokal von Elster- und Saale-I-Vorschüttsanden unterlagert. Die Verbreitungen der genannten quartären Bildungen entsprechend [HK 50] sind in Anlage 5 Blatt 1 dokumentiert.

Insgesamt handelt es sich bei den quartären Ablagerungen auch nördlich der Bodeniederung um eine Wechsellagerung aus Sanden und Kiesen, die teils wasserführend sind, mit gering wasserleitenden Schluffen und Geschiebelehmen. Außerhalb der in Anlage 5 dargestellten Verbreitungen, so auch im Bereich des KT Förderstedt, ist lediglich eine Löss- bzw. Lösslehmauflage vorhanden.

Analog zu [IHU 08-1] wurden die quartären Bildungen zu einer Modellschicht zusammengefasst.

6.3.2 Tertiär

Das Tertiär (Ablagerungen des Eozän und des Oligozän) ist nicht flächendeckend verbreitet. Im Hangenden liegt marines Tertär in Form von feinsandigen bis tonigen Schichten (Oligozän: Rupelton, Beckenton). Im Liegenden ist das Tertiär als Wechsellagerung von Sanden, Tonen und Braunkohle ausgebildet (terrestrisches Tertär, Eozän). In [HK 50] sind die tertiären Bildungen im Untersuchungsgebiet als ungegliedertes Tertiär ausgewiesen (Anlage 5.3).

In besser leitfähigen Schichten kann das Tertiär Grundwasser leiten, allerdings handelt es sich insgesamt um einen Grundwassergeringleiter mit eher geringen Durchlässigkeiten, nur lokale guten Wasserwegsamkeiten und vergleichsweise geringer Ergiebigkeit. Wasserführende Schichten sind selten nachgewiesen.

Im Bereich des Abbaus des KT Förderstedt wurden trichterförmige Kartschlotten mit in Trichtern und Rinnen im Muschelkalk eingelagerten tertiären Lockergesteinen aufgeschlossen.

6.3.3 Keuper

Im Liegenden des Tertärs bzw. Quartärs sind in der Nordmulde des Staßfurt-Egelner Sattels Ablagerungen des Keuper vorhanden. Diese erreichen im Nordwesten bei Borne Mächtigkeiten von bis zu etwa 60 m, im Südosten bei Löbnitz sogar über 100 m [IHU 08-1]. Der Keuper fehlt im Bereich des Salzsattels und südlich bis zur Bode. Die Schichten des Keuper sind ganz überwiegend aus Ton- und Schluffsteinen aufgebaut, die selten mit Sandsteinlagen abwechseln und im Allgemeinen keine Wasserführung aufweisen.

Die Verbreitung des Keuper wurde analog zu [IHU 08-1] aus der Hydrogeologischen Karte 1:50000 [HK 50] entnommen. Sie ist in Anlage 5.5 dokumentiert. Die Anlage 5.6 stellt die Stütz-

stellen zur Ermittlung der Unterkante des Keuper und das Ergebnis der Modellierung der Unterkante dar.

6.3.4 Muschelkalk

Die Schichten des Muschelkalk sind in der gesamten Nordmulde des Staßfurt-Egelter Sattels verbreitet. Der Muschelkalk erreicht im zentralen Muldenbereich seine höchsten Mächtigkeiten (>160 m), die muldenförmige Struktur ist parallel zum Salzsattel ausgerichtet. Der Muschelkalk ist gegliedert in den Oberen, Mittleren und Unteren Muschelkalk. Im Bereich des KT Förderstedt ist lediglich der Untere Muschelkalk verbreitet, in Richtung der Achse der Mulde schließen sich der Mittlere und Untere Muschelkalk an.

Der Muschelkalk und seine Basis wurde im Bereich des KT Förderstedt an 14 Erkundungsbohrungen detailliert untersucht [IZ 70-1]. Die Ergebnisse dieser Erkundung wurden in der vorliegenden Bearbeitung des geologischen Strukturmodells berücksichtigt. Anhand der Bohrung Förderstedt 1/68 wurde für den unmittelbaren Bereich des Kalksteintagebaus folgendes charakteristisches Profil beschrieben:

Hangendes: Mittlerer Muschelkalk (mm)

Unterer Muschelkalk (mu)

χ	Schaumkalkzone	8,5 m
mu ₃	Oberer Wellenkalk	14,7 m
γ	Terebratelzone	6,2 m
mu ₂	Mittlerer Wellenkalk	27,2 m
Oo	Oolithzone	8,8 m
mu ₁	Unterer Wellenkalk	47,1 m

Liegendes: Obererer Buntsandstein (Röt)

Analog zur vorangegangenen Bearbeitung in [IHU 08-1] wurden die Schichten des Muschelkalks nicht separat modelliert. Im Bereich der Nordmulde handelt es sich um den Hauptgrundwasserleiter, hier erfolgen alle Grundwasserentnahmen in dieser geologischen Bildung. Über weite Bereiche im Untersuchungsgebiet ist der Muschelkalk lediglich mit geringmächtigen quartären Ablagerungen und Bodenbildungen bedeckt, so auch im Umfeld des KT Förderstedt.

Die Verbreitung des Muschelkalks im Untersuchungsgebiet ist in der Anlage 5.7 dargestellt. Im Bereich des Salzsattels und südlich bis zur Bode fehlt der Muschelkalk. Die Grundwasserströmung zur Bode findet hier vorrangig im quartären und tertiären Grundwasserleiter statt.

6.3.5 Buntsandstein

Im Liegenden des Muschelkalks bzw. der quartären und tertiären Schichten schließen sich die Bildungen des Buntsandsteins an. Der Buntsandstein ist nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet mit hohen Mächtigkeiten verbreitet, er fehlt nur in den höchsten Bereichen des Staßfurt-Egelter Salzsattels, wo der Zechstein oberflächennah ansteht.

Am weitesten ist der Untere Buntsandstein verbreitet, der bis an den Staßfurt-Egelter Salzsattel heranreicht. Die Mächtigkeit des Buntsandsteins nimmt unmittelbar nördlich des Salzsattels sehr stark zu und erreicht in der Nordmulde ebenso wie südlich des Salzsattels mehrere hundert Meter. Hier sind neben dem Unteren Buntsandstein auch der Mittlere und Obere Buntsandstein vorhanden.

Die tonig-mergeligen und dolomitischen Gesteine des Oberen Buntsandsteins sind grundwasserhemmend bis geringleitend. Unbedeutende Grundwasserführungen sind in eingelagerten Kalk- und Dolomitlagen und vergipsten Anhydriten möglich, höhere Wasserführungen bei Verkarstungen im Anhydrit. Der Mittlere Buntsandstein kann insbesondere bei starker Klüftigkeit eine mäßige Wasserführung aufweisen, die aber i. d. R. geringer ist als in Lockergesteins-Grundwasserleitern. Der Untere Buntsandstein, der im Bereich des Salzsattels nahe der Geländeoberfläche ansteht, ist schlecht wasserleitend und zeigt eine sehr geringe bis fehlende Wasserführung.

Das Liegende der Kalksteinlagerstätte Förderstedt wird vom Oberen Buntsandstein, dem Röt, gebildet [IZ 70-1]. Dabei handelt es sich um stark dolomitische Mergel mit einer geringen Wasserdurchlässigkeit (Pelitröt- und Myophorienfolge mit dolomitischen Mergelsteinen und Anhydrit-/Gipseinlagerungen und dolomitischen Kalk-, Mergel- und Tonsteinen). Die Basis des Röt wird Rötsalinar genannt.

Die Geometrie des Buntsandsteins begrenzt ebenso wie das Zechsteinsalinar die Grundwasserströmung im Bereich des KT Förderstedt. Sie bildet eine natürliche Barriere für die Wasserbewegung aus dem Hauptgrundwasserleiter Muschelkalk in Richtung Bode. Aus diesem Grund wurden die Geometrien in das geologische Strukturmodell integriert. Die Anlage 5.9 zeigt die Verbreitung des Buntsandsteins, in Anlage 5.10 ist die modellierte Unterkante des Buntsandsteins dokumentiert.

6.3.6 Zechsteinersatz

Das Zechsteinsalz des Staßfurt-Egelner Salzsattels ist nicht wasserführend. Allerdings fanden aufgrund der Hebung des Salzsattels im oberflächennahen Bereich Verwitterung und Subrosionsprozesse statt, in deren Folge sich Residualgestein bildete, welches überwiegend aus Gips besteht und untergeordnet Tone enthält (Gipshut, Hutgestein). Der Gips wurde teilweise ausgelaugt, so dass Sulfatkarst mit Hohlräumen entstehen konnte. Das Residualgestein ist deshalb räumlich begrenzt wasserführend, die hydraulische Leitfähigkeit schwankt jedoch sehr stark im Bereich zwischen $1E-04$ m/s und $1E-07$ m/s.

Die Breite des Zechsteinresiduats beträgt ca. 500 bis 1000 m, die Mächtigkeit liegt zwischen 40 m und 80 m, im Mittel bei 55...60 m [IHU 07-1]. Die Modellierung der Unterkante erfolgte im Unterschied zu den anderen beschriebenen geologischen Bildungen durch Annahme einer mittleren Mächtigkeit des Zechsteinresiduats von 60 m. Aus den Höhenverhältnisse kann auf eine mittlere Höhe der Unterkante von ca. 0 m HN geschlossen werden. Die Verbreitung resultiert aus der geometrischen Verschneidung der erstellten Fläche der Schichtunterkante mit der Schichtunterkante des Buntsandsteins. Die Verbreitung ist in Anlage 10 Blatt 11 dargestellt, die Anlage 10 Blatt 12 enthält die verwendeten Stützstellen und die interpolierten Höhen der Schichtunterkante.

6.3.7 Zechsteinsalz

Das Zechsteinsalz ist nicht wasserführend. Seine Oberkante stellt die untere Begrenzung des geologischen Strukturmodells dar. Die Geometrie der Unterkante der Zechsteinbildungen wurde nicht modelliert.

6.4 Hydrogeologische Kennwerte

Die im Untersuchungsgebiet verbreiteten geologischen Bildungen können durch die in Tabelle 2 zusammengefassten hydrologischen Kennwerte charakterisiert werden. Die Kennwerte wurden als Orientierungswerte beim Aufbau des Grundwasserströmungsmodells herangezogen. Die

Durchlässigkeit des Quartärs, Tertiärs, Keupers und des Muschelkalks wurde später im Rahmen der Modellkalibrierung angepasst (vgl. Abschnitt 8.2.5).

Tabelle 2 Hydrogeologische Kennwerte im Untersuchungsgebiet

Material	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Eff. Porosität n_e [-]	Quelle
Freiwasser	1 m/s	1	-
Anthropogen	Weißmaterial: 1E-06 m/s	-	[GEOS 14-3]
	Modell 2015: 1E-06 m/s	-	[GEOS 14-3]
Quartär	MGL1 im Modell: 2E-04 m/s	0,2	[IHU 08-1] Anl. 7.10
	Löss, Lehm: 1E-08 m/s Geschiebemergel: 1E-08 m/s Sande, Kiese: 2E-04...2E-03 m/s	-	[GEOS 14-3]
	Modell 2015: Auelehm, Lösslehm 1E-08 m/s Quartärer GWL: 1E-03 (Kies) ...5E-05 m/s	-	[GEOS 14-3]
	-	0,25	[IHU 07-1]
	-	0,15	[IHU 08-1] Anl. 7.11
Tertiär	MGL2 im Modell: 1E-05 m/s	0,15	[IHU 08-1] Anl. 7.11
	Rupelsand: 1E-06 m/s Rupelton: 1E-09 m/s Tertiär: 1E-06...1E-08 m/s	-	[GEOS 14-3]
	Modell 2015: 1E-09 m/s	-	[GEOS 14-3]
	-	0,05	[IHU 08-1] Anl. 7.12
Keuper	MGL3 im Modell: 1E-06 m/s 1E-07 m/s an Störungen	0,05	[IHU 08-1] Anl. 7.12
Muschelkalk	gut wasserleitend ist der untere Muschelkalk	-	[IHU 08-1]
	MGL4 im Modell: 1E-07...5E-04 m/s 1E-07 m/s (Umring KT teilw.) 1E-06 m/s (Störungen) 3E-05 m/s (große Flächen im EZG) 5E-04 m/s (bei Förderstedt/Glöthe und teilw. im Bereich Abbau KT)	0,05	[IHU 08-1] Anl. 7.13
	PV Marbebrunnen: 1.36E-05 m/s Slugtest KT: 1.2E-05...7E-05 m/s	-	[IHU 08-1]
	1E-04 m/s	-	[GEOS 14-3]
	Modell 2015: 1E-04 m/s	-	[GEOS 14-3]
	-	-	[GEOS 14-3]
Buntsandstein	1E-06...1E-08 m/s	-	[GEOS 14-3]
	so: grundwasserhemmend bis geringleitend sm: 2 Größenordnungen höher als in guten Lockergesteins-GWL	-	[IHU 07-1]
Zechsteinsersatz	1E-04...1E-07 m/s	0,01	[IHU 07-1]
Zechstein	1E-08 m/s	-	[GEOS 14-3]

6.5 Grundwasserchemie

Zur Einschätzung des Grundwasserchemismus wurden in Anlage 10 die durch die Fa. HGC-T entnommenen und im Labor des Institutes Fresenius analysierten Proben hinsichtlich ihres Stoffgehaltes tabellarisch gegenübergestellt. Die ausgewerteten halbjährlichen Proben umfassen einen 4-Jahres-Zeitraum, beginnend im Herbst 2019 bis einschließlich Frühjahr 2023. Der Untersuchungsumfang resultiert aus der dem Abbau zugrundeliegenden wasserrechtlichen Erlaubnis vom 17.09.2007 [LAGB 07-1].

Eine Übersicht der im Monitoring genutzten Grundwassermessstellen folgt in Abschnitt 7.3.2 (Tabelle 4 und Abbildung 8, Seite 30f).

Der zentrale Pumpensumpf führt ein Gemisch aus verschiedenen Grund- und Oberflächenwässern. Zuletzt wurden, in Abhängigkeit vorangegangener Niederschlagsereignisse, **elektrische Leitfähigkeiten** zwischen 5.000 und 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dokumentiert. Nachdem die im Monitoring berücksichtigten Messstellen zumeist zwischen 1.500 und 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ variieren, lässt sich dies nur auf den Einfluss der GWM 4/01 zurückführen. Mit $> 25.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ zeigt sie die mit Abstand höchste Gesamtmineralisation.

Ausschlaggebend hierfür sind hohe **Chloridkonzentrationen** von 8 – 11 g/l, wobei im Monitoring darüber hinaus ausschließlich Werte < 550 mg/l, im Mittel etwa 225 mg/l, festgestellt wurden.

Demgegenüber dominiert in den weiteren Messstellen der **Sulfatgehalt**, welcher über alle Standorte zwischen 300 und 1.500 mg/l gleichermaßen schwankt.

Ebenfalls nur in GWM 4/01 auffällig sind die hohen **Calciumgehalte** von etwa 3.200 mg/l gegenüber sonst 200 – 500 mg/l.

In gleicher Weise äußern sich auch die **Kaliumkonzentrationen**, welche in GWM 4/01 mit ca. 25 mg/l diejenigen der weiteren GWM (5 – 12 mg/l) signifikant übersteigen.

Die analysierten **Nitratgehalte** können mit zumeist einstelligen mg-Beträgen als unauffällig angesehen werden. Dabei sind Schwankungen bis um 30 mg/l festzustellen, welche jedoch nur temporären Charakter besitzen und in nachfolgenden oder vorangegangenen Kampagnen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Eine eindeutige saisonale Abhängigkeit kann aus den Datensätzen nicht abgeleitet werden.

Die noch im Hydrogeologischen Gutachten 2008 [IHU 08-1] postulierten hohen **Ammoniumkonzentrationen** können durch die Messwerte nicht belegt werden. Auch hier zeichnet sich GWM 4/01 mit etwa 0,75 mg/l mit den höchsten Gehalten aus.

Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (MKW) finden sich in den zurückliegenden Beprobungen nicht.

Prinzipiell handelt es sich bei den Analyseergebnissen um geogen beeinflusste Messwerte. Während die meisten der untersuchten GWM den Muschelkalk abbilden, deutet GWM 4/01 auf zuströmendes Tiefenwasser aus dem oberen Buntsandstein hin.

7 Grundwasserdynamik des Istzustandes

7.1 Hydrologie und Grundwasserneubildung

Niederschlag

Das Untersuchungsgebiet liegt im Mitteldeutschen Trockengebiet und ist gekennzeichnet durch sehr geringe Niederschlagsmengen. Zur Charakterisierung des Klimas wurden die Daten der DWD-Klimastationen Magdeburg und Bernburg/Saale Nord herangezogen. Der Niederschlag wird an weiteren Stationen in der Region gemessen, ausgewertet wurde analog zu [RC 20-1] die Niederschlagsstation mit den längsten Messreihen Bördeland-Kleinmühlungen (Steinbruch). Außerdem wird der Niederschlag auf dem Betriebsgelände des Kalksteintagebaus Förderstedt und im Bereich Marbe gemessen. Die mittleren Jahresniederschläge der genannten Stationen im Zeitraum 2008 bis 2022 unterscheiden sich nur unwesentlich und liegen bei etwa 550 mm/a:

Mittlerer Jahresniederschlag, korrigiert (Faktor 1,09 für Wind- und Verdunstungsfehler)

KT Förderstedt	546 mm/a
Marbe	543 mm/a
Bördeland-Kleinmühlungen	575 mm/a
Magdeburg	537 mm/a
Bernburg	548 mm/a

Der Jahresniederschlag schwankt etwa zwischen 350 mm/a und 850 mm/a.

Klimatische Wasserbilanz

Anhand der Klimadaten der Stationen Magdeburg und Bernburg/Saale wurde die potenzielle Verdunstung als Gras-Referenzverdunstung und die Klimatische Wasserbilanz berechnet. Die mittlere potenzielle Verdunstung beträgt an beiden Stationen ca. 620 mm/a, sie schwankt etwa zwischen 550 mm/a und 720 mm/a.

Die Klimatische Wasserbilanz ist definiert als die Differenz zwischen korrigiertem Niederschlag und potenzieller Verdunstung. Sie ist im langjährigen Mittel negativ und beträgt im Zeitraum 2008-2022 an der Station Magdeburg -87 mm/a und an der Station Bernburg -71 mm/a. Die Jahreswerte liegen zwischen ca. -310 mm/a und +250 mm/a (Bernburg: 290 mm/a).

Der zeitliche Verlauf der Wasserhaushaltsgrößen ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Jahreswerte der Klimatischen Wasserbilanz sind seit dem Jahr 2015 ausnahmslos negativ. In den Jahren 2022, 2018 und 2016 wurden die geringsten Niederschlagsmengen im ausgewerteten Zeitraum gemessen mit der niedrigsten Jahresniederschlagssumme im Jahr 2022. Gleichzeitig war die potenzielle Verdunstung in den Jahren 2018, 2019, 2022 und 2020 am größten mit der höchsten Jahressumme im Jahr 2018. Insbesondere in den Jahren 2018 und 2022 lagen ungewöhnlich trockene Bedingungen vor.

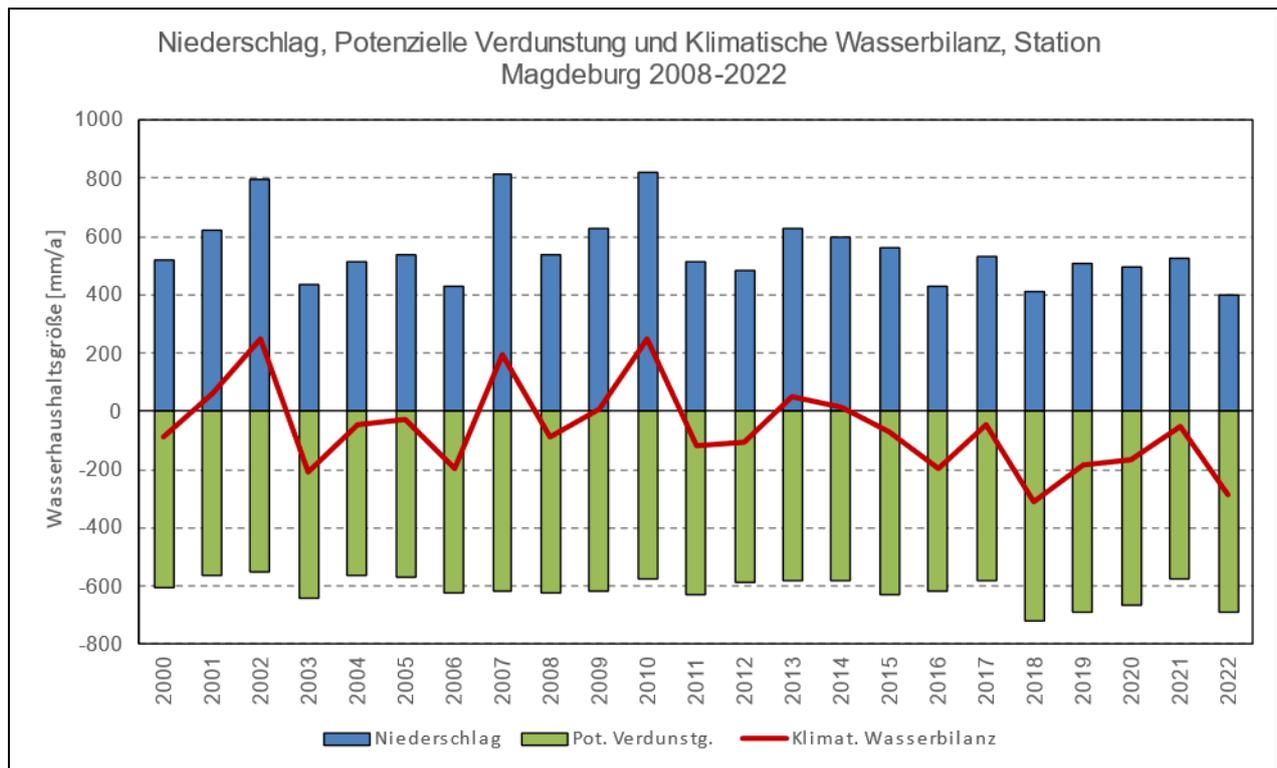


Abbildung 1 Niederschlag, Potenzielle Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 2008-2022

Grundwasserneubildung

In [IHU 08-1] wird eine mittlere Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet von 35 mm/a anhand von Berechnungen mit dem Bagrov-Glugla-Verfahren abgeleitet und zur Modellierung der Grundwasserströmung verwendet.

Zur Charakterisierung der Grundwasserneubildung können weiterhin Daten des LHW genutzt werden, die auf Berechnungen mit dem Wasserhaushaltmodell ArcEGMO für den Zeitraum 1981-2010 basieren [LHW 22-3]. Die Grundwasserneubildung liegt nach diesen Angaben im Untersuchungsgebiet zwischen ca. 35 mm/a und -60 mm/a und beträgt im Gebietsmittel 14,7 mm/a (vgl. Anlage 4.1). In kleinräumigen Bereichen mit oberflächennah anstehendem Grundwasser ist die GWN negativ. Im Gebiet der Muschelkalkverbreitung mit höheren Grundwasserflurabständen liegt die Grundwasserneubildung nach ArcEGMO zwischen ca. 14 mm/a und 21 mm/a.

Im Rahmen der aktuellen Kalibrierung des Grundwassermodells ergab sich die Notwendigkeit, die zunächst angesetzte Grundwasserneubildung nach [LHW 22-3] um 20 mm/a zu erhöhen, woraus die bereits in [IHU 08-1] angesetzte Grundwasserneubildung von im Mittel 35 mm/a im gesamten Untersuchungsgebiet resultiert. Die mittlere Grundwasserneubildung im näheren Umfeld bzw. Einzugsgebiet des KT Förderstedt beträgt 37 mm/a.

7.2 Grundwasserförderungen

Im Untersuchungsgebiet befinden sich Grundwasserförderungen zur Wasserhaltung des KT Förderstedt und zur Wasserversorgung des Sodawerkes Staßfurt an den Marbebrunnen und Salzbrunnen. Verglichen mit der Wasserhaltung des KT Förderstedt wurde im Zeitraum von 2008 bis 2022 an den Marbe- und Salzbrunnen in Summe etwa doppelt soviel Grundwasser gefördert. Darüber hinaus wird der Grundwasserhaushalt an der IAA Unseburg beeinflusst durch die Verspülung von Sole in den Absetzbecken bei gleichzeitiger Förderung von Oberflächenwasser am Sammelbecken am Fuß der IAA. Die weiteren Grundwassernutzungen im Untersuchungsgebiet sind im Vergleich zu den genannten Nutzungen kaum von Bedeutung.

7.2.1 Wasserhaltung des KT Förderstedt

Zur Wasserhaltung des KT Förderstedt wird der Grundwasserstand abgesenkt, indem mittels Brunnen im Abbaubereich des Tagebaus Grundwasser aus dem Grundwasserleiter Muschelkalk gefördert wird. Ein Teil des geförderten Grundwassers wird als Brauchwasser im Betrieb des Kalksteintagebaus genutzt. Die verbleibende Wassermenge wird im Zentralen Pumpensumpf des Tagebaus zwischengespeichert. In diesen Zentralen Pumpensumpf gelangt auch Grundwasser, welches an Abbausohlen und -stößen zu Tage tritt, und Oberflächenwasser aus Niederschlägen. Das sich im Zentralen Pumpensumpf sammelnde Wasser wird abgepumpt und über den Kanal IV der CSD in die Bode geführt.

Die Brunnen im KT Förderstedt Bereich des Abbaus werden nur solange betrieben, wie die Absenkung des Grundwasserstandes es erfordert. Nach der Stilllegung werden sie nach Erfordernis durch neue Brunnen an besser geeigneten Standorten ersetzt. Im Zeitraum 2008 bis 2022 wurden folgende Brunnen betrieben:

Grundwasserförderung zur Brauchwassergewinnung
Brunnen 3 (im März 2009 ersetzt durch Brunnen 14)
Brunnen 14 (ab März 2009 bis September 2016, danach noch zeitweise in Betrieb)
Brunnen 15 (ab Oktober 2016)

Grundwasserförderung ausschließlich zur Wasserhaltung (Zwischenspeicherung im Pumpensumpf)
Brunnen 11 (derzeit in Betrieb)
Brunnen 13 (ab März 2009 bis heute)
Brunnen 10 (kurzzeitig)

Die folgende Abbildung 2 zeigt die Gesamtfördermenge und den vom Betrieb dokumentierten Anteil der Grundwasserförderung mittels Brunnen an dieser Gesamtmenge.

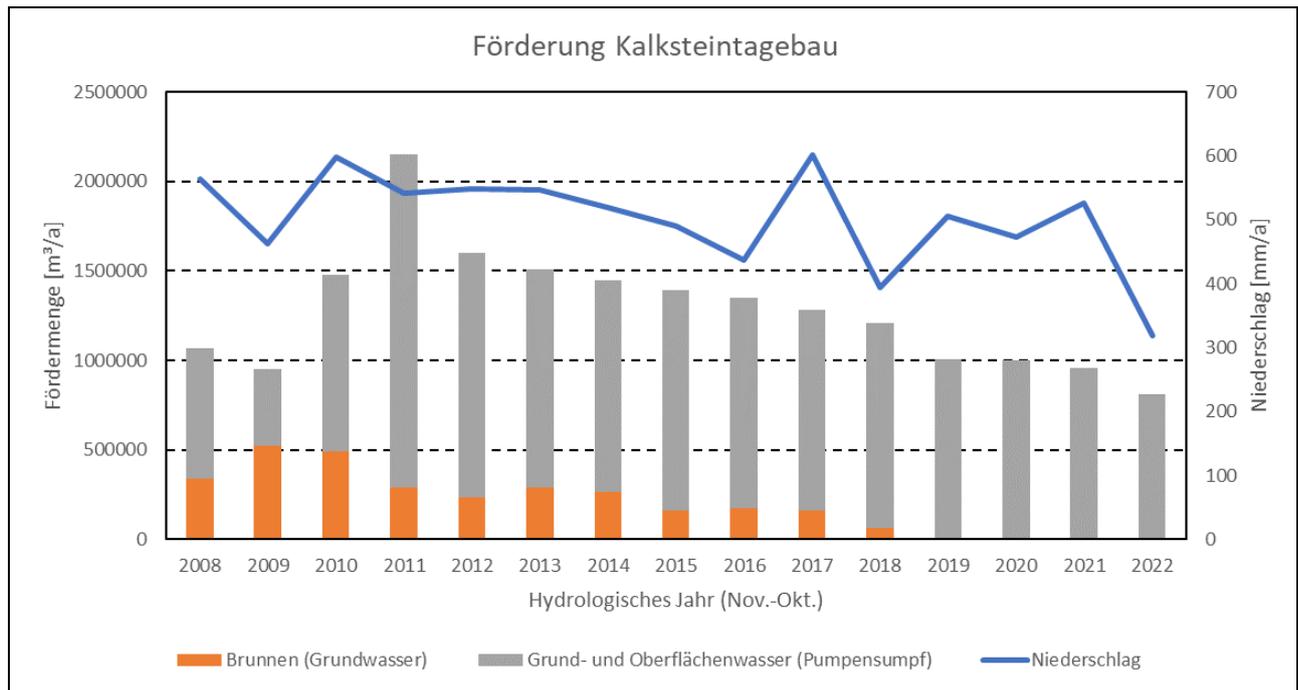


Abbildung 2 Im Rahmen der Wasserhaltung des Kalksteintagebaus Förderstedt geförderte Wassermengen Zeitraum 2008-2022

Eine Trennung von Grund- und Oberflächenwasser anhand von Messdaten ist nicht möglich, da das im Abbau zu Tage tretende Grundwasser nicht vom Oberflächenwasser separiert werden kann. Die geförderte Grundwassermenge kann deshalb lediglich überschlägig mittels einer Bilanzierung geschätzt und im Rahmen der Strömungsmodellierung verifiziert werden. Hierzu wurde zunächst ein mittlerer Verdunstungsverlust für den vorwiegend unbewachsenen und aus unbedecktem oder mit Lockergestein bedeckten Kalkstein bestehenden Tagebau von 40 % des Niederschlags abgeschätzt.

Niederschlag im Zeitraum 2008-2022 (Messungen KT)	502 mm/a
Niederschlag korrigiert (Faktor 1,09 für Wind- und Verdunstungsfehler)	547 mm/a
Abfluss aus Niederschlag (60 % des korrigierten Niederschlages)	328 mm/a
Entwässernde Fläche	1,08 km ²
Abflussmenge Oberflächenwasser	970 m ³ /d

Aus der Gesamtfördermenge (Grundwasserförderung der Wasserhaltungsbrunnen und Förderung aus dem Zentralen Pumpensumpf), vermindert um die Oberflächenabflussmenge, resultiert ein Schätzwert für die Grundwasserförderung, die im Rahmen der Grundwassermodellierung verifiziert wird. Die geschätzte Grundwasserfördermenge beträgt im Zeitraum 2008-2022 insgesamt 2538 m³/d.

Die zeitliche Entwicklung der Fördermengen ist in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Nachdem im Jahr 2011 ein Maximalwert erreicht wurde, nimmt die Fördermenge kontinuierlich ab. Dies korreliert zumindest teilweise mit dem Niederschlag, der in der 2. Hälfte des betrachteten Zeitraumes kleiner ist als vor etwa 2015 und besonders in den Jahren 2018 und 2022 extrem niedrige Jahressummen erreichte.

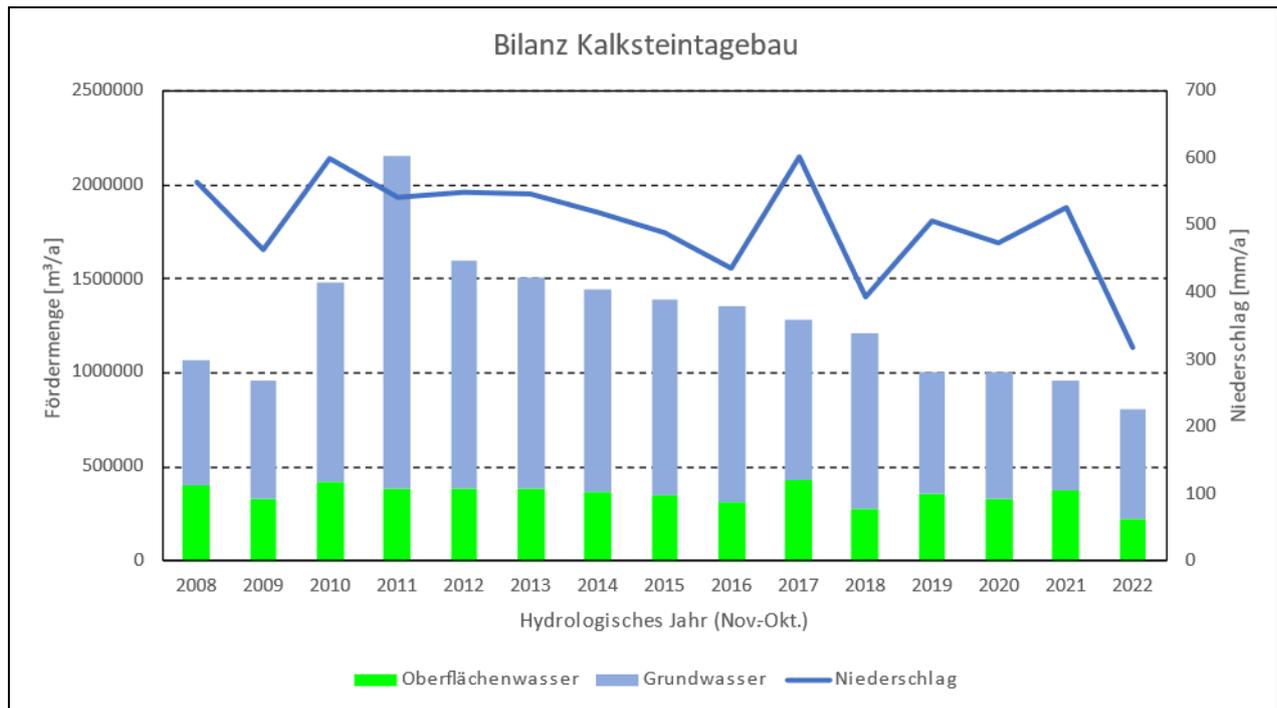


Abbildung 3 Geschätzte Bilanz der Wasserhaltung KT Förderstedt im Zeitraum 2008-2022

7.2.2 Grundwasserförderung der Marbebrunnen

An Förderbrunnen im Bereich des Marbegrabens bei Förderstedt wird Grundwasser aus dem GWL Muschelkalk gefördert, welches vorwiegend als Brauchwasser im Sodawerk Staßfurt verwendet wird. Die geförderten Wassermengen liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die zur Wasserhaltung am KT Förderstedt gehobenen Grundwassermengen. Die Lage der Marbebrunnen ist aus der Abbildung 4 ersichtlich.

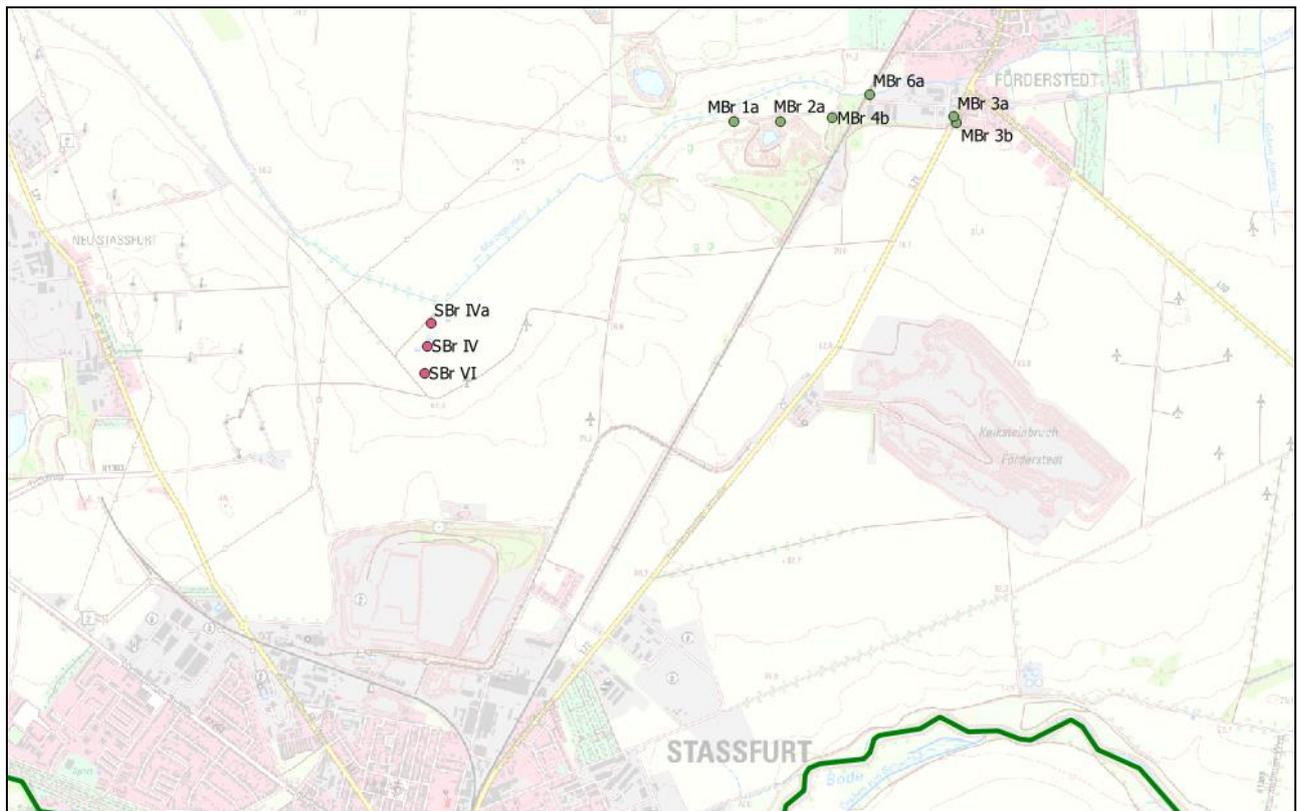


Abbildung 4 Lage der Marbebrunnen (MBr) und Salzbrunnen (SBr, vgl. Abschnitt 7.2.3) im Untersuchungsgebiet

Im Zeitraum 2008 bis 2022 wurden die folgenden mittleren Wassermengen gefördert. Auch hier korreliert die zeitliche Entwicklung mit dem Niederschlag. Seit einem Maximum im Jahr 2011 wurde die Fördermenge stark verringert (vgl. Abbildung 5).

Förderanlage Marbe	
Brunnen 1a	651 m ³ /d
Brunnen 3a	689 m ³ /d
Brunnen 3b	881 m ³ /d
Brunnen 4b	610 m ³ /d
Brunnen 6a	317 m ³ /d
Summe Förderanlage Marbebrunnen	3149 m ³ /d
Förderanlage Schenk+Vogel	
Brunnen 2a	298 m ³ /d
Summe Förderanlage Schenk+Vogel	298 m ³ /d

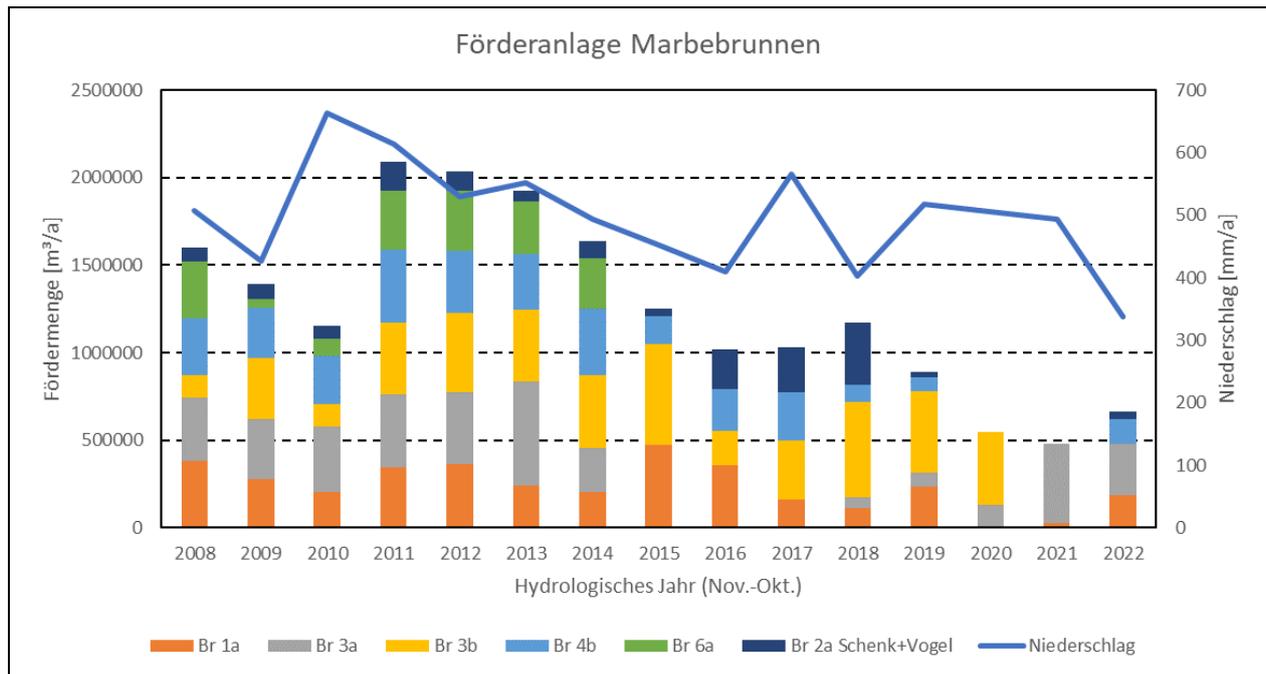


Abbildung 5 Grundwasserförderung im Bereich des Marbegrabens bei Förderstedt (Marbebrunnen)

7.2.3 Grundwasserförderung der Salzbrunnen

Die Salzbrunnen befinden sich westlich des TB Förderstedt im Bereich des quartären und tertiären Grundwasserleiters außerhalb der Verbreitungsgrenze des Muschelkalks. Hier wird Brauchwasser für das Sodawerk Staßfurt gefördert. Das Grundwasser weist eine hohe Chloridkonzentration auf, was auf eine Beeinflussung durch die Zechsteinbildungen schließen lässt.

Im Zeitraum 2008 bis 2022 wurden die folgenden mittleren Wassermengen gefördert. Auch hier ist die Fördermenge insgesamt rückläufig. Der Brunnen VI wird seit 2016 nicht betrieben, seit 2017 ist auch der Brunnen IVa zeitweise außer Betrieb. Ab 2021 wurde nur noch der Brunnen IV betrieben (vgl. Abbildung 6).

Förderanlage Salzbrunnen	
Brunnen IV	797 m³/a
Brunnen IV a	353 m³/a
Brunnen VI a	116 m³/a
Summe Förderanlage Salzbrunnen	1266 m³/a

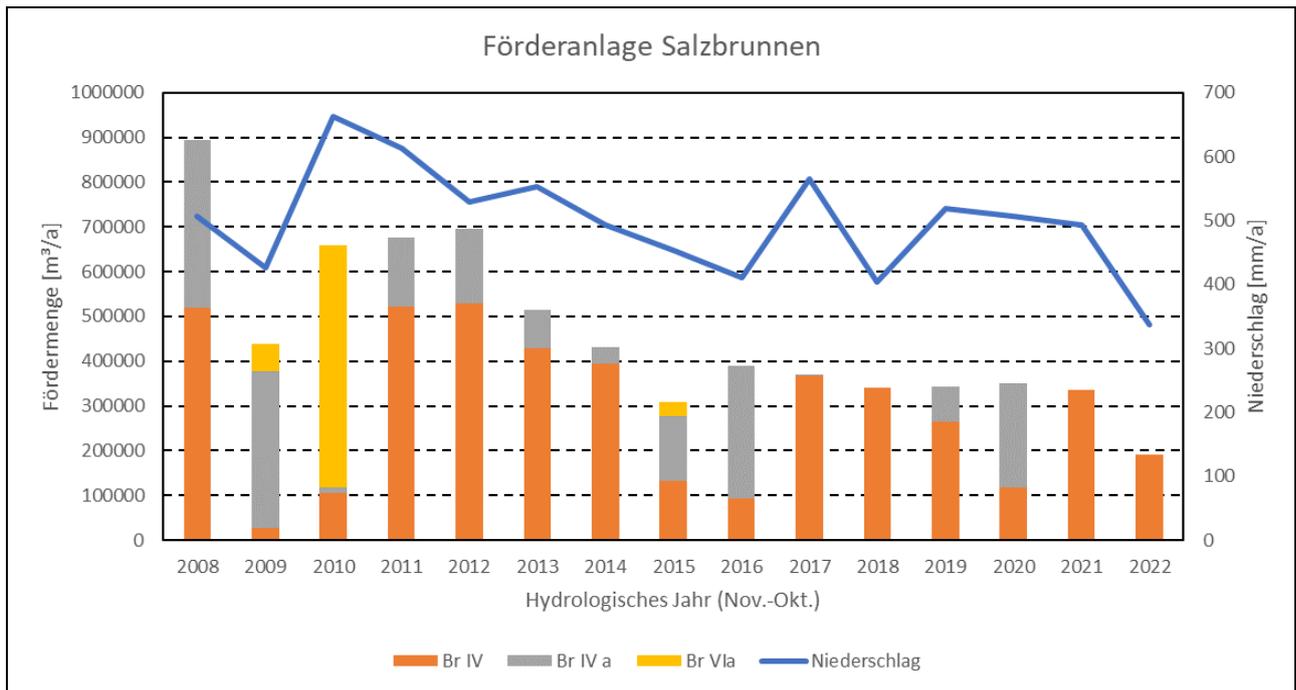


Abbildung 6 Grundwasserförderung der Förderanlage Salzbrunnen

7.2.4 Weitere Grundwasserförderungen im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet finden weitere Grundwasserentnahmen im GWL Muschelkalk statt. Die genehmigten Grundwassernutzungen wurden aus [IHU 08-1] entnommen. Für die Modellrechnungen wurde die durchschnittliche Fördermenge übernommen. Ist diese nicht bekannt, wurden 80% der genehmigten Fördermenge angesetzt.

Tabelle 3 Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet

Bezeichnung	Entnahmemenge [m³/d]	Grundwasserleiter
Bernd Schacht	2.7	Muschelkalk
VEG Atzendorf	46	
Molkerei Atzendorf	230	
LPG Eickendorf	11.3	
BodenVwG	187	
Kies Marbe	48	
Gde. Foerderstedt	24.3	
VfB Gloethe	4	
Summe	553.3	

Im Vergleich zu den Grundwasserfördermengen im Kalksteintagebau und an den Marbe- und Salzbrunnen von insgesamt ca. 7000 m³/d im Zeitraum 2008 bis 2022 sind die weiteren Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet kaum von Bedeutung, insbesondere da sie über ein großes Gebiet verteilt liegen und im unmittelbaren Umfeld des KT Förderstedt keine Grundwasserentnahmen stattfinden.

7.3 Messungen des Grundwasserstandes

7.3.1 Messungen des Wasserstandes im Bereich des Abbaus

Im Bereich des Abbaus bzw. der Wasserhaltung im Kalksteintagebau wurden bis 2015 Wasserstände an Pegeln, in Brunnen und im Pumpensumpf gemessen. Die erhobenen Daten geben Aufschluss über den Grundwasserstand im unmittelbaren Bereich des Abbaus bzw. der Wasserhaltung.



Abbildung 7 Grundwasserpegel bzw. Wasserstandsmessstellen im Bereich des Abbaus

7.3.2 Messstellen zur Eigenüberwachung des KT Förderstedt

Der Grundwasserstand wird zur Eigenüberwachung an ca. 10 Pegeln regelmäßig gemessen, die im Muschelkalk verfiltriert sind (Tabelle 4). Darüber hinaus werden jährlich zwei Laboranalysen zur Hydrochemie durchgeführt. Die Pegel liegen außerhalb des Abbaus im Einflussbereich der Wasserhaltung des Kalksteintagebaus. Die Lage der Messstellen ist in Abbildung 8 dargestellt.

Tabelle 4 Messstellen zur Eigenüberwachung

Mst.-name	Bezeichn. im Rahmen des Gutachtes	Zeitraum der Datenerhebung	Grundwasserstand	Hydrochemie
Pegel 1/99	P 1/99 KT	seit 1999	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 2/99	P 2/99 KT	1999 bis 7/2020	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 3/99	P 3/99 KT	seit 1999	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 5/99	P 5/99 KT	1999 bis 10/2015	monatlich	2 Analysen jährlich

Mst.-name	Bezeichn. im Rahmen des Gutachtes	Zeitraum der Datenerhebung	Grundwasserstand	Hydrochemie
Pegel 1/01	P 1/01 KT	seit 2001	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 2/01	P 2/01 KT	seit 2001	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 3/01	P 3/01 KT	2001 bis 11/2021	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 4/01	P 4/01 KT	seit 2001	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 1/15	P 1/15 KT	11/2015 bis 7/2022	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 2/21	P 2/21 KT	seit Nov. 2021	monatlich	2 Analysen jährlich
Pegel 3/21	P 3/21 KT	seit Nov. 2021	monatlich	2 Analysen jährlich
Zentraler Pumpensumpf	ZPS KT	seit vor 1999	-	2 Analysen jährlich

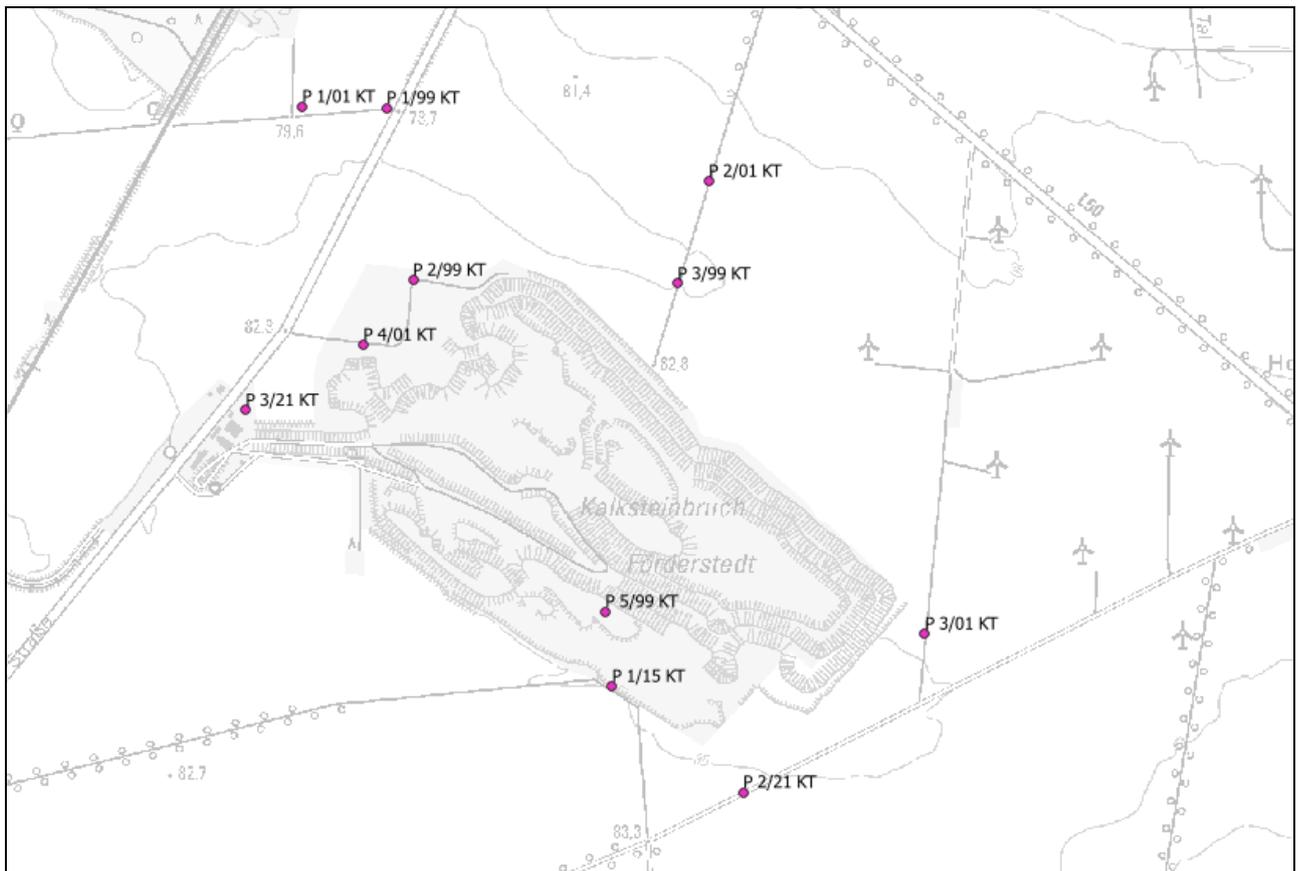


Abbildung 8 Grundwassermessstellen zur Eigenüberwachung des Kalksteintagebaus Förderstedt

7.3.3 Messstellen im Bereich Marbe/Salzbrunnen

Im Bereich Marbebrunnen und Salzbrunnen befinden sich einige Messstellen, die zum Messnetz der CSD gehören und regelmäßig beprobt werden. Davon ist die Messstelle Hy 4 im Muschelkalk verfiltert, die übrigen Messstellen im quartären und/oder tertiären Grundwasserleiter.

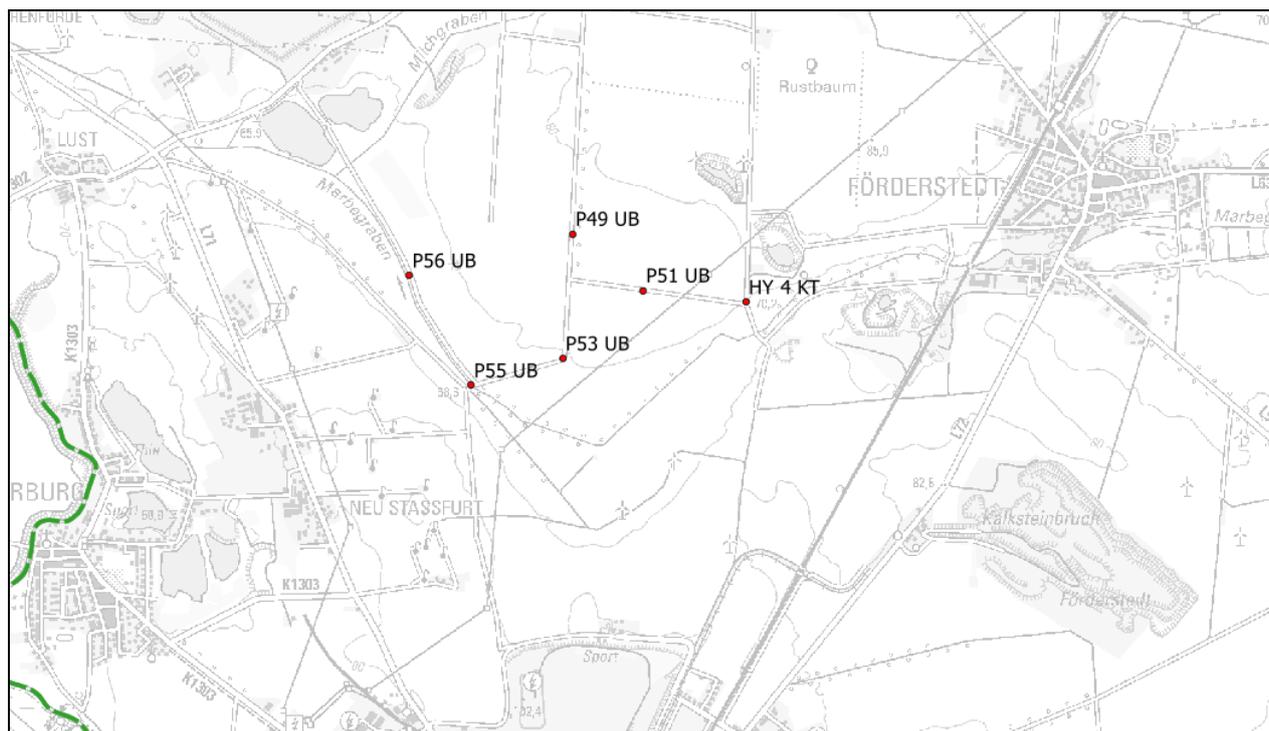


Abbildung 9 Grundwassermessstellen im Messprogramm der CSD im Bereich Marbe/Salzbrunnen

7.3.4 Messstellen im Bereich IAA Unseburg

Im Bereich der IAA Unseburg betreibt der AG eine große Zahl an Grundwassermessstellen, welche im Rahmen des Umweltmonitorings regelmäßig gemessen und beprobt werden. Daraus wurde die folgende repräsentative Teilmenge zur Kalibrierung des Strömungsmodells ausgewählt. Die Messstellen sind im quartären oder tertiären Grundwasserleiter verfiltert.

Tabelle 5 Ausgewählte Messstellen der CSD im Bereich IAA Unseburg

Mst.-name	Bez. im Rahmen des Gutachtens	GWL	Mst.-name	Bez. im Rahmen des Gutachtens	GWL
P1	P1 UB	Tertiär	P31u	P31u UB	Quartär
P3	P3 UB	Quartär	P32	P32 UB	Quartär
P5	P5 UB	Quartär	P34	P34 UB	Quartär
P8	P8 UB	Quartär	P35	P35 UB	Quartär
P14	P14 UB	Quartär	P36	P36 UB	Quartär
P16	P16 UB	Quartär	P37	P37 UB	Quartär
P18	P18 UB	Quartär	P38	P38 UB	Quartär
P19	P19 UB	Quartär	P39	P39 UB	Tertiär
P20	P20 UB	Quartär	P40	P40 UB	Quartär
P21	P21 UB	Quartär	P42	P42 UB	Tertiär
P22	P22 UB	Quartär	P44	P44 UB	Quartär
P24	P24 UB	Quartär	P46	P46 UB	Tertiär
P27	P27 UB	Quartär	P46A	P46A UB	Quartär
P28	P28 UB	Quartär	P48	P48 UB	Tertiär
P29	P29 UB	Quartär	P91	P91 UB	Quartär
P30	P30 UB	Quartär	P150	P150 UB	Tertiär

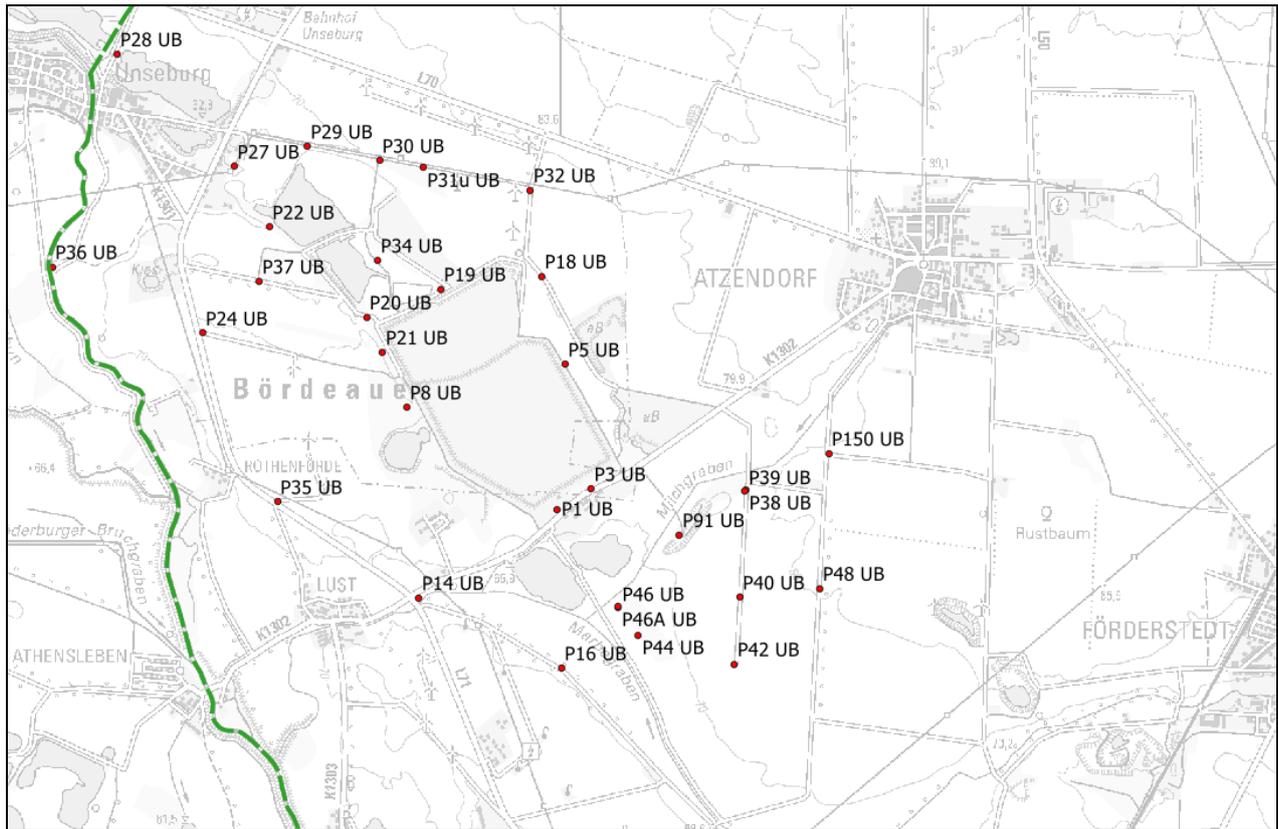


Abbildung 10 Ausgewählte Messstellen der CSD im Bereich IAA Unseburg

7.3.5 Messstellen des Landesmessnetzes

Im Untersuchungsgebiet befinden sich 6 Messstellen des Landesmessnetzes Sachsen-Anhalt, an denen regelmäßige Wasserstandsmessungen durchgeführt werden. Davon sind 4 Messstellen im Muschelkalk verfiltert und jeweils eine Messstelle im quartären und tertiären Grundwasserleiter.

Tabelle 6 Messstellen des Landesmessnetzes

Mst.-name	GWL	Mst.-name	GWL
40350003	Muschelkalk	40360013	Muschelkalk
40350072	Muschelkalk	41350067	Muschelkalk
40350079	Quartär	41350068	Tertiär

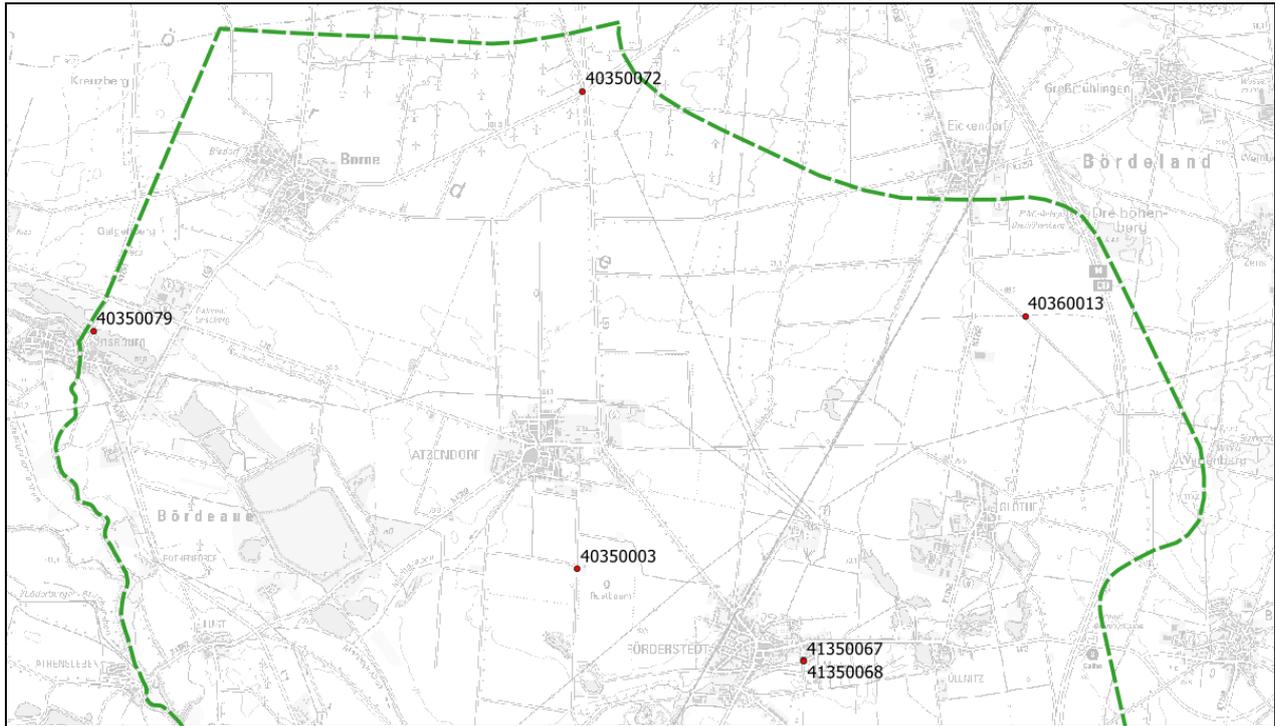


Abbildung 11 Messstellen des Landesmessnetzes

7.4 Zeitreihen des Grundwasserstandes

Die zeitliche Entwicklung des Grundwasserstandes im Hauptgrundwasserleiter Muschelkalk ist in Abbildung 12 exemplarisch anhand der Landesmessstelle 40350003 (Atzendorf WB) dargestellt. Der Zeitverlauf spiegelt die Niederschlagsituation wider. Die höchsten Wasserstände werden in den Jahren mit den höchsten Jahresniederschlagssummen erreicht (2010, 2011). Im Jahresverlauf schwanken die Wasserstände zwischen den höchsten Ständen im Frühjahr und den niedrigsten Ständen zu Beginn des Winters. In den Jahren 2019 bis 2022 wurden die tiefsten Wasserstände gemessen.

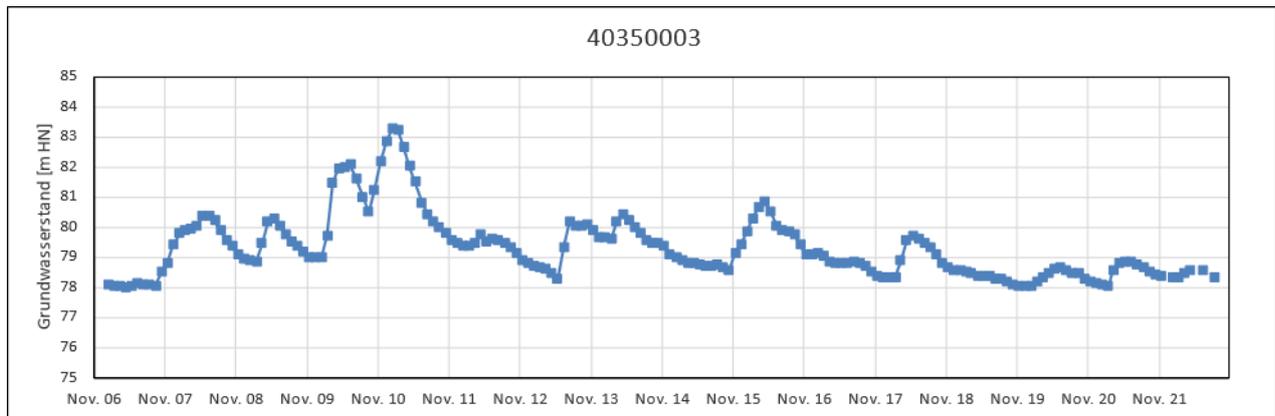


Abbildung 12 Grundwasserstand im GWL Muschelkalk, Landesmessstelle Atzendorf WB

Sowohl die Wasserhaltung am Kalksteintagebau Förderstedt als auch die Grundwasserförderung an den Marbebrunnen bestimmt innerhalb ihres Einflussbereiches auch die zeitliche Entwicklung des Grundwasserstandes im Muschelkalk (Abbildung 13). An der nördlich des Tagebaus geleg-

nen Messstelle P 1/99 hat sich der Grundwasserstand seit etwa 2015 nicht mehr wesentlich geändert. Insbesondere im Zeitraum 2018 bis 2022, der für die Kalibrierung des Strömungsmodells betrachtet wird, sind keine wesentlichen Änderungen festzustellen.

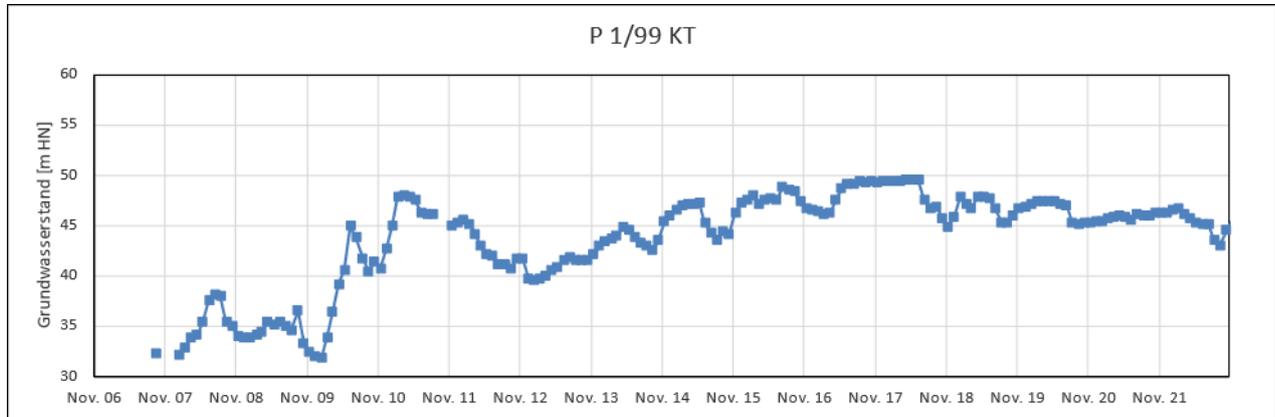


Abbildung 13 Muschelkalk, beeinflusst durch die Wasserhaltung KT und die Förderanlage Marbe

Die Zeitreihen aller Messstellen zur Eigenüberwachung und ausgewählter weiterer Messstellen sind in Anlage 3.2 dargestellt.

7.5 Hydroisohypsen im Muschelkalk im Einflussbereich des KT Förderstedt

Die im Grundwasserleiter Muschelkalk gemessenen Grundwasserstände wurden zur Berechnung von Hydroisohypsen herangezogen. Als Ausgangsdaten wurden die Mittelwerte des Zeitraums 2019-2022 verwendet. Diese Daten liegen für die Messstellen der Eigenüberwachung KT Förderstedt im näheren Umfeld des Abbaus vor. Ergänzt wurden sie durch Messdaten, die innerhalb des Abbaus erhoben wurden. Die Anlage 3.5 enthält die berechneten Grundwasserisohypsen für den Grundwasserleiter Muschelkalk.

Die Absenkung durch die Wasserhaltung zeigt eine starke Richtungsabhängigkeit. Sie erfolgt mit deutlich größerer Reichweite nach Nordwest bzw. Südost (Azimut 120° bzw. 300°). Die Absenkung nach Nordwest bzw. Südost reicht etwa um den Faktor 3 weiter als in südwestliche und nordöstliche Richtung.

Zu der starken Richtungsabhängigkeit tragen mehrere Ursachen bei. Zunächst befindet sich nordwestlich des Tagebaus die Marbebrunnen, die eine zusätzliche Absenkung in diesem Bereich bewirken. Auch die längliche Form des Abbaus ist in die genannten Richtung orientiert. Die Hauptursache für die Richtungsabhängigkeit der Absenkung ist jedoch die Klüftung des Muschelkalkes. Die Klüfte verlaufen bedingt durch die Hebung des Salzsattels bevorzugt parallel zu diesem, während sich senkrecht dazu weniger wasserleitende Klüfte gebildet haben [IHU 08-1]. In der Folge verhält sich auch die hydraulische Leitfähigkeit des Muschelkalkes anisotrop.

8 Grundwasserströmungsmodell

Die numerische Modellierung der Grundwasserströmung wurde mit dem Ziel durchgeführt, Art und Umfang der Beeinflussung des Grundwassers durch die Wasserhaltung des Kalksteintagebaus Förderstedt zu ermitteln. Hierzu wird der aktuelle Zustand mit einem Strömungsmodell nachgebildet, die wesentlichen Parameter anhand der gemessenen Wasserstände kalibriert und Berechnungen mit dem kalibrierten Modell zur Prognose zukünftiger Zustände durchgeführt. Da-

bei wird auch der Wiederanstieg des Grundwassers und des Oberflächenwassers im Tagebau-
restloch betrachtet.

8.1 Verwendete Software

Für die Modellierung der Grundwasserströmung wurde die Software FEFLOW® (Finite Element Simulation System for Subsurface Flow and Transport Processes) der DHI WASY GmbH in der Version 7.1 (2017) verwendet [DHI 23-1]. Die Software dient der Simulation von Strömungen und des Transports gelöster Bestandteile und/oder von Wärmetransportprozessen in porösen und zerrütteten Medien mit der Finiten-Elemente-Methode. Die Grundwasserströmung wurde als gesättigte Wasserbewegung dreidimensional und instationär auf der Grundlage eines Netzes aus Dreieckselementen berechnet. Die Oberfläche des Grundwassers wurde als ungespannt betrachtet (phreatic). Es wurde eine Anisotropie des Muschelkalks berücksichtigt.

8.2 Modellgrundlagen

8.2.1 Abgrenzung und räumliche Diskretisierung

Die räumliche Abgrenzung des Modellgebietes ist in Anlage 2 dokumentiert. Es handelt sich bei dem Modellgebiet um das in Abschnitt 3 erläuterte Untersuchungsgebiet mit den dort beschriebenen Grenzen:

- im Norden und Osten die unterirdische Wasserscheide,
- im Süden und Südwesten die Bode,
- im Nordwesten und Südosten die Nullstromlinie in Richtung Bode.

Die Ausdehnung des Modellgebietes beträgt ca. 10 km in N-S-Richtung und 13 km in W-E-Richtung. Es nimmt eine Fläche von ca. 130 km² ein. Die höchste Erhebung erreicht ca. 120 m HN und liegt am nördlichen Modellrand. Die tiefste Geländehöhe befindet sich Neugattersleben an der Bode und beträgt 59 m HN. Hier findet der Gebietsabfluss des Oberflächenwassers statt.

8.2.2 Vertikale Untergliederung in Modellschichten

Das Modell wurde in 8 vertikale Modellschichten bzw. Layer untergliedert (Tabelle 7). Zur Modellierung der Geometrie wurden die Höhen der Schichtgrenzen (Slices) den Elementen des FE-Modells zugewiesen. Hierzu wurden die recherchierten und in Anlage 5 dargestellten Stützstellen als Ausgangsdaten verwendet. Die Zuweisung der Höhen für alle Elemente erfolgte mittels linearer Interpolation.

Bei der Strömungssimulation erfolgt eine Differenzierung unterschiedlicher geologischer Bildungen anhand ihrer hydrogeologischen Eigenschaften Leitfähigkeit (k_f -Wert) und Speicherkoeffizient (effektive Porosität n_e). Die Dreiecksvermaschung der Modellelemente ist mit der Einschränkung verbunden, dass jede Modellschicht flächendeckend mit einer Mindestmächtigkeit verbreitet ist, so dass an jedem Punkt im Modellgebiet genau 8 Layer vorhanden sind. Außerhalb der Verbreitung einer geologischen Bildung müssen den Modellelementen deshalb die Parameter einer anderen Bildung zugewiesen werden. Hierzu wurde i. d. R. die Bildung im Hangenden verwendet, wobei es sich meist um das Quartär handelt, welches flächendeckend vorhanden ist. Deshalb weisen Modellschichten außerhalb der Verbreitung einer geologischen Schicht die Eigenschaften der nächsten Schicht im Hangenden auf. Die vertikale Untergliederung in Modellschichten und die Materialparametrisierung sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7 Modellschichten und Parametrisierung

Layer	Slice	Material	Verbreitung	Material innerhalb Verbreitung	Material außerhalb Verbreitung
Layer 1	Slice 1	Freiwasser	Hohlform KT Förderstedt und Standgewässer	Freiwasser	Quartär
	Slice 2				
Layer 2	Slice 2	Anthropogen	Kippen im KT Förderstedt, IAA Unseburg und andere Aufschüttungen	Anthropogen	Quartär
	Slice 3				
Layer 3	Slice 3	Quartär	Anlage 5 Bl. 1	Quartär	
	Slice 4				
Layer 4	Slice 4	Tertiär	Anlage 5 Bl. 3	Tertiär	Quartär
	Slice 5				
Layer 5	Slice 5	Keuper	Anlage 5 Bl. 5	Keuper	unter Tertiär: Tertiär ohne Tertiär: Quartär
	Slice 6				
Layer 6	Slice 6	Muschelkalk	Anlage 5 Bl. 7	Muschelkalk	unter Tertiär: Tertiär ohne Tertiär: Quartär
	Slice 7				
Layer 7	Slice 7	Buntsandstein	Anlage 5 Bl. 9	Buntsandstein	Zechsteinzersatz
	Slice 8				
Layer 8	Slice 8	Zechsteinzersatz	Anlage 5 Bl. 11	Zechsteinzersatz	Buntsandstein
	Slice 9				

8.2.3 Zeitliche Zuordnung

Die zeitliche Zuordnung orientiert sich an den in Abschnitt 4 erläuterten Betriebszuständen.

Die Berechnungen zum Istzustand werden unter Verwendung der Anfangswasserstände, die aus den Daten des Jahres 2007 [IHU 08-1] entnommen wurden, durchgeführt. Die Berechnung wird für die Dauer von 15 Jahren mit den Randbedingungen durchgeführt, die diesen Zeitraum kennzeichnen. Die Ergebnisse charakterisieren den Zustand der Grundwasserströmung zu Ende dieser Simulationsperiode, d. h. etwa um das Jahr 2022.

Der Zustand des maximalen Eingriffs in die Grundwasserströmung wird nach einer Betriebsdauer von ca. 40 Jahren erreicht. Ausgehend vom Istzustand, aus dem die Anfangsbedingungen für die Berechnung entnommen werden, wird die Strömungssimulation mit den Randbedingungen der maximalen Grundwasserabsenkung und der Abbaugeometrie dieses Zustandes durchgeführt, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht wird bzw. mit einer Simulationdauer von maximal 40 Jahren. Das Ergebnis dieser Berechnung kennzeichnet den Zustand des maximalen Eingriffs in die Grundwasserdynamik.

Ausgehend vom Zustand des maximalen Eingriffs wird der Zeitraum der Flutung nachgebildet, indem die Grundwasserentnahme im Modell beendet wird. Mit steigendem Wasserstand im Tagebau wird die Grundwasserneubildung in diesem Bereich schrittweise durch die Freiwasserverdunstung ersetzt. Aus der Entwicklung des Wasserstandes wird der Zeitraum des Wiederanstiegs und der Endwasserstand ermittelt.

8.2.4 Randbedingungen

Für die obere Begrenzung des Modells (Geländeoberkante) wurde die Grundwasserneubildung als Randbedingung vorgegeben (vgl. Anlage 4.1). Die untere Modellbegrenzung wurde als un-

durchlässig berücksichtigt. Bei den Berechnungen zum Wiederanstieg wird die Verdunstung der Freiwasserfläche, die sich im Tagebau bilden wird, mittels Vorgabe der Freiwasserverdunstung als negative Grundwasserneubildung für die betroffenen Elemente berücksichtigt.

Als Randbedingung 3. Art wurden die Fließgewässer Bode, Marbegraben, Moosschachtgraben bei Glöthe/Atzendorf und Röthegraben bei Borne berücksichtigt. Damit wird eine Möglichkeit der Entlastung des neu gebildeten Grundwassers geschaffen. Als Wasserstand der Randbedingung wurde im Fall der Bode der Wasserstand im Gewässer verwendet, welcher anhand der Geländeoberkante bestimmt und mit dem Pegel Staßfurt abgeglichen wurde. Am Pegel liegt der Mittelwasserstand bei 62,58 m NN [LHW 22-4], im Modell bei 62,74 m HN. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Höhensysteme stimmen diese beiden Höhen nahezu überein. Der Wasserstand im Marbegraben wurde ebenfalls zunächst anhand der Geländehöhe bestimmt, anschließend erfolgte eine Anpassung des Wasserstandes anhand der an den benachbarten Grundwassermessstellen gemessenen Grundwasserstände. Insbesondere im Bereich der Marbebrunnen musste der Wasserstand der Randbedingung um bis zu 6 m verringert reduziert. Die Wasserstände der Randbedingungen Moosschacht- und Röthegraben entsprechen der um 2 m verringerten Geländehöhe. Für die Randbedingung 3. Art aller Fließgewässer wurde für die Exfiltration von Grundwasser in das Gewässer ein Transferfaktor von $5E-04 \text{ s}^{-1}$ verwendet, für die Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser ein Transferfaktor von $5E-07 \text{ s}^{-1}$.

Eine wesentliche Senke stellen die Grundwasserentnahmen dar, die in Abschnitt 7.2 beschrieben sind. Die Förderbrunnen im Bereich der Marbe und die Salzbrunnen wurden als „Multilayer Well“ berücksichtigt, die Grundwasserentnahme wird damit im Modell über die gesamte Tiefe der Filterstrecke entsprechend der hydraulischen Eigenschaften der jeweiligen Modellschicht realisiert (Salzbrunnen: Quartär, Tertiär; Marbebrunnen: Muschelkalk). Die übrigen Förderbrunnen im Modellgebiet im wurden als einfache Brunnen (Randbedingung „Well“) definiert, die Grundwasserentnahme erfolgt innerhalb des Grundwasserleiters Muschelkalk.

Die Grundwasserförderung im Bereich des KT Förderstedt wurde als Randbedingung 1. Art definiert. Hierzu wurden die Modellelemente des Muschelkalks im Bereich der zentralen Wasserhaltung mit einem festen Potenzial belegt. In der Folge entsteht der nachzubildende Absenkungstrichter im Muschelkalk. Die rechnerisch resultierenden Fördermengen im Istzustand wurden zur Validierung des Modells genutzt. Als Randbedingung im Istzustand wurde ein Wasserstand von 10 m NHN verwendet, für die Abbauprognose ein Wasserstand von jeweils 3 m unter der tiefsten Abbausohle. Zur Berechnung des Wiederanstieges des Wasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung wurde die beschriebene Randbedingung entfernt.

Die Beeinflussung des Grundwasserhaushaltes an der IAA Unseburg wurde vereinfachend mittels Vorgabe einer Randbedingung 1. Art nachgebildet, mit welcher der Wasserstand im Nachklärbecken bei 61 m HN vorgegeben wird. Damit wird die Wasserentnahme im Nachklärbecken berücksichtigt, die mit dem Zielwasserstand von 61 m HN durchgeführt wird. Weitere Anpassungen in diesem Modellbereich wurden nicht durchgeführt, da dieser Bereich für die Grundwasserströmung am KT Förderstedt nicht relevant ist.

Seitliche Zu- und Abflüsse über die Modellgebietsgrenze wurden mit Ausnahme der Bode nicht berücksichtigt.

8.2.5 Materialparameter

Unter Berücksichtigung der bisherigen Ansätze in [IHU 08-1] und [GEOS 14-3] wurden zunächst vorläufige Materialparameter bestimmt und zur Modellrechnung verwendet. Die Unterschiede zwischen den Modellergebnissen und den Messwerten erforderten nur wenige Anpassungen bei den Schichten Quartär, Tertiär, Keuper und Muschelkalk.

Im Fall des ungegliederten Quartärs im Bereich des Salzsattels wurde eine geringfügige Anpassung der k_f -Werte anhand der Nachbildung der Absenkung durch die Salzbrunnen durchgeführt. Der mittlere horizontale k_f -Wert des Muschelkalks wurde mit dem Ziel der Nachbildung der Absenkung durch die Marbebrunnen und der gemessenen Grundwasserstände im Bereich des KT Förderstedt angepasst (vgl. Abschnitt 8.3).

Eine wesentliche Anpassung von Materialparametern war in Form der Berücksichtigung der Anisotropie für die Leitfähigkeit des Muschelkalkes erforderlich. Als optimale mittlere horizontale Leitfähigkeit erwies sich ein k_f -Wert von $3E-06$ m/s. Für die bevorzugte Fließrichtung parallel des Salzsattels (Azimut 120° bzw. 300°) wurde eine dreifach höhere Leitfähigkeit verwendet (k_f $9E-06$ m/s), für die Fließrichtung quer dazu eine Leitfähigkeit von $1/3$ der mittleren horizontalen Leitfähigkeit (k_f $1E-06$ m/s).

Es wurden die folgenden angepassten Materialparameter zur Berechnung verwendet. Die Anlage 7 enthält die Darstellung der zugewiesenen Parameter im Modellgebiet.

Tabelle 8 Materialparameter k_f -Wert und effektive Porosität n_e

Geologie	k_f -Wert horizontal [m/s]	k_f -Wert vertikal [m/s]	Eff. Porosität n_e [-]
Freiwasser	1,0	1,0	1,00
Anthropogen	1E-05	1E-05	0,25
Quartär ungegliedert (Salzsattel-Bode)	7E-05	7E-06	0,25
Quartär Nordsenke	2E-04	2E-05	0,25
Tertiär	1E-06	1E-07	0,15
Tertiärmulde bei För- derstedt/Glöthe	5E-06	5E-07	0,15
Keuper	1E-06	5E-07	0,05
Muschelkalk	3E-06 Hauptrichtung: 9E-06 Quer zur Hauptrichtg.: 1E-06	3E-07	0,05
Muschelkalk im NE	5E-06 Hauptrichtung: 1E-05 Quer zur Hauptrichtung: 2.5E-06	5E-07	0,05
Buntsandstein	2E-08	2E-09	0,05
Zechsteinzersatz	1E-06	1E-07	0,05

8.2.6 Berücksichtigung des Kalksteintagebaus

Der Kalksteintagebau bildet eine Hohlform im Grundwasserleiter Muschelkalk, in welcher sich Abraumkippen (Innenkippen) befinden. Im Betriebszustand wird Grundwasser zur Wasserhaltung gefördert. Es stellt sich ein Grundwasserspiegel ein, der unter der Abbauunterkante liegt.

Nach Einstellung der Wasserhaltung bildet sich Freiwasser und der Porenraum der Innenkippen wird mit Porenwasser gefüllt. In Feflow besteht die Möglichkeit, den Hohlraum mit einer effektiven Porosität n_e von 100 % bzw. $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ zu belegen, was in Verbindung mit einer hohen Wasserleitfähigkeit die Eigenschaften von Freiwasser beschreibt. Da die Geometrie sowohl des Abbaus als auch der Kippen, die ebenfalls mit Materialparametern beschrieben werden können, bekannt sind, werden auch die Wasserstands-Volumen-Kennlinien des Tagebaus von der Software korrekt berücksichtigt. Die Ermittlung dieser Kennlinie ist hierzu nicht erforderlich.

Zur Modellierung des Wiederanstieges besteht lediglich die Notwendigkeit, die Freiwasserverdunstung an die sich verändernde Freiwasserfläche anzupassen, was schrittweise erfolgen kann.

Der Wiederanstieg von Grund- und Oberflächenwasser nach Einstellen der Wasserhaltung kann ohne weitere Anpassungen mit dem Grundwasserströmungsmodell berechnet werden.

8.2.7 Berücksichtigung der IAA Unseburg

Auf der IAA Unseburg wird Sole verspült, woraus eine zusätzliche Quelle für die Grundwasserndynamik resultiert. Am Nachklärbecken im Abstrom wird Wasser abgepumpt, womit ein konstanter Wasserstand von ca. 61 m HN erzielt wird. Dies wurde mit einer Randbedingung 1. Art mit Vorgabe eines konstanten Freiwasserstandes von 61 m HN berücksichtigt. Da das Freiwasser mit dem Grundwasser kommuniziert, stellt sich dieser Wasserstand auch im umgebenden Grundwasserleiter ein.

Im Bereich nordwestlich der IAA Unseburg verbleiben Abweichungen des berechneten Wasserstandes von den Messwerten von bis zu 3 m. Diese Abweichungen können toleriert werden, da dieser Bereich außerhalb des Einflussbereiches des KT Förderstedt liegt. Eine detaillierte Nachbildung der Wasserbilanz der IAA Unseburg ist im Rahmen der Aufgabenstellung nicht erforderlich. Die betreffenden Messstellen wurde bei der Bewertung der Modellabweichung nicht berücksichtigt.

8.3 Modellkalibrierung am Istzustand

8.3.1 Kalibrierung

Kalibrierung der Parameter der Anisotropie des Muschelkalks anhand der Absenkung am Kalksteintagebau

Die Messdaten der Grundwasserstände im Bereich der Absenkung durch die Wasserhaltung des Kalksteintagebaus lassen auf eine Richtungsabhängigkeit der Durchlässigkeit bzw. Wegsamkeiten im Hauptgrundwasserleiter Muschelkalk schließen (vgl. Abschnitt 7.5 und Anlage 3.5). Deshalb wurde im Modell eine Anisotropie für die Modellschicht 6 mit den folgenden Parametern berücksichtigt:

Richtung der Anisotropie	120° bzw. 300°
Durchlässigkeit horizontal in Hauptrichtung:	k_f horizontal · Faktor 3
Durchlässigkeit horizontal quer zur Hauptrichtung:	k_f horizontal · Faktor 1/3
Durchlässigkeit vertikal:	k_f horizontal · Faktor 1/10

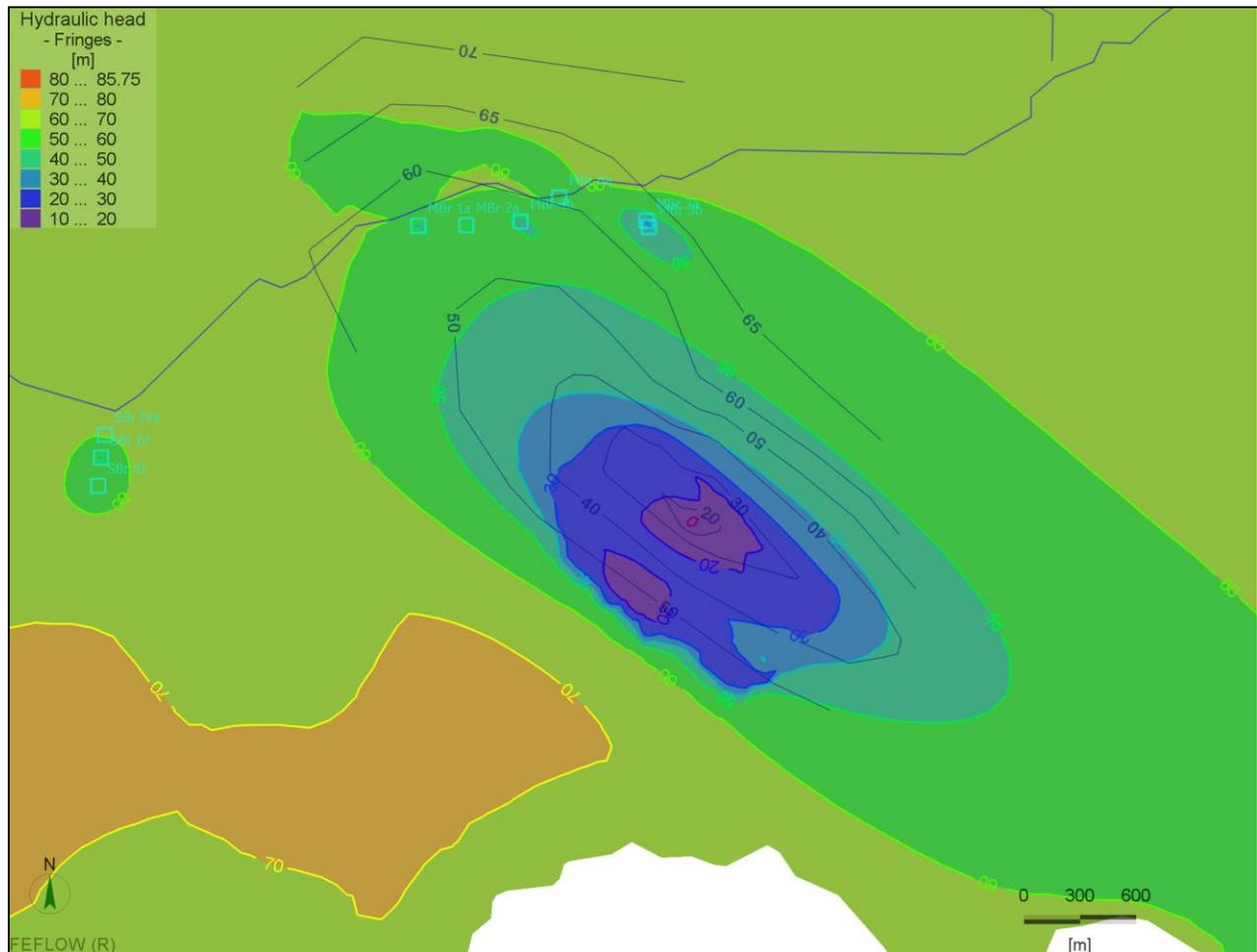


Abbildung 14 Abgleich der Annahmen zur Anisotropie des GWL Muschelkalk anhand der aus Messdaten erstellten blau dargestellten Hydroisohypsen (ktf028_ist_KTAn.fem, nach 15 a Simulationszeit)

Die horizontale Durchlässigkeit der übrigen Modellschichten wurde als nicht richtungsabhängig angenommen.

Kalibrierung der Materialparameter des Quartärs anhand der Absenkung an den Salzbrunnen

Für die Salzbrunnen sind sowohl die Ruhewasserspiegel als auch die Betriebswasserspiegel in Abhängigkeit von der Förderrate dokumentiert. Dies kann zur Ermittlung bzw. Überprüfung des k_f -Wertes des Quartärs, welches hier der oberste Grundwasserleiter ist und die Hauptförderquelle darstellt, verwendet werden. Die Durchlässigkeit des Quartärs im Bereich des Salzsattels (Quartär ungegliedert, vgl. Anlage 5 Blatt 1) wurde hierzu variiert. Die geringsten Abweichungen resultierten bei einem k_f -Wert von $7E-05$ m/s (horizontal), welcher im Modell für die gesamte Verbreitung des ungegliederten Quartärs im Bereich des Salzsattels bis zur Bode übernommen wurde.

Wasserstände an den Salzbrunnen (vgl. Abbildung 15):

SBr IV	Betriebszustand: ca. 51 m HN, berechnet: ca. 49 m HN
SBr IVa	Betriebszustand: ca. 56...61,5 m HN, berechnet: 61,5 m HN
SBr VI	Betriebszustand: ca. 60 m HN, berechnet: ca. 61 m HN

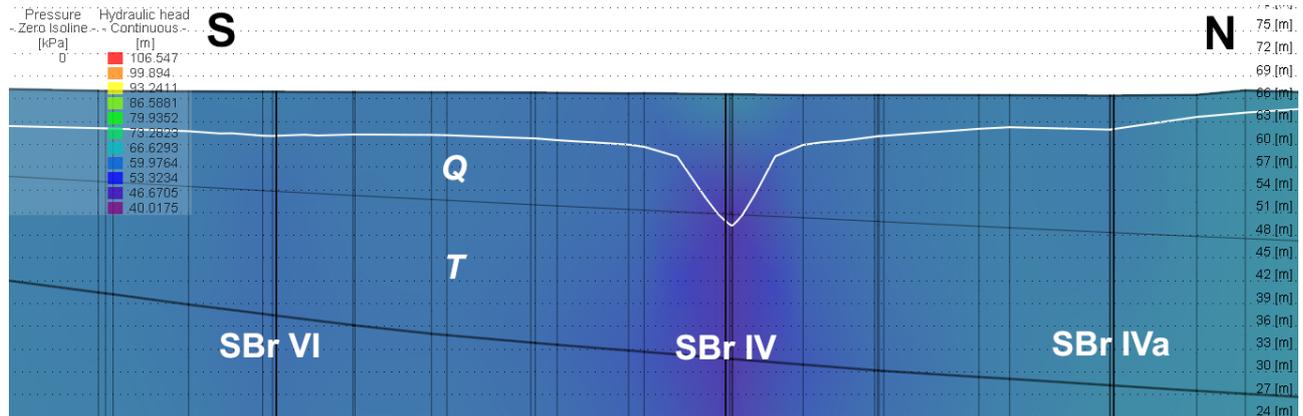


Abbildung 15 Berechneter Grundwasserstand im Bereich der Salzbrunnen SBr VI, SBr IV und SBR IVa nach Optimierung des k_f -Wertes des Quartärs

Kalibrierung der Materialparameter des Muschelkalks anhand der Absenkung an den Marbebrunnen

Die Marbebrunnen wurden ebenso wie die Salzbrunnen zur Ermittlung des optimalen horizontalen k_f -Wertes des betroffenen Grundwasserleiters verwendet.

Die folgenden Tabelle enthält die Zielwasserstände, die aus den Brunnendokumentationen resultieren, wobei die Abweichung der Fördermenge 2008-2022 von der Brunnendokumentation mittels linearer Interpolation der bekannten Stützstellen berücksichtigt wurde. Den Zielwasserständen sind die Ergebnisse von Modellrechnungen mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten des Muschelkalks gegenübergestellt. Die geringsten Abweichungen resultieren mit einem k_f -Wert horizontal von $3E-06$ m/s, welcher für die Modellrechnungen übernommen wurde. Dabei wurden die Annahmen zu Richtung und Stärke der Anisotropie, welche anhand der gemessenen Wasserstände und abgeleiteten Hydroisohypsen bestimmt wurden, beibehalten. Lediglich im Nordosten des Modellgebietes wurde die Durchlässigkeit auf $5E-06$ m/s erhöht und die horizontale Anisotropie vermindert (Faktor 2 bzw. $1/2$ bei gleicher Richtung).

Abbildung 16 Ermittlung der Durchlässigkeit des Muschelkalks anhand der Absenkung an den Marbebrunnen

k_f horizontal [m/s]	Zielwasserstand	$5.0e-07$	$1.0e-06$	$2e-06$	$2.7e-06$	$3e-06$
Brunnen 1a	40 m HN	-6 m HN	27 m HN	47 m HN	50 m HN	52 m HN
Brunnen 2a	58 m HN	29 m HN	41 m HN	53 m HN	54 m HN	55 m HN
Brunnen 3a	48 m HN	-65 m HN	2 m HN	37 m HN	44 m HN	47 m HN
Brunnen 3b	57 m HN	-76 m HN	-7 m HN	34 m HN	42 m HN	45 m HN
Brunnen 4b	32 m HN	3 m HN	30 m HN	48 m HN	51 m HN	53 m HN
Brunnen 6a	52 m HN	64 m HN	64 m HN	64 m HN	65 m HN	65 m HN
SQRT(Summe d. quadr. Abw.)	-	186 m	83 m	34 m	30 m	30 m

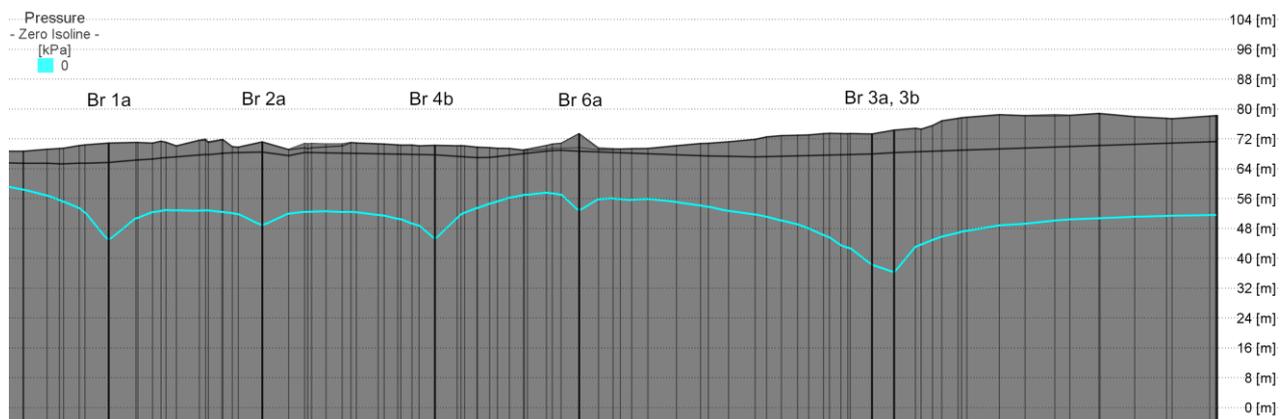


Abbildung 17 Absenkung an den Marbebrunnen

Kalibrierung der Grundwasserneubildung anhand der Fördermengen der Wasserhaltung des Kalksteintagebaus

Sollen vom Modell sowohl die gemessene Absenkung als auch die reale Fördermenge nachgebildet werden, muss die Grundwasserneubildung als wesentliche Bilanzgröße den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Die Grundwasserneubildung ist jedoch nicht messbar, sie ist i. d. R. selbst ein Ergebnis wasserhaushaltlicher Modellberechnungen und aus diesen Gründen mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Für das Untersuchungsgebiet liegen zwei Angaben zur Grundwasserneubildung vor, die sich um 20 mm/a voneinander unterscheiden: [IHU 08-1] (Gebietsmittel 35 mm/a) und [LHW 22-3] (Gebietsmittel 15 mm/a, vgl. Abschnitt 7.1). Die Grundwasserneubildung im Modell sollte in diesem Wertebereich liegen.

Für die Modellrechnungen wurde zunächst die Grundwasserneubildung von 15 mm/a nach [LHW 22-3] mit der in Anlage 4.1 dargestellten Gebietsunterteilung als Randbedingung angesetzt. Die Anpassung des Modells an die gemessenen Grundwasserstände gelingt in diesem Fall nur, wenn die mittlere Förderrate im KT deutlich geringer ist als der Zielwert von 2538 m³/d. Wird die genannte Fördermenge im Modell als Randbedingung fest vorgegeben, sinkt der Grundwasserstand zu tief ab, da zu wenig Grundwasser neu gebildet bzw. nachgeliefert wird. Eine Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit des Muschelkalks zur Verbesserung der Nachlieferung bewirkt wiederum eine flache und zu weit reichende Absenkung, die nicht durch Messwerte belegt ist.

Wird im Modell die Grundwasserneubildung nach [IHU 08-1] angesetzt, die mit dem weit verbreiteten und vielfach validierten Verfahren nach Bagrov-Glugla bestimmt wurde, können die gemessenen Grundwasserstände mit einer mittleren Förderrate von ca. 2500 m³/d sehr gut nachgebildet werden. Deshalb wurde im kalibrierten Modell eine mittlere Grundwasserneubildung von 35 mm/a (Gebietsmittel für das gesamte Modellgebiet) verwendet.

8.3.2 Abweichungen der Modellergebnisse von den Messwerten

In Anlage 8 sind die Abweichungen der Modellergebnisse von den Messwerten für alle ausgewerteten Messstellen dargestellt. Größere Abweichungen verbleiben in den Bereichen, in denen keine detaillierte Modellanpassung durchgeführt wurde, d. h. vor allem im Bereich IAA Unseburg, am Nordrand des Modellgebietes und im Bereich Staßfurt, wo lediglich die Daten einer Stichstagsmessung vorlagen.

In der Abbildung 18 sind nur diejenigen Messstellen enthalten, welche zur Modellanpassung herangezogen wurden. Hier verbleiben größere Abweichungen im unmittelbaren Randbereich des

Tagebaus, wo der Absenkungstrichter am steilsten ist. Dies ist auf die starke räumliche Inhomogenität des Festgesteinsgrundwasserleiters zurückzuführen. Hier können sich gemessene Grundwasserstände unmittelbar benachbarter Messstellen deutlich voneinander unterscheiden, insbesondere in Bereichen mit hohen hydraulischen Gradienten. Im Modell können solche Unterschiede nicht exakt nachgebildet werden, da die kleinräumigen Fließwege im Grundwasserleiter unbekannt sind und deshalb nicht explizit berücksichtigt werden können. In weiterer Entfernung zum Tagebau in den Lockergesteins-GWL Quartär und Tertiär, aber auch im Muschelkalk mit bei geringen hydraulischen Gradienten sind dagegen deutlich bessere Übereinstimmungen festzustellen.

Mit einer starken Absenkung reagieren Messstellen, die über eine Kluft hydraulisch sehr gut mit der Wasserhaltung des KT verbunden sind. An Messstellen, die nicht an solchen Klüften liegen oder gar vom umgebenden GWL hydraulisch isoliert sind, senkt sich der Grundwasserstand dagegen weniger ab. Für die beiden Messstellen, deren gemessene Wasserstände bis 13 m über den modellierten Modellwasserständen liegen, wäre eine schlechte hydraulische Verbindung zur Wasserhaltung zu vermuten in Relation zu anderen Messstellen.

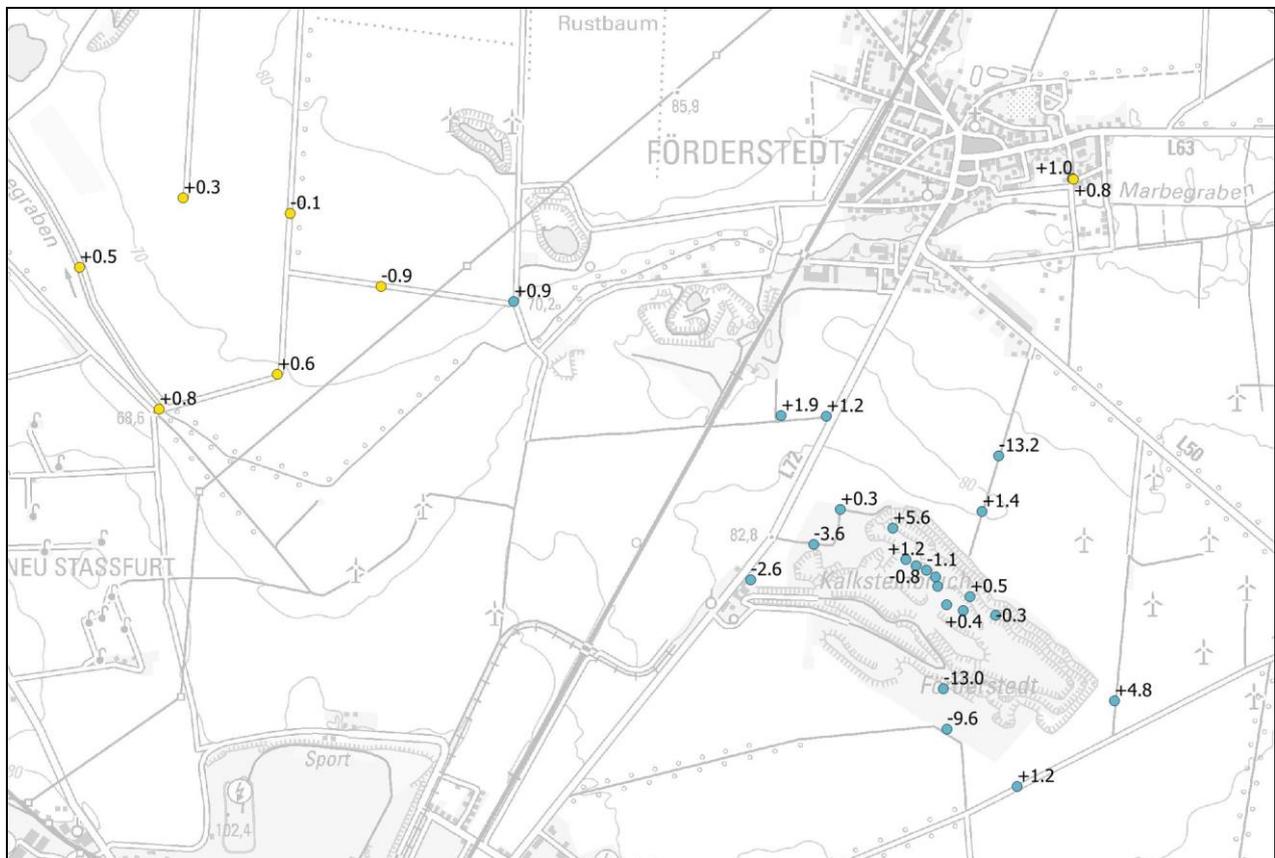


Abbildung 18 Differenz der modellierten Grundwasserstände von den gemessenen Grundwasserständen im Quartär/Tertiär (gelb) und im Muschelkalk (blau) (ktf040_ist_01.fem, nach 15 a Simulationszeit)

Unter Verwendung der in Abbildung 18 dargestellten Messstellen resultiert eine Modellabweichung von RMS (Root Mean Square) = 4,2 m. Mit Grundwassermodellen für Lockergesteinsgrundwasserleiter mit geringem Gefälle kann meist eine deutlich geringere Modellabweichung erreicht werden. Allerdings ist der RMS nur zum Vergleich verschiedener Modellläufe mit identischer Messstellenauswahl z. B. im Rahmen einer Modellkalibrierung geeignet, nicht dagegen zum Vergleich der Güte verschiedener Modelle oder unterschiedlicher Messstellenauswahlen.

Ein Vergleich der Modellabweichung im Festgesteins-GWL Muschelkalk mit Lockergesteinsmodellen zur Beurteilung der Modellgüte ist aus den folgenden weiteren Gründen nicht sinnvoll.

Im vorliegenden Fall handelt es sich bei dem Muschelkalk im Bereich des KT Förderstedt um einen Klufftgrundwasserleiter mit anisotropen Eigenschaften. Das Grundwasser bewegt sich in Klüften, die Wasserbewegung ist damit kleinräumig sehr inhomogen. Dies wird bereits an den hydraulischen Verhältnissen an den Marbebrunnen 3a und 3b deutlich, die weniger als 50 m voneinander entfernt liegen und beide im Muschelkalk verfiltert sind. Während beim Marbebrunnen 3a bei einer Förderrate von 45 m³/h eine Absenkung von ca. 60 m HN Ruhewasserspiegel auf ca. 40 m HN erreicht wird, beträgt die Absenkung beim Marbebrunnen 3b bei derselben Förderrate nur wenige Dezimeter. Auch die anderen Marbebrunnen unterscheiden sich hinsichtlich der Absenkungsbeträge erheblich, wie frühere Pumpversuche belegen:

Br 1a	36 m ³ /h	18,7 m
Br 3a	35 m ³ /h	27,5 m
Br 3b	45 m ³ /h	0,1 m
Br 4b	42 m ³ /h	16,1 m

Einige Brunnen sind deutlich ergiebiger als andere. Dies lässt auf eine starken Inhomogenität des wasserführenden Gesteins schließen. Deshalb ist es nicht möglich, mit modellhaft vereinfachten und homogen verteilten Materialparametern alle Wasserstände an allen Messpunkten mit hoher Übereinstimmung nachzubilden.

Eine weitere Schwierigkeit stellt das starke Gefälle des Grundwasserstandes im Bereich des Abbaus dar. Die Messwerte lassen auf eine Änderung des Wasserstandes am Rand des Tagebaus in SW-NE-Richtung von bis zu 10 m auf 100 m Fließweg schließen. Vor diesem Hintergrund kann die Modellgüte als akzeptabel bewertet werden, wenn bei nur 3 Messstellen im Bereich des größten Gefälles eine Differenz von ca. 10 m zwischen berechneten und gemessenen Wasserständen verbleibt, die Abweichung bei den übrigen ca. 15 Messstellen dagegen den Betrag von 2 m kaum überschreitet. Die Abbildung 19 stellt die Abweichung der berechneten und gemessenen Grundwasserstände im Muschelkalk im Umfeld des KT Förderstedt dar.

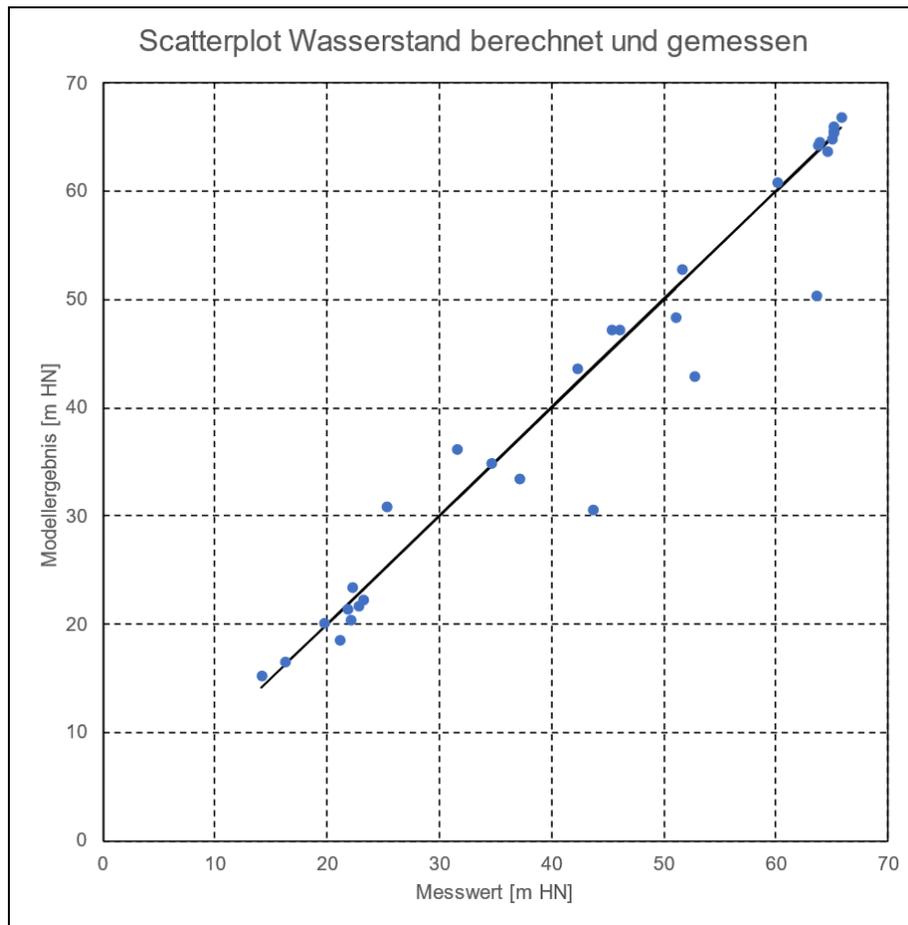


Abbildung 19 Vergleich der gemessenen und berechneten Wasserstände im Bereich des KT Förderstedt, kalibriertes Modell im Istzustand (ktf040_ist_01.fem, nach 15 a Simulationszeit)

Abgesehen von der starken lokalen Variabilität des Grundwasserstandes im Klufftgrundwasserleiter Muschelkalk, die mit dem Strömungsmodell naturgemäß nur vereinfacht wiedergegeben werden kann, konnte die Grundwassersituation im Istzustand mit dem Modell nachgebildet werden. Dies gilt insbesondere für die Absenkungen an den Salz- und Marbebrunnen, am KT Förderstedt selbst und für die unterschiedliche Ausbreitung der Absenkung entsprechend der parallel zum Salzsattel gerichteten bevorzugten Durchlässigkeit des Klufftgrundwasserleiters.

9 Modellergebnisse für den Kalksteintagebau im Istzustand

9.1 Berechnete Grundwasserstände im Istzustand

Die anhand des kalibrierten Modells berechneten Grundwasserstände im Istzustand sind in der Anlage 9.1 dargestellt. Die Hydroisohypsen beschreiben eine Grundwasserabsenkung im Bereich des Kalksteintagebaus, welche auf die Wasserhaltung zurückzuführen ist, und deren anisotrope Ausdehnung mit bevorzugter Richtung parallel zum Salzsattel.

Die Abbildung 20 und Abbildung 21 enthalten sowohl die Grundwasserstände im Muschelkalk bzw. außerhalb dessen Verbreitung in der Modellschicht 6 und die Richtungen der Darcyströmung in dieser Modellschicht. Anhand den Darstellungen können folgende Schlussfolgerungen für die Grundwasserströmung im Bereich des KT Förderstedt abgeleitet werden:

- Das Einzugsgebiet des Tagebaus reicht nach Süden und Westen nur bis zur Verbreitungsgrenze des Muschelkalks. Die Bereiche südlich der Verbreitungsgrenze sind von der Absenkung durch die Wasserhaltung nicht betroffen. Dies gilt auch für die Bode westlich der Kläranlage Staßfurt. Die Salzbrunnen fördern nicht im Muschelkalk und sind ebenfalls nicht von der Absenkung durch die Wasserhaltung des Kalksteintagebaus betroffen.
- Die Marbebrunnen und der Kalksteintagebau fördern aus demselben Grundwasserleiter. Das Einzugsgebiet der Marbebrunnen erstreckt sich von der Marbe in nordwestliche und nördliche Richtung. Die Förderung an den Marbebrunnen schränkt den Zustrom aus dieser Richtung zum Kalksteintagebau ein.
- Die Absenkung im Grundwasserleiter Muschelkalk ist das Ergebnis aller Grundwasserförderungen. Da der Zustrom aus dem Norden zum Kalksteintagebau durch die Marbebrunnen gemindert ist, fließt ein großer Teil der Fördermenge zur Wasserhaltung dem Kalksteintagebau aus Nordosten, Osten und Südosten zu. Wird an den Marbebrunnen zukünftig weniger Wasser gefördert, fließt dem Kalksteintagebau entsprechend mehr Wasser aus dem nördlichen Einzugsgebiet zu und die Fördermengen zur Wasserhaltung müssen erhöht werden. Eine Ausweitung der Wasserhaltung des KT z. B. durch Erhöhung der Fördermengen kann den Grundwasserstand und die Verfügbarkeit von Grundwasser an den Marbebrunnen verringern.
- Die Marbe als Oberflächengewässer kann aufgrund der Grundwasserförderung an den Marbebrunnen und im Tagebau in diesem Gewässerabschnitt nicht von Grundwasser gespeist werden. Das Gewässer führt hier vorrangig Oberflächenwasser aus dem Gebiet Förderstedt/Atzendorf/Glöthe.
- Die berechneten Strömungsrichtungen führen innerhalb der Verbreitungsgrenze des Muschelkalks, d. h. im Bereich der Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltung des Tagebaus, von der Bode weg in Richtung des Tagebaus. Im Istzustand ist dies beginnend am westlichen Rand der Ortslage Hohenerxleben bis etwa zur BAB 14 östlich der Ortslage Löbnitz der Fall. In diesem Gewässerabschnitt fließt der Bode im Modell kein Grundwasser aus dem Muschelkalk zu. Die Wassermenge, welche in diesem Gewässerabschnitt aus der Bode in den Grundwasserleiter infiltrieren kann, ist aufgrund der natürlichen Kolmation des Gewässerbettes und der geringen hydraulischen Gradienten sehr begrenzt und ist für die Durchflussmenge in der Bode nicht von Bedeutung (vgl. Abschnitt 9.3).

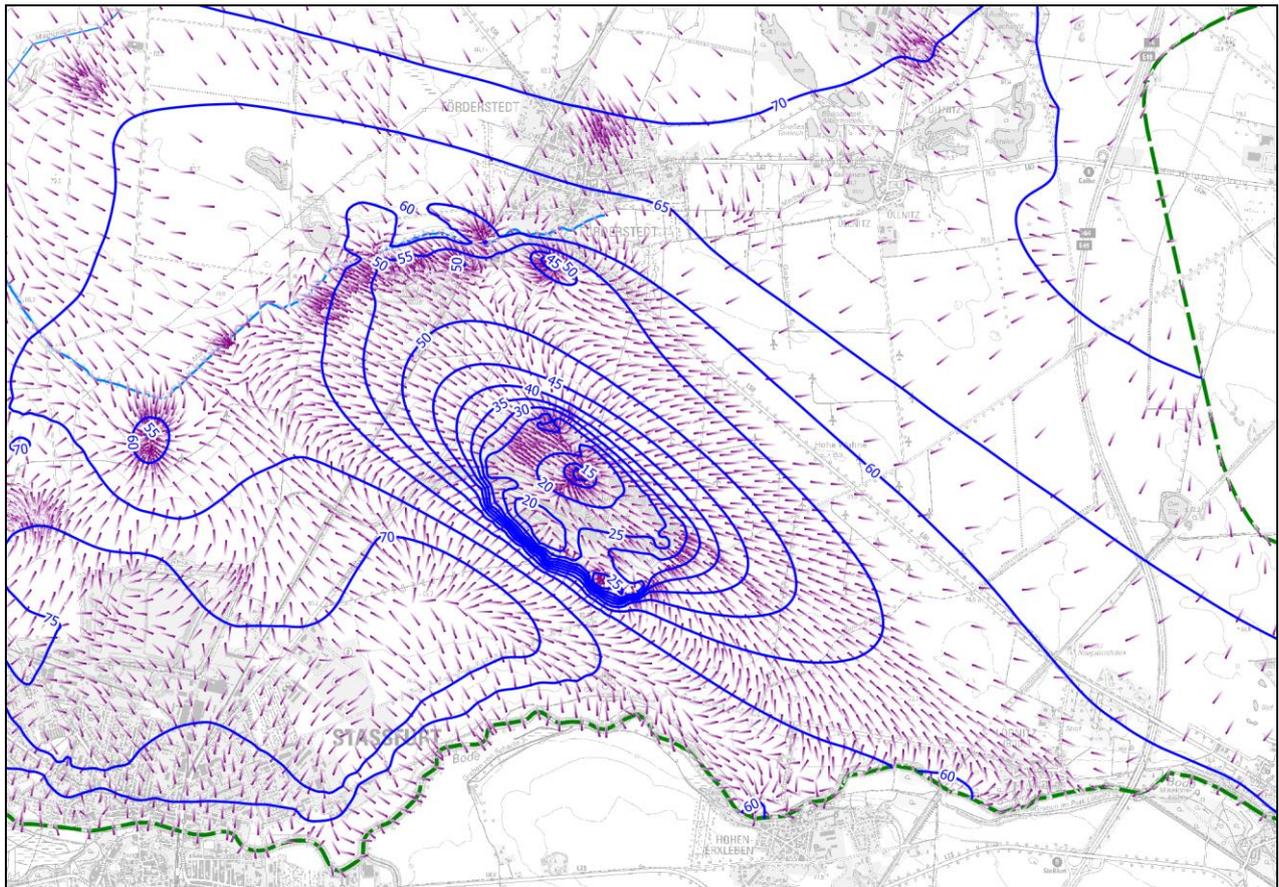


Abbildung 21 Modellerte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Istzustand zum Ende des Berechnungszeitraums 2008 bis 2022 und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Grundkarte TK 25 (ktf040_ist_01.fem)

Die Schnittdarstellungen in Abbildung 22 und Abbildung 23 verdeutlichen, dass der Grundwasserspiegel mit der im Modell angesetzten zentralen Wasserförderung in allen Bereichen des Kalksteintagebaus unter die Abbauoberkante gesenkt wird.

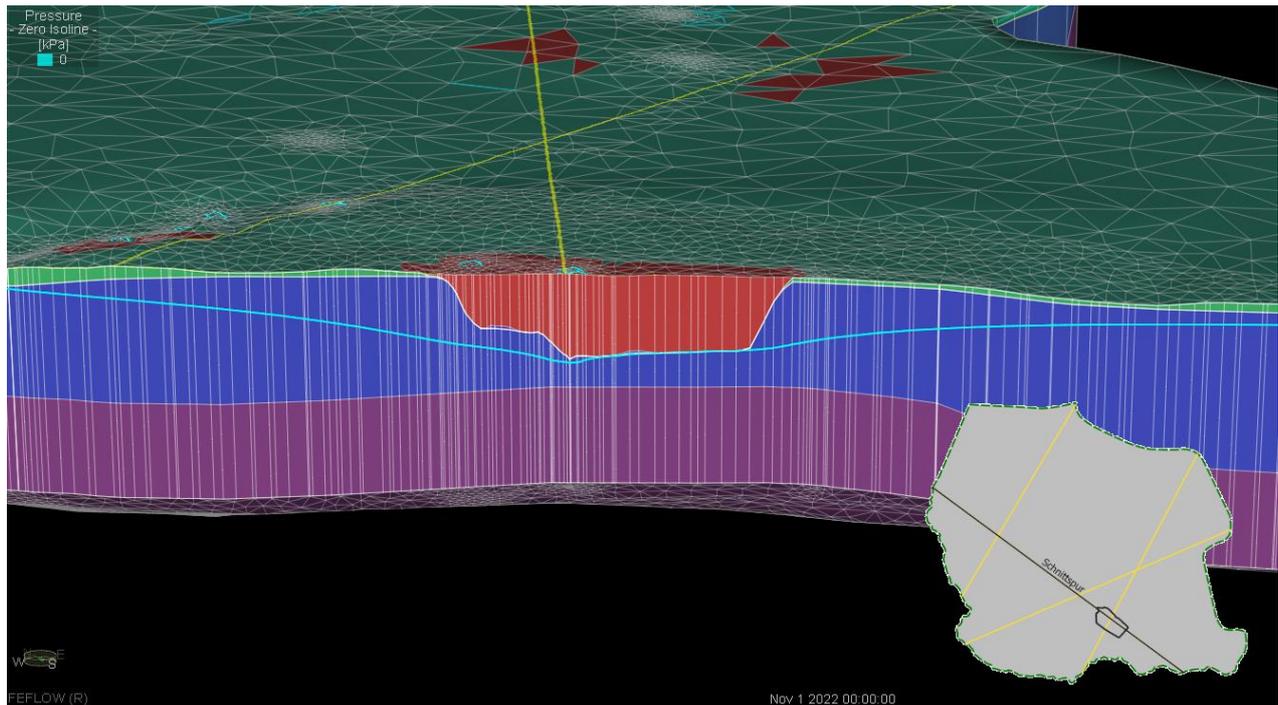


Abbildung 22 NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Istzustand (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_ist_01.fem)

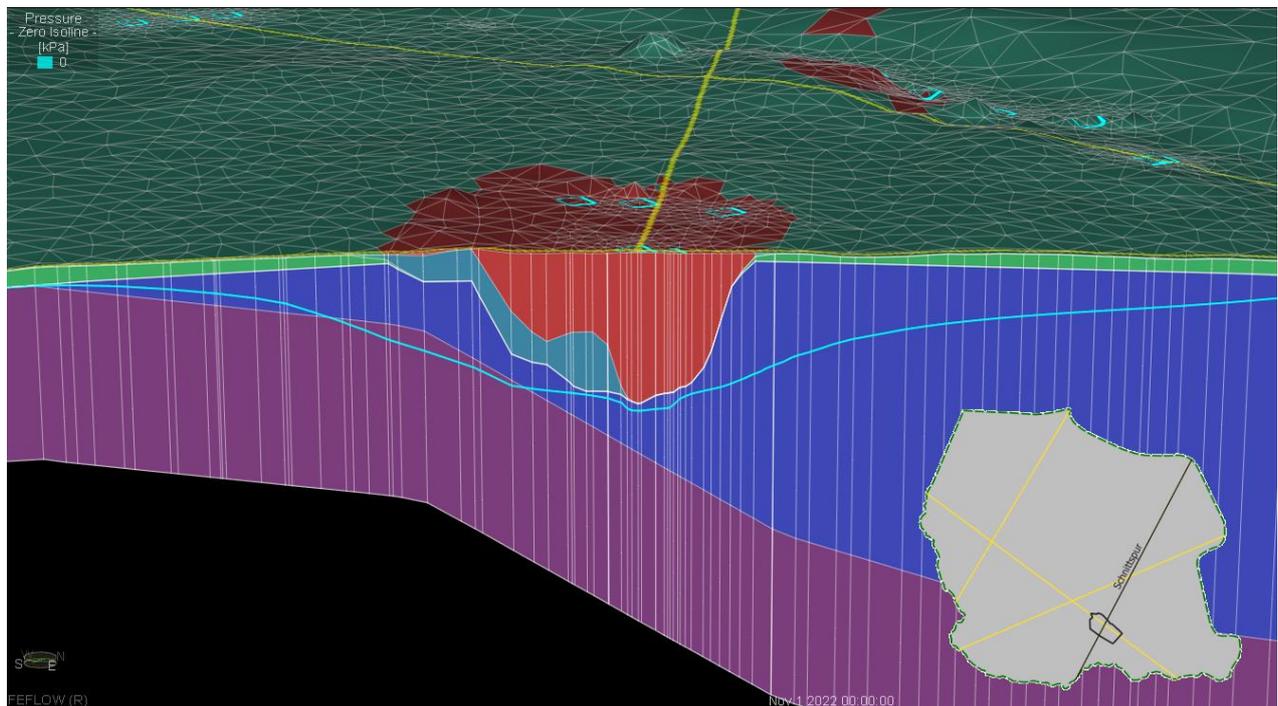


Abbildung 23 SW-NE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Istzustand (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_ist_01.fem)

9.2 Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltung im Istzustand

Bei der Bestimmung der Beeinflussung der natürlichen Grundwasserdynamik durch die Wasserhaltung des KT Förderstedt besteht das Problem, dass sich in dessen unmittelbaren Einflussbe-

reich mit den Marbebrunnen weitere umfangreiche Grundwassernutzungen befinden. Die Beeinflussung der Grundwasserströmung beider Nutzungen überlagern sich räumlich. Zur Berechnung von Absenkungsbeträgen fehlt darüber hinaus eine Definition der historischen Vergleichssituation mit unbeeinflussten Hydroisohypsen. Deshalb wurde die Absenkung aufgrund der Wasserhaltung des KT Förderstedt im Vergleich mit einem Zustand berechnet, welcher sich ohne Wasserhaltung am Kalksteintagebau, aber unter Berücksichtigung der Grundwasserförderung an den Marbebrunnen im Istzustand einstellen würde. Die Differenzen zwischen dem modellierten Grundwasserstand im Grundwasserleiter Muschelkalk und dem hypothetischen Zustand ohne Wasserhaltung sind in der Abbildung 24 als Absenkungsbeträge für den Istzustand (Jahr 2022) dargestellt.

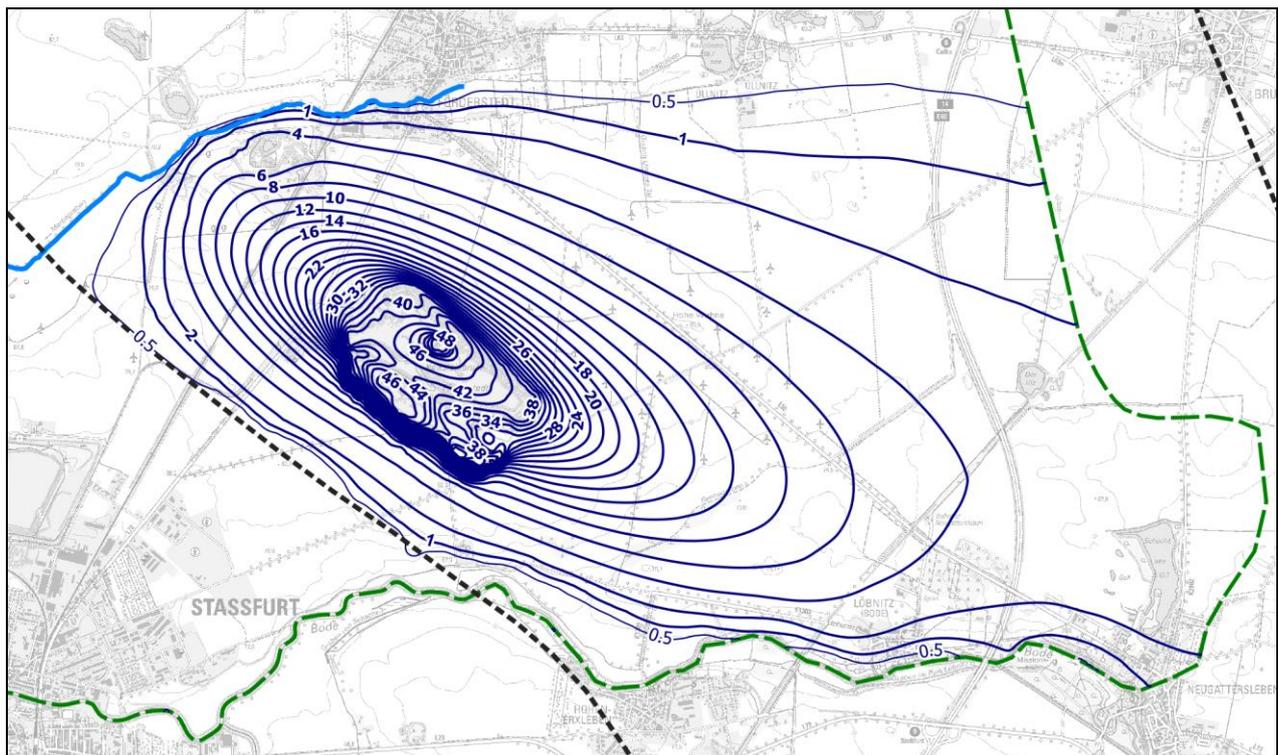


Abbildung 24 Differenzen zwischen dem modellierten Grundwasserstand im Grundwasserleiter Muschelkalk im Istzustand (ktf040_ist_01.fem) und dem hypothetischen Zustand ohne Wasserhaltung (ktf040_ist_01_KTaus.fem)

Die berechneten Differenzen reichen nach Südwesten etwa bis zur Verbreitungsgrenze des Muschelkalks, die in Abbildung 24 als unterbrochene Linie dargestellt ist. Über diese Grenze hinaus findet keine Beeinflussung der Grundwasserströmung durch die Wasserhaltung des Tagebaus statt. Eine Beeinflussung der Bode im Bereich Staßfurt bis etwa zur Kläranlage Staßfurt kann damit ausgeschlossen werden.

Weitere Begrenzungen für die Absenkung stellen die Gewässer Bode und Marbe dar, die im Modell als Randbedingung 3. Art berücksichtigt wurden. Die Absenkung reicht im Bereich Hohenerxleben - Löbnitz - Neugattersleben bis zur Bode, ist aber mit <2 m in diesem Bereich gering und bewirkt einen nur schwachen hydraulischen Gradienten in Richtung Kalksteintagebau. Im Modell findet eine Infiltration von Oberflächenwasser aus der Bode in das Grundwasser in diesem Bereich im Wesentlichen nicht statt (vgl. Abschnitt 9.3). Die Kolmation des Gewässerbettes und der geringe hydraulische Gradient ermöglichen keine Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser in nennenswertem Umfang.

Im Norden reicht die Absenkung durch die Wasserhaltung etwa bis zur Marbe. Die Absenkung in diesem Bereich geht von den Marbebrunnen aus. Eine Infiltration von Wasser der Marbe in den Grundwasserleiter aufgrund der Wasserhaltung des Kalksteintagebaus findet im Wesentlichen nicht statt (vgl. Abschnitt 9.3).

9.3 Fördermenge zur Wasserhaltung und Grundwasserbilanz im Istzustand

Die Absenkung des Grundwasserstandes durch die Wasserhaltung des KT Förderstedt wurde mittels Vorgabe eines hydraulischen Potentials am Standort der zentralen Wasserhaltung im Modell berücksichtigt. Hierzu wurde den Modellknoten der Modellschichten 2 (Kippenmaterial) bis 6 (Muschelkalk) in diesem Bereich ein fester Wasserstand von 10 m vorgegeben. Aus der Berechnung resultiert die Grundwasserförderrate, welche in diesem Bereich entzogen werden muss, um den vorgegebenen Wasserstand im Modell zu gewährleisten. Da die hydraulische Leitfähigkeit bereits anhand von Wasserstandsmessungen kalibriert wurde, ist die rechnerisch resultierende Fördermenge im Wesentlichen von der Grundwasserneubildung abhängig. Mit einer Anpassung der GWN des Muschelkalks auf im Mittel 37 mm/a im Umfeld des KT Förderstedt konnte eine Modell-Förderrate im Istzustand von 2500 m³/d erreicht werden, was mit der in Abschnitt 7.2.1 bilanzierten mittleren Grundwasserförderrate sehr gut übereinstimmt.

Für die Ermittlung der Grundwasserbilanz wurde ein Bilanzgebiet (BG) bestimmt anhand der Reichweite der Absenkung und unter zusätzlicher Berücksichtigung der modellierten Strömungsrichtungen (Abbildung 25). Das Gebiet der Grundwasserabsenkung im Muschelkalk unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Einzugsgebiet, welches aus den Darcy-Fließrichtungsindikatoren in Abbildung 25 resultiert. Die Grundwasserneubildung in diesem Absenkungsgebiet wird praktisch vollständig im Kalksteintagebau gefördert. Die Wasserhaltung kann darüber hinaus dazu führen, dass seitliche Zuströme insbesondere aus dem Tertiär in das Bilanzgebiet und eine Infiltration von Oberflächenwasser aus den Fließgewässern induziert wird.

Das Bilanzgebiet wird begrenzt im Norden durch die Absenkungsbereiche der Marbebrunnen. Im Osten reicht das Bilanzgebiet bis zur Grenze des Modellgebietes, welche der hydrologischen Wasserscheide entspricht, bzw. der Grenzstromlinie zur Bode. Im Süden ist das Bilanzgebiet begrenzt durch die Bode und im Südwesten durch die Verbreitungsgrenze des Muschelkalks. Das Gesamtgebiet (BG) ist 23,52 km² groß, davon fallen 1,07 km² auf die Abbaufäche des Tagebaus im Istzustand (BG Tgb) und 22,45 km² auf das umgebende Einzugsgebiet (BG EZG).

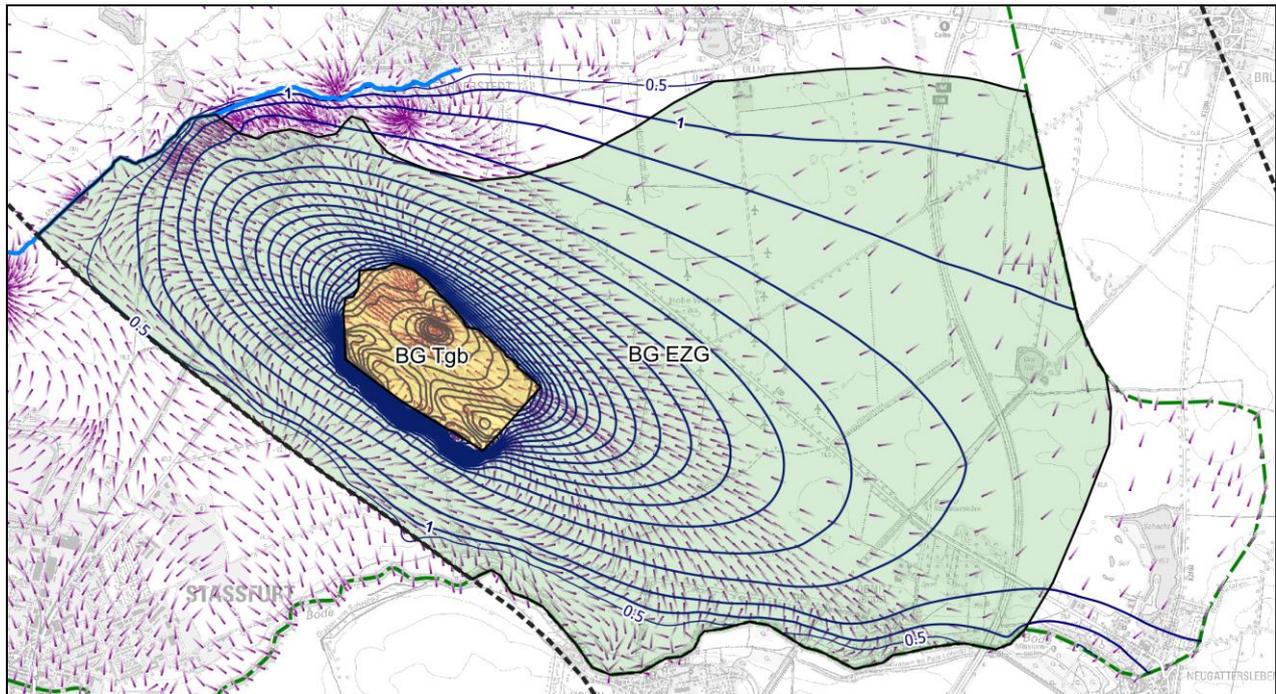


Abbildung 25 Bilanzgebiet im Istzustand (ktf040_ist_01.fem) mit Absenkungsbeträgen (Isolinien) und Strömungsrichtungsindikatoren im Modelllayer 6 (Muschelkalk)

Im Bilanzgebiet beträgt die im Modell berücksichtigte Grundwasserneubildung 37,1 mm/a. Die zur Absenkung erforderliche Fördermenge im Zentralen Pumpensumpf (ZPS) beträgt 2500 m³/d (modellunabhängiger Schätzwert aus der Oberflächenwasserbilanz: 2538 m³/d nach Abschnitt 7.2.1, Modellergebnis nach Anpassung der GWN: 2500 m³/d nach Abschnitt 8.3.1). Damit wird geringfügig mehr Wasser gefördert als neugebildet. Die fehlende Wassermenge kann als Summe aus einer Infiltration aus den Fließgewässern Marbe und Bode und weiteren seitlichen Zuflüssen insbesondere aus dem Tertiär im Norden interpretiert werden. Aus der folgenden Bilanzierung beträgt diese Wassermenge im Mittel 108 m³/d:

GWN BG Tgb (1,07 km ²)	109 m ³ /d
GWN BG EZG (22,45 km ²)	2283 m ³ /d
Fördermenge ZPS	-2500 m ³ /d
Debilanz	-108 m ³ /d

Auch wenn die Debilanz vollständig als Infiltration aus den Fließgewässern interpretiert wird, ist diese Wassermenge vernachlässigbar klein im Vergleich zu den natürlichen Durchflussraten der Fließgewässer. In der Bode fließen im Mittel 12,2 m³/s ab, dem entsprechen ca. 1 Mio. m³/d (langjähriger MQ Bode am Pegel Staßfurt [LHW 22-4]). Der Niedrigwasserdurchfluss am Pegel Staßfurt beträgt noch 1,39 m³/s bzw. 120'000 m³/d, auch hier ist der mögliche Einfluss der Wasserhaltung des KT Förderstedt vernachlässigbar gering.

10 Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung durch den Kalksteintagebau

Die Abbauplanung sieht vor, den Kalksteinabbau bis zu dessen Einstellung in ca. 40 Jahren bis auf vier Abbausohlen fortzuführen. Die Sohlen liegen auf einer Höhe von 56 m HN (1. Abbausohle), 35 m HN (2. Abbausohle), 15 m HN (3. Abbausohle) und 0 m HN (4. Abbausohle). Der im derzeitigen Zustand bereits mit Innenkippen überdeckte Abbau bleibt unverändert.

Die Abbildung 26 zeigt eine Übersicht über die geplante Abbaukontur im Endzustand vor der Stilllegung. Die Fortführung des Abbaus ist mit einer Vertiefung des Tagebaus und mit einer räumlichen Ausdehnung nach Südosten verbunden.

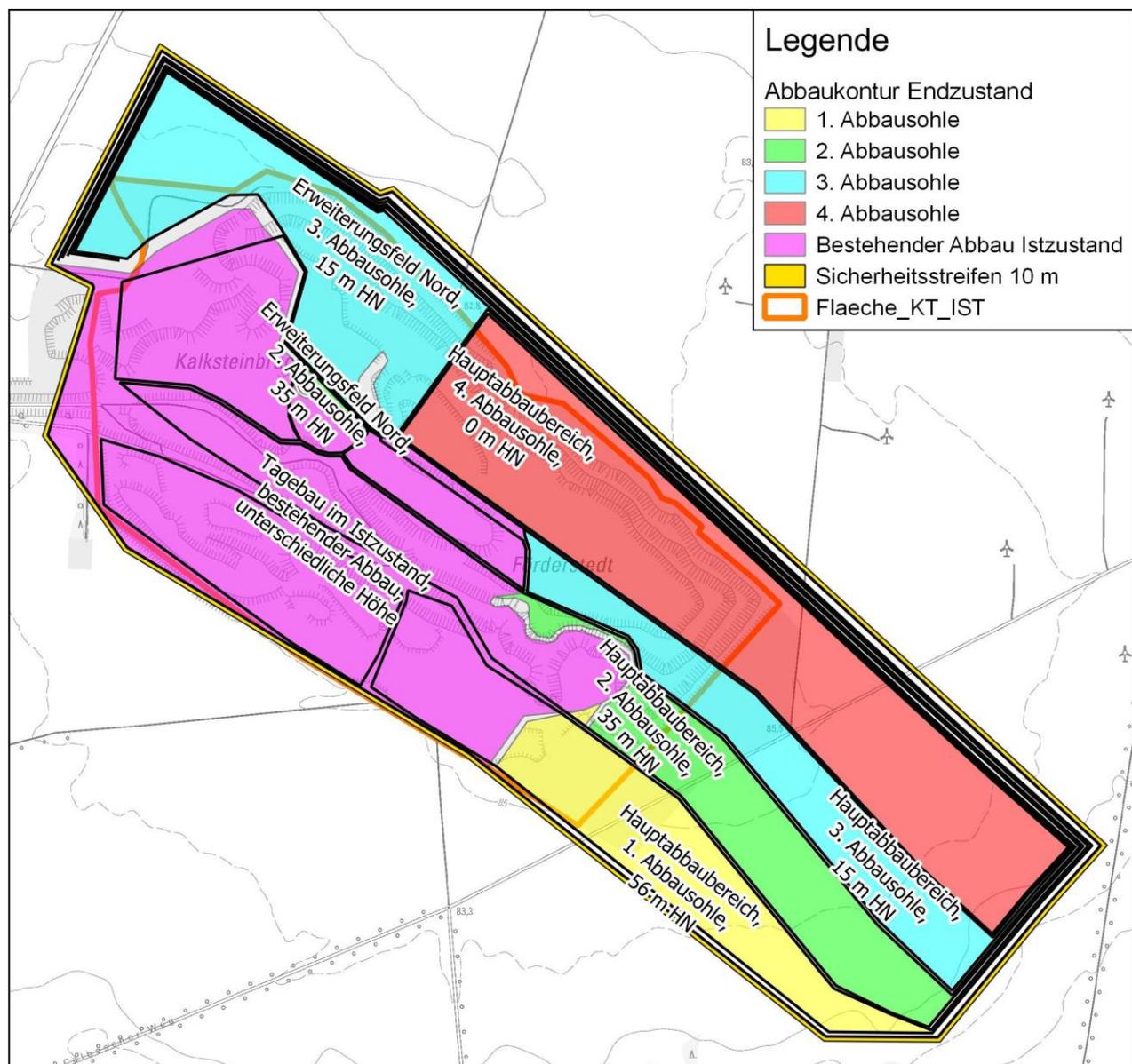


Abbildung 26 Vereinfachte Übersichtsdarstellung des Abbauplans mit Endkontur des Abbaus vor der Stilllegung

Mit der Fortführung des Abbaus werden auch die Innenkippen erweitert. Die Abbildung 27 zeigt die Endkontur des Tagebaus vor der Stilllegung entsprechend der aktuellen Kippenplanung.

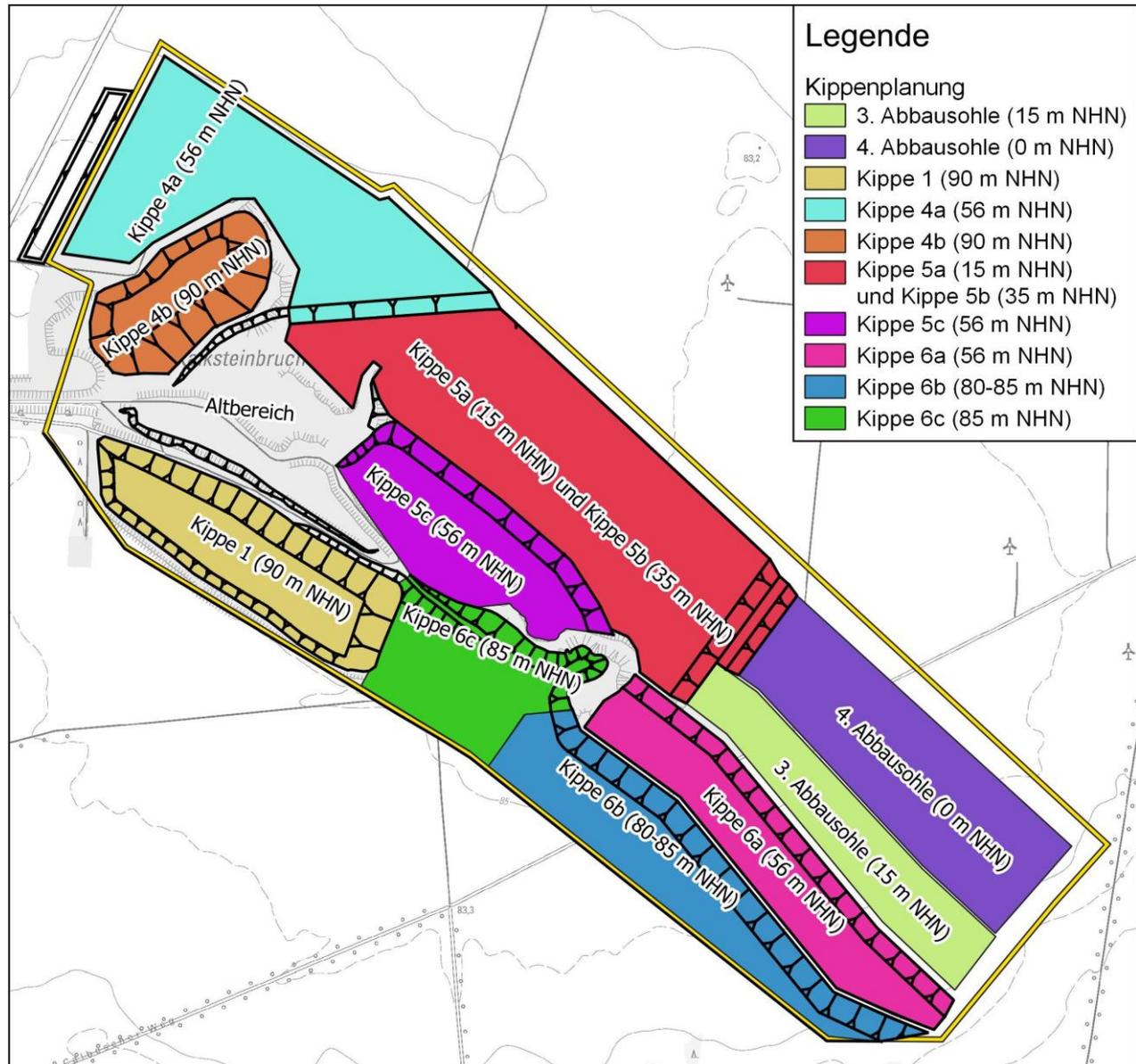


Abbildung 27 Vereinfachte Übersichtsdarstellung des Kippenplans mit Endkontur der Innenkippen vor der Stilllegung

Die Konturen der Abbausohlen und Kippen wurden als Geometrien dem Grundwassermodell zugeordnet (vgl. Tabelle 7):

Oberkante Innenkippen → Slice 2
Oberkante Abbausohlen → Slice 6

Die Zuordnung der Materialparameter nach Tabelle 8 verdeutlicht die Abbildung 28.

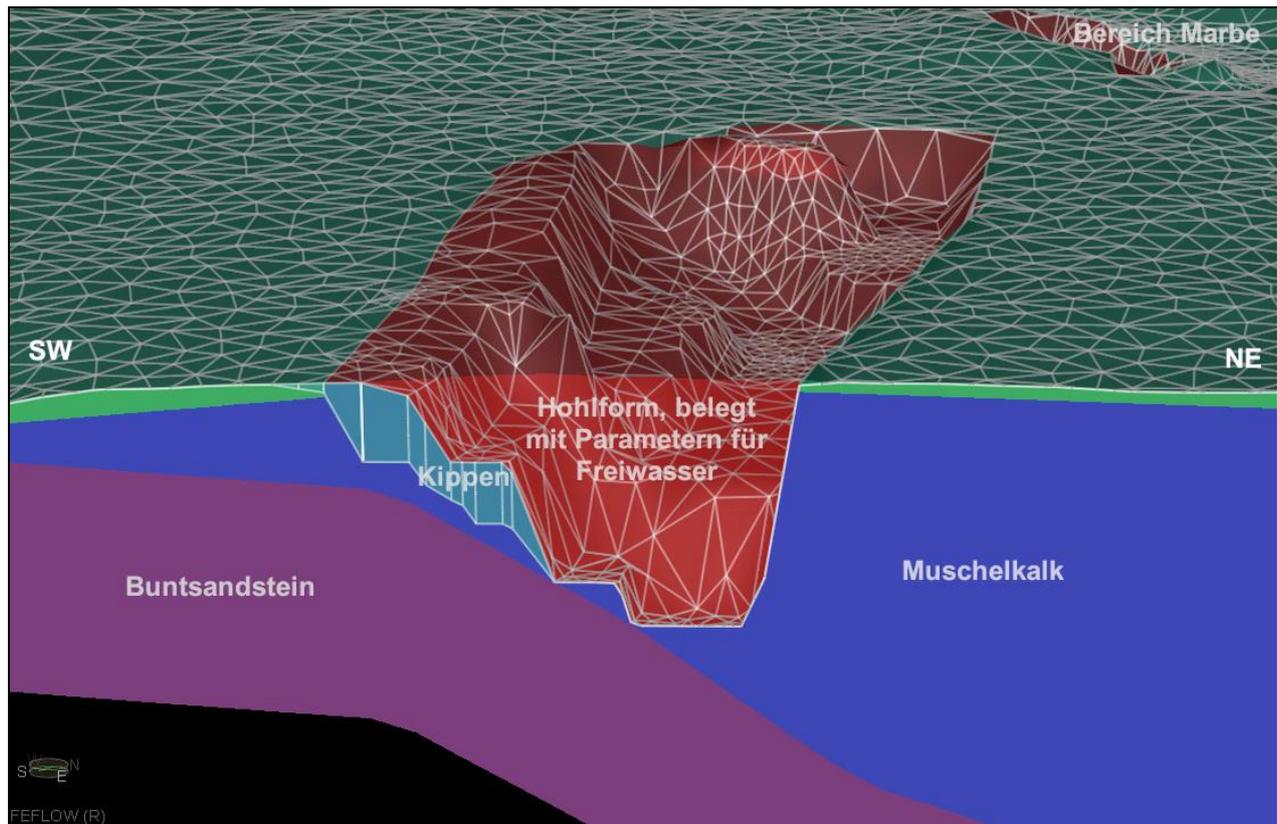


Abbildung 28 SW-NE-Schnitt durch den Tagebau im geplanten Zustand vor dem Wiederanstieg des Grundwassers mit Zuordnung der Materialparameter

Die Wasserhaltung zur Grundwasserabsenkung wurde wie im Ist-Zustand als Vorgabe eines Festpotenzials berücksichtigt (Randbedingung 1. Art). Die Wasserhaltung muss sich im tiefsten Bereich des Abbaus, d. h. auf der 4. Abbausohle, befinden. Weiterhin sollte die Grundwasserförderung am NE-Rand der 4. Abbausohle erfolgen, da der mengenmäßig größte Teil des Anstroms aus NE erfolgt. Dies ist auch deshalb geboten, um eine Entwässerung des Bereiches des Buntsandsteins südwestlich des Tagebaus auf ein notwendiges Minimum zu beschränken. Letztlich sollte die Wasserhaltung am Fuß der geplanten Kippe 5a angeordnet werden. Von dem bis zum Endzustand nicht überkippten Bereich der 4. Abbausohle wird dieser Bereich als erstes abgebaut und ist damit am längsten für eine Grundwasserförderung verfügbar. Die angenommene Lage der Wasserhaltung ist in der folgenden Abbildung 29 dargestellt.

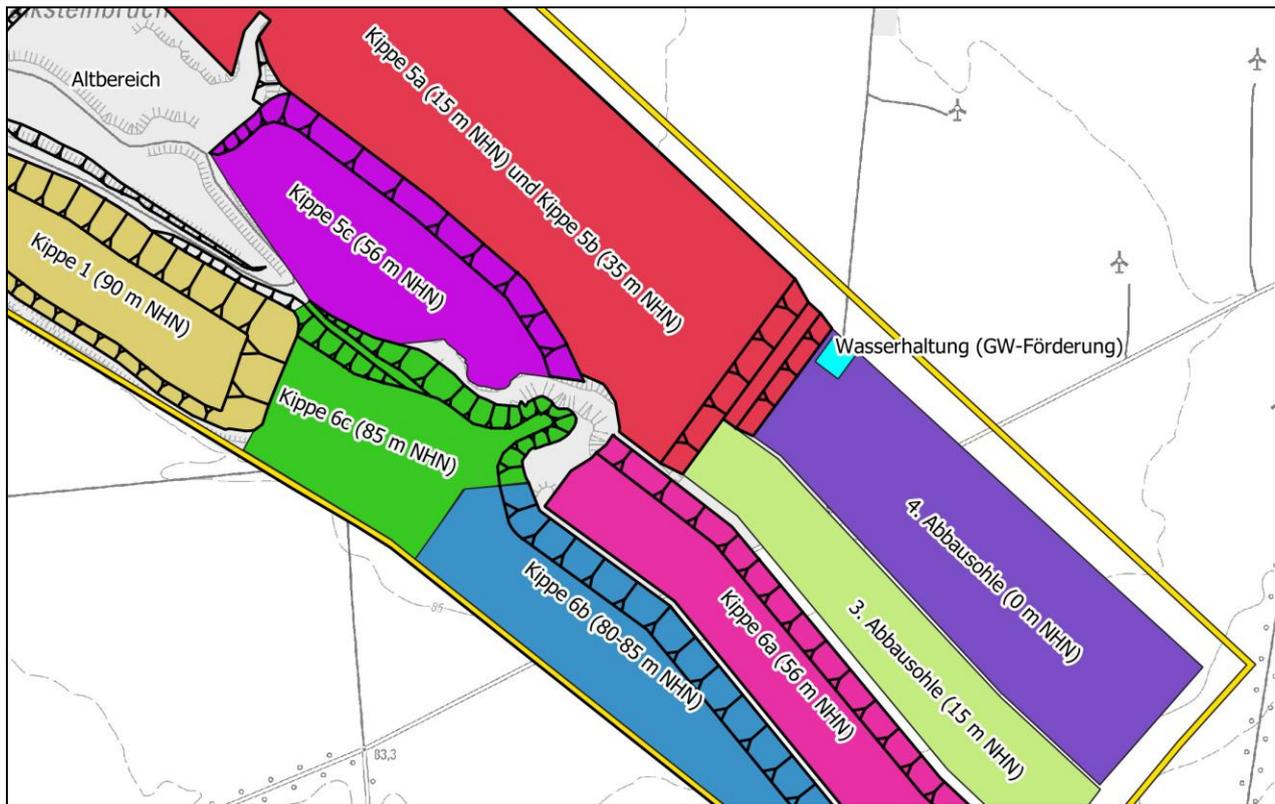


Abbildung 29 Lage der Wasserhaltung im Prognosezustand zur maximalen Grundwasserbeeinflussung

Variante: Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens

Die oben dargestellten Prognoseszenarien bilden die maximale Grundwasserabsenkung im Südosten des Kalksteintagebaus nach, da hier die Absenkung bis zur 4. Abbausohle erfolgt. Die Wasserhaltung beeinflusst damit den Bereich zwischen dem Tagebau und der Bode im Südosten maximal. Im Nordwesten dagegen sind die Abbausohlen in diesem Szenario bereits teilweise mit Innenkippen verfüllt. Der Grundwasserstand kann im Kippenmaterial bereits wieder ansteigen. Das Szenario bildet somit nicht die maximale Absenkung im Bereich des Marbegrabens nach. Dieser Zustand wird bereits früher erreicht, wenn die Abbausohlen im Norden des Tagebaus noch nicht mit Innenkippen verfüllt sind. Der Zustand der maximalen Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens wurde deshalb in Form eines zusätzlichen Modellszenarios berücksichtigt (Abschnitt 10.4).

10.1 Berechnete Grundwasserstände

Die für den Zustand mit maximaler Grundwasserbeeinflussung berechneten Hydroisohypsen sind in der Anlage 9.2 und in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die tiefsten Wasserstände liegen im Bereich der geplanten 4. Abbausohle um 0 m NHN. Der Abbau reicht im Vergleich zum Istzustand weiter nach Südosten. Eine wesentliche Veränderung der Grundwassersituation ausgehend vom Istzustand kann jedoch nicht festgestellt werden.

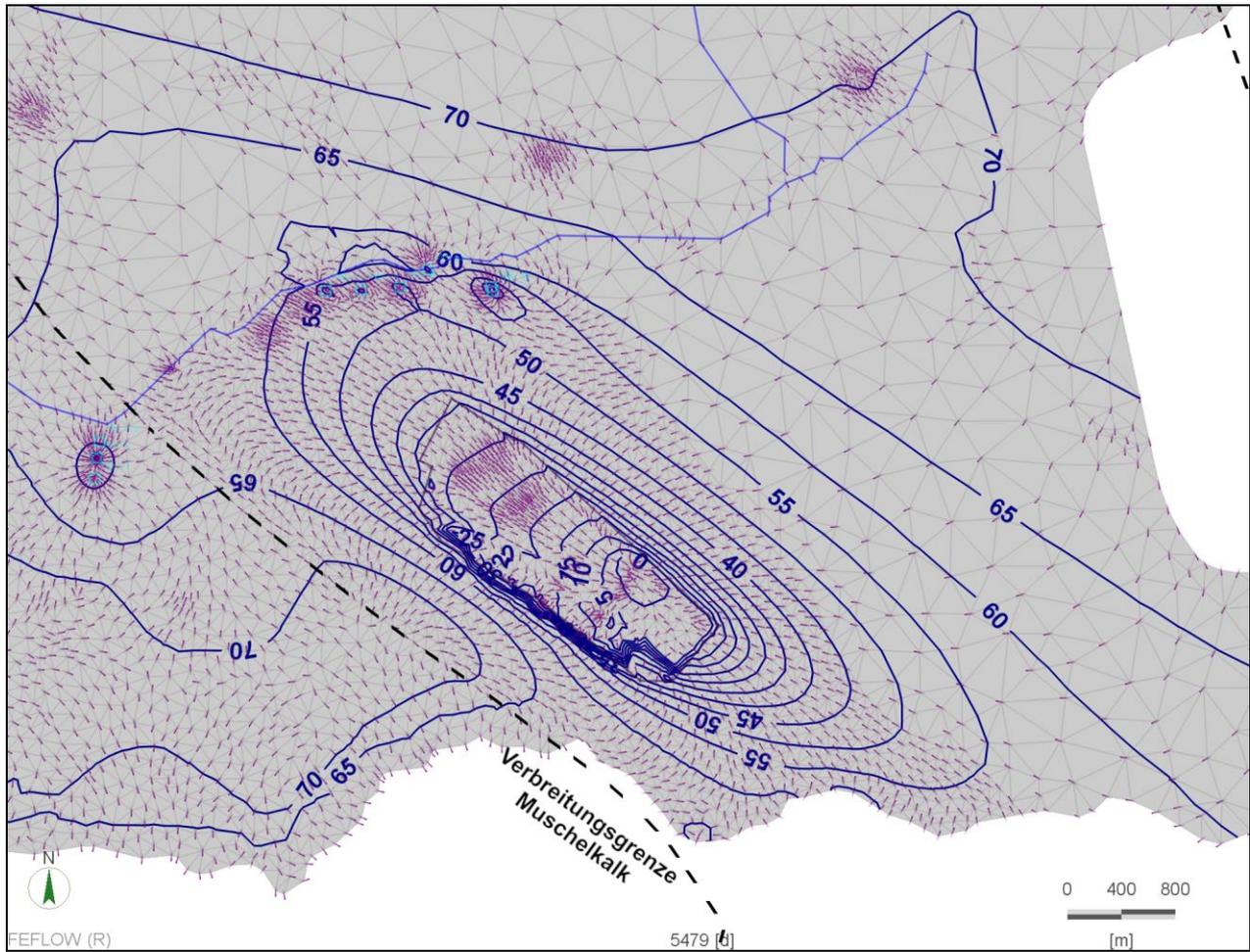


Abbildung 30 Modellierte Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Verbreitungsgrenze des Muschelkalks (ktf040_prog_abbau_01.fem)

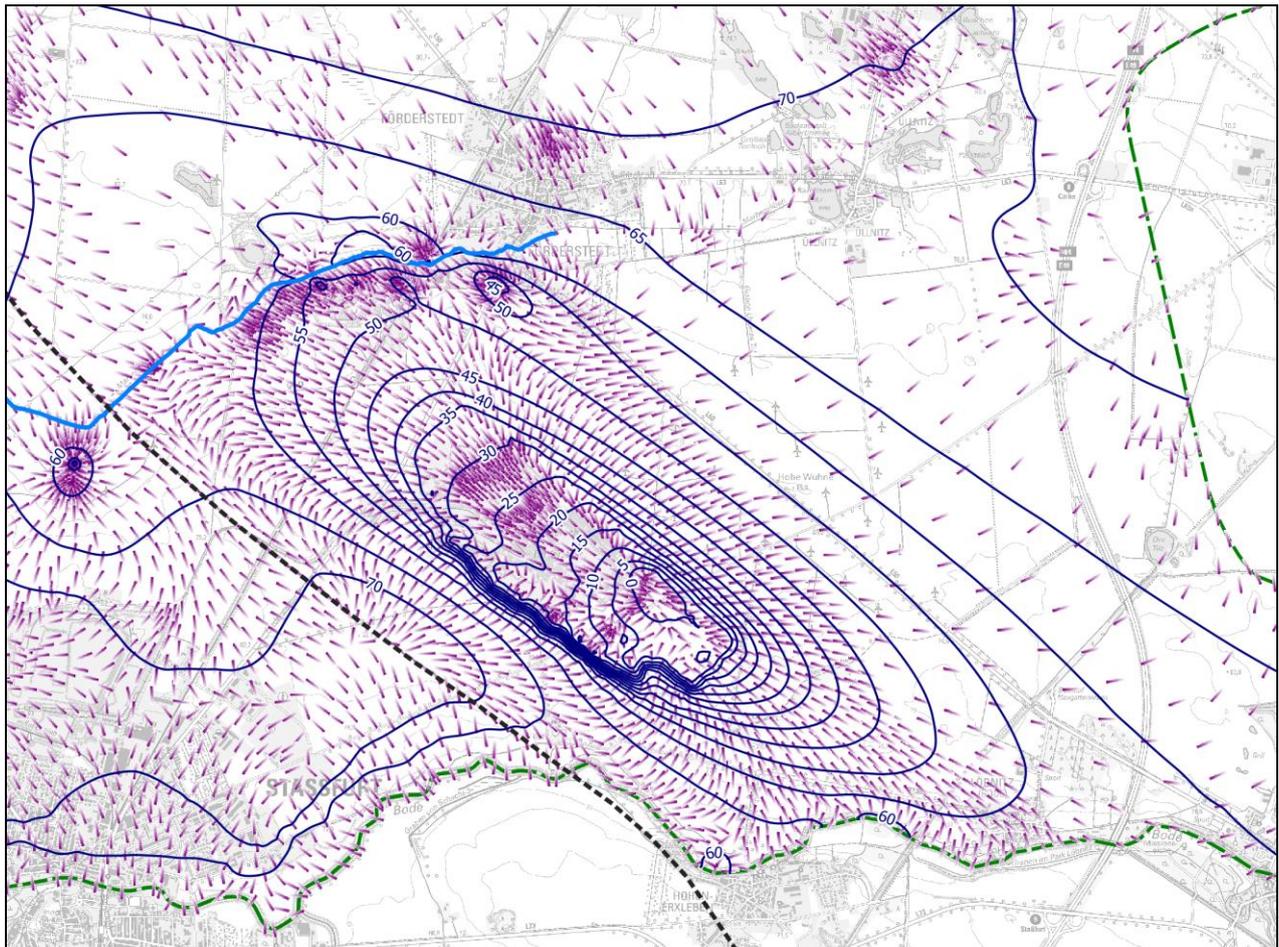


Abbildung 31 Modellierter Hydroisohypsen in der Modellschicht 6 (Muschelkalk) im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung und Bewegungsrichtung an den Modellknoten, mit Grundkarte TK 25 (ktf040_prog_abbau_01.fem)

Die Schnittdarstellungen in Abbildung 32 und Abbildung 33 belegen, dass die im Modell als Randbedingung enthaltene Wasserhaltung bewirkt, dass das Grundwasser maximal bis zur Abbauunterkante reicht. Dies setzt in der Realität voraus, dass austretendes Wasser bis zum Pumpensumpf der Wasserhaltung abfließen und dort gehoben werden kann. Im Modell ist dies gewährleistet durch die angesetzte hohe Durchlässigkeit des in den Schnitten rot dargestellten Materials „Freiwasser“. In der Umsetzung sollte wie im aktuellen Zustand des Tagebaus stets ein ausreichendes Gefälle für austretendes Grundwasser und Oberflächenabfluss zur zentralen Wasserhaltung hin gewährleistet werden.

Der Längsschnitt in Abbildung 32 zeigt weiterhin, dass das Grundwasser im nordwestlichen Teil des Tagebaus ansteigen wird, wenn dieser Bereich fortschreitend mit Abraum überkippt wird und die dortige Wasserhaltung zurückgebaut wird. Das Grundwasser steigt innerhalb der Kippen an, bis sich ein flaches Gefälle hin zur Wasserhaltung im offenen Abbau ausbildet.

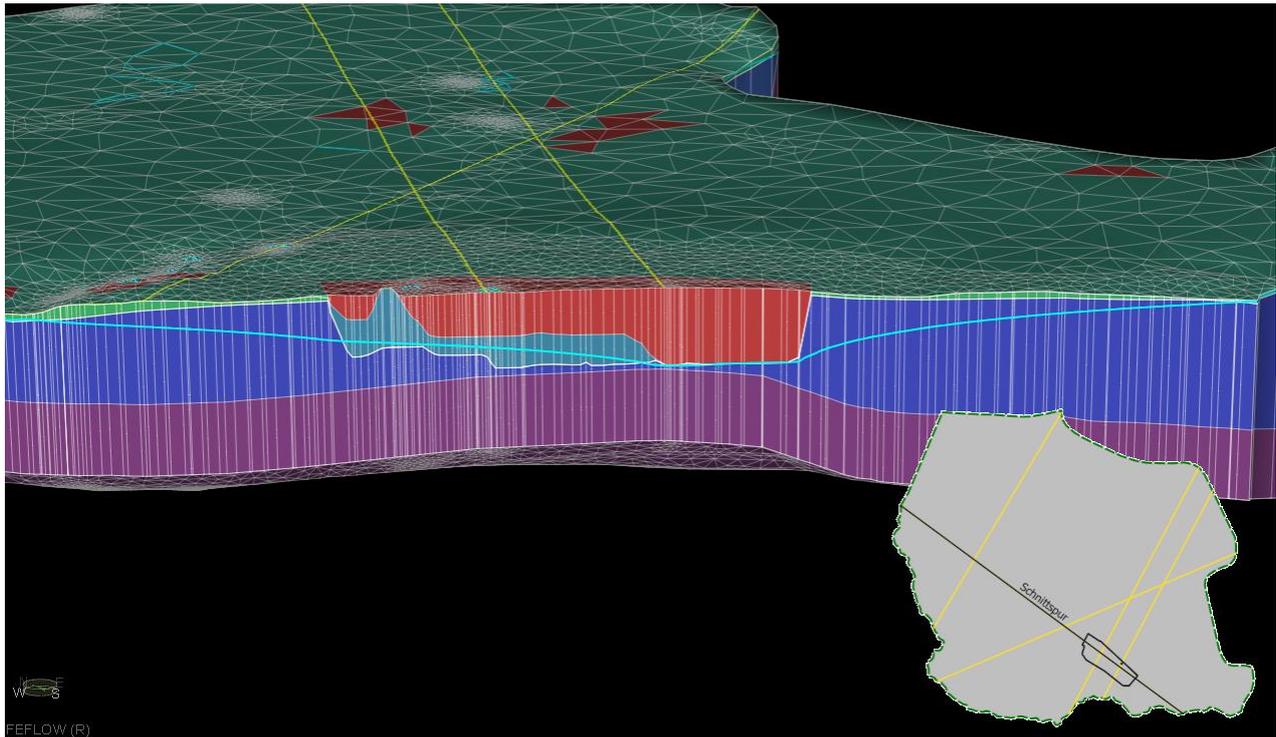


Abbildung 32 NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_prog_abbau_01.fem)

Der Querschnitt im Bereich der angenommenen späteren Wasserhaltung verdeutlicht, dass der Grundwasserspiegel im Südwesten des Abbaus nur lokal und geringfügig unter die Oberkante des Buntsandsteins absinkt. Auch hier kann die Grundwasserförderung den Abbau bis zur 4. Abbausohle entwässern.

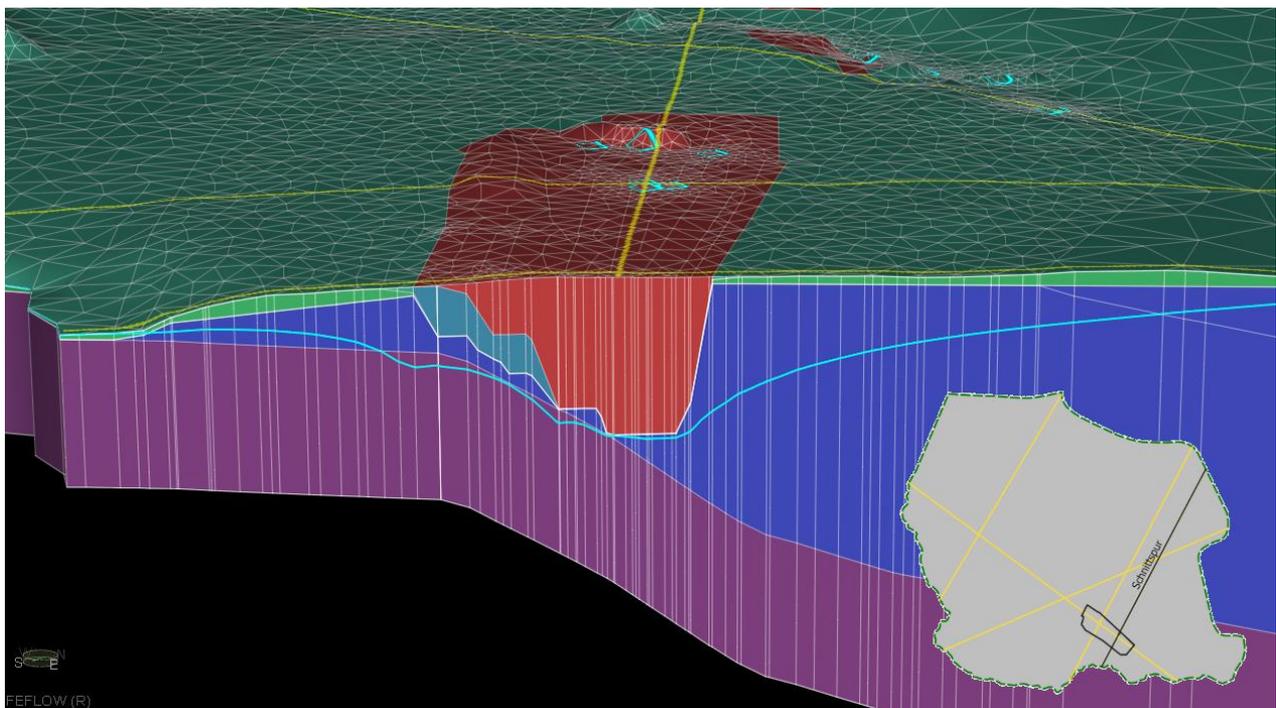


Abbildung 33 SW-NE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_prog_abbau_01.fem)

10.2 Grundwasserabsenkung durch die Wasserhaltung

Die Absenkung im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung wurde analog zur Vorgehensweise für den Istzustand als Differenz zu dem Gleichgewichtszustand ohne Wasserhaltung berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 34 dargestellt. Insgesamt verlagert sich die stärkste Absenkung auf den Bereich der offenliegenden 4. Abbausohle bei 0 m NHN. Die maximalen Absenkungsbeträge sind hier etwa 15 m größer als im Istzustand, die Absenkung reicht tiefer und verlagert sich mit fortschreitendem Abbau nach Südosten. Der Absenkungstrichter wird südöstlich des Abbaus zwischen Abbau und Bode tiefer, der hydraulische Gradient in Richtung Tagebau steigt an.

Gleichzeitig tritt eine Entspannung der Situation im Nordwesten ein, da hier das Grundwasser bereits wieder bis in die Innenkippen ansteigt. Der hydraulische Gradient aus Nordwesten zum Tagebau ändert sich deshalb nicht wesentlich.

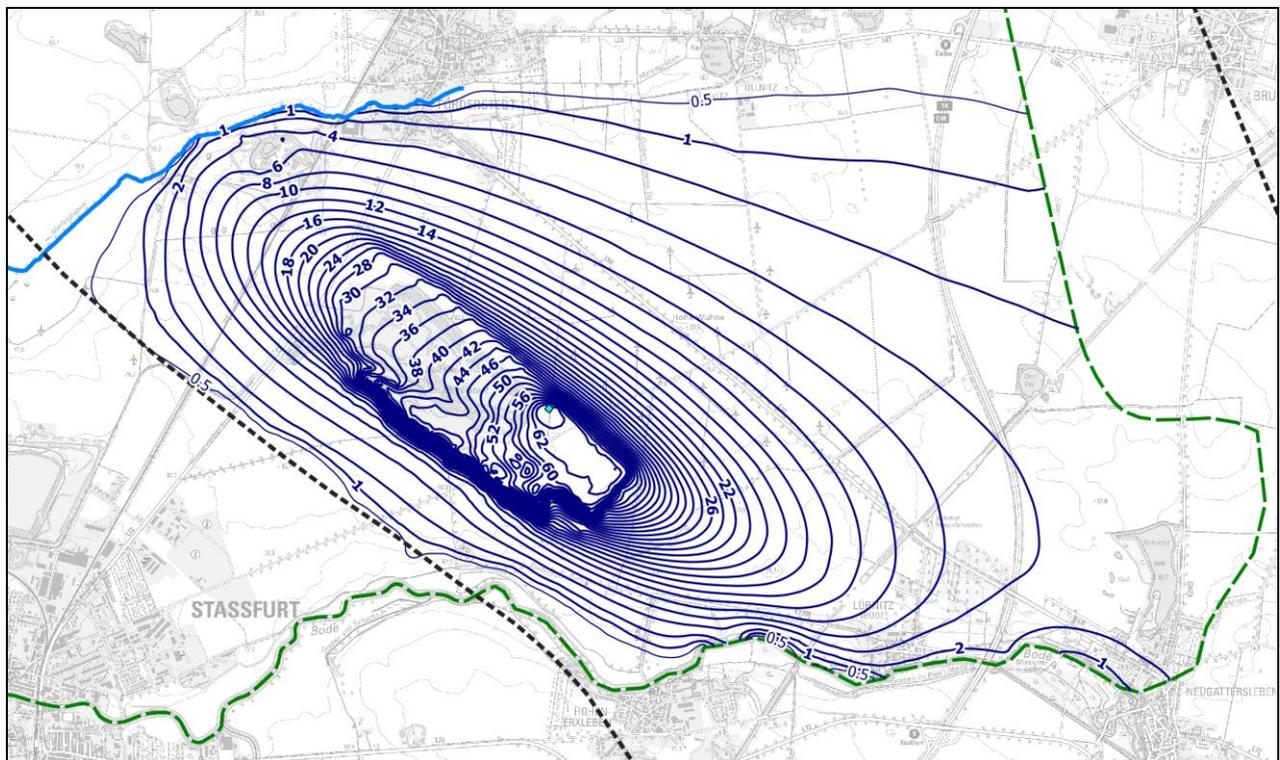


Abbildung 34 Differenzen zwischen dem modellierten Grundwasserstand im Grundwasserleiter Muschelkalk im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung (ktf040_prog_abbau_01.fem) und dem hypothetischen Zustand ohne Wasserhaltung

10.3 Fördermengen zur Wasserhaltung und Grundwasserbilanz

Aus der Vorgabe des Festpotenzials im Bereich der 4. Abbausohle zur Wasserhaltung resultiert im Modell eine Fördermenge von 2000 m³/d. Diese Förderrate ist geringer als im Istzustand mit 2500 m³/d. Das Bilanzgebiet ist im Planzustand mit maximaler Grundwasserbeeinflussung dagegen etwas größer als im Istzustand, da sich der Absenkungsbereich geringfügig nach Osten ausbreitet (vgl. Abbildung 35):

GWN BG Tgb (1,92 km²) 194 m³/d

GWN BG EZG (22,53 km ²)	2290 m ³ /d
Fördermenge ZPS	-2000 m ³ /d
Debilanz	+484 m ³ /d

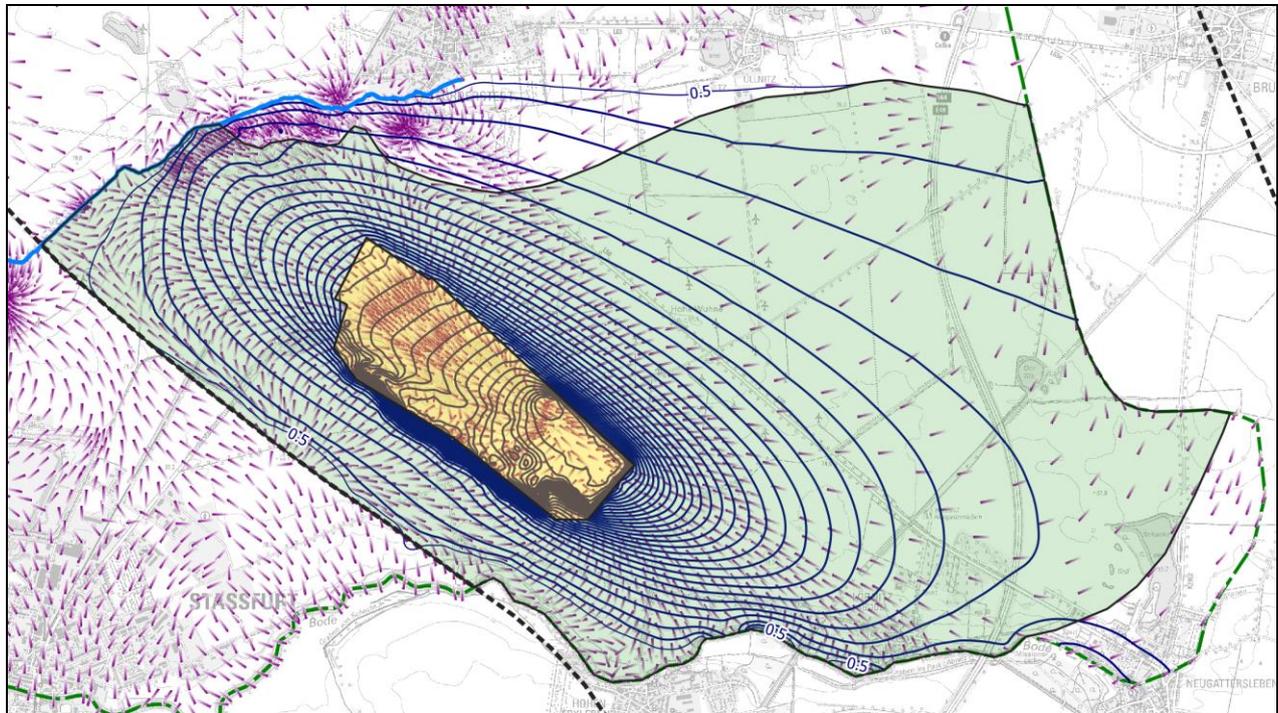


Abbildung 35 Bilanzgebiet im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung
(ktf040_prog_abbau_01.fem)

Ein Teil der ausgewiesenen Debilanz kann als Auffüllung des Porenspeichers der Innenkippen interpretiert werden, allerdings ist diese Wassermenge vernachlässigbar gering. Die Debilanz beschreibt vielmehr, dass weniger Grundwasser im Tagebau gefördert als im Bilanzgebiet neu gebildet wird. Sie entspricht damit im Wesentlichen dem natürlichen Abfluss des im Bilanzgebiet neugebildeten Grundwassers, der bei Fehlen jeglicher Beeinflussung über das Quartär oder im Buntsandstein das Bilanzgebiet verlässt. Da die geförderte Wassermenge im Unterschied zum Istzustand kleiner ist als die Grundwasserneubildung, kann aus der Gebietsbilanz geschlossen werden, dass der Anteil des aus den Oberflächengewässern infiltrierenden Abflusses im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung nicht größer sein kann als im Istzustand.

Die Förderrate von 2000 m³/d wurde für einen Gleichgewichtszustand berechnet, der sich längere Zeit nach dem Abteufen der 4. Sohle einstellt. Während des Abbaus muss der Grundwasserstand abgesenkt werden, wozu eine höhere Förderrate erforderlich ist als berechnet. Insgesamt kann aus der berechneten Förderrate geschlossen werden, dass keine wesentliche Erhöhung der mittleren Grundwasserförderrate notwendig ist, um den Tagebau bis zur 4. Abbausohle zu entwässern, nachdem ein Gleichgewichtszustand annähernd erreicht ist, insbesondere wenn das Grundwasser im Bereich der Innenkippen gleichzeitig wieder ansteigt.

10.4 Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens

Die maximale Grundwasserbeeinflussung nördlich des KT Förderstedt findet statt, wenn die 3. Abbausohle vollständig abgebaut ist und die Wasserhaltung bereits bis zur Tiefe der 4. Abbausohle entwässert, die Abbausohlen aber noch nicht mit Innenkippen verfüllt sind. Dieser Zustand

wird bereits vor dem Ende der Abbautätigkeiten erreicht. Er wurde mit einem zusätzlichen Abbauszenario berücksichtigt, welches auf der Geometrie des in den Abschnitten 10.1 bis 10.3 bereits beschriebenen Abbauszenarios basiert. Um die erforderliche Absenkung im Norden des Tagebaus zu erreichen, wurde die Modellschicht 2 unmittelbar über den Abbausohlen nicht als Kippenmaterial parametrisiert, sondern wie die Modellschicht 1 als Freiwasserkörper (k_f 1 m/s, $n_e = 1,0$). Dies ermöglicht die Ausbildung eines Grundwassersees, der Wasserstand wird in diesem Bereich nivelliert und erreicht am Nordrand die 3. Abbausohle bzw. in der Mitte die 4. Abbausohle.

10.4.1 Istzustand im Bereich des Marbegrabens

Nördlich des KT Förderstedt befinden sich drei ältere aufgelassene Steinbrüche. Dabei handelt es sich um ehemalige Kalkbrüche, die sich nach Einstellung des Abbaus teilweise mit Wasser gefüllt haben. Es kann davon ausgegangen, dass das Freiwasser bei allen Steinbrüchen an das Grundwasser im GWL Muschelkalk vollständig hydraulisch angebunden ist aufgrund der guten Wegsamkeit des klüftigen Muschelkalks. In diesem Bereich verläuft weiterhin der Marbegraben, der hier kein Oberflächenwasser führt. Hier wird das Grundwasser im GWL Muschelkalk im Wesentlichen durch die Marbebrunnen abgesenkt, der Einfluss der Wasserhaltung des KT Förderstedt ist aufgrund der größeren Entfernung zu diesem vergleichsweise gering.

Der Grundwasserstand im Istzustand liegt im Ergebnis des kalibrierten Strömungsmodells vor (Abschnitt 9). Zusätzlich wurden die Freiwasserstände in den aufgelassenen Steinbrüchen anhand des DGM5 aus dem Jahr 2017 [LAVG 23-1] in Verbindung mit aktuellen Orthophotos des Landesvermessungsamtes [LAVG 23-2] aus dem Jahr 2023 bestimmt. Hierzu wurde der Umriss der Freiwasserflächen anhand des Orthophotos ermittelt, mit der Hohlform des Geländemodells verbunden und die Höhe der Schnittfläche bestimmt. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung dieser Wasserstände, die das Jahr 2023 beschreiben, mit den Modellergebnissen des Istzustandes (Tabelle 9):

Tabelle 9 Aktuelle Freiwasserstände in den aufgelassenen Steinbrüchen nördlich des KT Förderstedt, ermittelt anhand des DGM 5 und aktueller Orthophotos, und modellierte Grundwasserstände im Istzustand (ktf040_ist_01.fem)

Steinbruch	Freiwasserstand 2023 [m NHN]	Höheninformation zur Abbauunterkante aus DGM5 (2017)	Modellierter Grundwasserstand im Istzustand [m NHN] und Differenz [m]
Westlicher Steinbruch (Nord)	60,9	DGM5 (2017): Freiwasser bei ca. 55,9 m NHN → aktueller Wasserstand $\geq 5,0$ m	61,5 (+0,6)
Mittlerer Steinbruch	57,9	DGM5 (2017): Freiwasser bei ca. 53,1 m NHN → aktueller Wasserstand $\geq 4,8$ m	60,5 (+2,6)
Östlicher Steinbruch, Schenk & Vogel (Süd)			
Wasserfläche 1	51,0	DGM5 (2017): Abbau bei ca. 38,6 m NHN → aktueller Wasserstand = 12,4 m	52,3 (+1,3)
Wasserfläche 2	52,4	DGM5 (2017): Abbau oder Wasserstand bei ca. 49,5 m NHN → aktueller Wasserstand $\geq 2,9$ m	52,2 (-0,2)
Wasserfläche 3	52,5	DGM5 (2017): Abbau oder Was-	51,8 (-0,7)

Steinbruch	Freiwasserstand 2023 [m NHN]	Höheninformation zur Abbaunterkante aus DGM5 (2017)	Modellierter Grundwasserstand im Istzustand [m NHN] und Differenz [m]
		serstand bei ca. 48,8 m NHN → aktueller Wasserstand $\geq 3,7$ m	

Die Tiefe des Freiwassers in den Steinbrüchen kann nur für die Wasserfläche 1 des Steinbruchs südlich des Marbegrabens anhand des DGM5 ermittelt werden. Hier war zum Zeitpunkt der Erhebung des DGM5 noch kein Freiwasser vorhanden, so dass das DGM dort die Geometrie des Abbaus annähernd beschreibt. Die Sohle des Abbaus betrug zu diesem Zeitpunkt (2017) ca. 38,6 m NHN, woraus auf eine aktuelle Wassertiefe von 12,4 m zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahme (Mai 2023) geschlossen werden kann.

Für die Wasserflächen 2 und 3 ist eine Ermittlung der Unterkante des Abbaus nicht möglich, da aus dem DGM nicht ermittelt werden kann, ob die Oberfläche von Freiwasser bedeckt ist. Die Oberfläche lag 2017 gemäß DGM5 bei Wasserfläche 2 bei 49,5 m NHN und bei Wasserfläche 3 bei 48,8 m NHN. Der aktuelle Wasserstand beträgt bei Wasserfläche 2 somit mindestens 2,9 m und bei Wasserfläche 3 mindestens 3,7 m.

Die modellierten Hydroisohypsen des Istzustandes lassen eine sehr gute Übereinstimmung mit den ermittelten Wasserständen erkennen (Abbildung 36). Die größten Abweichungen resultieren für den mittleren Steinbruch, hier liegt der modellierte Grundwasserstand um +2,6 m über dem Freiwasserstand. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten u. a. bezüglich der Anbindung des Freiwassers an das Grundwasser handelt es sich um eine akzeptable Modellabweichung.



Abbildung 36 Freiwasserstände in den aufgelassenen Steinbrüchen nördlich des KT Förderstedt, ermittelt anhand des DGM 5 und aktueller Orthophotos nach [LAVG 23-2] (rot, in [m

NHN)), und Hydroisohypsen im Muschelkalk als Modellergebnis für den Istzustand (ktf040_ist_01.fem)

Zeitliche Dynamik

Die in Tabelle 9 dargestellten, anhand aktueller Orthophotos ermittelten Wasserstände beschreiben lediglich die hydrologische Situation im Jahr 2023. Satellitenbilder aus den Jahren 2017-2022 belegen dagegen, dass die Wasserflächen 2 und 3 im Steinbruch Schenk & Vogel in diesem Zeitraum zeitweise nicht vorhanden waren. Um Hinweise auf die zeitliche Dynamik der Wasserflächen zu erhalten, wurden die frei verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten der Jahre 2017 bis 2023 ausgewertet. Berechnet wurde der Index NDWI (Normalized Difference Water Index), welcher sichere Rückschlüsse auf das Vorhandensein von Wasserflächen erlaubt. Der Index nimmt Werte zwischen -1 und 1 an, Wasserflächen kennzeichnen Werte im Bereich NDWI > 0. Aus den Satellitendaten kann geschlossen werden, dass im Steinbruch 2 von Schenk & Vogel in den Jahren 2019 und 2022 kein Freiwasser vorhanden war (vgl. Abbildung 37).

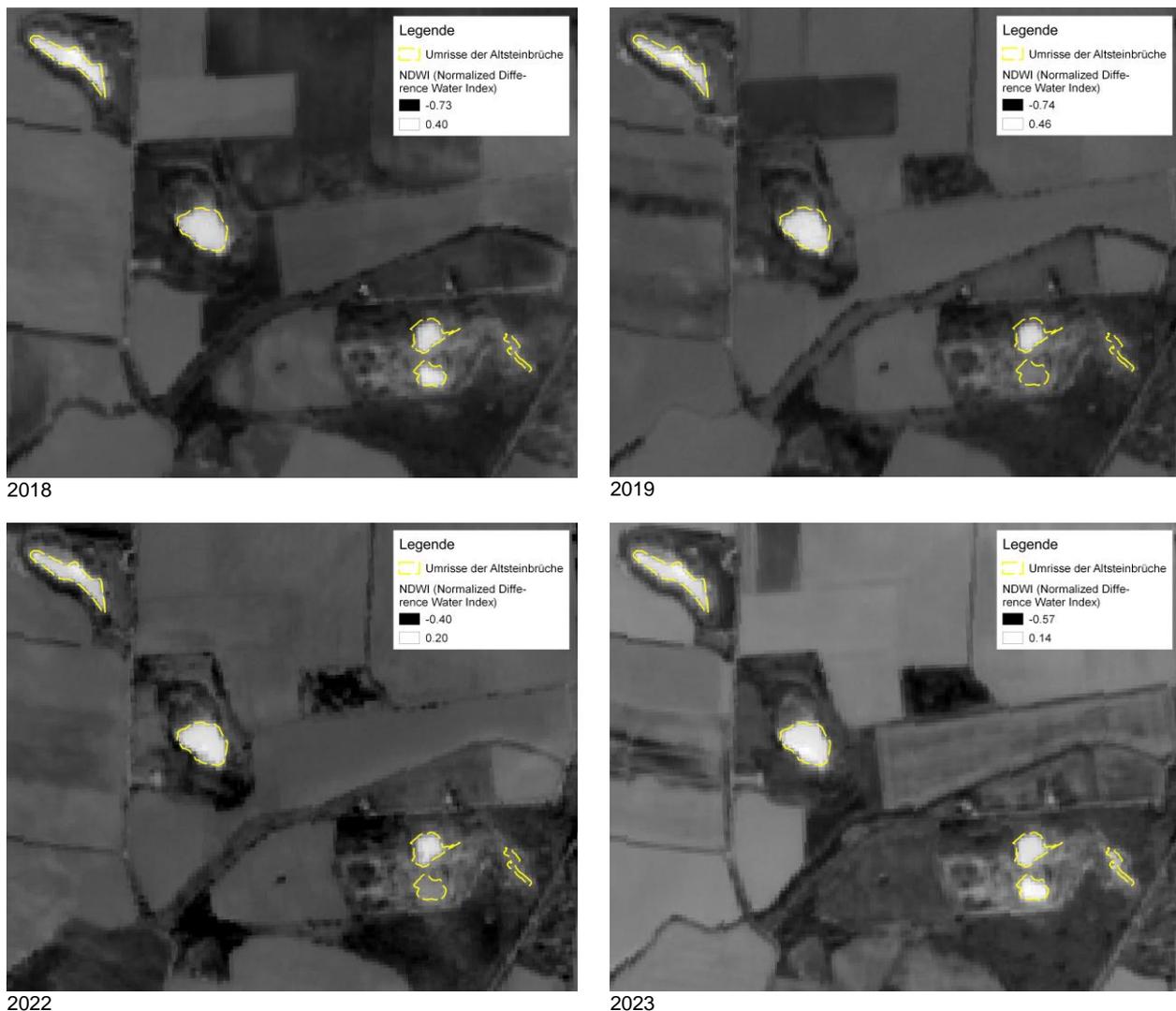


Abbildung 37 Auswertung der Sentinel-2-Satellitenimages, jeweils Zeitraum August-September, durch Berechnung des NDWI (Normalized Difference Water Index)

Die Daten zeigen, dass die Sohle des Steinbruchs 2 im ausgewerteten Zeitraum (Istzustand) im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels gelegen hat. In 5 von 7 ausgewerteten Jahren war in den Monaten August-September eine Wasserfläche vorhanden, in den Jahren 2019 und 2022 dagegen war die Fläche in diesen Monaten wasserfrei. Für die Wasserfläche 3 sind aufgrund deren geringer Größe keine belastbaren Aussagen möglich.

10.4.2 Prognose der maximalen Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens

Die maximale Absenkung im Bereich des Marbegrabens wurde mit einer zusätzlichen Modellvariante ermittelt. Die berechneten Wasserstände des Istzustandes wurden als Anfangswasserstand im Grundwasserleiter verwendet (Abschnitt 9, Abbildung 20 f.). Die Berechnung wurde für einen Simulationszeitraum von 15 Jahren durchgeführt. Innerhalb dieses Zeitraumes wird der Gleichgewichtszustand nahezu erreicht.

Bezüglich der Abbaugeometrie wurde angenommen, dass alle Abbausohlen im Norden des Abbaus vollständig geteuft wurden, d. h. die Abbautiefe am Nordrand beträgt gemäß Abbauplanung 15 m NHN (3. Abbausohle) und im Zentralbereich 0 m NHN (4. Abbausohle). Mittels der Wasserhaltung wird der Abbau vollständig entwässert, d. h. das Grundwasser im Muschelkalk kann am Nordrand bei 15 m NHN entlasten und wird im Zentralbereich auf dem Niveau der 4. Abbausohle gehalten. Hierzu wurde die Randbedingung 1. Art des Istzustandes übernommen, welche sich an der Stelle der aktuellen Wasserhaltung befindet (Zentraler Pumpensumpf), und auf das Niveau von -3 m NHN gesetzt. Zusätzlich wurde die Randbedingung für den späteren Endzustand berücksichtigt (vgl. Abbildung 29), womit erreicht wird, dass die 4. Abbausohle über ihre gesamte Ausdehnung vollständig entwässert wird. Die Geometrien der Innenkippen im Bereich der 3. und 4. Abbausohle wurden als „Freiwasser“ parametrisiert (k_f horizontal und vertikal = 1 m/s, $n_e = 1,0$). In Verbindung mit den beschriebenen Randbedingungen 1. Art wird damit erreicht, dass das Grundwasser nicht höher steigen kann als bis auf das Niveau der Abbausohlen (15 m NHN bzw. 0 m NHN).

Die Abbildung 38 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnung im NW-SE-Schnitt, welcher sowohl durch den Bereich der Altabbauverläufe als auch durch den Bereich der Wasserhaltung des KT Förderstedt verläuft. Die Geometrie der Altabbauverläufe sind im Modell nicht im Detail berücksichtigt, da diese die Grundwasserströmung im Muschelkalk nicht wesentlich beeinflussen. Die Grundwasseroberfläche liegt am Nordrand des KT Förderstedt auf der Höhe der 3. Abbausohle, der Abbau ist vollständig frei von Grundwasser.

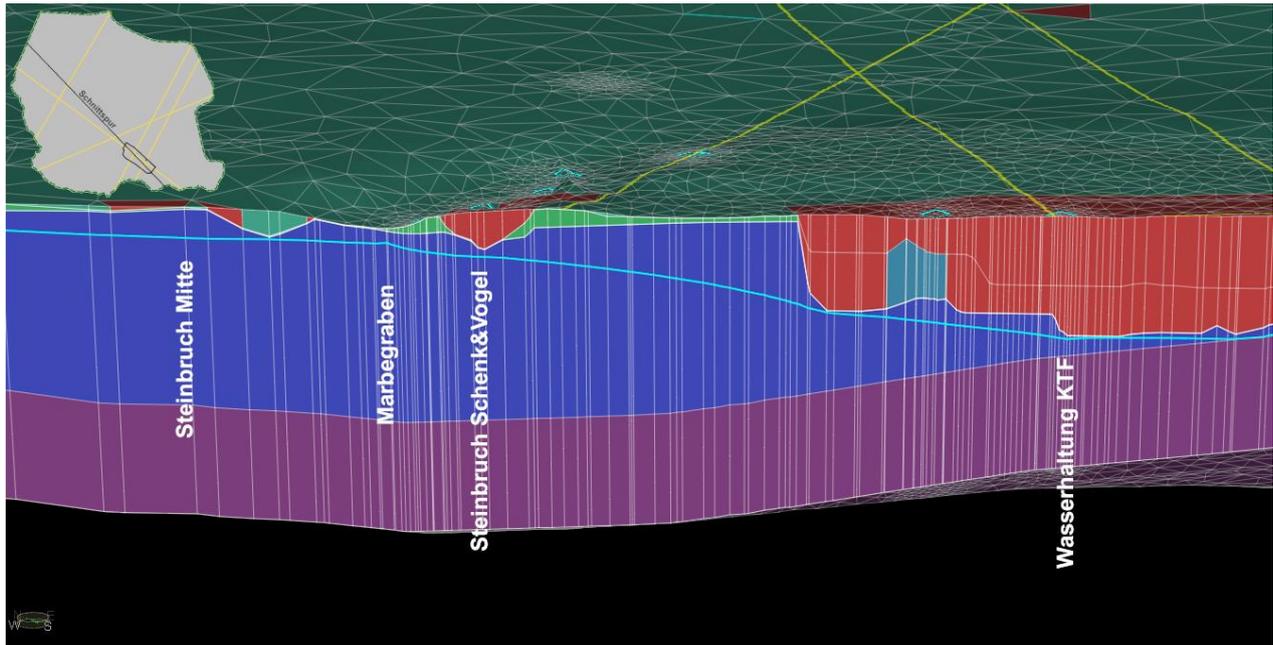


Abbildung 38 NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche bei maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens (die Geometrie der Altbaue wurde nicht detailliert nachgebildet)

Die Auswirkungen der Wasserhaltung auf die Grundwassersituation im Bereich der Altbaue und des Marbegrabens ist in der Abbildung 39 dargestellt. Die dargestellte Absenkung ist auf den Istzustand bezogen. Es resultiert eine zusätzliche Absenkung von <math><1\text{ m}</math> am Marbegraben und im Bereich der nordwestlich des Marbegrabens befindlichen Altbaue. Im Bereich des Steinbruchs Schenk&Vogel südlich des Marbegrabens resultiert eine zusätzliche Absenkung von 3...4 m.



Abbildung 39 Absenkung bei maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens ausgehend vom Istzustand

Schlussfolgerungen bezüglich der Veränderung des Freiwassers in den Altabbauen

Da davon ausgegangen werden muss, dass das Freiwasser der tieferen Abbaue hydraulisch an das Grundwasser angebunden ist, muss mit einem Rückgang des Freiwasserspiegels entsprechend der zusätzlichen Grundwasserabsenkung gerechnet werden. Diese ist für die Altabbau nordwestlich des Marbegrabens mit <1 m nur gering, die Situation verändert sich insbesondere im Hinblick auf die große Tiefe dieser Gewässer damit nicht wesentlich.

Im Bereich des Steinbruchs Schenk&Vogel kann von einem zeitlich begrenzten Rückgang der Wasserspiegel um 3 m bis maximal 4 m ausgegangen werden. Im Fall der Wasserfläche 1 beträgt die Wassertiefe dann noch mindestens 8 m, die Freiwasserfläche wird hier aufgrund der steilen Böschungen nur unwesentlich kleiner. Im Fall der Wasserflächen 2 und 3 kann der Rückgang des Grundwasserstandes dazu führen, dass diese Abbaue im Vergleich zum derzeitigen Zustand häufiger trockenfallen.

10.5 Auswirkungen auf ausgewählte Schutzgüter

10.5.1 Landwirtschaft

Die Abbildung 40 zeigt die zusätzliche Absenkung, die mit der Vertiefung und Erweiterung des Abbaus im KT Förderstedt verbunden ist, als Ergebnis der Grundwassermodellierung. Die Absenkung ist räumlich begrenzt. Als Grenze die Beeinflussung wird im Folgenden die 1-m-Isolinie

der berechneten Absenkung betrachtet. Diese reicht im Norden bis zur Marbe und an den Rand der Ortslage Förderstedt, im Süden bis zur Verbreitungsgrenze des Muschelkalks bzw. bis zur Bode und im Osten etwa bis zur Autobahn A14.

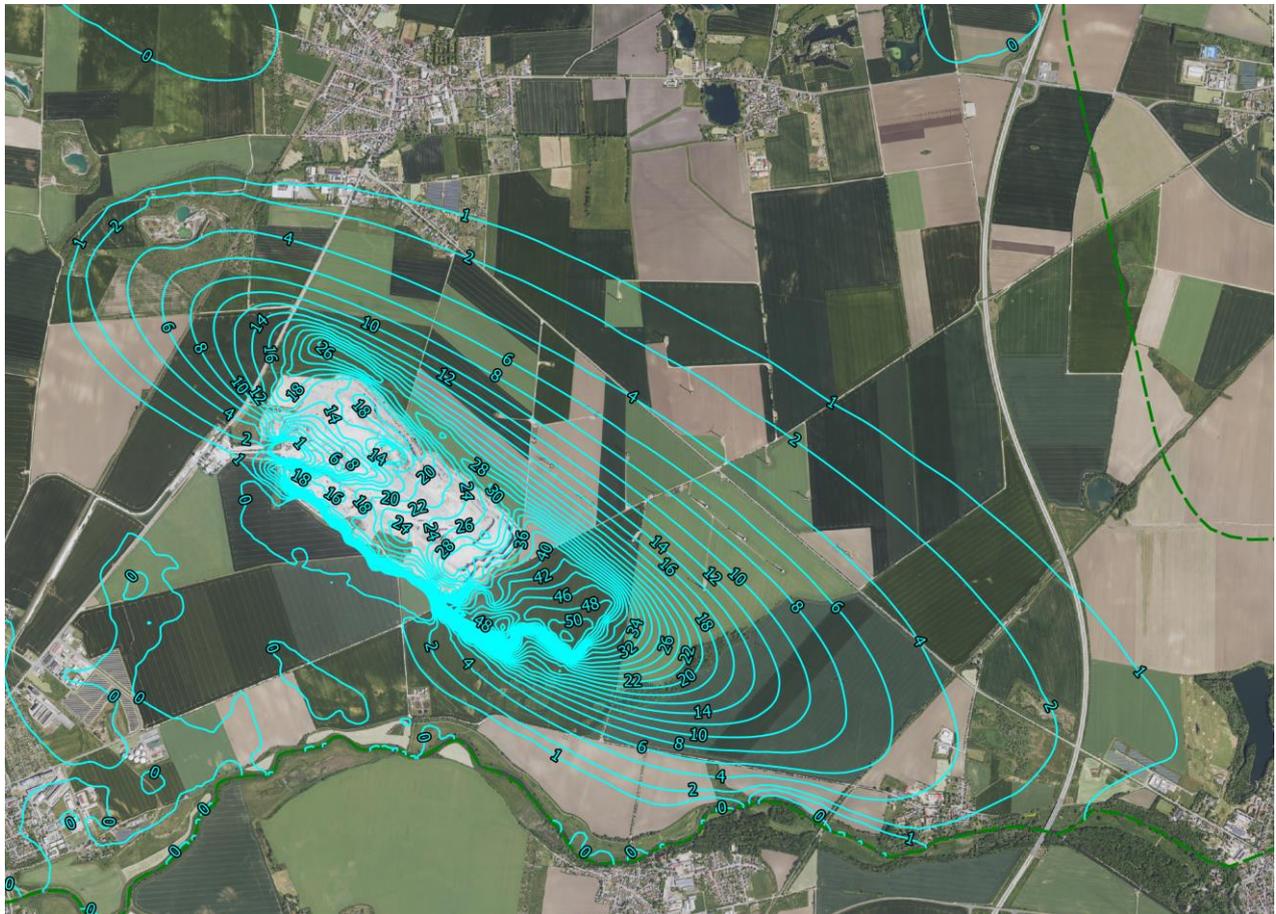


Abbildung 40 Zusätzliche Absenkung im Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung ausgehend vom Istzustand [m]

Eine Beeinflussung der landwirtschaftlichen Nutzung durch die Absenkung ist nur dann gegeben, wenn auf den Nutzflächen im Istzustand eine Nachlieferung von Wasser aus dem Grundwasser in den Wurzelraum stattfindet. In diesem Fall kann von einer positiven Auswirkung des oberflächennahen Grundwasserstandes auf den landwirtschaftlichen Ertrag ausgegangen werden, da das Niederschlagsdefizit während der Vegetationsperiode vermindert wird. Dies erfordert Grundwasserflurabstände im Bereich des Grenzflurabstands, d. h. der Grundwasserflurabstand muss kleiner sein als die Summe aus der Mächtigkeit des effektiven Wurzelraumes und der kapillaren Aufstiegshöhe. Wird von einer typischen effektiven Durchwurzelungstiefe für landwirtschaftliche Ackernutzung von 1,0 m und einer relativ hohen kapillaren Aufstiegshöhe von 2,0 m ausgegangen, ist eine Nachlieferung von Wasser aus dem Grundwasser in den Wurzelraum möglich, wenn der Grundwasserflurabstand kleiner oder gleich 3,0 m beträgt.

Der Grundwasserflurabstand liegt als Ergebnis der Grundwassermodellierung vor, er ist in Abbildung 41 dargestellt. Bereiche mit Grundwasserflurabständen von $\leq 3,0$ m liegen demnach sowohl nördlich des Absenkungsbereiches zwischen Förderstedt und Üllnitz am Oberlauf des Marbegrabens als auch unmittelbar an der Bode. An der Bode bei Löbnitz wird keine Landwirtschaft betrieben. Insgesamt wurden somit keine Bereiche festgestellt, in denen durch die Grundwasserabsenkung die Wasserversorgung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen beeinträchtigt wird.

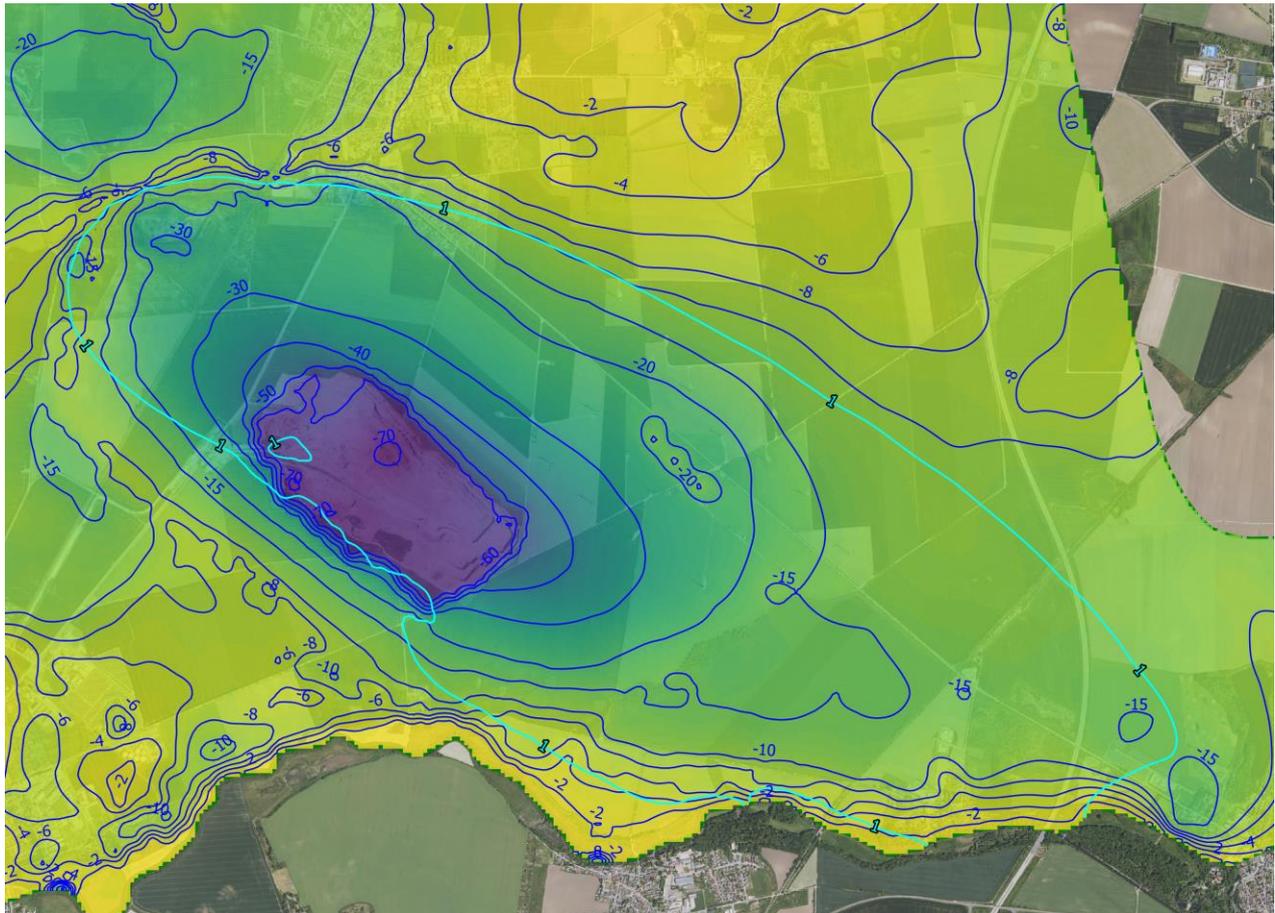


Abbildung 41 Grundwasserflurabstand in [m] (blaue Isolinien) und die Grenze des Bereiches der zusätzlichen Absenkung (cyane Isolinie)

10.5.2 Wasserabhängige Ökosysteme

Ebenso wie die landwirtschaftlichen Flächen werden wasserabhängige Ökosysteme und Biotope dann beeinträchtigt, wenn der als Standortbedingung erforderliche hohe Grundwasserstand durch die Absenkung infolge der Erweiterung des Tagebaues zurückgeht. Im Bereich der Waldflächen am Rennegraben beträgt der modellierte Grundwasserflurabstand bereits im Istzustand etwa 15 m (vgl. Abbildung 42). Auch im Bereich der Marbe liegt der modellierte Grundwasserstand mehr als 5 m unter der Geländeoberkante. Ein Grundwasseranschluss ist in diesen Bereichen bereits im derzeitigen Zustand nicht vorhanden.

Der Bereich der Bodeniederung liegt überwiegend außerhalb des Absenkungsbereiches. Lediglich für eine kurze Fließstrecke bei Löbnitz wurde eine Grundwasserabsenkung von ca. 1 m berechnet (vgl. Abbildung 42). Die hier verbreiteten Biotope sind an das Oberflächengewässer Bode gebunden, dessen Wasserstand durch den Tagebau nicht beeinflusst wird. Im unmittelbaren Bereich des Flusses ist von einer ständigen Nachlieferung von Oberflächenwasser auszugehen.

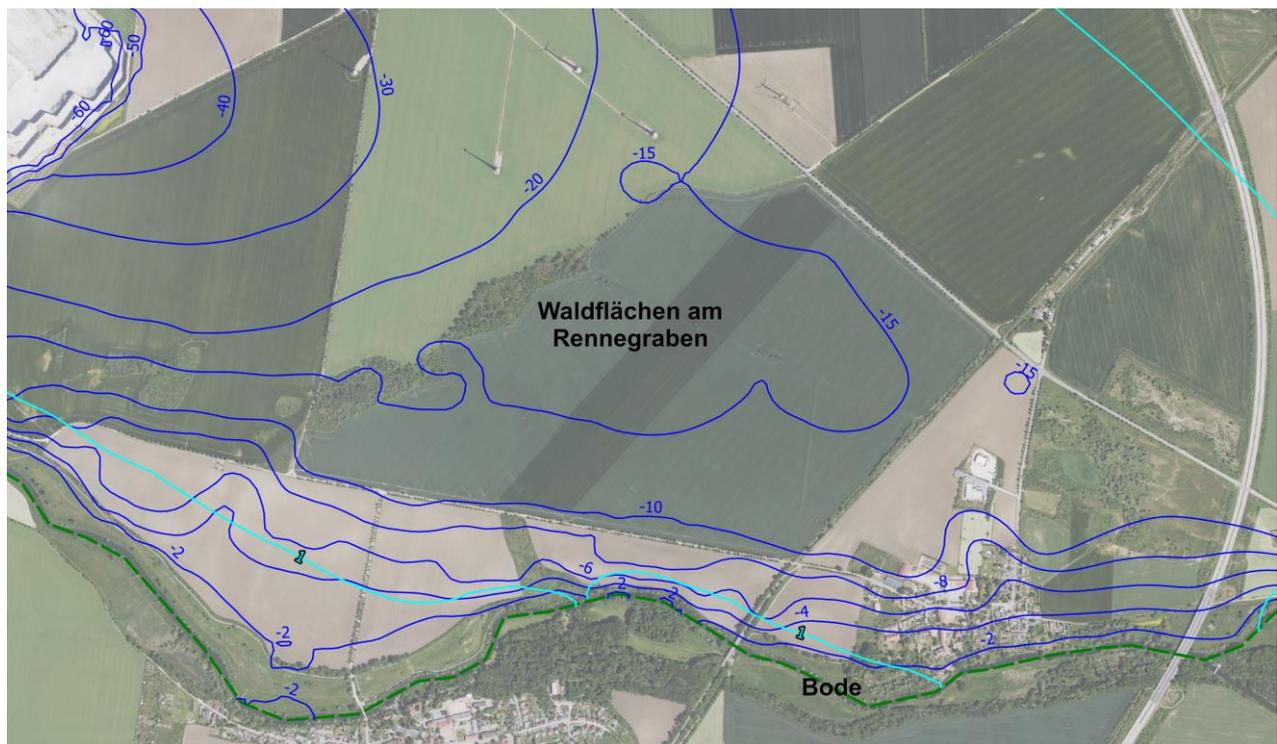


Abbildung 42 Grundwasserflurabstand in [m] (blaue Isolinien) und die Grenze des Bereiches der zusätzlichen Absenkung (cyane Isolinie) im Bereich Rennegraben und Bodeniederung

11 Wiederanstieg nach Abschluss der Wasserhaltung im Kalksteintagebau

Der Wiederanstieg des Grundwasserstandes nach Abschluss der Wasserhaltung wurde auf der Basis der Berechnung zum Zustand des maximalen Grundwassereingriffs durchgeführt, welcher dem Endzustand des aktiven Abbaus entspricht. Es wurden die Randbedingung zur Wasserhaltung aus dem Modell entfernt, so dass im Tagebautiefsten kein Grundwasser mehr gefördert wird. In der Folge beginnt bereits nach kurzer Zeit die Entstehung einer Freiwasserfläche, die sich zunächst auf die 4. Abbausohle beschränkt.

Die zeitliche Veränderung der Freiwasseroberfläche und der sich ausbildende Bewuchs auf den Kippenflächen erfordern die Anpassung der Grundwasserneubildung in diesen Bereichen. Die Freiwasserfläche wurde mit einer Zehrrate von -175 mm/a zur Berücksichtigung der Freiwasserbilanz belegt (=Niederschlag, vermindert um Freiwasserverdunstung). Diese Zehrrate wurde in [IHU 08-1] anhand von regionalen Vergleichswerten bestimmt. Zur Anpassung der oberen Randbedingung an die sich vergrößernde Freiwasserfläche wurde die Modellrechnung periodisch durchgeführt. Nach Veränderungen der Freiwasserfläche wie z. B. nach Überflutung der 3. Abbausohle wurde die Flächenbelegung für die obere Randbedingung entsprechend angepasst.

Zusätzlich zur Veränderung der Freiwasserfläche wurde die Veränderung der Grundwasserneubildung durch den sich ausbildenden Bewuchs auf den Kippenflächen berücksichtigt. Zur Einschätzung der Verdunstung der Kippenflächen wurden die ArcEGMO-Gebietsbilanzen des LHW genutzt [LHW 22-3]. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 10 Annahmen zur Wasserhaushaltsbilanz der Kippenflächen

Hydrotop	Annahmen zur Wasserhaushaltsbilanz auf der Grundlage von [LHW 22-3]
Unbewachsene Kippenflächen (Anfangszustand)	Der Abfluss R beträgt 60 % des Niederschlages P_{kor} bzw. 328 mm/a analog Abschnitt 7.2.1. $GWN = R = 328 \text{ mm/a}$
Zwischenzustand Jahr 2 bis 10 mit Grünlandbewuchs und aufkommenden Gehölzen (Kippenböschungen, die unter Wasser liegen werden, bleiben ohne Gehölzbewuchs)	Gesamtverdunstung $ETR = 450 \text{ mm/a}$ Niederschlag $P_{\text{kor}} = 547 \text{ mm/a}$ (Abschnitt 7.2.1) Abfluss $R = 547 \text{ mm/a} - 450 \text{ mm/a} = 97 \text{ mm/a} = GWN$
Langzeitzustand ab Jahr 11	$GWN = 35 \text{ mm/a}$ entsprechend dem Umland
Freiwasser	$GWN = -175 \text{ mm/a}$

In [IHU 08-1] wurde ein Wiederanstieg des Freiwasserspiegels nach 50 Jahren auf 53 m NN berechnet, anschließend steigt dieser nur noch langsam an und erreicht im Langzeitzustand (>100 a) eine Höhe von 63,4 m NN.

11.1 Zeitlicher Verlauf des Wiederanstieges

Der zeitliche Verlauf des berechneten Wasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung ist in der Abbildung 43 grafisch dargestellt.

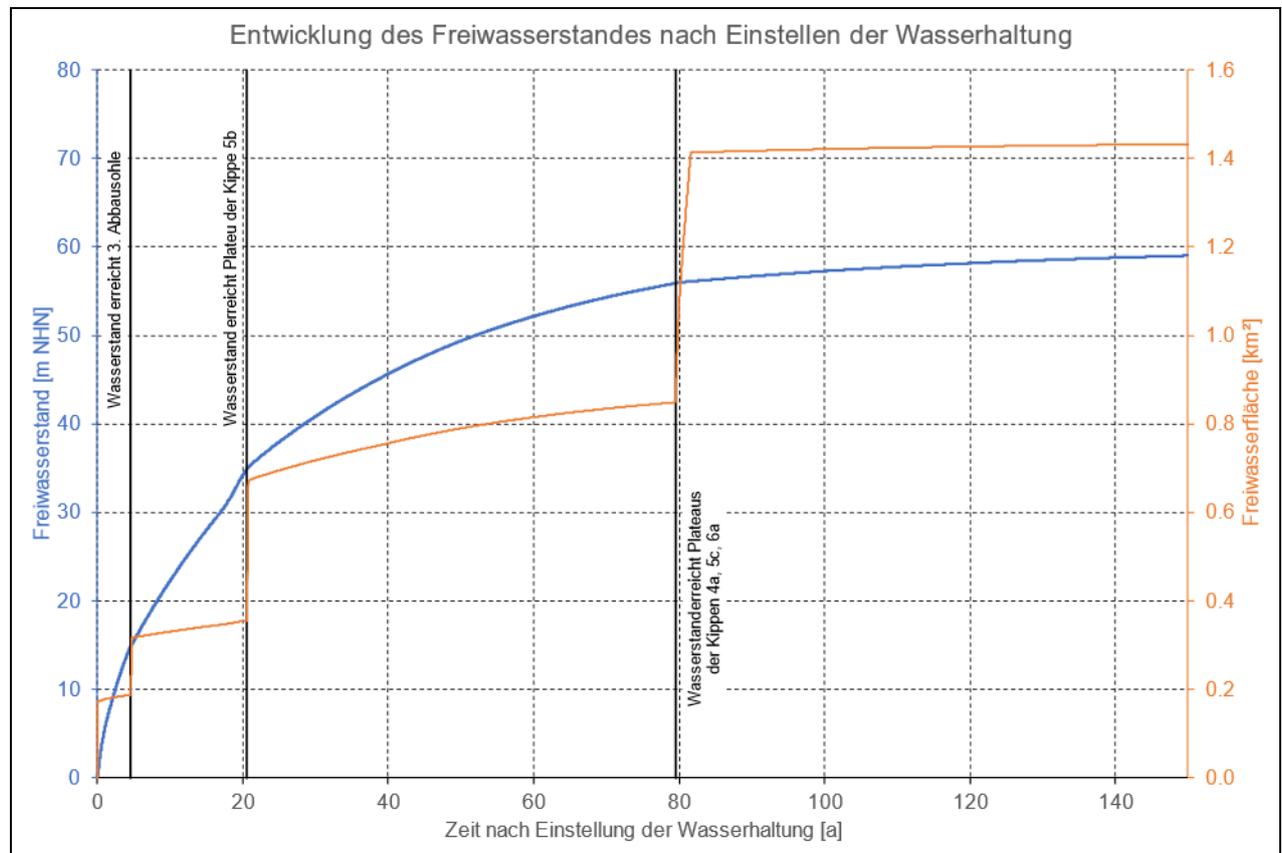


Abbildung 43 Entwicklung des berechneten Freiwasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung

Der Wiederanstieg erfolgt in den ersten Jahren zügig, wobei hauptsächlich ein Potenzialausgleich aus dem umliegenden Gestein stattfindet. Bereits im 5. Jahr nach Einstellen der Wasserhaltung erreicht der berechnete Wasserstand die 3. Abbausohle bei 15 m NHN. Kurz vor der Überflutung dieser Sohle erreicht die Freiwasserfläche die in der Abbildung 44 dargestellte Verbreitung.

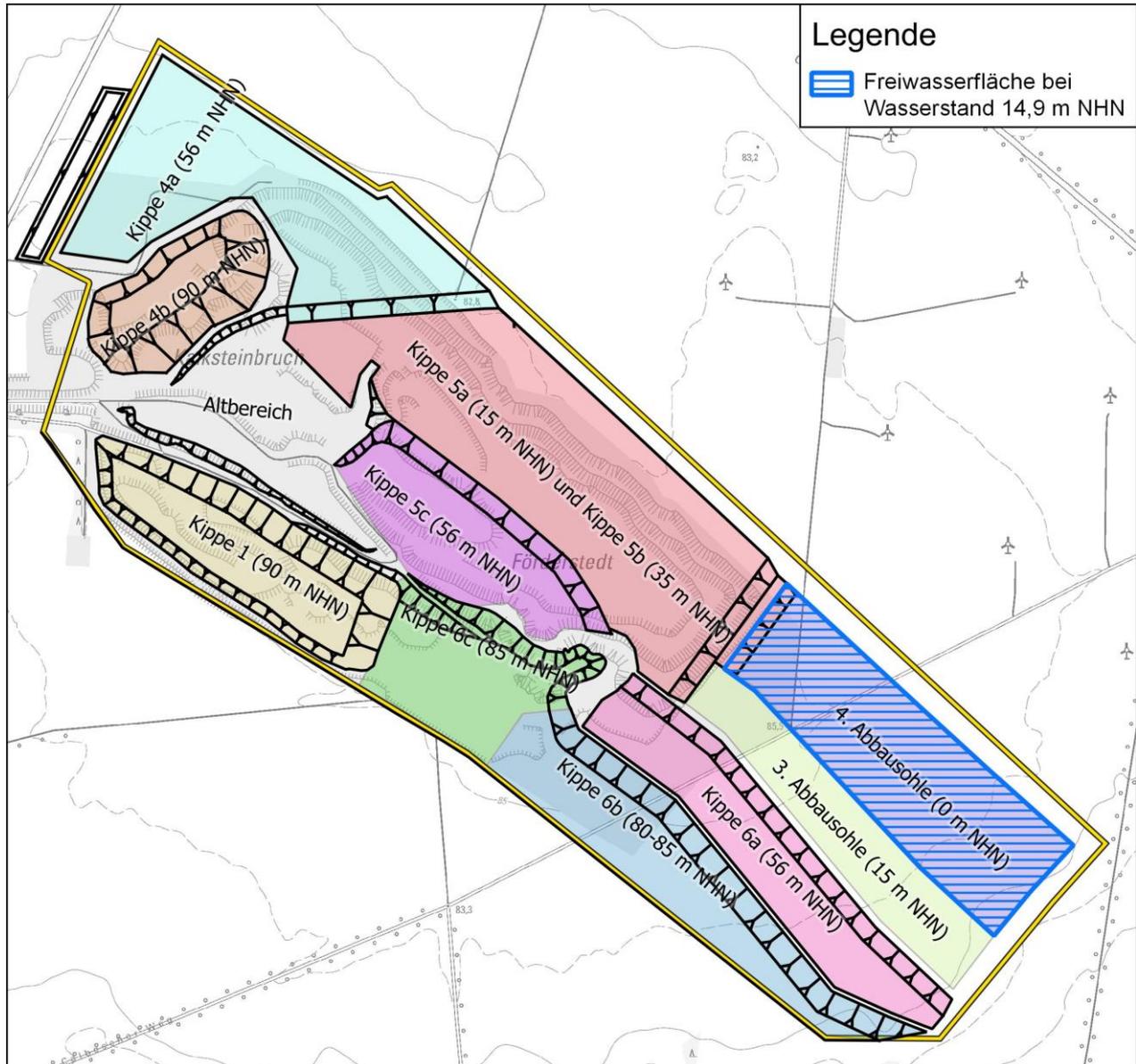


Abbildung 44 Freiwasserfläche bei Wasserstand 14,9 m NHN

Mit der Flutung der 3. Abbausohle etwa im 5. Jahr vergrößert sich die Freiwasserfläche. Nach etwa 20 Jahren wird auch die Oberkante der geplanten Kippe 5b bei 35 m NHN erreicht. Die Verbreitung der Wasserfläche kurz vor der Flutung des Kippenplateau bei 35 m NHN ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

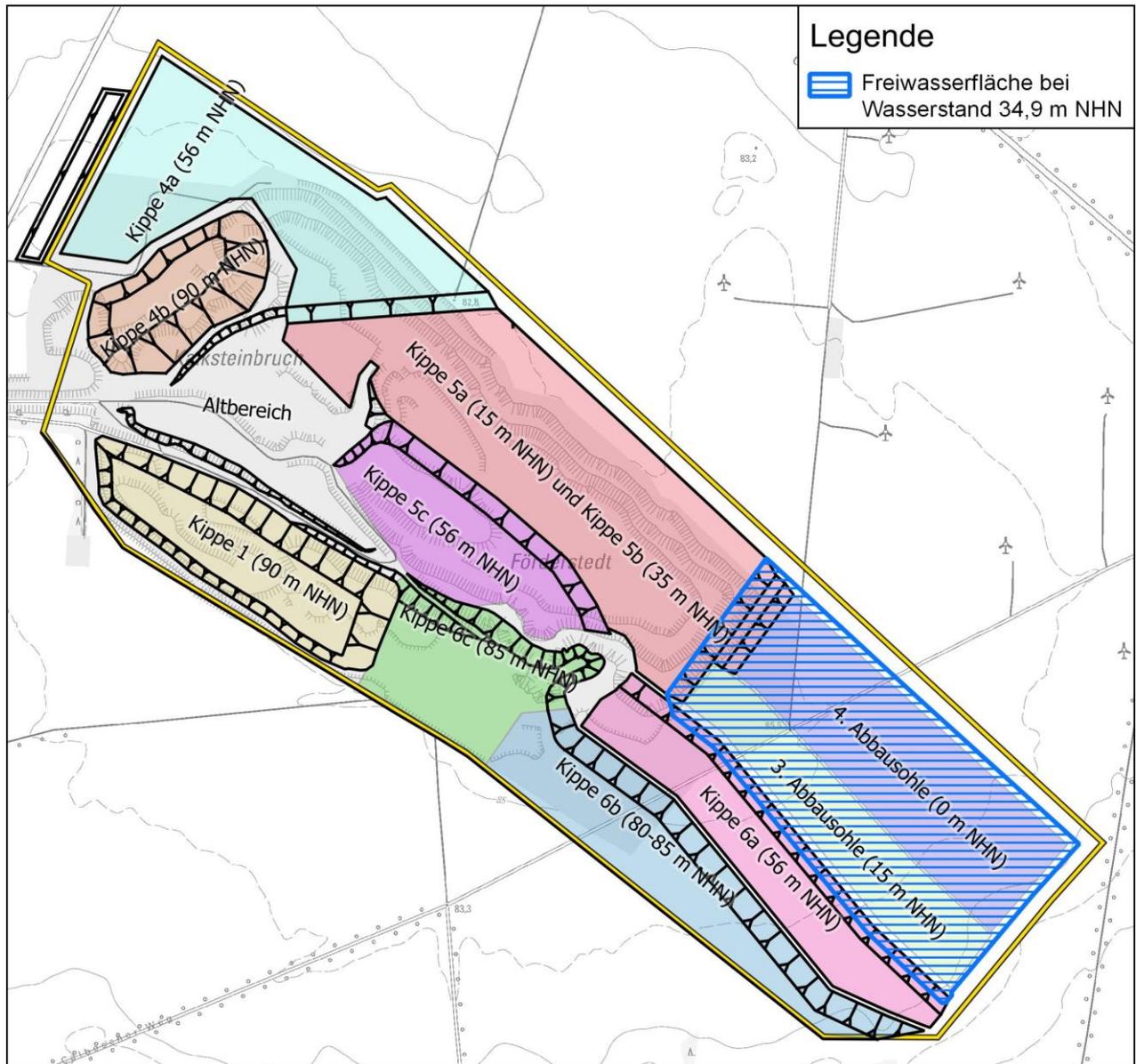


Abbildung 45 Freiwasserfläche bei Wasserstand 34,9 m NHN

Etwa 80 Jahre Simulationszeit nach der Einstellung der Wasserhaltung erreicht der Wasserstand im Modell die Plateaus der Kippen 4a, 5c und 6a. Die Freiwasserfläche vor der Überflutung dieser Plateaus ist in Abbildung 46 dargestellt.

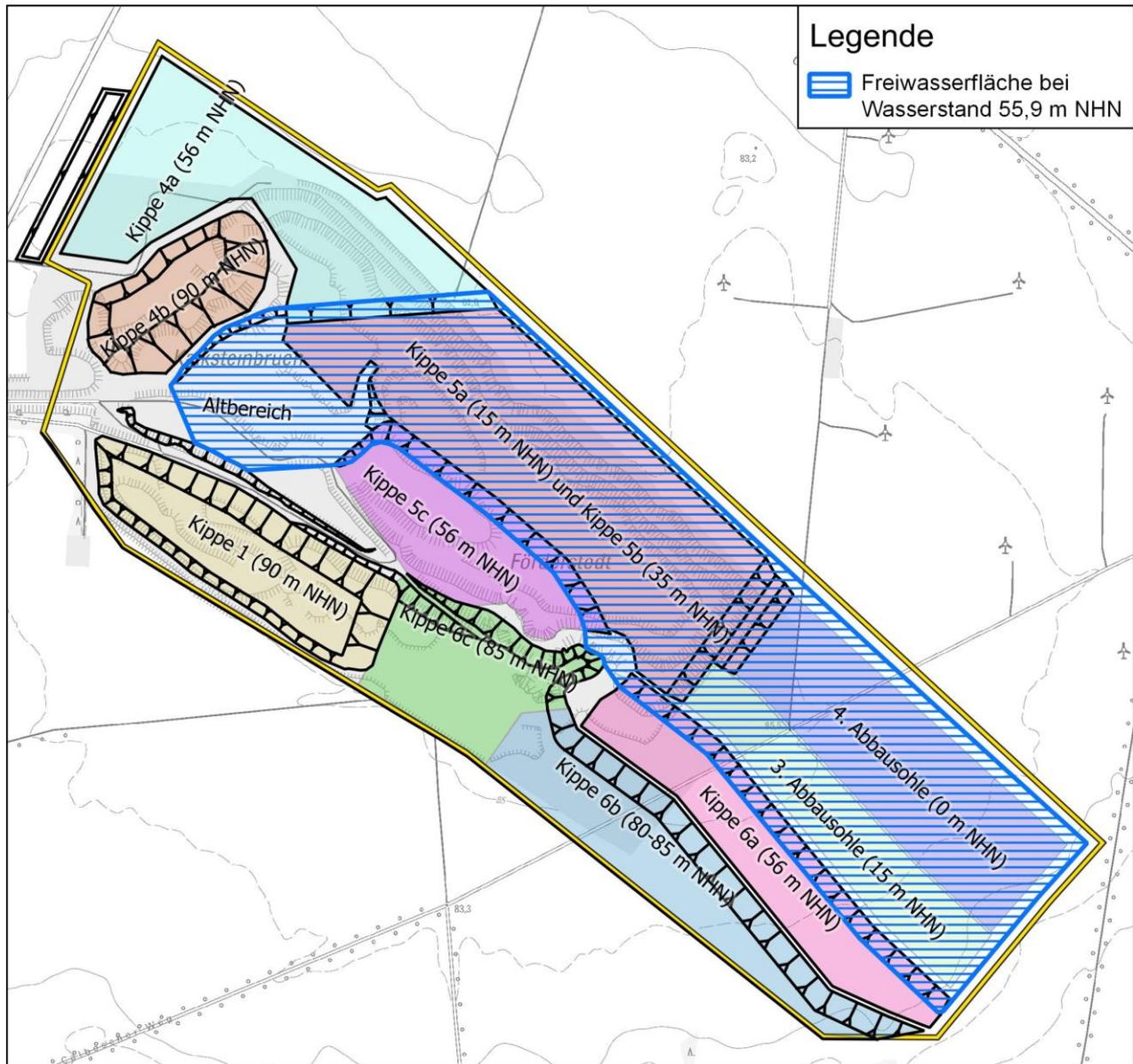


Abbildung 46 Freiwasserfläche bei Wasserstand 55,9 m NHN

Nachdem der berechnete Wasserstand nach ca. 80 Jahren im Modell auch die Plateaus der Kippen 4a, 5c und 6a bei 56 m NHN erreicht hat, steigt er nur noch langsam an. Nach der Überflutung der genannten Kippenplateaus erreicht die Freiwasserfläche bereits ihre maximale Ausdehnung (vgl. Abbildung 43).

Nach ca. 100 a beträgt der berechnete Freiwasserstand 57,3 m NHN, nach 150 Jahren 59,0 m NHN. Die Verbreitung der Freiwasserfläche ist für den Wasserstand 59,0 m NHN in der Abbildung 47 dargestellt.

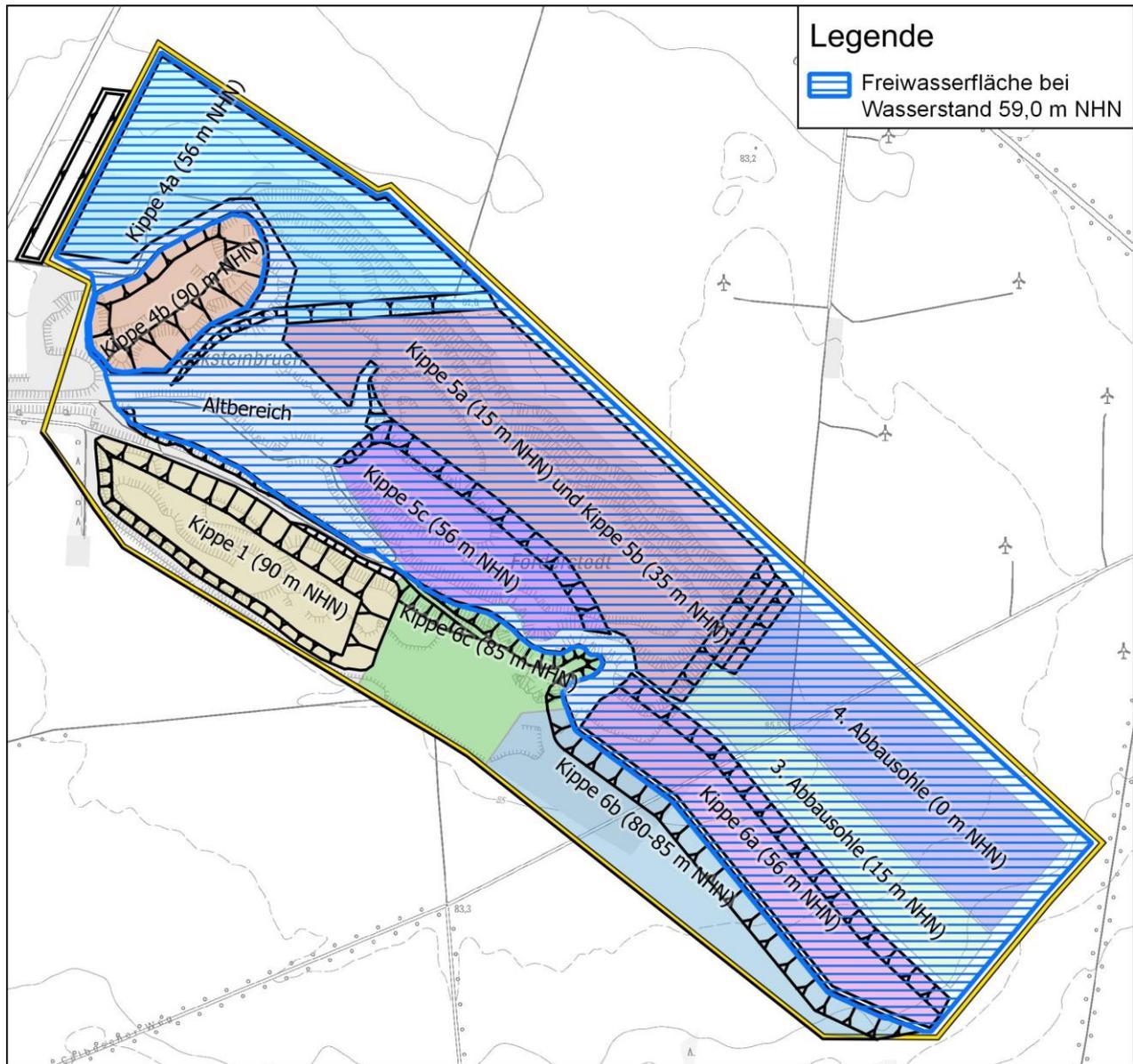


Abbildung 47 Freiwasserfläche bei Wasserstand 59,0 m NHN

Die Berechnung wurde für einen 150jährigen Simulationszeitraum durchgeführt. Am Ende dieses Zeitraums steigt der berechnete Freiwasserstand noch leicht an. Anhand der logarithmischen Darstellung in Abbildung 48 kann abgeschätzt werden, dass im Langzeit-Gleichgewichtszustand ein Endwasserstand von ca. 60 m NHN erreicht wird.

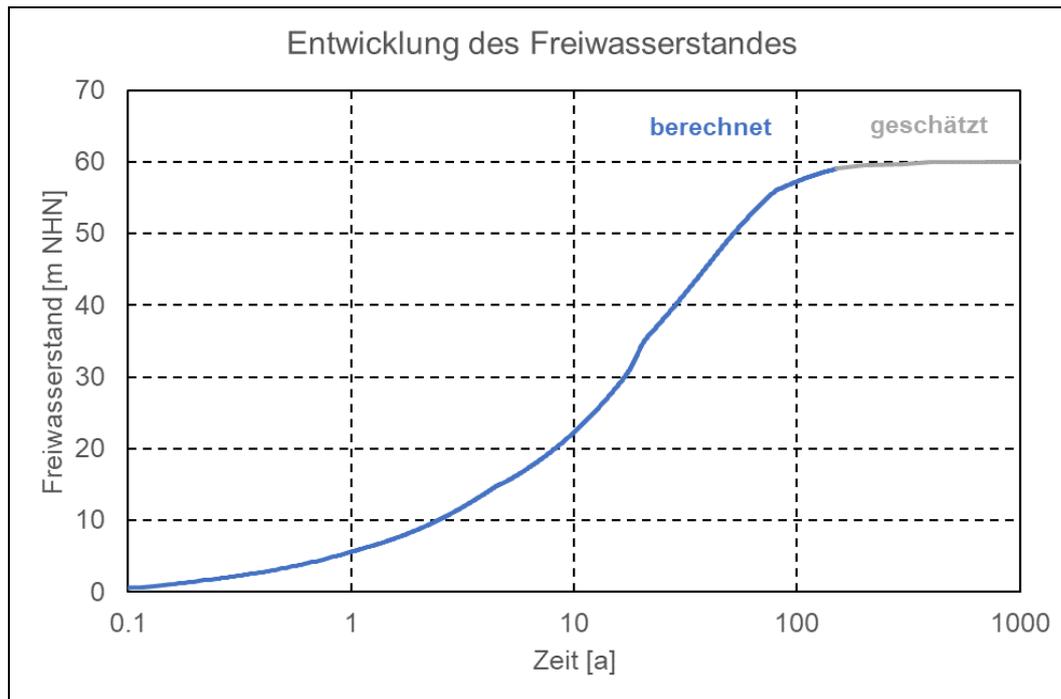


Abbildung 48 Entwicklung des berechneten Freiwasserstandes nach Einstellen der Wasserhaltung (logarithmische Darstellung)

11.2 Grundwassersituation im Endzustand

Der Endzustand unterscheidet sich bezüglich der hydrologischen Bedingungen vom historischen Zustand vor Beginn des Kalksteinabbaus, auch wenn das hydrologische Gleichgewicht nach einer langen Zeit wieder erreicht ist und keine aktiven Beeinflussungen durch Wasserförderungen mehr stattfinden. Eine Ursache ist die Geometrie der entstandenen wassergefüllten Hohlform, welche im historischen Zustand nicht vorhanden war. Darüber hinaus stellt die Freiwasserverdunstung eine zusätzliche Grundwassersenke dar.

Die wassergefüllte Hohlform ist an das Grundwasser angeschossen (Grundwassersee). Das Freiwasser bewirkt in solchen Fällen eine Nivellierung des Wasserstandes, so dass der Grundwasserstand im unmittelbaren Anstrom etwas tiefer liegen und im Abstrom etwas höher wird als im historischen Zustand. Diese Wirkung kann vor allem im Anstrom zu relevanten dauerhaften Rückgängen des Grundwasserspiegels führen, wenn der Höhenunterschied zwischen An- und Abstrom groß ist. Dies ist umso mehr der Fall, je größer die Distanz zwischen An- und Abstrom ist und je tiefer die Entlastung auf der Abstromseite liegt. Im Fall des Kalksteintagebaus Förderstedt ist jedoch das hydraulische Gefälle sehr gering. Der Tagebau liegt auf der ehemaligen Grundwasserscheide zwischen dem Marbegraben und der Bode, wo kaum Höhenunterschiede vorhanden sind. Veränderungen allein aufgrund der Geometrie des Abbaus bzw. Freiwassers sollten deshalb vernachlässigbar gering sein und im Bereich weniger Dezimeter liegen.

Die Freiwasserverdunstung des Grundwassersees hat einen bedeutenderen Einfluss auf den Endwasserstand nach Erreichen des hydrologischen Gleichgewichtes. Da die Freiwasserverdunstung dem Betrachtungsgebiet Wasser entzieht, führt sie dazu, dass der Wasserstand im Endzustand tiefer liegen wird als im historischen Zustand ohne Freiwasser. Die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet ist insgesamt gering, deshalb ist diese zusätzliche Senke nicht zu vernachlässigen.

Die Ergebnisse der Berechnung des Gleichgewichtszustandes im Endzustand nach Flutung unter Verwendung einer Zehrrate für die Freiwasserfläche von -175 mm/a sind in Form der Hydroisohypsen für den Grundwasserleiter Muschelkalk und der Darcy-Strömungsrichtungen in Abbildung 49 dargestellt. Die Marbebrunnen wurden als in Betrieb befindlich angenommen mit den in Abschnitt 7.2.2 dargestellten Fördermengen. Nach einem 150jährigen Simulationszeitraum stellt sich ein Freiwasserstand im Modell von 59 m NHN ein. Nach weiterer Liegezeit nähert sich der Wasserstand asymptotisch an die Höhe von 60 m NHN an (vgl. Abbildung 48).

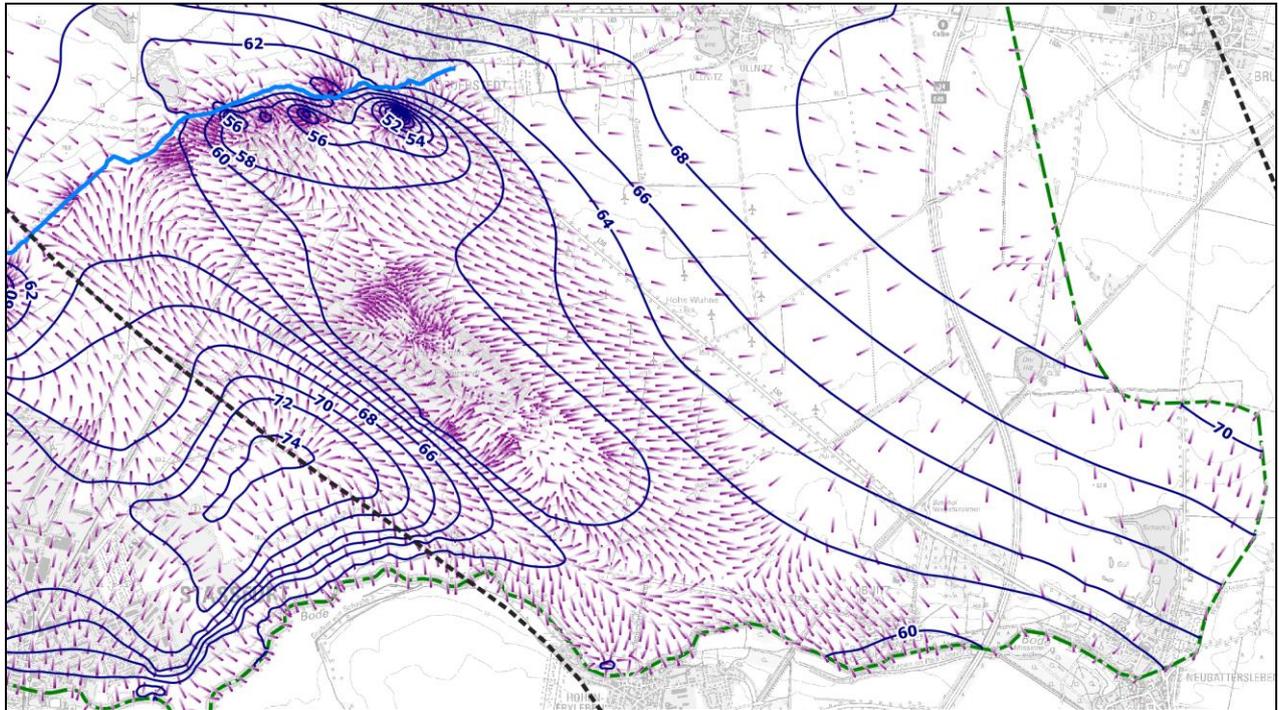


Abbildung 49 Berechnete Hydroisohypsen im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung und Strömungsvektoren im Grundwasserleiter Muschelkalk (ktf040_renat.fem)

Die in Abbildung 49 dargestellten Hydroisohypsen zeigen eine flache Depression im Bereich des späteren Freiwassers des Kalksteintagebaus, welche sich auch im SW-NE-Schnitt der Abbildung 51 andeutet. Diese ist sowohl auf die Freiwasserverdunstung zurückzuführen als auch auf die Absenkung des Grundwasserstandes durch die Marbebrunnen, welche auch das Freiwasser des Tagebaus beeinflusst.

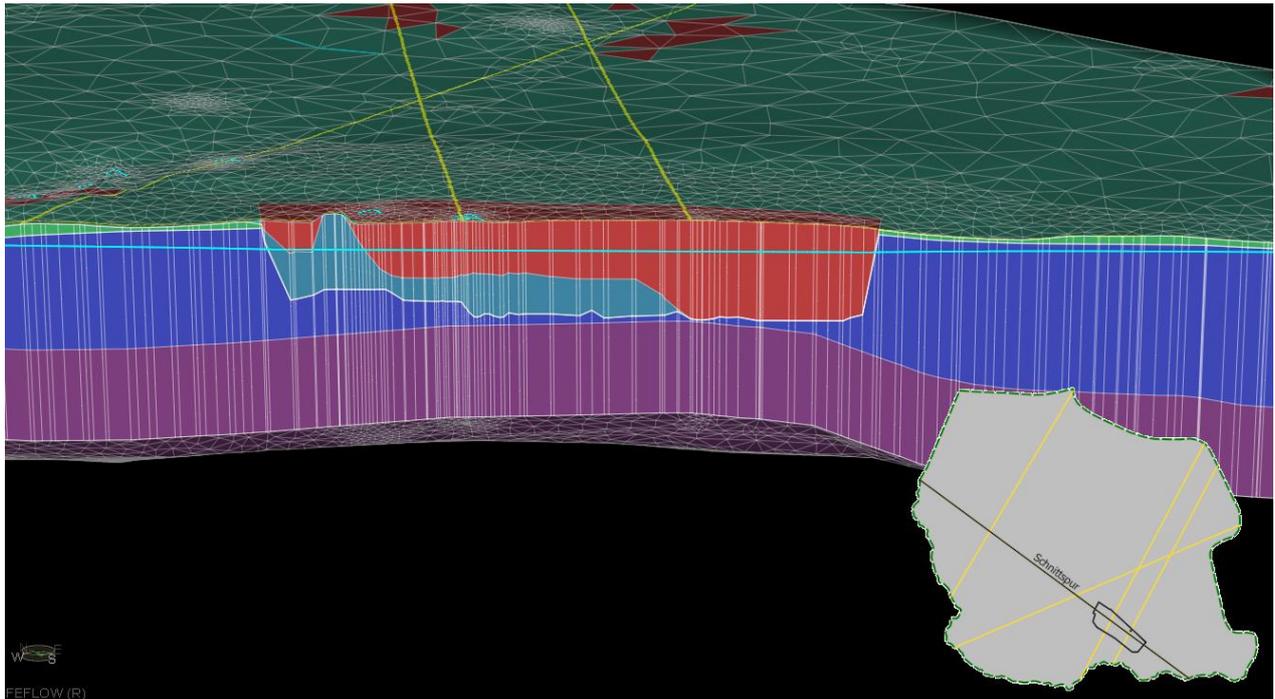


Abbildung 50 NW-SE-Schnitt mit Darstellung der Grundwasseroberfläche im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_renat.fem)

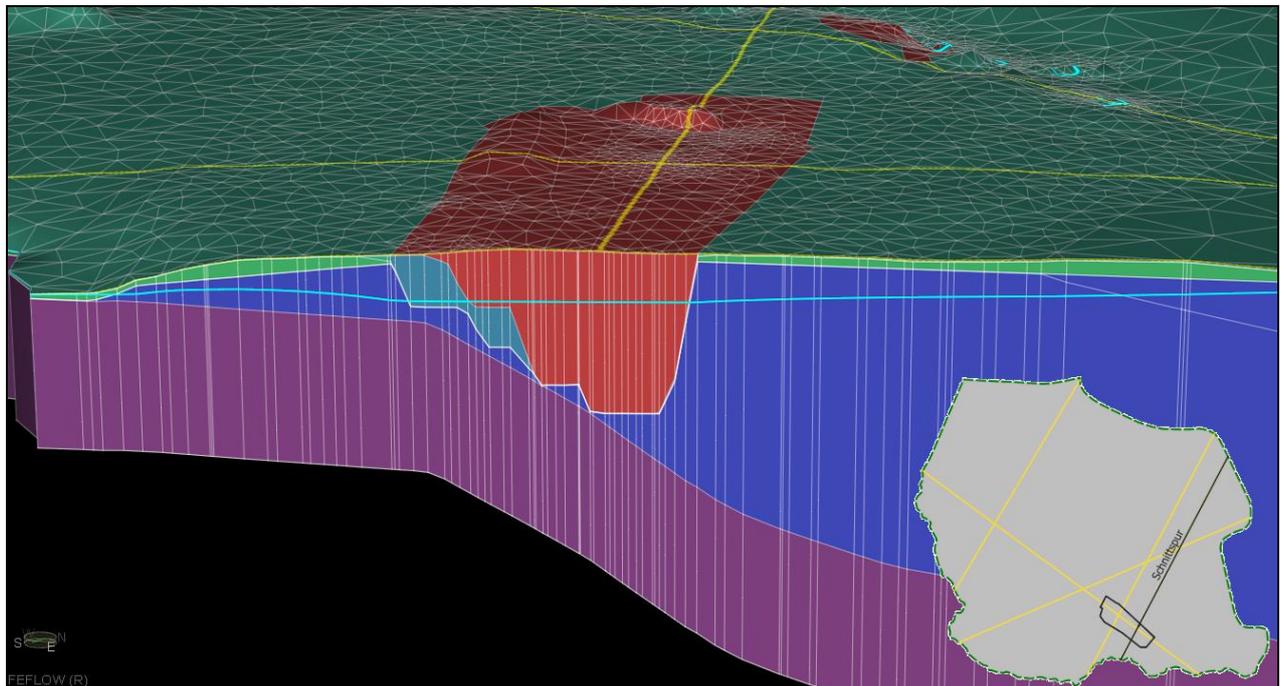


Abbildung 51 SW-NE-Schnitt mit Darstellung der der Grundwasseroberfläche im Langzeitzustand 150 Jahre nach Einstellen der Wasserhaltung (Druckpotenzial = 0, cyane Linie) (ktf040_renat.fem)

Orientierende Berechnungen für den Fall, dass auch die Marbebrunnen kein Grundwasser mehr fördern, lassen auf einen Endwasserstand im Tagebau von ca. 63 m NHN im Tagebau schließen, was dem in [IHU 08-1] prognostizierten Wert entspricht. Der Endwasserstand im Tagebau

Förderstedt wird somit von den umliegenden Grundwassernutzungen beeinflusst und liegt zwischen 60 m NHN und 63 m NHN:

- Förderrate Marbebrunnen analog Istzustand: $h = 60$ m NHN
- Marbebrunnen nicht mehr in Betrieb: $h = 63$ m NHN

12 Zusammenfassung der Modellergebnisse

Die numerische Modellierung der Grundwasserströmung wurde mit dem Ziel durchgeführt, Art und Umfang der Beeinflussung des Grundwassers durch die Wasserhaltung des Kalksteintagebaus Förderstedt zu ermitteln. Hierzu wurde der aktuelle Zustand mit einem Strömungsmodell nachgebildet, die wesentlichen Parameter anhand der gemessenen Wasserstände kalibriert und Berechnungen mit dem kalibrierten Modell zur Prognose zukünftiger Zustände durchgeführt. Dabei wurde auch der Wiederanstieg des Grundwassers und des Oberflächenwassers im Tagebaurestloch betrachtet. Es wurden die folgenden Modellszenarien berücksichtigt.

Istzustand

Umfasst den Zeitraum von 2007 (Modellierung IHU/WT) bis 2022. Die ausgewerteten Ergebnisse charakterisieren den Zustand der Grundwasserströmung zu Ende dieser Simulationsperiode, d. h. etwa um das Jahr 2022. Die Modellkalibrierung erfolgte anhand des Istzustandes.

Zustand des maximalen Eingriffs in die Grundwasserströmung

Berücksichtigung zweier zeitlicher Zustände:

- maximaler Eingriff in die Grundwasserströmung im Bereich des Marbegrabens
- maximaler Eingriff in die Grundwasserströmung im Bereich der Bode

Die maximale Beeinflussung im Bereich des Marbegrabens findet statt, wenn die 3. Abbausohle im Norden des KT erreicht und die Entwässerung der 4. Sohle bereits stattfindet, aber noch keine Innenkippen auf diesen Abbausohlen angelegt wurden. Der Grundwasserspiegel liegt am Nordrand maximal bei 15 m NHN und im zentralen Bereich bei 0 m NHN.

Die maximale Beeinflussung im Bereich der Bode findet statt, wenn der Abbau seine geplante Maximalausdehnung zum Zeitpunkt des Abschlusses der Abbautätigkeit erreicht hat.

Zustand während der Flutung

Nach Ende der Abbautätigkeit und Konturierung der Innenkippen wird die Wasserhaltung zurückgebaut und der Tagebau füllt sich mit Wasser.

Ergebnisse für den Istzustand

Das kalibrierte Modell bildet die gemessenen Wasserstände im Einflussbereich des KT Förderstedt in ausreichendem Maße nach. Die Absenkung beschränkt sich auf die Verbreitung des Grundwasserleiters Muschelkalk und reicht im Norden bis zum Marbegraben und im Südenosten bis zur Bode. Im Bereich des Marbegrabens wird der Grundwasserstand maßgeblich von den Marbebrunnen beeinflusst. An der Bode geht die Absenkung aufgrund der Wasserhaltung des KT gegen Null und der hydraulische Gradient in Richtung des Tagebaus ist klein. Die Wasserhaltung des KT fördert Grundwasser, welches im Einzugsgebiet neugebildet wird. Der Anteil der Infiltration von Oberflächenwasser aus dem Marbegraben oder der Bode ist gering, die Wasserhaltung beeinflusst die hydrologische Situation dieser Gewässer nicht wesentlich.

Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung im Bereich des Marbegrabens

Im Bereich des Marbegrabens befinden sich mehrere wassergefüllte Altbaue und die Marbebrunnen. Der Marbegraben führt in diesem Bereich bereits im Istzustand kein Oberflächenwasser. Das Grundwasser wird hier maßgeblich durch die Förderung an den Marbebrunnen abgesenkt. Wird der Abbau im nördlichen KT Förderstedt bis zur 3. und 4. Abbausohle vertieft, ist für den betreffenden Zeitraum mit einem Rückgang des Grundwasserspiegels im Bereich des Altbaus südlich des Marbegrabens (Steinbruch Schenk&Vogel) ausgehend vom Istzustand um 3 m bis 4 m zu rechnen. Der nördliche der drei Restseen dieses Steinbruchs ist mindestens 12 m tief, dieser Restsee bleibt damit bestehen. An den beiden südlichen Wasserflächen wird sich der Grundwasserspiegel im Bereich der Geländeoberkante einstellen, womit zumindest eine oberflächennahe Vernässung aufgrund des hohen Grundwasserstandes verbleiben wird.

Für den Bereich nördlich des Marbegrabens und den Verlauf des Marbegrabens selbst wurde eine geringe zusätzliche Absenkung von <1 m berechnet. Eine Beeinflussung des hydrologischen Zustandes ist in diesem Bereich nicht zu erwarten.

Zustand maximaler Grundwasserbeeinflussung am Ende der Abbautätigkeit

Zum Zeitpunkt der Beendigung der Abbautätigkeit erreicht die Absenkung aufgrund der Wasserhaltung des KT Förderstedt südöstlich des Tagebaus ihre höchsten Beträge. Eine wesentliche Veränderung der Grundwassersituation ausgehend vom Istzustand kann anhand der Modellergebnisse nicht festgestellt werden. Die Absenkung bleibt auf den Grundwasserleiter Muschelkalk beschränkt und reicht maximal bis zum Marbegraben und bis zur Bode. Der zum Tagebau hin gerichtete hydraulische Gradient ist im Bereich der Bode etwas größer als im Istzustand, was im Modell aber nicht zu einer wesentlich größeren Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser führt.

Wiederanstieg nach Abschluss der Wasserhaltung im Kalksteintagebau

Nach Einstellung der Wasserhaltung wird sich die verbleibenden Hohlform mit Oberflächen- und Grundwasser füllen. Dies erfolgt in den ersten Jahren zügig, bereits nach ca. 5 Jahren wird eine Wassertiefe von 15 m NHN erreicht. Der Wiederanstieg verlangsamt sich mit der Zeit stark, da mit zunehmendem Wasserstand die Wasserfläche größer und der hydraulische Gradient geringer wird. Nach etwa 20 Jahren wird eine Höhe von 35 m NHN erreicht, nach ca. 80 Jahren eine Höhe von 56 m NHN erreicht hat. Später steigt der Wasserstand nur noch langsam an, da die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet nur gering ist. Nach 100 a beträgt der berechnete Freiwasserstand 57,3 m NHN, nach 150 Jahren ca. 59 m NHN und im hydrologischen Gleichgewicht nach noch längerer Liegezeit ca. 60 m NHN. Beeinflusst wird der Wasserstand im Langzeitzustand von der Grundwasserneubildung und der Förderung an den Marbebrunnen. Orientierende Berechnungen für den Fall, dass die Marbebrunnen kein Grundwasser mehr fördern, lassen auf einen Endwasserstand im Tagebau von ca. 63 m NHN im Tagebau schließen.

Verwendete Unterlagen

- [Cie 20-1] Ciech Soda Deutschland
Hauptbetriebsplan ab 2021 für den Kalksteintagebau "Förderstedt".
Zulassung: 18.03.2021, Az.: 13.11-34214-5292-6556/2021
- [Cie 20-2] Ciech Soda Deutschland
Hauptbetriebsplan ab 2021 für den Kalksteintagebau "Förderstedt".
Anlage 8: Landschaftspflegerischer Begleitplan.
Staßfurt, 26.06.2020
- [Cie 20-3] Ciech Soda Deutschland
Tischvorlage zur Durchführung des Scopingverfahrens in Vorbereitung auf das bergrechtliche Planfeststellungsverfahren für den Kalksteintagebau "Förderstedt".
Staßfurt, Oktober 2020
- [Cie 23-1] Büro für Verfahrensmanagement und Umweltgutachten Dipl.-Ing. Ronald Meinecke im Auftrag der Ciech Soda Deutschland
Rahmenbetriebsplan nach §§ 52 Abs. 2a BBergG, Arbeitsmaterial zur Erstellung des Rahmenbetriebsplans:
Planzustand des Tagebaus ohne Verfüllung M 1:2500 (Abbauplan), 07.06.2023
Planzustand des Tagebaus mit Verfüllung M 1:2500 (Kippenplan), 27.06.2023
- [DHI 23-1] DHI WASY GmbH
FEFLOW 7.1 Documentation.
<http://www.feflow.info/html/help71/feflow/mainpage.htm>, abgerufen am 27.03.2023
- [DWD 23-1] DWD Deutscher Wetterdienst
Klimadatenportal CDC (Climate Data Center) unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/, abgerufen am 22.03.2023
- [GEOS 14-3] G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
Geowissenschaftliche Komplexbetreuung der IAA der Sodawerke in Staßfurt. 4. Phase: Hydrogeologische 3D-Modellierung. Sachstandsbericht Dezember 2014.
Halle, 10.12.2014
- [HK 50] Hydrogeologische Karte der DDR 1:50000, Blatt Staßfurt/Calbe
- [IHU 07-1] IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH
Hydrogeologisches Gutachten als Teilleistung zum Sicherheitsbericht zur Erlangung des Langzeitsicherheitsnachweises für das Vorhaben „Verwertung nicht bergbaulicher Abfälle zur Erhöhung der Lagerstättenausbeute in den Betriebskavernen S1 und S2 der Sodawerk Staßfurt GmbH und Co. KG“.
Stendal, 6. September 2007
- [IHU 08-1] IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH und WT-Geoingenieure
Hydrogeologisches Gutachten als Ergänzung zum Rahmenbetriebsplan für den Kalksteintagebau Förderstedt.
Stendal, 20. Oktober 2008

- [IZ 70-1] VEB Zementkombinat Dessau, Institut für Zement
Bericht über die geologischen, geochemischen und wirtschaftlichen
Ergebnisse der Erkundungsarbeiten auf Kalkstein aus dem Unteren
Muschelkalk im Raum Förderstedt.
Dessau, 20. Mai 1970
- [LAGB 07-1] Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Wasserrechtliche Erlaubnis für den Kalksteintagebau Förderstedt,
AZ: 41-34214-5292-18893/2006
Halle/Saale, 17.09.2007
- [LAGB 15-1] Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Für den öffentlichen Zugang freigegebene Aufschlusssdaten der
Landesbohrdatenbank Sachsen-Anhalt: Datenbankauszug von
1753 Aufschlüssen im Bereich der Kartenblätter 4035 Atzendorf,
4036 Calbe, 4135 Staßfurt, 4136 Nienburg.
Datenbereitstellung LAGB im Auftrag der Ciech Soda Deutschland
durch G.E.O.S. (NL Halle)
Halle 2015
- [LAGB 22-1] Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Für den öffentlichen Zugang freigegebene Aufschlusssdaten der
Landesbohrdatenbank Sachsen-Anhalt. Download von 100 Auf-
schlüssen unter [https://lagb.sachsen-
anhalt.de/service/geofachinformation/landesbohrdatenbank](https://lagb.sachsen-anhalt.de/service/geofachinformation/landesbohrdatenbank), Zugriff
im Dezember 2022
- [LAVG 22-1] Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 25 m (DGM25).
Lizenz „dl-de/by-2-0“ (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)
Download unter [https://www.lvermgeo.sachsen-
anhalt.de/de/dgm25.html](https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/dgm25.html), Zugriff im Dezember 2022
- [LAVG 23-1] Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 5 m (DGM5).
Erstellung am 31.12.2010, die Aktualisierung erfolgt kontinuierlich
im 2-Jahreszyklus (im Bearbeitungsgebiet: 2017)
Lizenz „dl-de/by-2-0“ (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)
Download unter [https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/gdp-
dgm5.html](https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/gdp-dgm5.html), Zugriff im September 2023
- [LAVG 23-2] Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Digitale Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 20 cm
(DOP20). Befliegung: 31.05.2023
<https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/gdp-open-data.html>,
Lizenz „dl-de/by-2-0“ (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)
WMS: [https://www.geodatenportal.sachsen-
an-
halt.de/wss/service/ST_LVermGeo_DOP_WMS_OpenData/guest?](https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/wss/service/ST_LVermGeo_DOP_WMS_OpenData/guest?),
Zugriff im September 2023

- [LHW 22-1] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)
Auszug aus dem Grundwasserkataster 2014/2015 des Landes Sachsen-Anhalt: Bilanzgebiete 2014/2015.
Download 29.09.2022 16:00 Uhr von: <https://gld.lhw-sachsen-anhalt.de/>
- [LHW 22-2] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)
Auszug aus dem Grundwasserkataster 2014/2015 des Landes Sachsen-Anhalt: Grundwasserdynamik 2014/2015.
Download 29.09.2022 16:00 Uhr von: <https://gld.lhw-sachsen-anhalt.de/>
- [LHW 22-3] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)
Auszug aus dem Grundwasserkataster 2014/2015 des Landes Sachsen-Anhalt: Wasserhaushalt aus ArcEGMO.
Download 29.09.2022 um 15:30 Uhr bei: <https://gld.lhw-sachsen-anhalt.de/>
- [LHW 22-4] Landesportal Sachsen-Anhalt, Hochwasservorhersagezentrale Sachsen-Anhalt
Stammdaten Pegel Staßfurt, Pegelbuch Wasserstände und Durchfluss. <https://hochwasservorhersage.sachsen-anhalt.de/>, aufgerufen am 15. Dezember 2022
- [LHW 23-1] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)
Grundwassermessstellen des Landesmessnetzes Sachsen-Anhalt: Stammdatenblätter mit Hauptwerten und Messreihen.
<http://www.lhw.sachsen-anhalt.de>, Zugriff am 10. März 2023
- [RC 20-1] Rembe Consulting PartG mbH
Vorhaben Rahmenbetriebsplan Kalksteintagebau Förderstedt, Maßnahme Wasserrechtlicher Fachbeitrag mit Grund- und Oberflächenwasserbilanzierung, AK I: Grundlagen, Grund- und Oberflächenwasserbilanzierung mit Hinweisen für zukünftige Wasserhaltungsmaßnahmen. Bericht (Entwurf).
Nordhausen, 15. September 2020