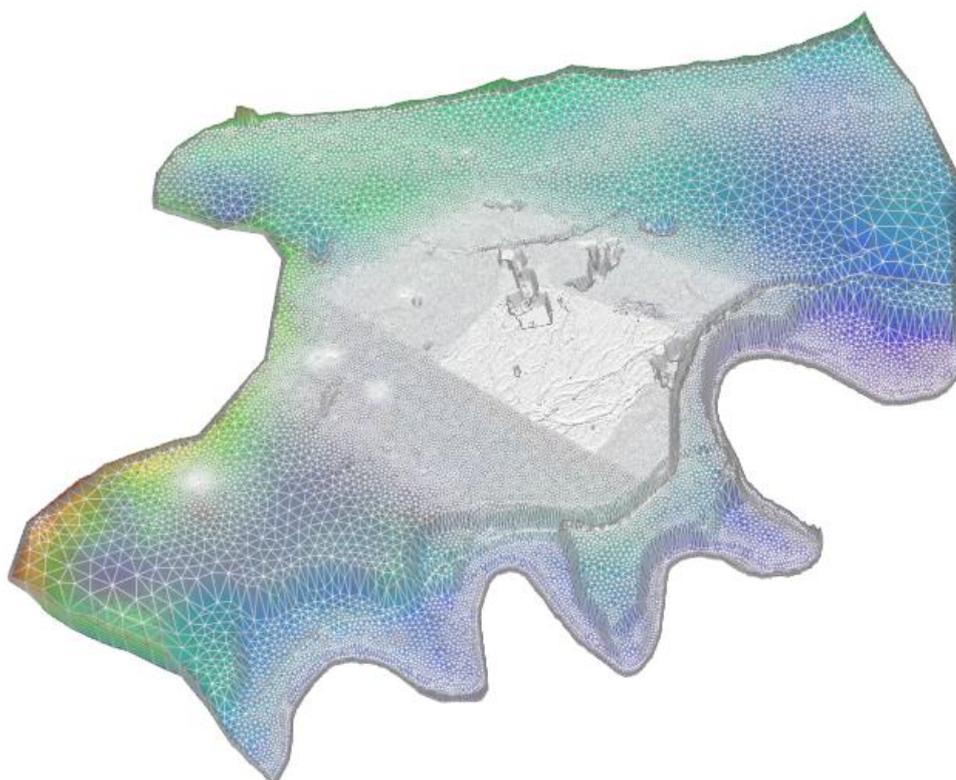


# Grundwassermodellierung zur Standortuntersuchung an der Grube Bauerle

Bericht



Zosseder GmbH Abbruch und  
Entsorgung

Bericht

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

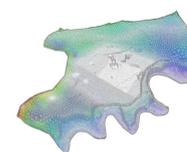


Erstellt von		Genehmigt von
<p style="text-align: right;">14/09/2021</p> <p><b>X</b> <i>Ferdinand Flechtner</i></p> <hr/> <p>Approved by</p> <p>Signed by: Ferdinand Flechtner</p>		<p style="text-align: right;">14.09.2021</p> <p><b>X</b> <i>Marcus Richter</i></p> <hr/> <p>Approved by</p> <p>Signed by: Marcus Richter</p>

# Grundwassermodellierung zur Standortuntersuchung an der Grube Bäuerle

## Bericht

Erstellt für: Zosseder GmbH Abbruch und Entsorgung  
 Vertreten durch: Florian Missmann



DHI WASY GmbH

Projektmanager	Ferdinand Flechtner, Katja Eulitz
Qualitätssicherung	Alexander Renz, Philipp Huttner
Projektbearbeiter	Ferdinand Flechtner, Jintao Liu
Projektnummer	14805717
Revision	Final 1.1
Einstufung	<b>Vertraulich:</b> Dieses Dokument ist nur den Projektmitarbeitern zugänglich; für jede Weitergabe außerhalb des Projektteams ist zuvor die Zustimmung des Auftraggebers einzuholen.

## INHALT

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Datengrundlagen und Datenaufbereitung .....</b>	<b>2</b>
2.1	Digitale Grunddaten .....	2
2.2	Externe Gutachten .....	2
2.3	Geologie und Hydrogeologie .....	3
2.3.1	Geologische und hydrogeologische Kartenwerke .....	3
2.3.2	Bohrdaten.....	4
2.4	Grundwasser.....	5
2.4.1	Grundwassergleichenpläne .....	5
2.4.2	Grundwassermessstellen.....	8
2.4.3	Grundwasserentnahmen.....	10
2.4.4	Grundwasserneubildung .....	14
2.4.5	Sickerwasserraten.....	16
2.4.6	Pumpversuche und hydraulische Parameter .....	17
2.5	Oberflächenwasser .....	20
<b>3</b>	<b>Aufbau und Kalibrierung des Grundwassermodells .....</b>	<b>21</b>
3.1	Aufbau des Hydrogeologischen Strukturmodells (HSM) .....	21
3.1.1	Kurzbeschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse .....	21
3.1.2	Strukturmodellierung .....	23
3.2	Aufbau des numerischen Grundwassermodells (FEFLOW).....	26
3.2.1	Simulationssoftware .....	26
3.2.2	Modellgebietsabgrenzung .....	26
3.2.3	Horizontale Diskretisierung (2D-Netzstruktur) .....	27
3.2.4	Vertikale Diskretisierung (Modellschichten) .....	29
3.2.5	Parametrisierung.....	30
3.2.6	Randbedingungen.....	32
3.3	Kalibrierung des Grundwassermodells .....	35
3.3.1	Stationäre Kalibrierung .....	35
3.3.2	Instationäre Kalibrierung .....	38
3.3.3	Verifizierung .....	42
<b>4</b>	<b>Modellanwendung.....</b>	<b>43</b>
4.1	Ausweisung des Zustrombereichs der Trinkwasserfassung Mettenheim und Abstrombereich der Grube Bäuerle .....	43
4.2	Untersuchung eines Schadenfalls (Sulfataustrag).....	44
4.2.1	Vorgehensweise und getroffene Annahmen.....	44
4.2.2	Ergebnis der Stofftransportmodellierung – Schadensfall 1 .....	46
4.2.3	Ergebnis Stofftransportmodellierung – Schadensfall 2.....	47
4.2.4	Hinweis.....	48
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>49</b>

## ABBILDUNGEN

Abbildung 2-1: Darstellung des digitalen Geländemodells – DGM5 (Rechteck um das Kernaussagegebiet) und DGM25. ....	3
Abbildung 2-2: Darstellung der verwendeten Bohrungen (1410 LfU, 4 Crystal Geotechnik), Quartärunterkanten, Profilschnitte sowie der GK25. ....	5
Abbildung 2-3: Modellgebiet mit Grundwassergleichenplan der dHK100 Bayern sowie den verwendeten Messpunkten der Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009. ....	7
Abbildung 2-4: Grundwassergleichenplan sowie verwendete Messpunkte der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 aus dem Standortmonitoring der Crystal Geotechnik GmbH. ....	8
Abbildung 2-5: Für die stationäre und instationäre Kalibrierung zur Verfügung stehende Grundwassermessstellen. ....	9
Abbildung 2-6: Grundwasserstandsentwicklung im Umfeld der Grube Bäuerle und der Trinkwasserfassung Mettenheim. ....	10
Abbildung 2-7: Standorte der relevanten Grundwasserentnahmen und zugehörige Trinkwasserschutzgebiete. ....	11
Abbildung 2-8: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Mettenheimer Gruppe. ....	13
Abbildung 2-9: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Gemeinde Ampfing. ....	13
Abbildung 2-10: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Stadtwerke Waldkraiburg. ....	14
Abbildung 2-11: Jahresgebietsmittelwerte der Grundwasserneubildung bezogen auf das Modellgebiet für den Zeitraum 2000 – 2018 sowie ausgewählte langjährige Mittelwerte. ....	15
Abbildung 2-12: Darstellung der mittleren Grundwasserneubildung des Jahres 2008 sowie der Einzugsgebiete für die Ermittlung der Zufluss-Randbedingungen im Norden und Westen des Modellgebiets. ....	16
Abbildung 2-13: Darstellung der abgeleiteten Modellansätze für die Sickerwasserraten in der Deponiefläche der Grube Bäuerle sowie der Grundwasserneubildungsraten und zu erwartenden Grundwasserfließrichtung im Umfeld. ....	17
Abbildung 2-14: Vorliegende Angaben zu Durchlässigkeitsbeiwerten [m/s] aus Pumpversuchen (Quellen: Crystal Geotechnik [4], IFB Eigenschenk [6]). ....	19
Abbildung 2-15: Darstellung der im Grundwassermodell berücksichtigten Gewässer sowie der vorhandenen Gewässerpegel. ....	20
Abbildung 3-1: Maximale Eisrandlagen während der Würm-Eiszeit im Umfeld des Inn-Gletschers. ....	21
Abbildung 3-2: Ausschnitt aus dem amtlichen Profilschnitt (West-Ost) 18-1 der dHK100 Bayern. ....	22
Abbildung 3-3: Dreidimensionale Darstellung des hydrogeologischen Strukturmodells (Blick Richtung Osten, 20-fach überhöht). In Gelb die Unterkante der quartären Ablagerungen. Bohrungen sind als Zylinder aufgezeigt. ....	24
Abbildung 3-4: 3D-West-Ost Schnitt durch das hydrogeologische Strukturmodell (Blick Richtung Norden, 20-fach überhöht). Dargestellt in Gelb das Quartär und in Grün das Tertiär. ....	24
Abbildung 3-5: Amtliche Profilschnitte HK100 18-1 (links) und HK100 18-2 (rechts) mit projizierten Bohrungen im Vergleich zu dem erstellten Strukturmodell (20-fach überhöht). Die gelbe Schicht stellt den modellierten Kontakt zwischen Quartär und Tertiär dar. ....	25
Abbildung 3-6: Profilschnitt HK50 Blatt 7740 Mühldorf (A-A') mit projizierten Bohrungen im Vergleich mit dem erstellten Strukturmodell (20-fach überhöht). Die gelbe Schicht stellt den Kontakt zwischen Quartär und Tertiär dar. ....	25
Abbildung 3-7: Modellgebietsabgrenzung (83 km <sup>2</sup> ). ....	27
Abbildung 3-8: Darstellung der horizontalen Modelldiskretisierung und integrierten Strukturen (Brunnen, Flüsse, Fokusbereiche). Farblich werden die Elementgrößen repräsentiert. ....	28

Abbildung 3-9: Modelldiskretisierung im Bewertungsgebiet. Die blaue Umrandung markiert die geplante Deponiesohle. ....	29
Abbildung 3-10: Darstellung der kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte ( $k_r$ -Wert Slice 1). ....	31
Abbildung 3-11: Darstellung der angesetzten Randbedingungen: Rot – Brunnen (Multilayer Well); Grün – Gewässer (Fluid Transfer); Blau – Grundwasserstand (Hydraulic Head); Rosa – Randzufluss (Fluid Flux). ....	33
Abbildung 3-12: Modellkalibrierung: Gegenüberstellung der Messpunkte und des konstruierten Grundwassergleichenplans der Stichtagsmessung vom 27./28.3 2009 (dhK 100) mit den berechneten Grundwassergleichen und Abweichungen an den Messpunkten. ....	35
Abbildung 3-13: Häufigkeitsverteilung der Differenz Rechnung / Messung für das gesamte Modellgebiet. ....	37
Abbildung 3-14: Gegenüberstellung der berechneten („Computed hydraulic head“) und gemessenen („Observed hydraulic head“) Grundwasserspiegelhöhen and den Messstellen. ....	37
Abbildung 3-15: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Wimpasing 611A. ....	38
Abbildung 3-16: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Ampfing 607. ....	38
Abbildung 3-17: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS GWM 1. ....	39
Abbildung 3-18: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS GWM 3. ....	39
Abbildung 3-19: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Ampfinger Holz 610. ....	40
Abbildung 3-20: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Stachus Nord 606. ....	40
Abbildung 3-21: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Bauhof Kraiburg 1. ....	40
Abbildung 3-22: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Rotes Kreuz 609. ....	41
Abbildung 3-23: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Stachus Süd 605. ....	41
Abbildung 3-24: Modellverifizierung: Gegenüberstellung der Messpunkte und des konstruierten Grundwassergleichenplans der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 (Crystal Geotechnik) mit den berechneten Grundwassergleichen und Abweichungen an den Messpunkten. ....	42
Abbildung 4-1: Dargestellt in Blau der Zustrombereich als Rückwärtsbahnlinien bis 1000 Tage zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim sowie in Rot der Abstrombereich als Vorwärtsbahnlinien bis 1000 Tage der Grube Bäuerle. ....	43
Abbildung 4-2: Regelschnitt des geplanten Aufbaus der Deponiebasis. ....	44
Abbildung 4-3: W-E Schnitt im Bereich der Grube Bäuerle mit der angesetzten Stofftransportrandbedingung unterhalb des als blaue Linie dargestellten Grundwasserspiegels. Farblich hinterlegt sind die angesetzten Durchlässigkeitsbeiwerte. (20-fach überhöhte Darstellung) ....	45
Abbildung 4-4: Ergebnis für eine angenommene Sulfatkonzentration im Sicker-wasseraustrag von 400 mg/l bei Ansatz der mittleren Fördermengen 2018/19. Dargestellt ist der Zustrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim (blau) sowie die Sulfat-Ausbreitungsfahne (in mg/l). ....	46
Abbildung 4-5: Ergebnis für eine angenommene Sulfatkonzentration im Sicker-wasseraustrag von 600 mg/l bei Ansatz der maximalen Fördermengen sowie um die Hälfte reduzierten Durchlässigkeitsbeiwerten. Dargestellt ist der Zustrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim (blau) sowie die Sulfat-Ausbreitungsfahne (in mg/l). ....	47

## TABELLEN

Tabelle 2-1: Datenbestand digitale Grunddaten. ....	2
Tabelle 2-2: Datenbestand Gutachten. ....	2
Tabelle 2-3: Datenbestand geologische und hydrogeologische Kartenwerke. ....	4
Tabelle 2-4: Datenbestand Bohrdaten. ....	4
Tabelle 2-5: Grundwassergleichenpläne im Modellgebiet. ....	6
Tabelle 2-6: Datenbestand Grundwassermessstellen. ....	8
Tabelle 2-7: Datenbestand Grundwasserentnahmen. ....	10
Tabelle 2-8: Zusammenstellung der Grundwasserentnahmen. ....	12
Tabelle 2-9: Datenbestand Grundwasserneubildung. ....	14
Tabelle 2-10: Gutachten zu den anzusetzenden Sickerwasserraten. ....	16
Tabelle 2-11: Recherchierte Pumpversuchsdaten. ....	17
Tabelle 2-12: Datenbestand Gewässerpegel. ....	20
Tabelle 3-1: Recherchierte Durchlässigkeitsbeiwerte. ....	22
Tabelle 3-2: Hydrostratigrafische Unterteilung des Modellgebiets. ....	23
Tabelle 3-3: Vertikale Diskretisierung des Grundwassermodells. ....	30
Tabelle 3-4: Kalibrierte hydraulische Parameter. ....	30
Tabelle 3-5: Angesetzte Randbedingungen. ....	32
Tabelle 3-6: Statistische Auswertung des Modellfehlers. ....	36
Tabelle 3-7: Statistische Auswertung der Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen. ....	36

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

Die Zosseder GmbH Abbruch und Entsorgung plant die Wiederverfüllung der bestehenden Kiesgrube Bäuerle mit DK0-Material in der Gemeinde und Gemarkung Ampfing.

Eine hydrogeologische Standorterkundung, gemäß LfU Merkblatt Deponie-Info 10, Deponien der Klasse 0 – Inertabfalldeponien, wurde von der CRYSTAL GEOTECHNIK GmbH (03.06.2019) durchgeführt.

Die DHI WASY GmbH wurde beauftragt, ein Gutachten mit Aufbau eines Grundwassermodells zur Bewertung des möglichen Einflusses der Wiederverfüllung der Grube Bäuerle (Deponie der Klasse 0) auf die Trinkwasserfassung Mettenheim zu erstellen.

Folgende Fragestellungen sind konkret zu untersuchen:

- Ausweisung der Zustrombereiche zu den Brunnen und des Abstrombereichs der Grube Bäuerle - dazu Aufbau eines großräumigen 3D-Grundwassermodells mit Berücksichtigung der weiteren Grundwasserentnahmen im betrachteten Grundwasserleiter.
- Berechnung der Sulfatfahne bei einem Schadensfall der Deponie mit einem Sulfateintrag von 400 mg/l (Erfahrungswerte von anderen DK-0 Verfüllungen: Sulfatwert im Sickerwasser von 350 – 400 mg/l) – dazu Aufbau eines Stofftransportmodells (hohe horizontale und vertikale Modellauflösung, Sulfat als Tracer).
- Szenarienanalyse mit erhöhten Sulfatkonzentrationen und Testung sensitiver Parameter zur Bewertung der Beeinflussung der Trinkwasserfassung Mettenheim im Schadensfall.

Die verwendeten Datengrundlagen, der Aufbau und die Kalibrierung des Grundwassermodells sowie die Ergebnisse der Modelluntersuchungen sind in dem vorliegenden Gutachten dokumentiert.

## 2 Datengrundlagen und Datenaufbereitung

Im folgenden Kapitel werden die für den Modellaufbau verwendeten Datengrundlagen und deren Aufbereitung beschrieben.

Die Datenrecherche und -aufbereitung bezieht sich immer auf den Modellumgriff, so dass das Untersuchungsgebiet einen wesentlich größeren Umfang als das Bewertungsgebiet hat. Die Abgrenzung des Grundwassermodells ist in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Das Grundwassermodell (Software FEFLOW) wird stationär und instationär kalibriert, um eine möglichst gute Abbildung der Grundwasserströmungsverhältnisse und -dynamik zu erreichen. Die Berechnung der Modellszenarien erfolgt mit dem stationären Modell.

### 2.1 Digitale Grunddaten

Für das Untersuchungsgebiet wurde bei der Bayerischen Vermessungsverwaltung das digitale Geländemodell (DGM) angefragt. Für den Kernaussagebereich wurde das DGM5 und für das weitere Umfeld das DGM25 bestellt (siehe Abbildung 2-1). Für die Modellbearbeitung wurde das DGM5 mit dem DGM25 verschnitten.

Für die Grube Bäuerle liegen Vermessungsdaten vor.

Tabelle 2-1: Datenbestand digitale Grunddaten.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[1]	DGM5 für Kernaussagebereich (ca. 12 km <sup>2</sup> )	26.02.2021, Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung
[2]	DGM25 für Gesamtgebiet (ca. 80 km <sup>2</sup> )	26.02.2021, Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung
[3]	Vermessungsdaten Grube Bäuerle	01.03.2021, Crystal Geotechnik

### 2.2 Externe Gutachten

Für das Untersuchungsgebiet liegen die in Tabelle 2-2 aufgelisteten hydrogeologischen Gutachten vor, deren relevante Informationen beim Modellaufbau berücksichtigt wurden.

Tabelle 2-2: Datenbestand Gutachten.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[4]	Crystal Geotechnik: Hydrogeologische Untersuchung Standortbeurteilung, 03.06.2019	16.02.2021, Crystal Geotechnik
[5]	CDM Smith: Antrag auf Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes Ampfing, 23.05.2018	24.02.2021, Landratsamt Mühldorf
[6]	IFB Eigenschenk GmbH: Erweiterung und Effizienzsteigerung des Innkraftwerks Jettenbach/Töging – Erneuerung KW Töging – Grundwassermodell (ITO-A001-IFBE1-B10300-00-AFE) Deggendorf, 31.07.2016	25.03.2021, Landratsamt Mühldorf a. Inn

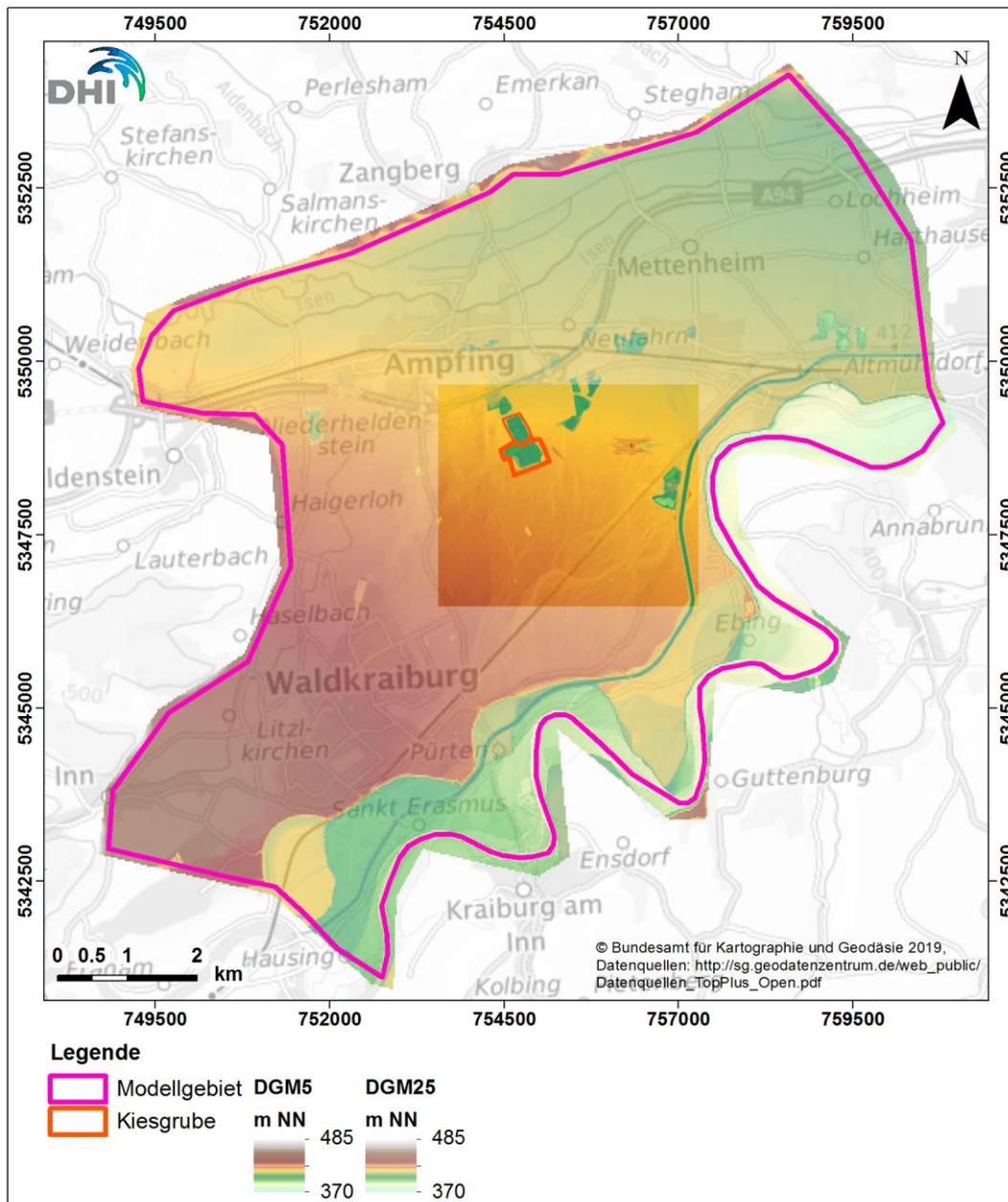


Abbildung 2-1: Darstellung des digitalen Geländemodells – DGM5 (Rechteck um das Kernaussagegebiet) und DGM25.

## 2.3 Geologie und Hydrogeologie

Für den Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells wurden die nachfolgend beschriebenen geologischen und hydrogeologischen Daten verwendet.

### 2.3.1 Geologische und hydrogeologische Kartenwerke

In Tabelle 2-3 sind die für den Modellaufbau verwendeten geologischen und hydrogeologischen Kartenwerke zusammengefasst

Tabelle 2-3: Datenbestand geologische und hydrogeologische Kartenwerke.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[7]	Digitale Geologische Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25)	19.02.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
[8]	Digitale Hydrogeologische Karte 1:100.000 (dHK100)	19.02.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
[9]	zwei hydrogeologische Profilschnitte der dHK100 (Profilnr. 18_1 und 18_2)	19.02.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
[10]	zwei hydrogeologische Profilschnitte der HK50 Blatt 7740 Mühldorf (Profilschnitt A-A' und B-B')	19.02.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
[11]	zwei geologische Profilschnitte aus dem Gutachten von Crystal Geotechnik (Profil A und B) [4]	16.02.2021, Crystal Geotechnik

### 2.3.2 Bohrdaten

Die verwendeten geologischen Aufschlussdaten stammen aus den in Tabelle 2-4 zusammengefassten Datenquellen und sind in Abbildung 2-2 dargestellt.

Die Bohrdatenanfrage beim Bayerischen Landesamt für Umwelt beschränkte sich dabei auf Bohrungen mit einer Teufe von mindestens 10 m, da der Fokus auf der Erfassung der Quartär / Tertiärgrenze lag.

Tabelle 2-4: Datenbestand Bohrdaten.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[12]	1410 Bohrdaten mit Schichtenverzeichnissen des Bayerischen Landesamts für Umwelt (Bodeninformationssystem BIS)	02.03.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de
[13]	4 Schichtenverzeichnisse aus der Hydrogeologischen Untersuchung zur Standortbeurteilung [4]	16.02.2021, Crystal Geotechnik
[14]	301 Datenpunkte der Quartärunterkante; Gutachten IFB Eigenschenk [6]	23.03.2021, Landratsamt Mühldorf a. Inn

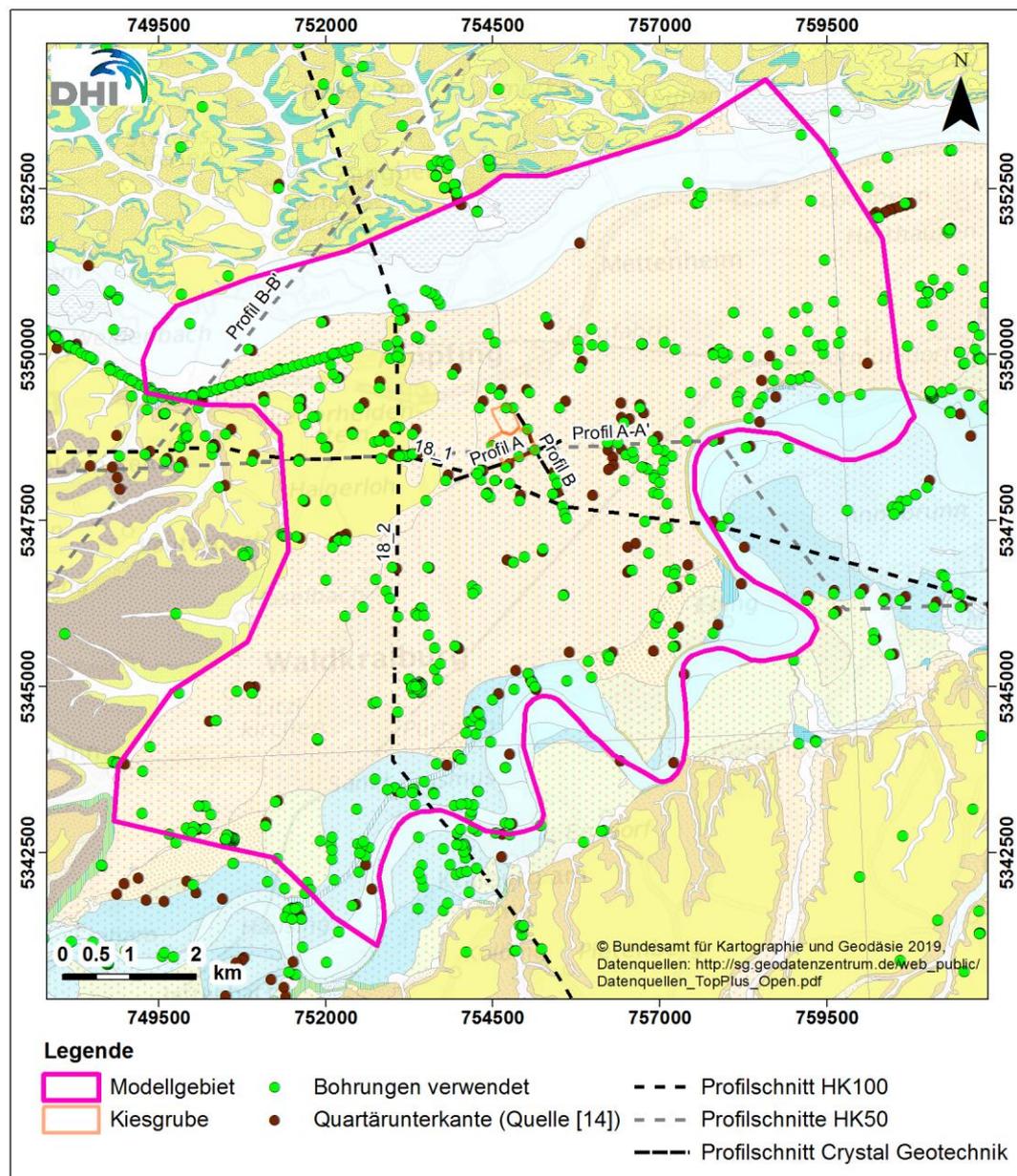


Abbildung 2-2: Darstellung der verwendeten Bohrungen (1410 LfU, 4 Crystal Geotechnik), Quartärunterkanten, Profilschnitte sowie der GK25.

## 2.4 Grundwasser

Für die Bearbeitung des Grundwassermodells lagen folgende grundwasserrelevante Daten vor.

### 2.4.1 Grundwassergleichenpläne

Für das Untersuchungsgebiet liegen mehrere Grundwassergleichenpläne vor, die in Tabelle 2-5 aufgeführt sind.

Tabelle 2-5: Grundwassergleichenpläne im Modellgebiet.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[15]	Digitale Hydrogeologische Karte 1:100.000 (dHK100), Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009 im Rahmen eines Gutachtens der ARGE Inn-Niederterrasse im Auftrag der Stadtwerke Waldkraiburg GmbH	19.02.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, <a href="http://www.lfu.bayern.de">www.lfu.bayern.de</a>
[16]	Grundwassergleichenpläne der Stichtagsmessungen 2019 – 2020 im Bereich der Grube Bäuerle, Crystal Geotechnik	16.02.2021, Crystal Geotechnik

Zur Modellgebietsabgrenzung und für die stationäre Kalibrierung des Grundwassermodells wurde der großräumig vorliegende, amtliche Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009 der dHK100 Bayern verwendet [15] (Abbildung 2-3).

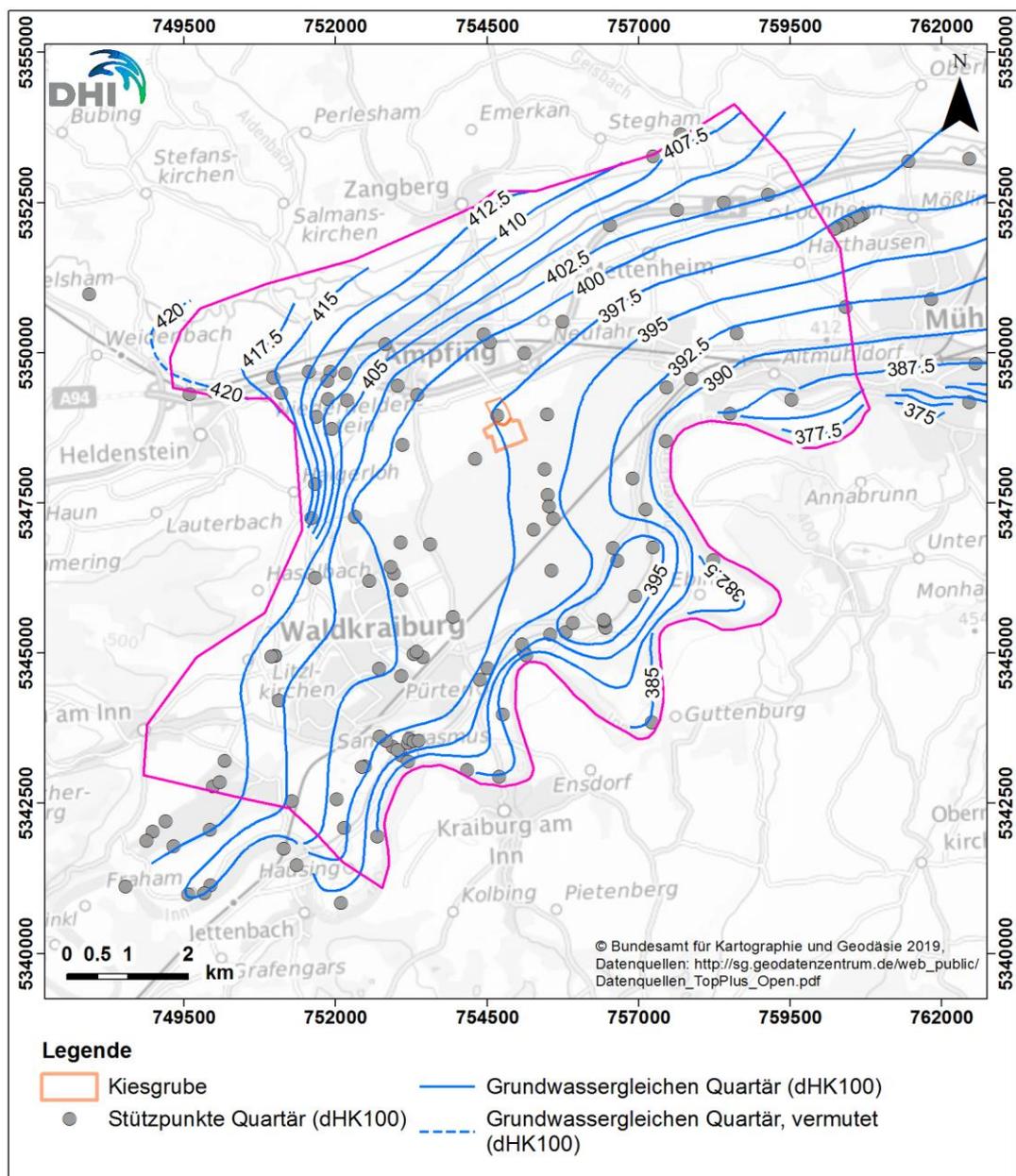


Abbildung 2-3: Modellgebiet mit Grundwassergleichenplan der dHK100 Bayern sowie den verwendeten Messpunkten der Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009.

Aus dem Hydrogeologischen Gutachten [4] sowie der Fortführung des Grundwassermonitorings liegen für das Bewertungsgebiet im Bereich der Grube Bäuerle und der Trinkwasserefassung Mettenheim mehrere Grundwassergleichenpläne vor [16]. Der in Abbildung 2-4 dargestellte Grundwassergleichenplan zum Stichtag 16.01.2019 wird zur Verifizierung der modellierten Grundwasserströmung im Bewertungsgebiet verwendet.

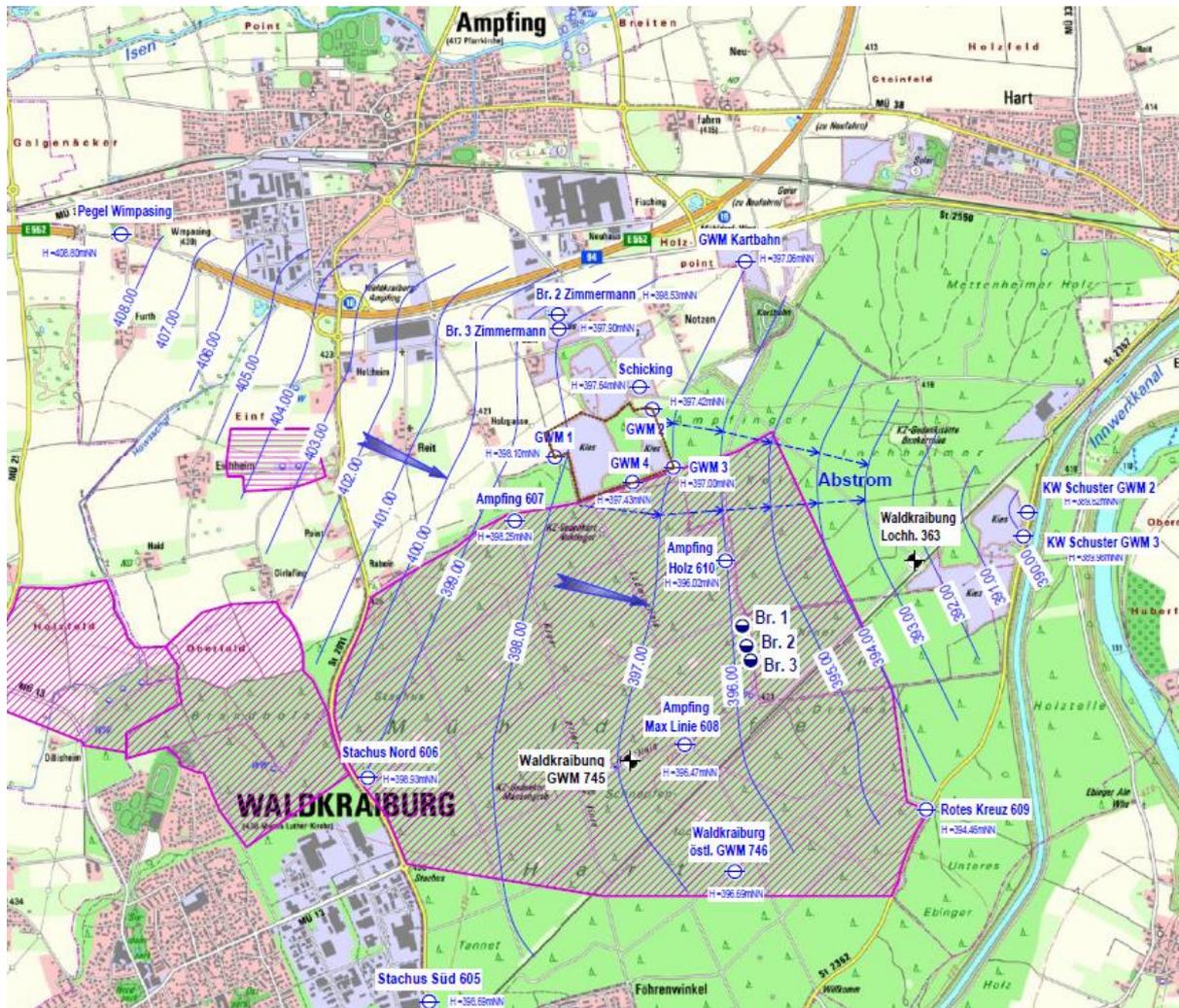


Abbildung 2-4: Grundwassergleichenplan sowie verwendete Messpunkte der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 aus dem Standortmonitoring der Crystal Geotechnik GmbH.

## 2.4.2 Grundwassermessstellen

Der Datenbestand zu den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Grundwassermessstellen ist in Tabelle 2-6 aufgelistet. Die vorliegenden Messreihen variieren dabei zwischen Messstellen mit beispielsweise nur drei Messwerten und langjährigen, monatlich bis täglich (Datenlogger) aufgezeichneten Messwerten.

Aus dem Datenbestand ergaben sich für die stationäre und instationäre Kalibrierung die in Abbildung 2-5 dargestellten Messstellen. Dabei wurden für die stationäre Kalibrierung 91 Stützpunkte verwendet, die dem amtlichen Grundwassergleichenplan (dHK100 Bayern) der Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009 zugrunde liegen. Für die instationäre Kalibrierung liegen für 22 Messstellen Grundwasserstandsganglinien im Kalibrierungszeitraum vor (2009 – 2018).

Tabelle 2-6: Datenbestand Grundwassermessstellen.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[17]	Digitale Hydrogeologische Karte 1:100.000 (dHK100), Messpunkte der Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009	19.02.2021, LfU

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[18]	Amtliche Grundwassermessstellen mit Zeitreihen der Grundwasserstände	16.02.2021, LfU und Crystal Geotechnik
[19]	Datenlogger der Grundwassermessstellen GWM 1-4 an der Grube Bäuerle ab 09/2019	16.02.2021, Crystal Geotechnik
[20]	Grundwassermesswerte der Stichtagsmessungen von Crystal Geotechnik ab 05/2019	16.02.2021, Crystal Geotechnik

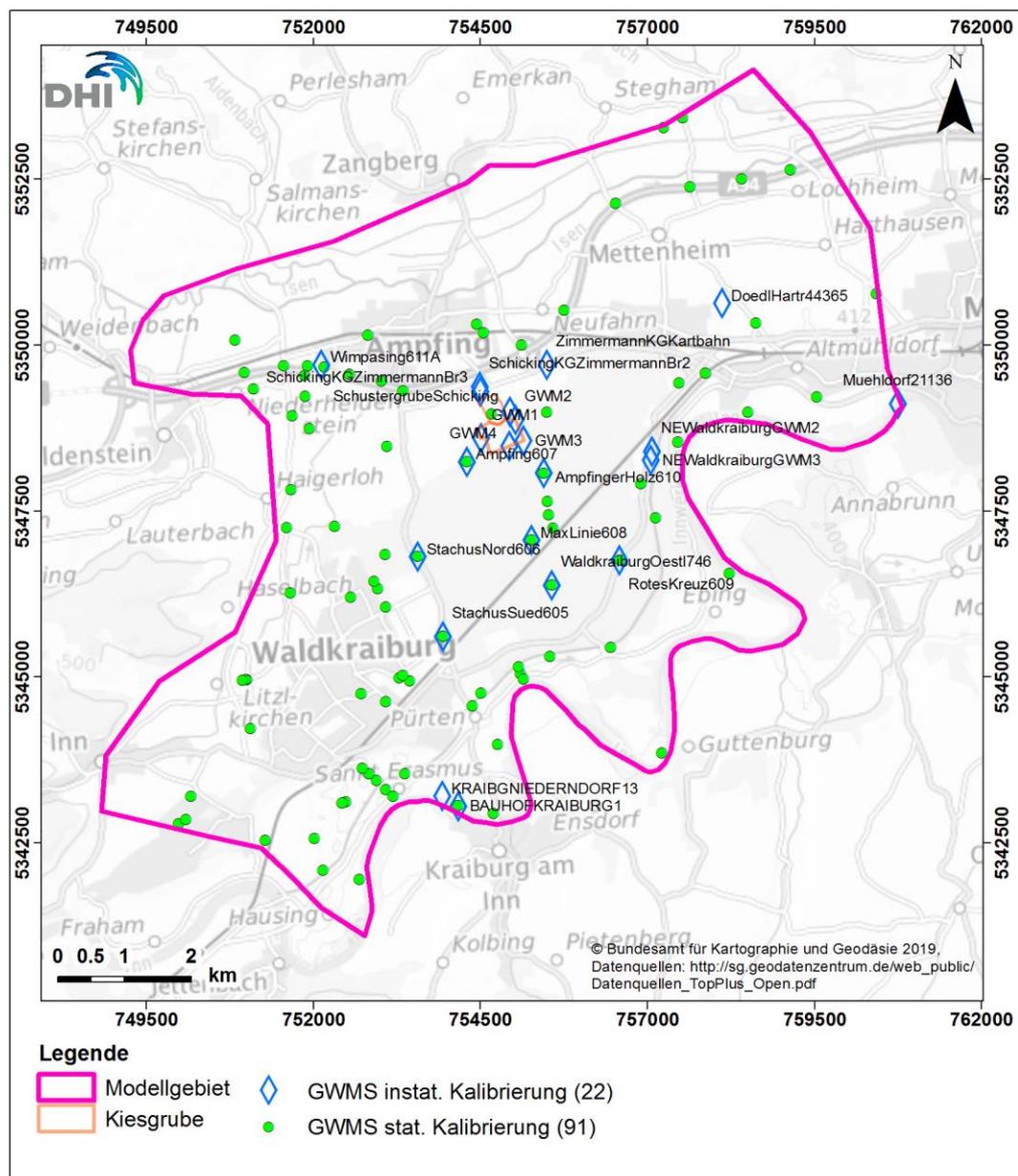


Abbildung 2-5: Für die stationäre und instationäre Kalibrierung zur Verfügung stehende Grundwassermessstellen.

Abbildung 2-6 zeigt die Grundwasserstandsentwicklung im Umfeld der Grube Bäuerle und der Trinkwasserfassung Mettenheim.

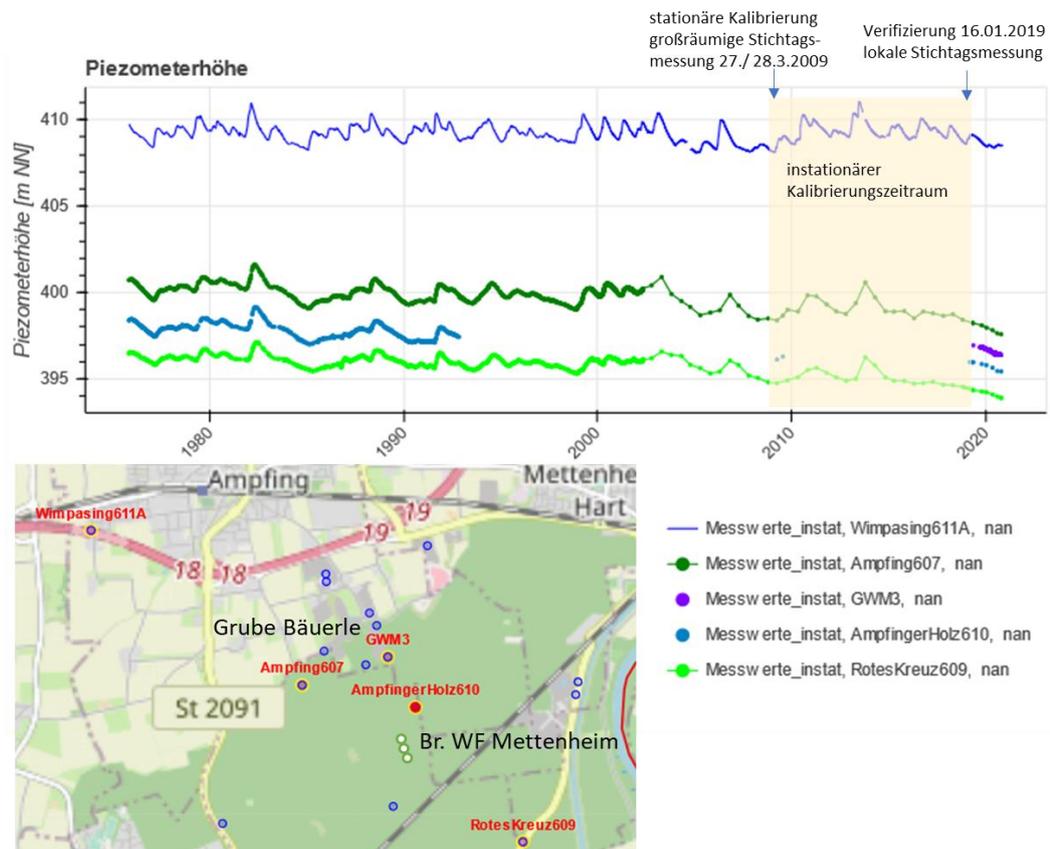


Abbildung 2-6: Grundwasserstandsentwicklung im Umfeld der Grube Bäuerle und der Trinkwasserfassung Mettenheim.

### 2.4.3 Grundwasserentnahmen

Im Untersuchungsgebiet befinden sich vier Trinkwasserfassungen:

- Mettenheim 3 Brunnen
- Gemeinde Ampfing, 2 Brunnen
- Stadtwerke Waldkraiburg und Heldenstein, 4 Brunnen
- Aschau a. Inn, 2 Brunnen

Tabelle 2-7: Datenbestand Grundwasserentnahmen.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[21]	genehmigte Entnahmemengen	16.04.2021, Crystal Geotechnik Anfrage beim WWA Rosenheim
[22]	Monatswerte für die Stadtwerke Waldkraiburg, Gemeinde Ampfing und Mettenheimer Gruppe	06.05.2021, Crystal Geotechnik Anfrage bei Sachgebietsleitung Wasserversorgung/ Grundwasserschutz, Landkreis Mühldorf, Rosenheim Nord, Stadt Rosenheim
[23]	Angaben zur Förderung des Wasserversorgers Aschau a. Inn	22.04.2021, <a href="https://www.aschau-a-inn.de/buerger-service-politik/ver-und-entsorgung/wasserwerk">https://www.aschau-a-inn.de/buerger-service-politik/ver-und-entsorgung/wasserwerk</a>

Die Brunnenstandorte sowie die ausgewiesenen Trinkwasserschutzgebiete sind in Abbildung 2-7 dargestellt.

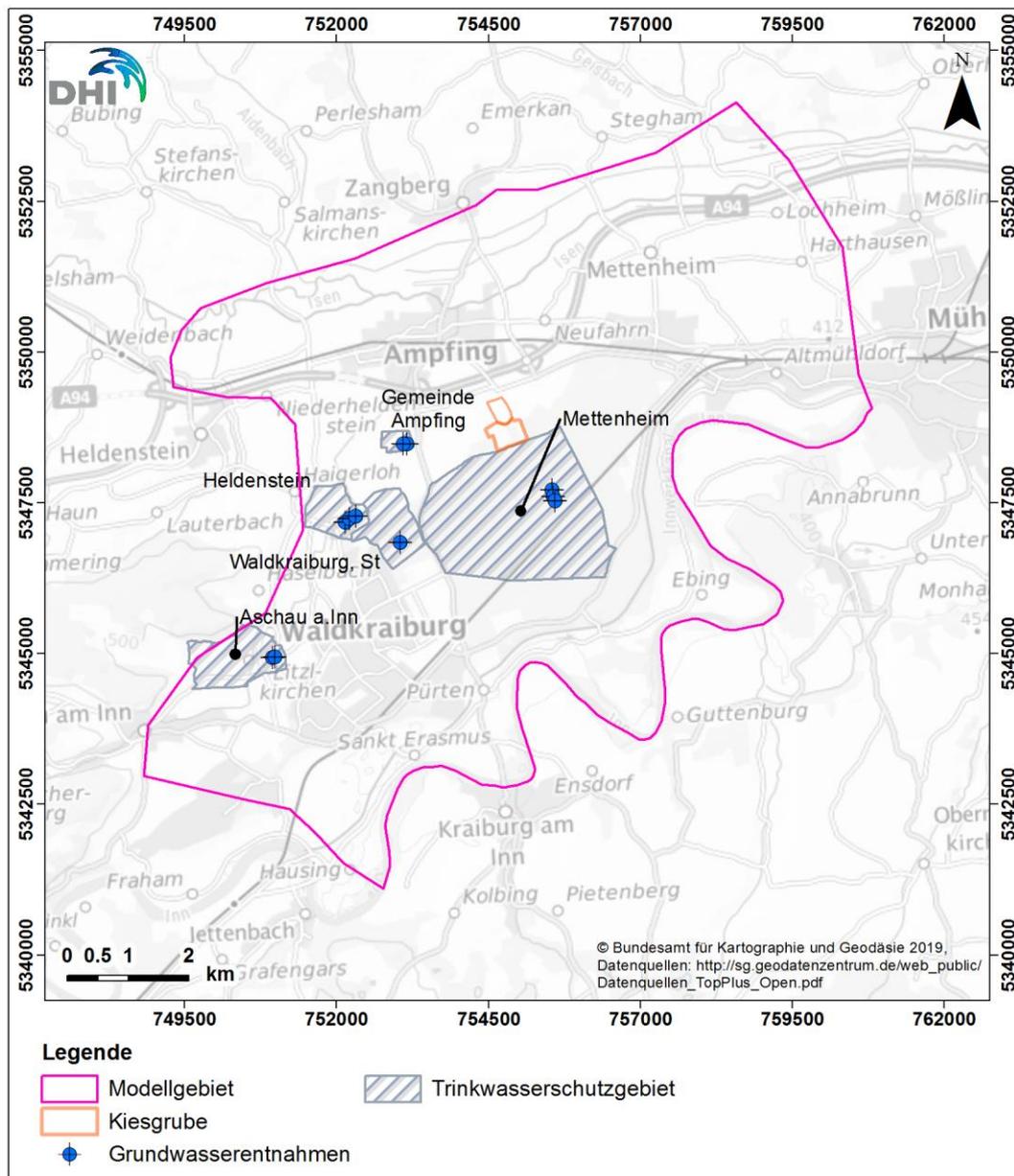


Abbildung 2-7: Standorte der relevanten Grundwasserentnahmen und zugehörige Trinkwasserschutzgebiete.

Anfragen zu den genehmigten und realen Grundwasserentnahmen erfolgten seitens der Crystal Geotechnik GmbH. Monatswerte der Förderung liegen für die Brunnen der Mettenheimer Gruppe, der Gemeinde Ampfing sowie der Stadtwerke Waldkraiburg für den Zeitraum Januar 2009 bis Dezember 2019 vor (Stadtwerke Waldkraiburg Brunnen 1 bis 3 keine Daten für 2011, 2012 und 2019, Brunnen 4 keine Daten für 2019). Abbildung 2-8 bis Abbildung 2-10 zeigen die Zeitreihen der Fördermengen. Für die Brunnen Aschau am Inn wurden die Angaben zu den Fördermengen der Internetseite des Wasserversorgers entnommen.

Tabelle 2-8 enthält eine Zusammenstellung zu den vorliegenden Angaben der genehmigten Entnahmemengen sowie zu den für die Modellkalibrierung und die Szenarien abgeleiteten Werten. Für die stationäre Modellkalibrierung werden Förder-

mengen von März 2009 angesetzt. Für die Szenarien zum Stofftransport werden das Mittel aus 2018/2019 sowie der Maximalwert aus der genehmigten bzw. geförderten Menge zu Grunde gelegt. Bei den Maximalwerten wurden für die Brunnen der Gemeinde Ampfing und Aschau am Inn die maximal genehmigten Fördermengen angesetzt. Für die Brunnen der Stadtwerke Waldkraiburg wurde als Maximalwert der Mittelwert von 2018/2019 angenommen, da dieser mit 1.999 m<sup>3</sup>/d höher als die genehmigten 1.850 m<sup>3</sup>/d sind und man somit auf der sicheren Seite liegt. Für die Mettenheimer Gruppe wurde als Maximalwert der tatsächlich geförderte Maximalwert aus dem Monat April 2010 verwendet, da in der vorliegenden Genehmigung keine Begrenzung der Förderrate angegeben ist.

Tabelle 2-8: Zusammenstellung der Grundwasserentnahmen.

Wasserfassung	Genehmigte Entnahmemengen	Brunnenbezeichnung im Modell	Entnahme [m <sup>3</sup> /d]		
			März 2009	Mittel 2018/19	Maximum
Mettenheimer Gruppe	keine Begrenzung im Bescheid; Entnahmemenge 2019: ca. 1.280.000 m <sup>3</sup> /a Br. 3 wegen Chromschaden derzeit nicht in Betrieb (Wasserversorger plant Wiederinbetriebnahme)	BR-W-MettenheimerBR1	736	1268*	2350**
		BR-W-MettenheimerBR2	2567	1268*	2350**
		BR-W-MettenheimerBR3	0	1268*	2350**
Gemeinde Ampfing	740.000 m <sup>3</sup> /a (gemeinsam) <i>entspricht 1014 m<sup>3</sup>/d je Brunnen</i>	BR-A-BR3	892	1013	1014
		BR-A-BR4	904	1013	1014
Stadtwerke Waldkraiburg	Brunnen 1-3 gemeinsam: 225 l/s; 2.400.000 m <sup>3</sup> /a Brunnen 4: 600.000 m <sup>3</sup> /a Begrenzung Brunnen 1-4: 2.700.000 m <sup>3</sup> /a <i>entspricht 1850 m<sup>3</sup>/d je Brunnen</i>	BR-W-HolzfeldBR1	3142	1999***	1999
		BR-W-HolzfeldBR2	1095	1999***	1999
		BR-W-HolzfeldBR3	2118	1999***	1999
		BR-W-BrandholzBR4	1160	1999***	1999
Aschau am Inn	ca. 250.000 m <sup>3</sup> /a max. geförderte Trinkwassermenge <i>entspricht 343 m<sup>3</sup>/d je Brunnen</i>	BR-As-WolfgrubBR1	280****	343	343
		BR-As-WolfgrubBR3	280****	343	343
	<b>Summe</b>		<b>13174</b>	<b>14512</b>	<b>17760</b>

\* aufgeteilt auf alle 3 Brunnen

\*\* abgeleitet aus dem vorliegenden max. Monatsmittelwert von 7050 m<sup>3</sup>/d im April 2010 aufgeteilt auf alle 3 Brunnen

\*\*\* Mittelwert von 2018, da 2019 keine Werte vorlagen; höher als genehmigte Menge

\*\*\*\* Ansatz ca. 80% der max. Entnahmemenge

Zusätzlich sind in einigen Kiesgruben Brunnenanlagen bekannt. Diese werden jedoch nur unregelmäßig und in geringen Mengen für Gegenmaßnahmen zur Staubentwicklung verwendet. Es liegen keine Daten dazu vor, es erfolgt keine Berücksichtigung im Modell.

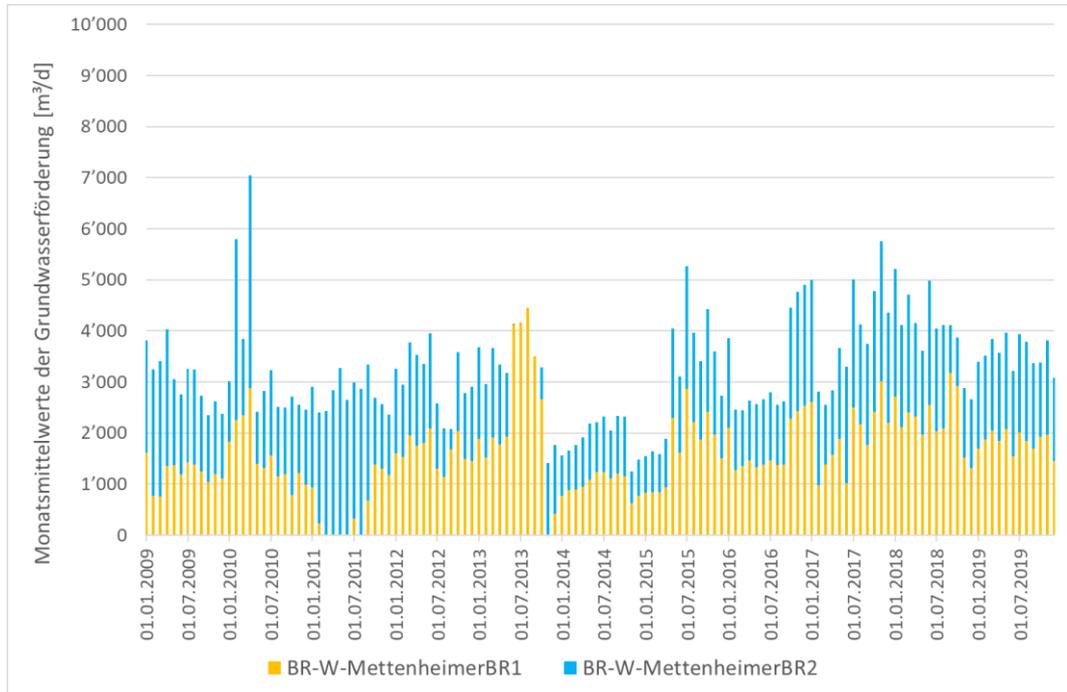


Abbildung 2-8: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Mettenheimer Gruppe.

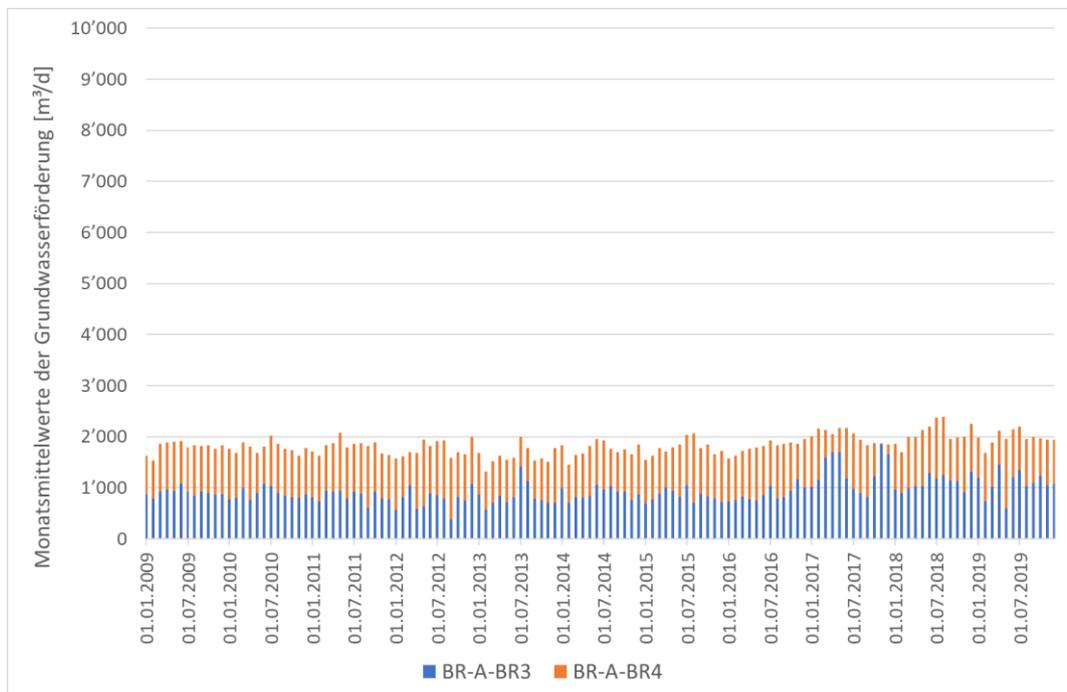


Abbildung 2-9: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Gemeinde Ampfing.

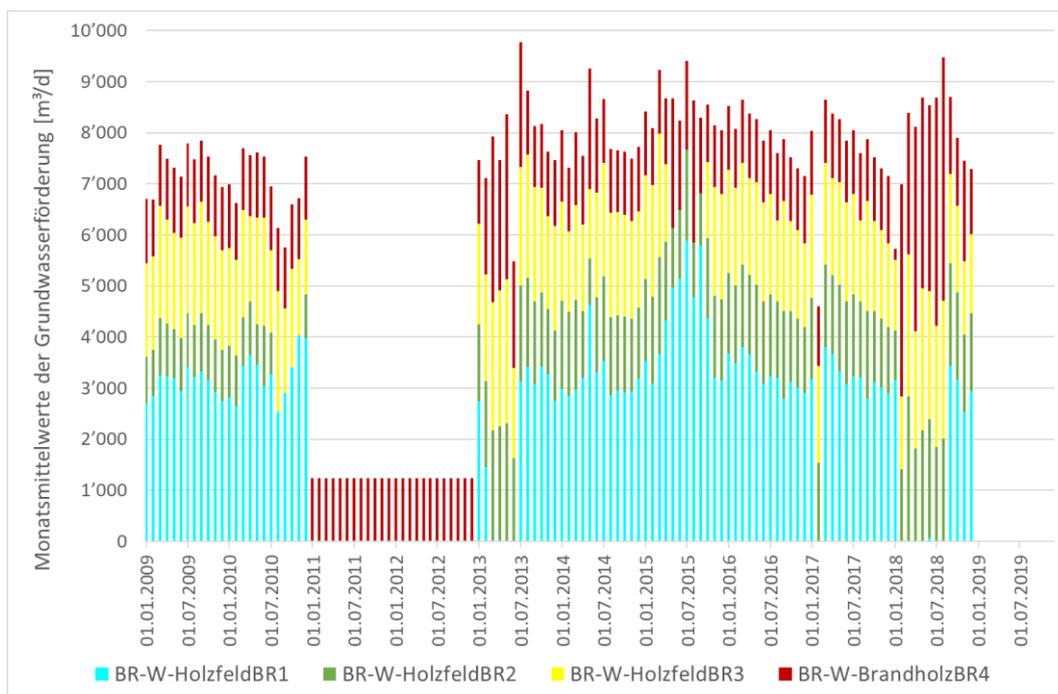


Abbildung 2-10: Grundwasserentnahmen der Trinkwasserfassung Stadtwerke Waldkraiburg.

### 2.4.4 Grundwasserneubildung

Für die Grundwasserneubildung wurden vom LfU die monatlichen Sickerwasserraten im Zeitraum 1951 bis 2018 sowie die jährlichen Grundwasserneubildungsmengen im Zeitraum 2000 bis 2018 zur Verfügung gestellt. Die Werte stammen aus der bayernweiten Langzeit-Berechnung mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW und liegen flächendifferenziert vor. In den bereitgestellten Daten des LfU sind des weiteren Perioden langjähriger Mittelwerte der Grundwasserneubildung für die Verhältnisse „Mittel“ (1971-2000), „Nass“ (1993-2002) und „Trocken“ (2003-2018) enthalten.

Tabelle 2-9: Datenbestand Grundwasserneubildung.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[24]	Grundwasserneubildung (shape-Datei, Jahreswerte von 2000 bis 2018 sowie langjährige Mittelwerte), Sickerwasser (shape-Datei) Monatswerte von 1951 bis 2018), basierend auf Modell GWN-BW	02.03.2021, Bayerisches Landesamt für Umwelt, <a href="http://www.lfu.bayern.de">www.lfu.bayern.de</a>

Abbildung 2-11 zeigt die aus den flächendifferenziert vorliegenden Daten berechneten Jahresgebietsmittelwerte bezogen auf das Modellgebiet für den Zeitraum 2000 – 2018. Zudem wurden zur Einordnung dieser Jahreswerte die langjährigen Mittelwerte für die vom LfU angegebenen Perioden Mittel/ Nass/ Trocken dargestellt.

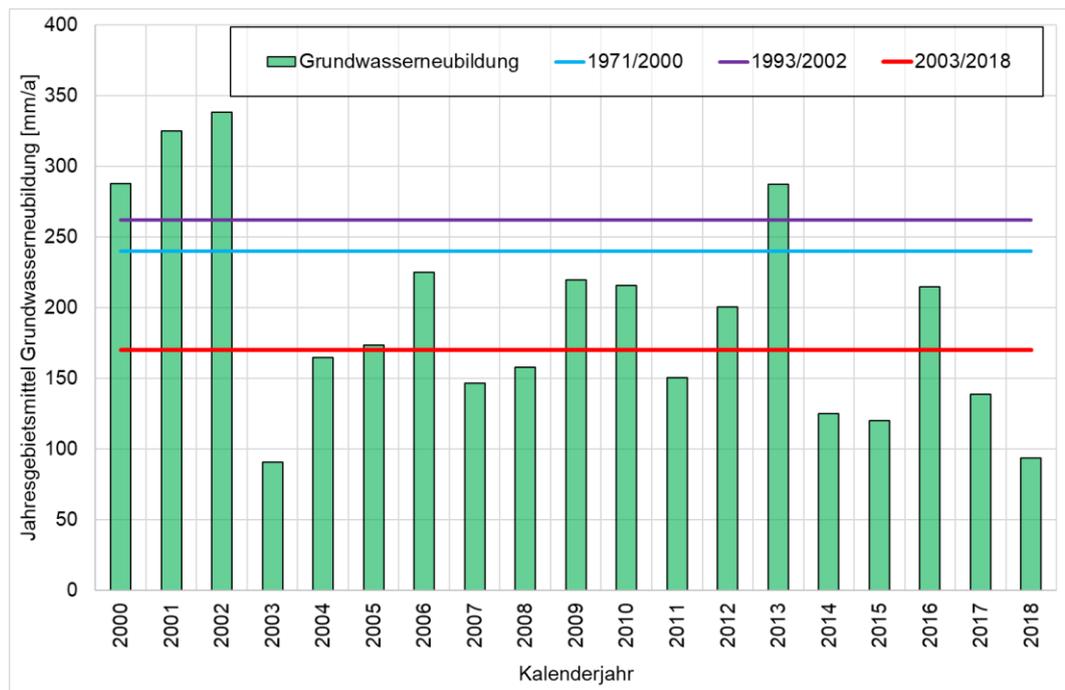


Abbildung 2-11: Jahresgebietsmittelwerte der Grundwasserneubildung bezogen auf das Modellgebiet für den Zeitraum 2000 – 2018 sowie ausgewählte langjährige Mittelwerte.

Für die stationäre Kalibrierung des Grundwassermodells zur Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009 wurde die mittlere Grundwasserneubildung (GWN) des Jahres 2008 verwendet. Das Jahr 2008 wies mit 158 mm/a als Gebietsmittelwert eine relativ geringe GWN auf. Zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung lagen niedrige Grundwasserstände vor (s.a. Abbildung 2-6).

In Abbildung 2-12 ist die Verteilung der mittleren Grundwasserneubildung 2018 im Modellgebiet dargestellt. Die Abbildung enthält zudem die für die Ermittlung der Zufluss-Randbedingungen im Norden und Westen des Modells verwendeten Einzugsgebiete. Für diese Einzugsgebiete wurden jeweils die Grundwasserneubildungsraten ermittelt. Das westliche Einzugsgebiet wurde aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Verteilung der GWN in einen nördlichen und südlichen Bereich unterteilt. Für die drei Einzugsgebiete ergaben sich folgende Grundwasserzuflussraten, die im Modell als Zuflussrandbedingung an den jeweiligen Modellgrenzen angesetzt werden:

- Zufluss Nord:  $2,26 \cdot 10^{-6}$  m/s (23.627 m<sup>3</sup>/d)
- Zufluss West-Nord:  $3,08 \cdot 10^{-6}$  m/s (11.886 m<sup>3</sup>/d)
- Zufluss West-Süd:  $1,25 \cdot 10^{-6}$  m/s (7.101 m<sup>3</sup>/d)

Für die instationäre Kalibrierung des Grundwassermodells wurden die monatlichen Sickerwasserraten angesetzt. Da die Daten nur bis Ende 2018 vorliegen, wurde der instationäre Kalibrierungszeitraum von März 2009 (mit den berechneten Grundwasserständen des stationären Modells als Anfangsbedingung) bis Dezember 2018 festgelegt.

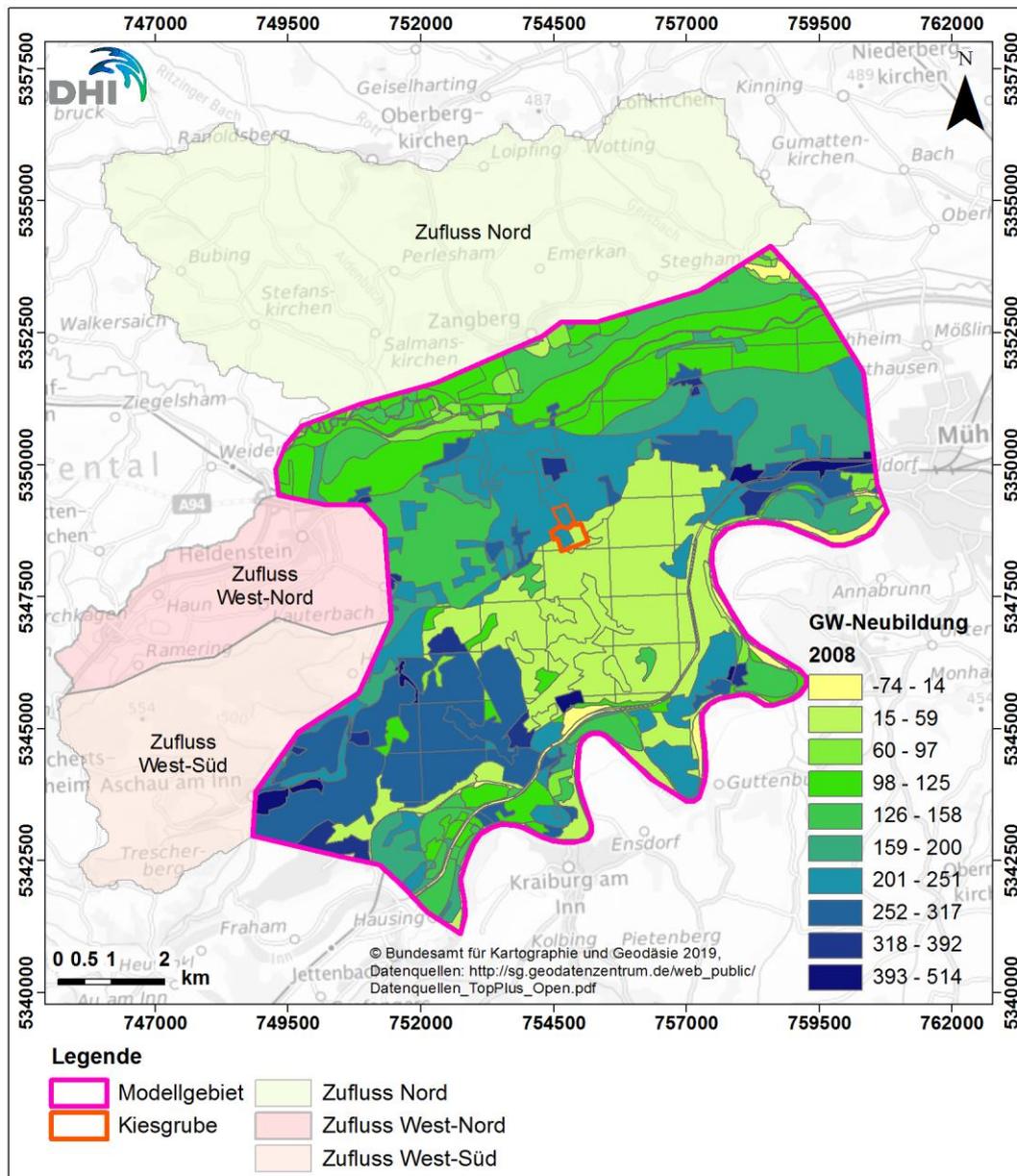


Abbildung 2-12: Darstellung der mittleren Grundwasserneubildung des Jahres 2008 sowie der Einzugsgebiete für die Ermittlung der Zufluss-Randbedingungen im Norden und Westen des Modellgebiets.

### 2.4.5 Sickerwasserraten

Zur Ableitung der anzusetzenden Sickerwassermengen auf dem Areal der geplanten Deponie liegt ein Gutachten der Firma Zosseder vom Juni 2019 vor.

Tabelle 2-10: Gutachten zu den anzusetzenden Sickerwasserraten.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[25]	Neuerrichtung einer DK 0 - Deponie am Standort Ampfing, Abschätzung Sickerwassermenge und -zusammensetzung, Juni 2019	07.06.2021, Zosseder GmbH Abbruch und Entsorgung

Im Modell wurde eine Sickerwasserfläche von ca. 100 m<sup>2</sup> angesetzt, welche ein „Loch“ in der Deponieabdichtung (technische Barriere) abbilden soll. Wie in Abbildung 2-13 zu sehen, wurde die Sickerwasserfläche in die nächstgelegene Ecke zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim gelegt (konservative Betrachtung). Für die Sickerwasserfläche wurde eine Rate von 860 mm/a angesetzt, welche dem durchschnittlichen Niederschlag in diesem Bereich entspricht [25]. Die restliche Deponiesohlfäche wurde mit 0 mm/a belegt, da das anfallende Sickerwasser gesammelt und abgeleitet wird (Sickerwasserfassung mit Entwässerung Richtung Norden).



Abbildung 2-13: Darstellung der abgeleiteten Modellansätze für die Sickerwasserraten in der Deponiefläche der Grube Bäuerle sowie der Grundwasserneubildungsraten und zu erwartenden Grundwasserfließrichtung im Umfeld.

### 2.4.6 Pumpversuche und hydraulische Parameter

Im Untersuchungsgebiet wurden mehrere Pumpversuche durchgeführt, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle 2-11 zusammengefasst und in Abbildung 2-14 dargestellt sind.

Tabelle 2-11: Recherchierte Pumpversuchsdaten.

Bohrloch	Rechtswert [25832]	Hochwert [25832]	T [m <sup>2</sup> /s]	k <sub>r</sub> -Wert [m/s]	Datum, Quelle
BKH2	747673	747673	3,77*10 <sup>-4</sup>	1,62*10 <sup>-3</sup>	03.05.2016, IFB Eigenschenk
BKH3	747758	5340695	7,41*10 <sup>-4</sup>	5,15*10 <sup>-3</sup>	03.05.2016, IFB Eigenschenk
BKH3	747758	5340695	7,53*10 <sup>-4</sup>	5,69*10 <sup>-3</sup>	04.05.2016, IFB Eigenschenk
Fraham R1	749457	5341275	2,35*10 <sup>-3</sup>	4,33*10 <sup>-3</sup>	04.05.2016, IFB Eigenschenk
Fraham R2	749434	5340922	8,64*10 <sup>-4</sup>	1,87*10 <sup>-3</sup>	03.05.2016, IFB Eigenschenk

Bohrloch	Rechtswert [25832]	Hochwert [25832]	T [m <sup>2</sup> /s]	k <sub>r</sub> -Wert [m/s]	Datum, Quelle
BR-BHF-JE	750573	5341062	1,23*10 <sup>-3</sup>	6,73*10 <sup>-3</sup>	04.05.2016, IFB Eigenschenk
GWM 1	754502	5348592	-	4,7*10 <sup>-4</sup>	10.12.2018, Crystal Geotechnik
GWM 2	755017	5348873	-	9,8*10 <sup>-4</sup>	10.12.2018, Crystal Geotechnik
GWM 3	755142	5348561	-	2,6*10 <sup>-3</sup>	10.12.2018, Crystal Geotechnik
GWM 4	754925	5348473	-	1,6*10 <sup>-3</sup>	10.12.2018, Crystal Geotechnik
Litzelkirch	750947	5344935	-	2,6*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 1	756650	5346571	-	2,0*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 2	754943	5346892	-	4,0*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 3	755559	5346380	-	3,7*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 4	753049	5346838	-	2,2*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 5	754404	5347857	-	2,7*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 6	755459	5348052	-	2,7*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 7 TB	755546	5347716	-	1,3*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 8 TB	755599	5347531	-	2,7*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
MühlH 9	755618	5347329	-	2,5*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
Waldk 1	753344	5344920	-	3,4*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
Waldk 2	752319	5347276	-	2,1*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
Waldk 3	752219.806	5347238	-	9,8*10 <sup>-4</sup>	IFB Eigenschenk
Waldk 4	752145	5347174	-	7,2*10 <sup>-4</sup>	IFB Eigenschenk
Eichheim 1	753097	5348473	-	2,1*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
Eichheim 2	753060	5348468	-	2,1*10 <sup>-3</sup>	IFB Eigenschenk
Ampfing 1	753136	5350200	-	2,5*10 <sup>-4</sup>	IFB Eigenschenk
Ampfing 2	753268	5350697	-	3,0*10 <sup>-4</sup>	IFB Eigenschenk

In WROBEL (1980, Hydrogeologische Karte von Bayern, Blatt Mühlendorf am Inn) werden für den Bereich nördlich des Inns k<sub>r</sub>-Werte bis zu 5\*10<sup>-3</sup> m/s angegeben.

Porositäten werden in IFB Eigenschenk [6] mit 19% angegeben.

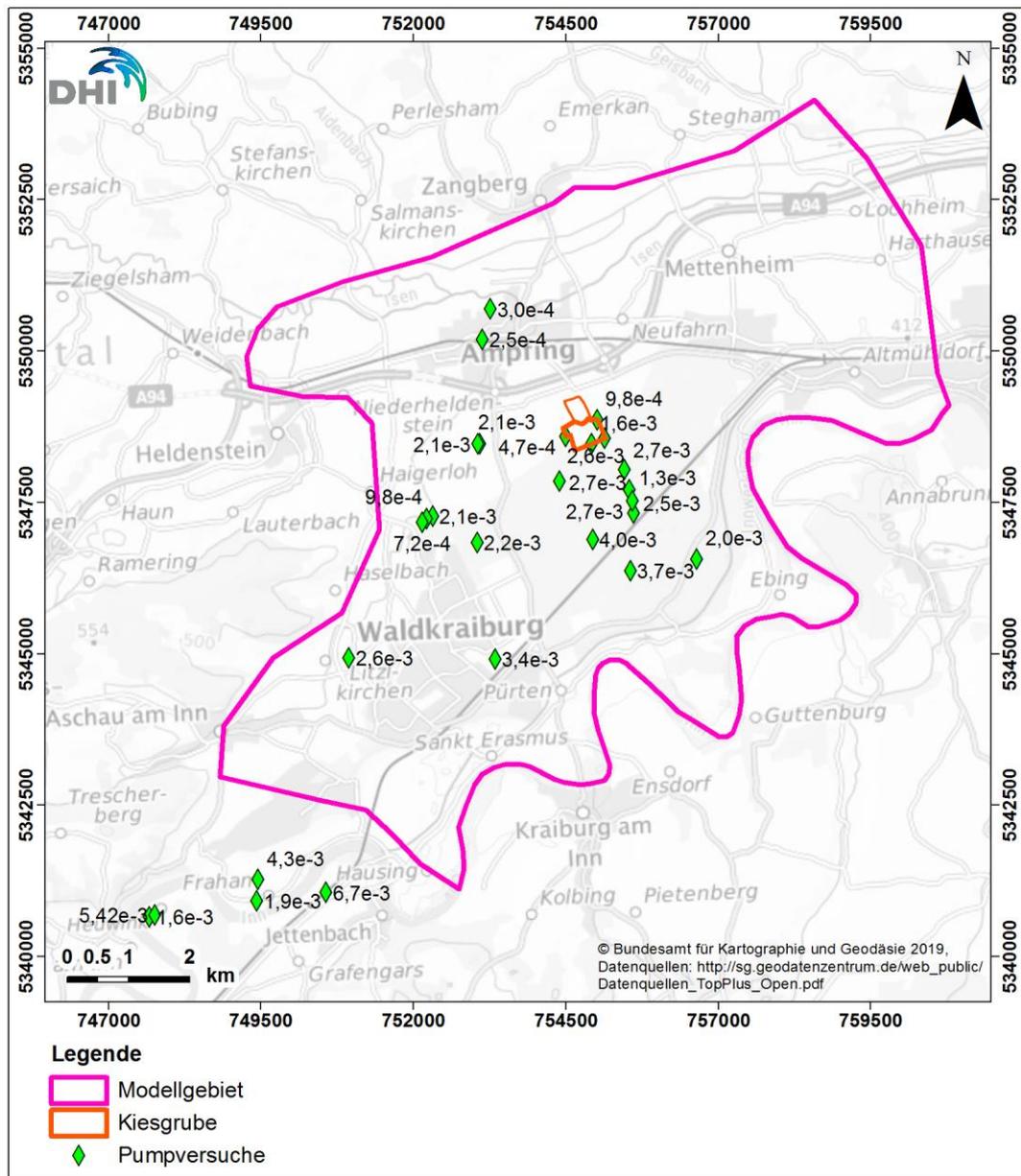


Abbildung 2-14: Vorliegende Angaben zu Durchlässigkeitsbeiwerten [m/s] aus Pumpversuchen (Quellen: Crystal Geotechnik [4], IFB Eigenschenk [6]).

## 2.5 Oberflächenwasser

Es wurden die Gewässer Inn, Innkanal, Isen und Howaschgraben im Grundwassermodell berücksichtigt (Abbildung 2-15). Die Abbildung enthält zudem die Standorte der recherchierten Pegel Mühldorf, Kraiburg und Engfurt.

Tabelle 2-12: Datenbestand Gewässerpegel.

[i]	Beschreibung	Datum, Quelle
[26]	Abfluss und Wasserstandsdaten der Pegel: Mühldorf (Inn), Kraiburg (Inn) und Engfurt (Isen)	02.03.2021, Gewässerkundlicher Dienst Bayern, www.gkd.bayern.de

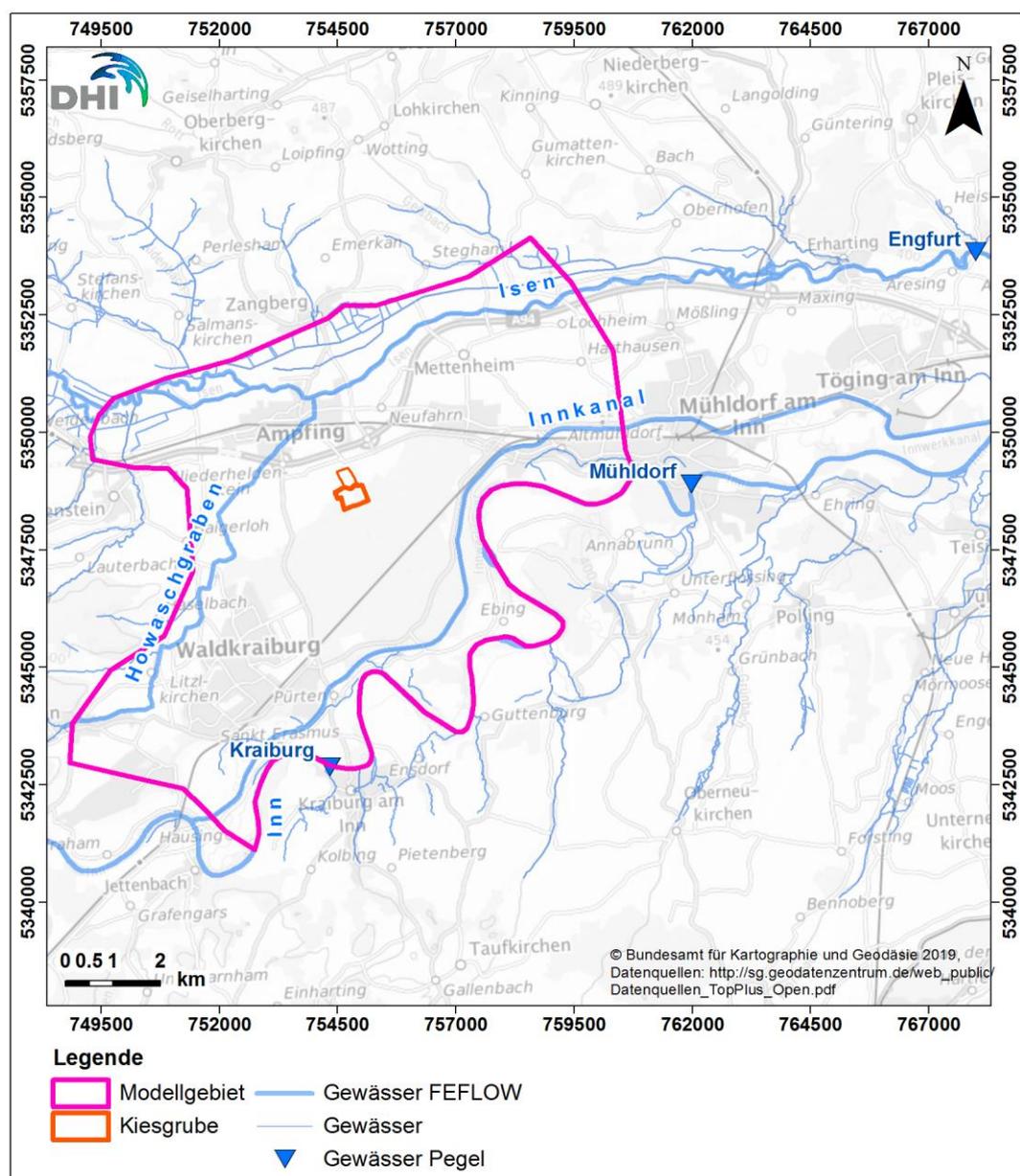


Abbildung 2-15: Darstellung der im Grundwassermodell berücksichtigten Gewässer sowie der vorhandenen Gewässerpegel.

### 3 Aufbau und Kalibrierung des Grundwassermodells

#### 3.1 Aufbau des Hydrogeologischen Strukturmodells (HSM)

##### 3.1.1 Kurzbeschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse

###### Geologie

Geographisch befindet sich das Untersuchungsgebiet im Bereich des Unteren Inntals und des Isentals. Die flachen Talbereiche können Terrassenkanten aufweisen und werden vom Tertiärhügelland umgeben.

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet im ostoberbayerischen Alpenvorland und ist durch eiszeitliche und nacheiszeitliche Terrassenflächen des Inns geprägt. Die maximalen Eisrandlagen der Würm-Eiszeit im Umfeld des Inn-Gletschers sind in Abbildung 3-1 dargestellt. Dominiert wird das Untersuchungsgebiet durch zwei Schichtpakete: die tertiäre Obere Süßwassermolasse (OSM) und die quartären Niederterrassenschotter. Im Talbereich unterlagert die OSM die quartären Schotter. Im Bereich der Tertiärhügel steht die OSM an.

Lokal treten lehmige Deckschichten, holozäne sandig-kiesige Ablagerungen im Inntal, Moor- und Quellabsätze sowie Auffüllungen auf.

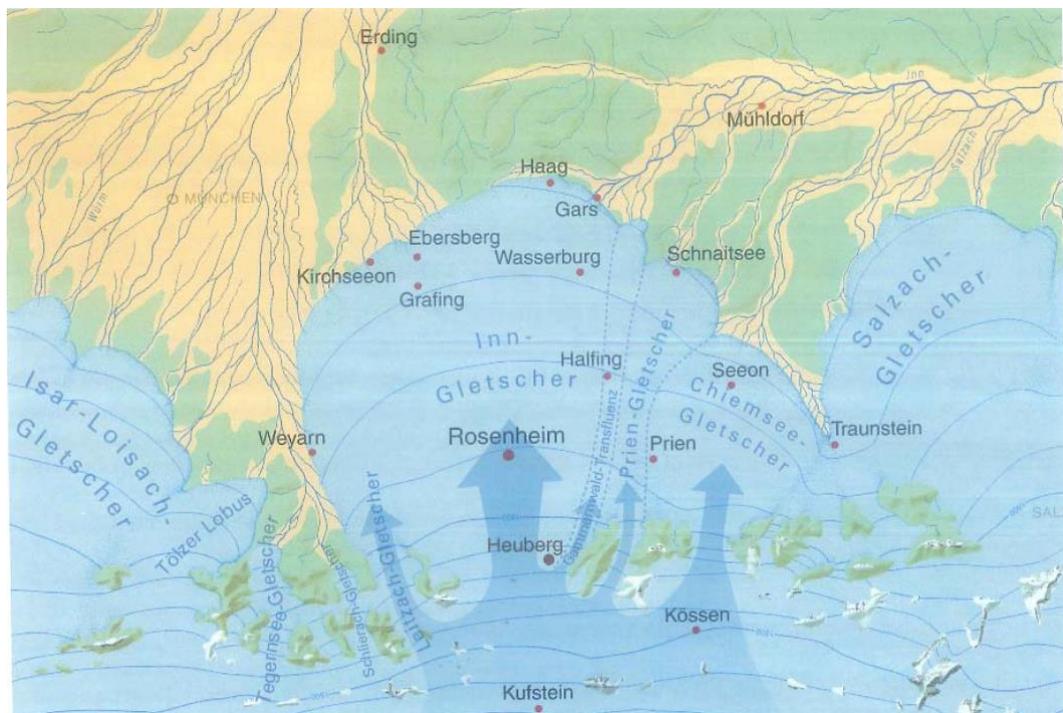


Abbildung 3-1: Maximale Eisrandlagen während der Würm-Eiszeit im Umfeld des Inn-Gletschers.

###### Hydrogeologie

Sowohl in den quartären als auch tertiären Ablagerungen sind Grundwasservorkommen vorhanden. Für die vorliegende Fragestellung ist der quartäre Grundwasserleiter entscheidend.

Die quartären Schotter, meist sandige Kiese mit Einschaltungen von geringmächtigen Sandlinsen, bilden einen bis über 20 m (WROBEL, 1980) mächtigen freien Porengrundwasserleiter, der sich über die gesamte Talfläche erstreckt. Darunter bilden die meist gering durchlässigen oberen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse die Unterkante des quartären Grundwasserleiters. Dies ist in einem amtlichen Profilschnitt in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt. Die Höhenlage der Grenze zwischen Quartär und Tertiär variiert (Relief). Durch die vorliegenden Bohrungen und Profilschnitte kann die Grenze ausreichend nachgebildet werden.

Auf die Grundwasserverhältnisse in der Oberen Süßwassermolasse, welche durch Wechsellagerung / Verzahnungen und teils gespannte Grundwasserverhältnisse geprägt ist, wird hier nicht weiter eingegangen, da sie für die Fragestellung nicht relevant sind.

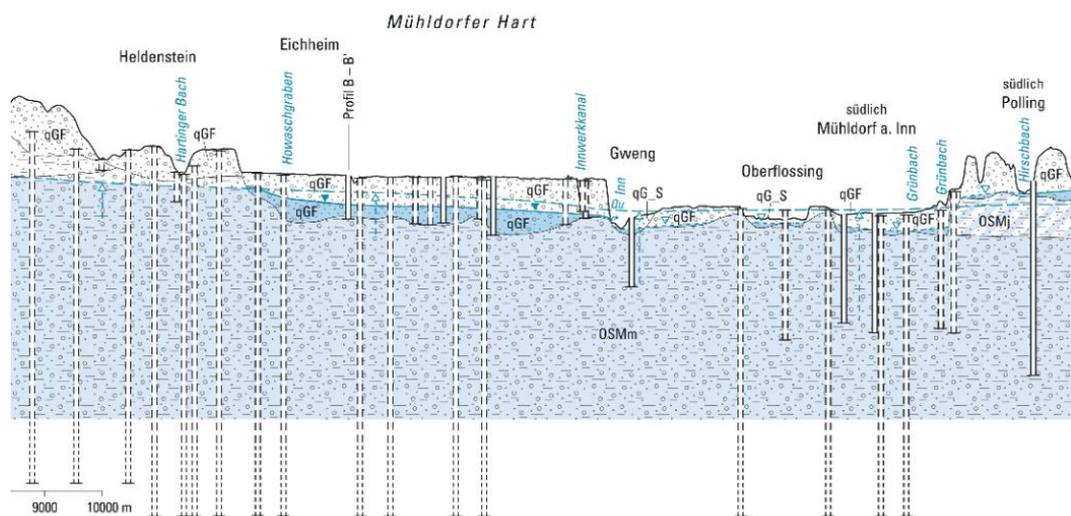


Abbildung 3-2: Ausschnitt aus dem amtlichen Profilschnitt (West-Ost) 18-1 der dHK100 Bayern.

Aus den vorliegenden Gutachten und Berichten wurden vorhandene Informationen zu Durchlässigkeitsbeiwerten ( $k_f$ ) zusammengetragen und statistisch ausgewertet (Tabelle 3-1). In (WROBEL, 1980) werden für den Bereich nördlich des Inns  $k_f$ -Werte bis zu  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s angegeben.

Tabelle 3-1: Recherchierte Durchlässigkeitsbeiwerte.

Einheit	mittl. Mächtigkeit	hydraulische Durchlässigkeit $k_f$	nutzbare Porosität
Fluviatile Kiese	bis 40 m, davon ca. 5 m grundwassererfüllt	$2 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-2}$ m/s $6,7 \cdot 10^{-3}$ bis $1,6 \cdot 10^{-3}$ m/s (Pumpversuche) $5 \cdot 10^{-3}$ m/s (WROBEL)	8 bis 25 %
Kolmationsschicht des Inn im Oberwasser der Staustufe Jettenbach	bis 3,8 m, im Mittel 2 m	$1 \cdot 10^{-5}$ m/s $1 \cdot 10^{-7}$ mit zusätzlicher Betonschalenauskleidung	10 %
Tertiär	ca. 200 m	$10^{-4}$ bis $10^{-10}$	5 bis 20 %

Das Grundwasser im quartären Grundwasserleiter fließt generell dem Vorfluter Inn zu. Die Flurabstände der Grundwasseroberfläche im Quartär sind nahe der Isen sehr gering und nehmen mit Annäherung an die hohe, steile Terrassenkante am Inn zwischen Waldkraiburg und Mühldorf rasch auf 25 m und mehr zu.

Die Isen ist fast völlig gegen das Grundwasser abgedichtet (WROBEL, 1980).

Laut IFB Eigenschenk sind nur die ersten 300 m des Innkanals nach der Ausleitung nicht abgedichtet. Dieser Bereich liegt außerhalb des Modellgebietes. Somit ist der Innkanal für den Betrachtungsraum durch seine Abdichtung nicht hydraulisch wirksam.

### 3.1.2 Strukturmodellierung

Die Strukturmodellierung erfolgte mit Hilfe der Software Leapfrog Works 4.0<sup>®</sup> (Seequent Limited). Leapfrog Works ist ein geologisches Modellierungs- und Visualisierungssystem, welches die 3D-Modellierung von geologischen Schichten anhand verschiedener geologischer und hydrogeologischer Datensätze ermöglicht. Besonderes Merkmal von Leapfrog Works ist die Schnittstelle zur eingesetzten Simulationssoftware FEFLOW für die Grundwasserströmung zur direkten Überführbarkeit der geologischen Daten in das Grundwassermodell, sowie die schnelle Verarbeitung und Visualisierung großer Datenmengen. Leapfrog Works verwendet die „Radial Basis Function“ (RBF) zur Interpolation der eingegangenen Daten.

Die für den Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells verwendeten Datengrundlagen sind in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 beschrieben. Die Strukturmodellierung basierte im Wesentlichen auf dem Datenbestand zu den geologischen Aufschlüssen (s. Tabelle 2-4) sowie den vorhandenen amtlichen Profilschnitten und Kartenwerken (s. Tabelle 2-3). Die Lage der Bohrungen und der amtlichen Schnitte sind in Abbildung 2-2 dargestellt.

Die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen wurden zu einem übergreifenden Datenpaket zusammengefasst. Insgesamt wurden 1.410 Aufschlussbohrungen verwendet.

Das hydrogeologische Strukturmodell wurde im Koordinatensystem EPSG:25832 (ETRS89 / UTM Zone 32N) aufgebaut.

#### 3.1.2.1 Hydrogeologische Einheiten

Auf Basis der vorliegenden Bohrdaten und Profilschnitte wurden drei hydrostratigrafische Einheiten unterschieden, welche in Tabelle 3-2 aufgeführt sind.

Tabelle 3-2: Hydrostratigrafische Unterteilung des Modellgebiets.

Stratigraphie	Lithologie	FEFLOW Einheit
Deckschicht	Kies, sandig, teilweise Geschiebemergel	Deckschicht
Quartär	Kies, sandig	Grundwasserleiter
Tertiär	Schluffe bis Tone	Basis des Grundwassermodells

Die Oberkante des Strukturmodells bildet die Geländeoberfläche. Dafür wurde im näheren Umfeld des Fokusgebietes das digitale Geländemodell DGM5 [1] und im weiteren Umfeld das DGM25 [2] verwendet.

Die Unterkante der Deckschicht sowie die Unterkante der quartären Ablagerungen wurden anhand der vorliegenden geologischen Aufschlusssdaten und der amtlichen Profilschnitte erstellt.

In Abbildung 3-3 ist die modellierte Unterkante der quartären Ablagerungen zusammen mit den Bohrungen und einem amtlichen Profilschnitt im dreidimensionalen Raum dargestellt. Abbildung 3-4 zeigt einen West-Ost Schnitt.

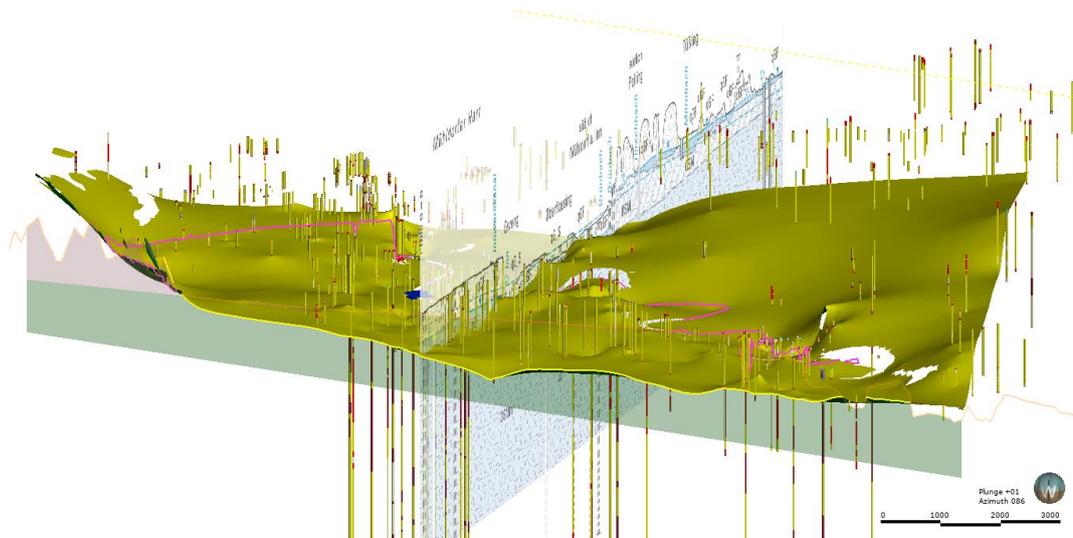


Abbildung 3-3: Dreidimensionale Darstellung des hydrogeologischen Strukturmodells (Blick Richtung Osten, 20-fach überhöht). In Gelb die Unterkante der quartären Ablagerungen. Bohrungen sind als Zylinder aufgezeigt.

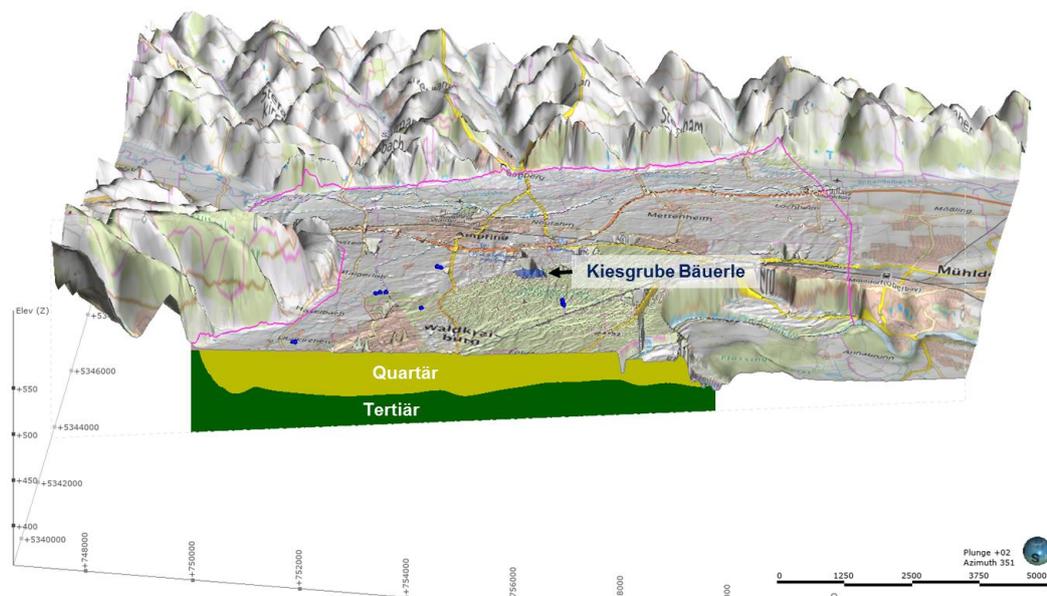


Abbildung 3-4: 3D-West-Ost Schnitt durch das hydrogeologische Strukturmodell (Blick Richtung Norden, 20-fach überhöht). Dargestellt in Gelb das Quartär und in Grün das Tertiär.

### 3.1.2.2 Plausibilität des hydrogeologischen Strukturmodells

In Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6 werden Profilschnitte aus dem Strukturmodell mit den amtlichen geologischen Interpretationen [9] [10] verglichen, um die Plausibilität des Modells aufzuzeigen. Das Strukturmodell wurde als dreidimensionales Modell erstellt. Die folgenden Schnitte repräsentieren eine 2D-Abbildung dieses 3D-Modells. Dazu wurden Bohrungen und die Quartär-Tertiär-Schichtgrenze in einem Korridor von 300 m auf die Schnittfläche projiziert.

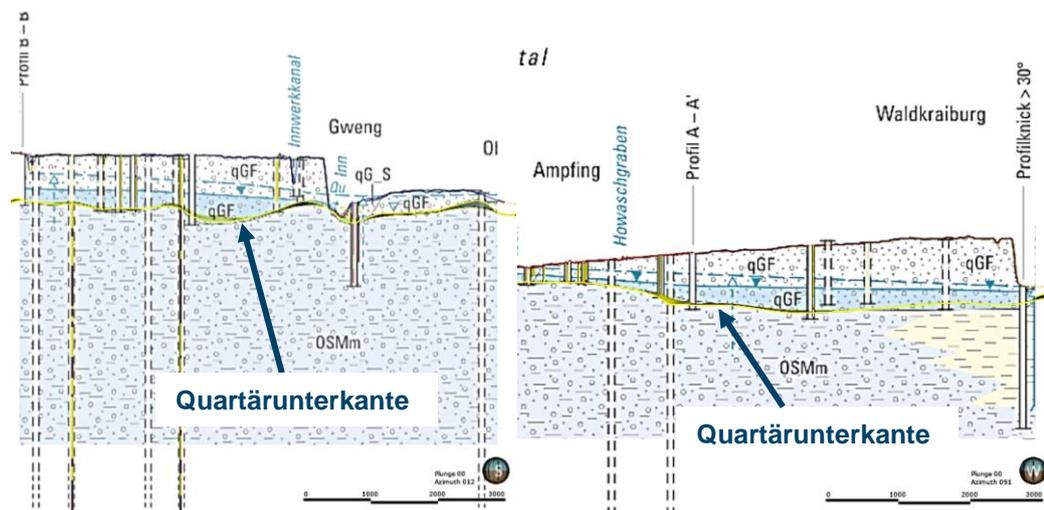


Abbildung 3-5: Amtliche Profilschnitte HK100 18-1 (links) und HK100 18-2 (rechts) mit projizierten Bohrungen im Vergleich zu dem erstellten Strukturmodell (20-fach überhöht). Die gelbe Schicht stellt den modellieren Kontakt zwischen Quartär und Tertiär dar.

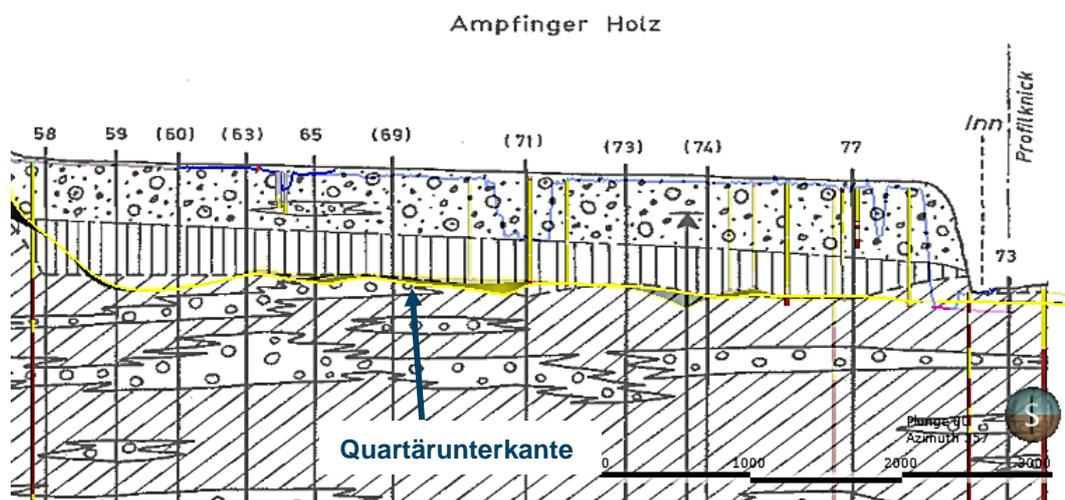


Abbildung 3-6: Profilschnitt HK50 Blatt 7740 Mühldorf (A-A') mit projizierten Bohrungen im Vergleich mit dem erstellten Strukturmodell (20-fach überhöht). Die gelbe Schicht stellt den Kontakt zwischen Quartär und Tertiär dar.

Wie in den Profilschnitten zu sehen, wird die Schichtgrenze zwischen Quartär und Tertiär sehr gut dargestellt. Lokal kann sich die modellierte Kontaktfläche bedingt durch Bohrungen, die zum Zeitpunkt der Erstellung der amtlichen Schnitte noch nicht vorhanden waren, leicht von der amtlich ausgewiesenen Kontaktfläche unterscheiden.

## 3.2 Aufbau des numerischen Grundwassermodells (FEFLOW)

### 3.2.1 Simulationssoftware

Das Grundwassermodell wurde mit der Software FEFLOW 7.4 erstellt. FEFLOW ist ein professionelles Softwarepaket zur Berechnung von Wasserströmung und Stoff- und Wärmetransport in porösen Medien. Neben der gesättigten Strömung (Darcy-Ansatz) können auch teil- oder ungesättigte Bedingungen mit der Richards-Gleichung abgebildet werden. FEFLOW basiert auf der Finite-Elemente-Technik. Dadurch ist eine sehr flexible Modelldiskretisierung des Untersuchungsgebietes (z. B. Dreieckselemente, aber auch eine Kombination aus Dreiecks- und Viereckselementen) möglich, die eine genaue, ortskonkrete Abbildung der Randbedingungen (insbesondere Brunnen und Gewässernetz) und der geologischen und oberflächigen Strukturen (z. B. Deiche etc.) zulassen.

### 3.2.2 Modellgebietsabgrenzung

Für die vorliegende Fragestellung bilden die quartären Niederterrassenschotter die relevante hydrogeologische Haupteinheit. Es wurde daher im Norden sowie Westen die geologische Verbreitungsgrenze der quartären Niederterrassenschotter als Begrenzung verwendet. Diese keilen hier an den Talflanken zum Tertiären Hügelland hin aus. Die Grundwasserzuflüsse entlang dieser Modellränder konnten anhand der ermittelten Einzugsgebietsflächen und deren mittlerer Grundwasserneubildung quantifiziert werden (siehe Kapitel 2.4.4).

Die Abgrenzungen im Nordosten und Südwesten erfolgte senkrecht zu den vorliegenden Grundwasserisohypsen [15] und bilden somit einen geschlossenen Rand, an dem kein Grundwasseraustausch stattfinden kann („no-flow“ Randbedingung entlang Grenzstromlinie).

Im Südosten wurde die Grenze entlang des vorflutwirksamen Innverlaufs gewählt. Hier wird eine Gewässerrandbedingung (Transferrandbedingung) mit bekanntem Wasserspiegel angesetzt.

Die Modellgebietsabgrenzung ist schematisch in Abbildung 3-7 dargestellt. Das Modellgebiet weist eine Fläche von ca. 83 km<sup>2</sup> auf.

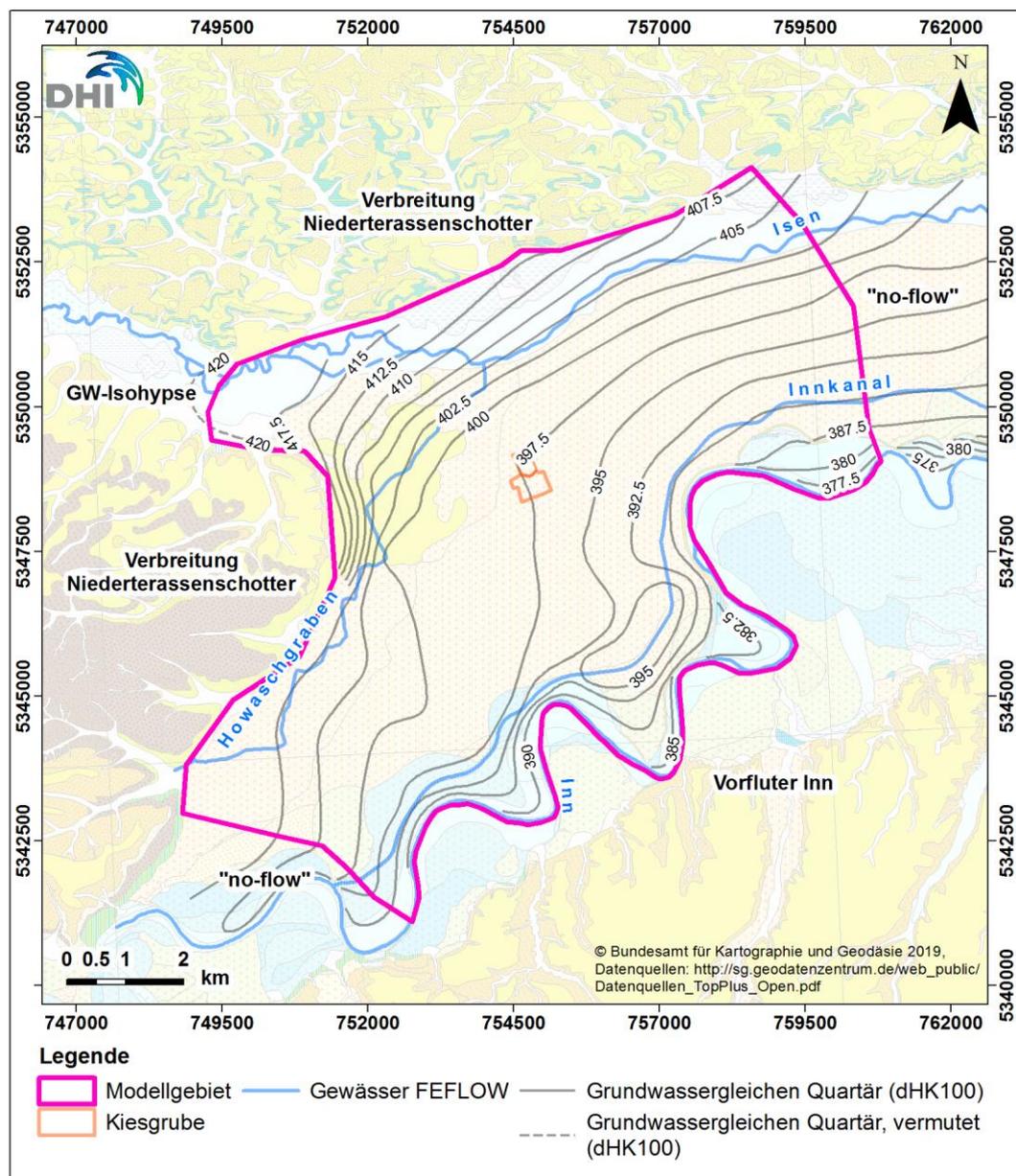


Abbildung 3-7: Modellgebietsabgrenzung (83 km<sup>2</sup>).

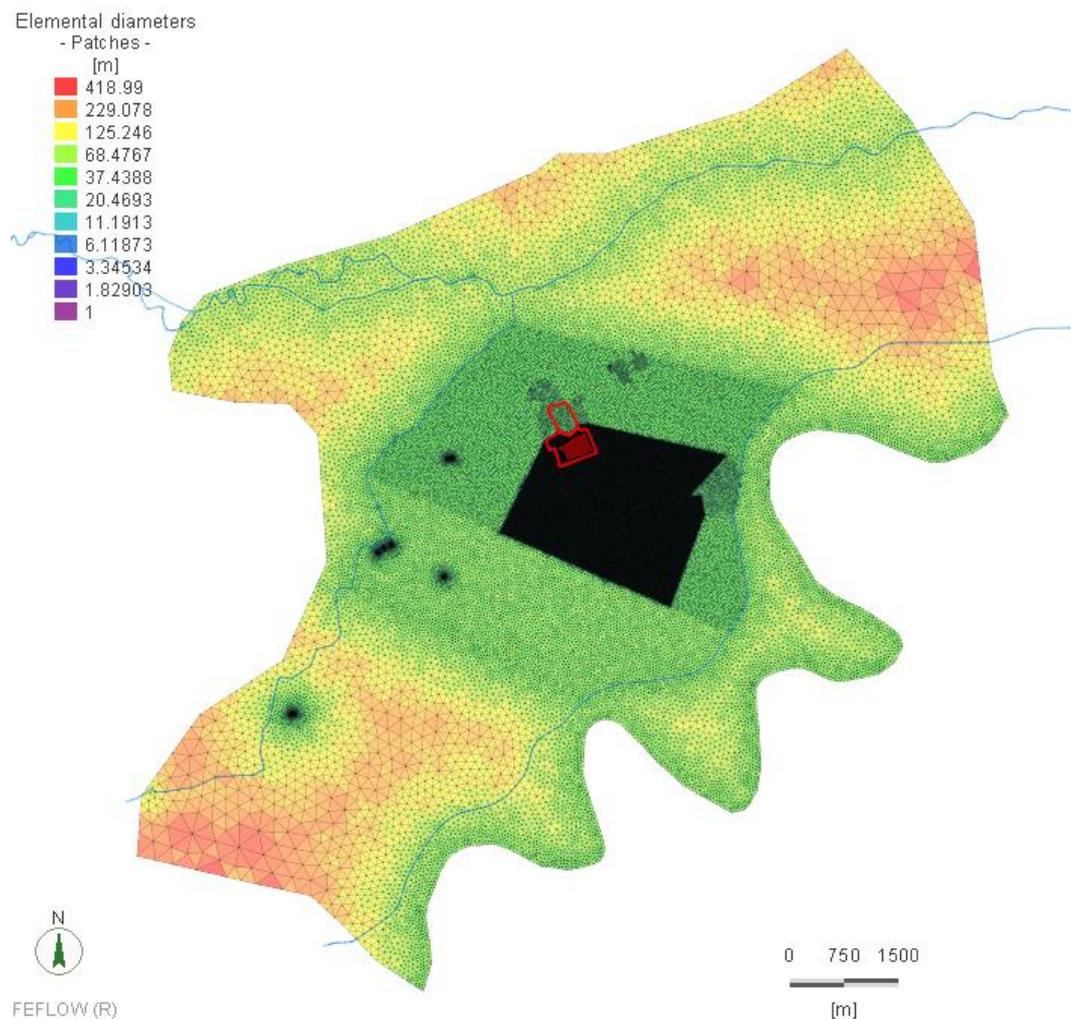
### 3.2.3 Horizontale Diskretisierung (2D-Netzstruktur)

Das Modellgebiet wurde durch Triangulation in finite Elemente unterteilt. Die Gitternetzweite wurde dabei so gewählt, dass eine ausreichende Modellgenauigkeit garantiert wird (Abbildung 3-8):

- im Bewertungsgebiet im Umfeld der Grube Bäuerle und der Trinkwasserfassung Mettenheim wurde eine hochaufgelöste Gitternetzweite mit Elementlängen von ca. 8 bis 11 m verwendet,
- im weiteren Umfeld des Kernbereichs wurden Elemente mit ca. 25 bis 65 m verwendet,
- im Außenbereich wurde das Gitter mit einer Elementweite von ca. 100 m bis 300 m aufgelöst.

Die horizontale Diskretisierung des Modellgebietes bildet außerdem die Geometrien der Gewässer Inn, Innkanal, Isen und Howaschgraben sowie die relevanten Kiesgruben und Brunnen ab.

Abbildung 3-9 zeigt die 2D-Netzstruktur des Modellgebietes in einem Detailausschnitt im Bereich des Bewertungsgebietes der Kiesgrube Bäuerte und der Trinkwasserfassung Mettenheim.



FEFLOW (R)

**Abbildung 3-8:** Darstellung der horizontalen Modelldiskretisierung und integrierten Strukturen (Brunnen, Flüsse, Fokusbereiche). Farblich werden die Elementgrößen repräsentiert.

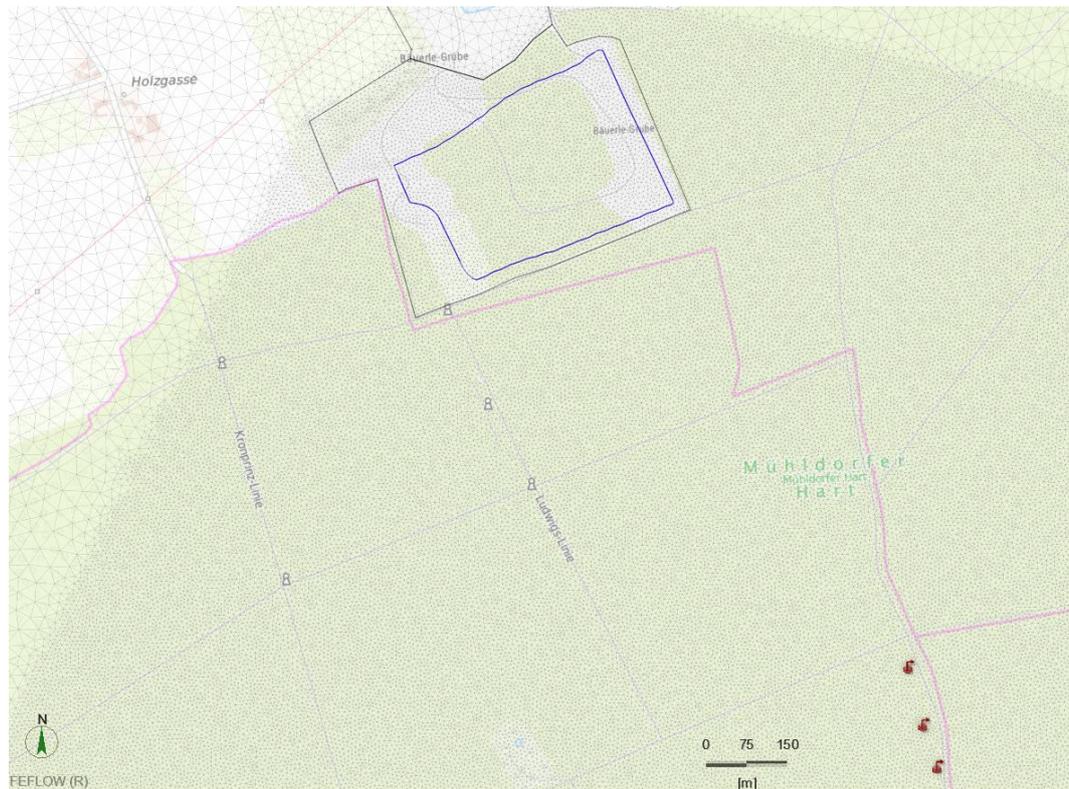


Abbildung 3-9: **Modelldiskretisierung im Bewertungsgebiet. Die blaue Umrandung markiert die geplante Deponiesohle.**

### 3.2.4 Vertikale Diskretisierung (Modellschichten)

Die Überführung des dreidimensionalen hydrogeologischen Strukturmodells in FEFLOW erfolgte in Leapfrog Works, mit Hilfe der dort integrierten Schnittstelle. Dabei werden die geometrischen Daten des hydrogeologischen Strukturmodells direkt auf das FEFLOW-Modellnetz interpoliert, welches anschließend als FEFLOW-\*.fem-Datei exportiert werden kann. Durch die FEFLOW-Leapfrog Works Schnittstelle wird es ermöglicht, eine Aktualisierung des hydrogeologischen Strukturmodells durch beispielsweise neue Bohrdaten, schnell in das Grundwassermodell überführen zu können.

Die vertikale Diskretisierung ist in Tabelle 3-3 zusammengefasst und wird in den folgenden Absätzen näher beschrieben.

Die Oberkante des Strukturmodells bildet die Geländeoberfläche. Dafür wurde im näheren Umfeld des Fokusgebietes das digitale Geländemodell (DGM5 [1]) und im weiteren Umfeld das DGM25 [2] verwendet.

Die Basis des Hauptgrundwasserleiters bildet die Unterkante der quartären fluviatilen Kiese. Die darunter liegenden Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (OSM) sind überwiegend aus gering durchlässigen Sedimenten (Feinsand bis Ton) aufgebaut. Teilweise werden innerhalb der OSM am Übergang zu den quartären Schottern jedoch Kiese angetroffen, die mitunter hydraulisch relevant sein können. In diesen Bereichen wurde die Unterkante des Grundwasserleiters so festgelegt, dass die relevanten Schotter noch im Modell integriert sind.

Zwischenschichten wurden innerhalb des quartären Grundwasserleiters so eingebaut, dass eine bessere vertikale Auflösung erreicht wird, die numerisch für die Stofftransportmodellierung stabilere Voraussetzungen schafft. Insgesamt wurden 13 Zwischen-

schichten eingefügt. Diese werden als durchgängige Modellflächen in das FEFLOW Modell überführt.

Insgesamt ist das Modell aus 3.386.295 Elementen und 1.812.080 Knoten aufgebaut.

Tabelle 3-3: Vertikale Diskretisierung des Grundwassermodells.

Modellschicht (Layer)	Modellfläche (Slice)	Vertikale Abgrenzung	Hydraulische Funktion	Hydrogeologische Einheiten innerhalb der Modellschicht	Mächtigkeiten
	1	GOK			
1	2	Unterkante Deckschicht	GWL und GWGL	Fluviatile quartäre Kiese, Schluffe	ca. 1-5 m
2-15	3-16	Unterkante Quartär	GWL	Fluviatile quartäre Kiese	Insgesamt ca. 5-50

### 3.2.5 Parametrisierung

#### 3.2.5.1 Hydraulische Parameter

Die Belegung initialer hydraulischer Parameter ( $k_f$ -Werte, Speicherkoeffizienten und Porositäten) erfolgte auf Basis der während des hydrogeologischen Strukturmodells erarbeiteten Parametrisierung. Während der Kalibrierung wurden diese weiter überarbeitet. Die erarbeiteten Werte sind in Tabelle 3-4 aufgelistet und in Abbildung 3-10 dargestellt.

Tabelle 3-4: Kalibrierte hydraulische Parameter.

Lithologische Einheit	Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ , m/s)	Porosität ( $n$ , 1)	Spez. Speicherkoeffizient ( $S_{sp}$ , 1/m)
Schluff, Deckschicht	$5 \cdot 10^{-5}$	0,19	0,001
Quartäre Kiese und Sande	$5,5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,001

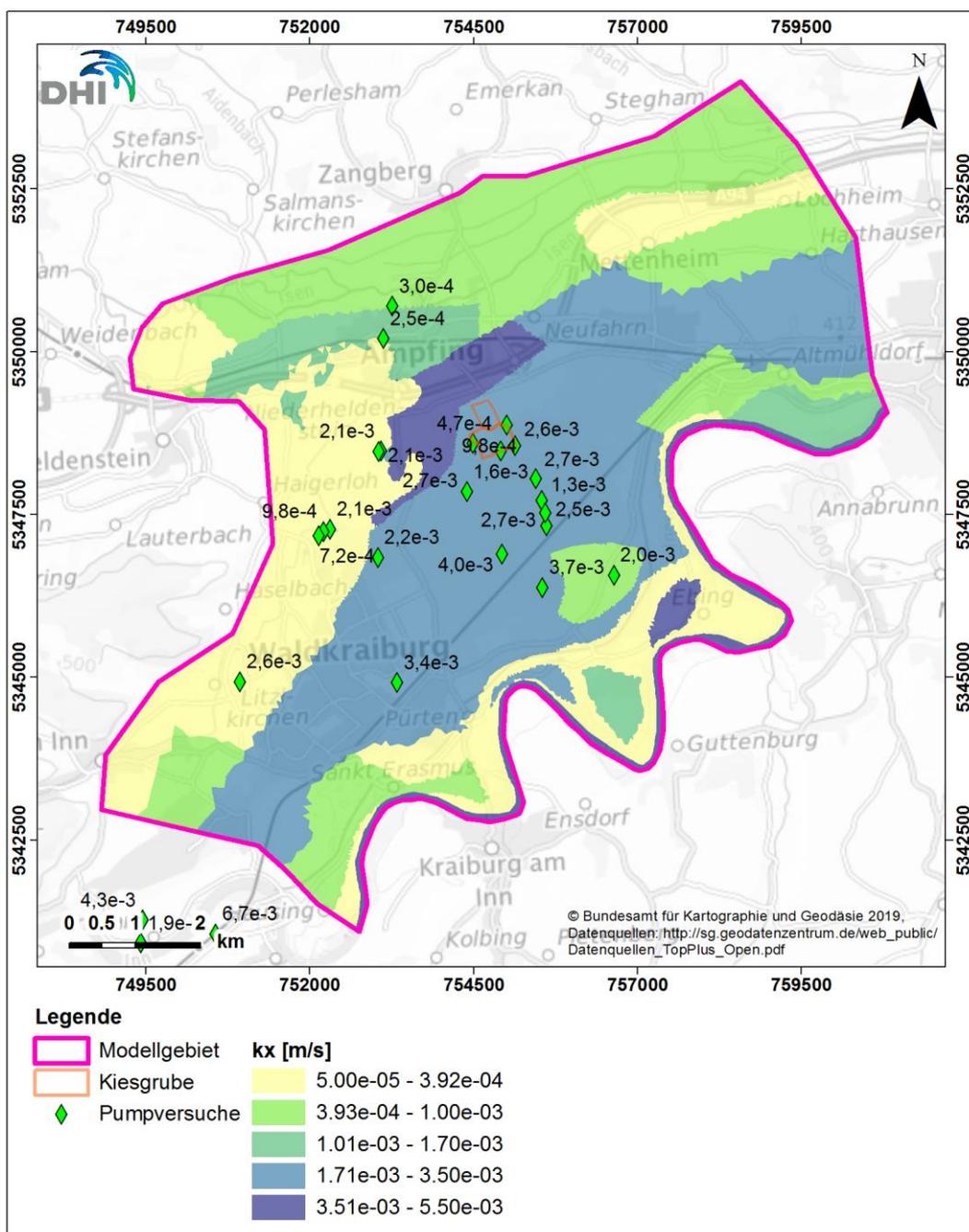


Abbildung 3-10: Darstellung der kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte ( $k_x$ -Wert Slice 1).

### 3.2.5.2 Transferraten

Die Interaktion zwischen Gewässer und Grundwasser, wurde im FEFLOW-Modell als Transferratenparameter realisiert. Dabei wird zwischen der „in-“ und „out-transfer rate“ unterschieden. Die „in-transfer rate“ beeinflusst wieviel Wasser vom Gewässer in das Grundwasser fließen kann. Die „out-transfer rate“ beeinflusst wieviel Wasser aus dem Grundwasser in das Gewässer fließen kann.

Die Transferraten der Gewässerabschnitte wurden während der stationären Kalibrierung ermittelt. Die Transferraten wurden auf der 1. bis 3. numerischen Schicht angesetzt. Die final ermittelten Transferraten sind:

- Inn:
  - „in-transfer rate“ =  $1 \cdot 10^{-6}$  1/s
  - „out-transfer rate“ =  $4 \cdot 10^{-4}$  1/s
- Isen und Howaschgraben:
  - „in-transfer rate“ =  $1 \cdot 10^{-8}$  1/s
  - „out-transfer rate“ =  $1 \cdot 10^{-7}$  1/s

### 3.2.6 Randbedingungen

Das numerische Grundwasserströmungsmodell wird entscheidend durch entsprechende Randbedingungen geprägt. Dazu gehören:

- Grundwasserneubildung
- Grundwasserstände (Randbedingung 1. Art – Hydraulic-head BC),
- Grundwasserströme (Randbedingung 2. Art – Fluid-flux BC),
- Gewässer- und grundwasserstandsabhängige Ströme (Randbedingung 3. Art – Fluid-transfer BC) und
- Grundwasserentnahmen und -verbringungen (Randbedingung 4. Art – Well BC und Multilayer Well).

Die im FEFLOW-Modell Ampfing integrierten Randbedingungen sind in Tabelle 3-5 zusammengefasst und werden in den kommenden Abschnitten weiter erläutert. Eine Übersicht über die Randbedingungen zeigt zudem Abbildung 3-11.

Tabelle 3-5: Angesetzte Randbedingungen

Randbedingungen / Parameter		Belegung	Stationäre Berechnung	Instationäre Berechnung
Grundwasserneubildung	GWN (In/outflow on top/bottom)	1. Modellschicht	Mittl. GWN des Jahres 2008	Monatliche Sickerwasserrate
Inn	Gewässer (Fluid-transfer BC)	1. Modellschicht	Mittl. Pegelwasserstände März 2009	Monatliche Pegelwasserstände
Isen, Howaschgraben	Gewässer (Fluid-transfer BC)	1. und 2. Modellschicht	Ermittelte Wasserstände (DGM)	Ermittelte Wasserstände (DGM)
Trinkwasserbrunnen	11 Brunnen (Multilayer Well BC)	5. bis 15. Modellschicht	Förderraten März 2009	Monatl. Förderraten bzw. Mittelwert für Brunnen bei Aschau am Inn
Grundwasserstand Isental	Grundwasserstand (Hydraulic Head BC)	Alle Modellschichten	418,5 mNN	418,5 mNN
GW-Randzufluss Nord, West-Nord und West-Süd	GW-Zufluss (Fluid-flux BC)	Alle Modellschichten	Nord: $2,26 \cdot 10^{-6}$ m/s West-Nord: $3,08 \cdot 10^{-6}$ m/s West-Süd: $1,25 \cdot 10^{-6}$ m/s	Nord: $2,26 \cdot 10^{-6}$ m/s West-Nord: $3,08 \cdot 10^{-6}$ m/s West-Süd: $1,25 \cdot 10^{-6}$ m/s

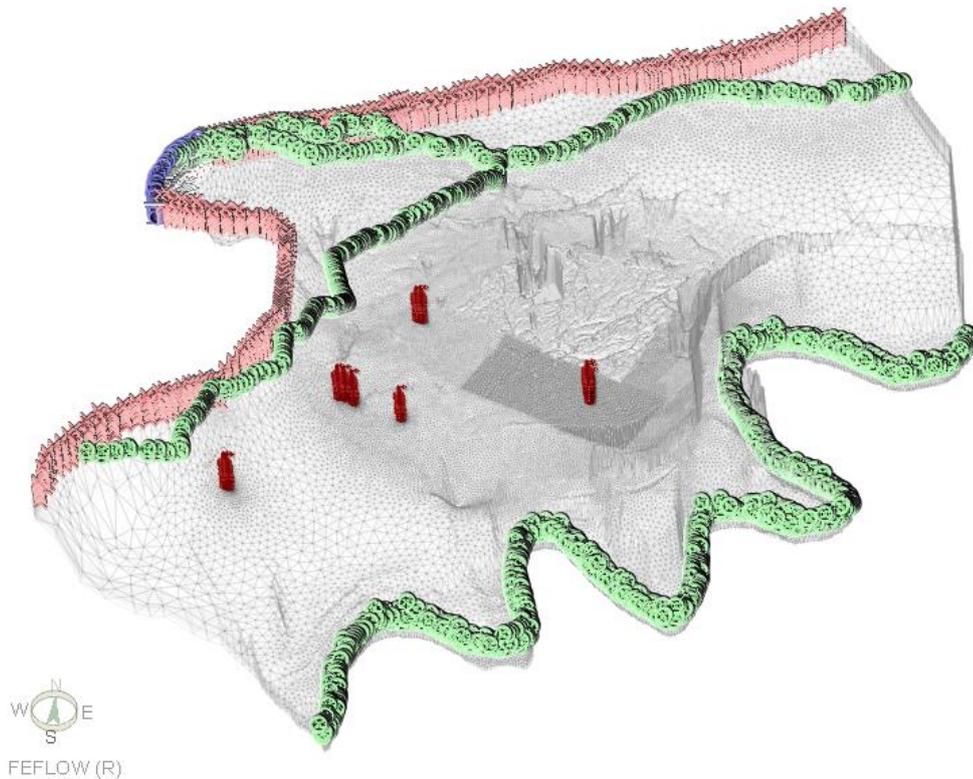


Abbildung 3-11: Darstellung der angesetzten Randbedingungen: Rot – Brunnen (Multilayer Well); Grün – Gewässer (Fluid Transfer); Blau – Grundwasserstand (Hydraulic Head); Rosa – Randzufluss (Fluid Flux).

### 3.2.6.1 Grundwasserneubildung

Für die stationäre Kalibrierung (März 2009) wurde, wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben, die mittlere Grundwasserneubildung des trockenen Jahres 2008 auf die oberste Modellschicht angesetzt.

Für die instationäre Kalibrierung wurden, wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben, die monatlichen Sickerwasserraten auf die oberste Modellschicht angesetzt.

### 3.2.6.2 Gewässer

Insgesamt wurden drei Gewässer als Gewässerrandbedingung in das Modell integriert:

- Inn: Flächig auf Slice 1 angesetzt, um die Breite des Flusses wiederzuspiegeln. Für die Wasserstandshöhen wurden vorliegende Pegeldata der Pegel Kraiburg und Mühldorf sowohl für den stationären als auch den instationären Ansatz verwendet.
- Isen: Vertikal zwischen Slice 1 und 2 angesetzt. Es lagen keine gemessenen Wasserstandsdaten im Modellgebiet vor. Deshalb wurden die Höhen aus dem vorliegenden DGM mit einer Differenz von -1 m abgeschätzt.
- Howaschgraben: Vertikal zwischen Slice 1 und 2 angesetzt. Es lagen keine gemessenen Wasserstandsdaten im Modellgebiet vor. Deshalb wurden die Höhen aus dem vorliegenden DGM mit einer Differenz von -1 m abgeschätzt.

Der Innkanal wurde nicht als Gewässerrandbedingung mit in das Modell aufgenommen, da dieser im Bereich des Modellgebietes laut vorliegenden Unterlagen komplett abgedichtet und somit nicht grundwasserwirksam ist.

### 3.2.6.3 Grundwasserentnahmen

Im Modellgebiet wurden insgesamt 11 Entnahmebrunnen als „Multilayer-Wells“ auf den Slices 5 bis 15 angesetzt. Die jeweiligen Entnahmemengen für die Kalibrierung sowie die maximalen Entnahmemengen für die Szenarienbetrachtung sind in Kapitel 2.4.3 beschrieben und in Tabelle 2-8 aufgelistet. Für die instationären Berechnungen wurden die jeweiligen Monatswerte angesetzt. Ausnahme sind die Brunnen bei Aschau am Inn, für die keine Zeitreihen vorlagen und stattdessen ein konstanter Entnahmewert angesetzt wurde (siehe Tabelle 2-8).

### 3.2.6.4 Zuflussrandbedingung

Die in Kapitel 2.4.4 ermittelten Zuflussrandbedingungen wurden an den jeweiligen Modellrändern wie folgt angesetzt:

- Zufluss Nord:  $2,26 \cdot 10^{-6}$  m/s
- Zufluss West-Nord:  $3,08 \cdot 10^{-6}$  m/s
- Zufluss West-Süd:  $1,75 \cdot 10^{-6}$  m/s

### 3.3 Kalibrierung des Grundwassermodells

Das Grundwassermodell wird stationär und instationär kalibriert, um eine möglichst gute Abbildung der Grundwasserströmungsverhältnisse und -dynamik zu erreichen. Die Berechnung der Modellszenarien erfolgt mit dem stationären Modell.

#### 3.3.1 Stationäre Kalibrierung

Die stationäre Kalibrierung erfolgte auf die amtliche Stichtagsmessung vom 27.-28.03.2009 (siehe Kapitel 2.4.2). Zu diesem Zeitpunkt herrschten niedrige Grundwasserverhältnisse nach einem trockenen Jahr 2008 (siehe Kapitel 2.4.2 und Abbildung 2-6). Für die stationäre Kalibrierung wurden 91 Grundwassermessstellen verwendet (siehe Kapitel 2.4.2).

In Abbildung 3-12 sind die Ergebnisse der stationären Berechnung dargestellt. Die Abbildung enthält die berechneten (blau) und interpolierten, amtlichen Grundwassergleichen (schwarz). Des Weiteren werden die Differenzen zwischen Modell- und Messwerten in den für den Stichtag vorhandenen Messpunkten dargestellt. Größere Abweichungen zwischen Modell- und Messwerten ( $> \pm 50$  cm) sind rot dargestellt. Liegt der Modellwert innerhalb des Intervalls von 50 cm, sind die Differenzbalken grün bzw. bei Übereinstimmung als schwarzer Strich gekennzeichnet. Fokus der Kalibrierung lag auf dem Gebiet um die Kiesgrube Bäuerte.

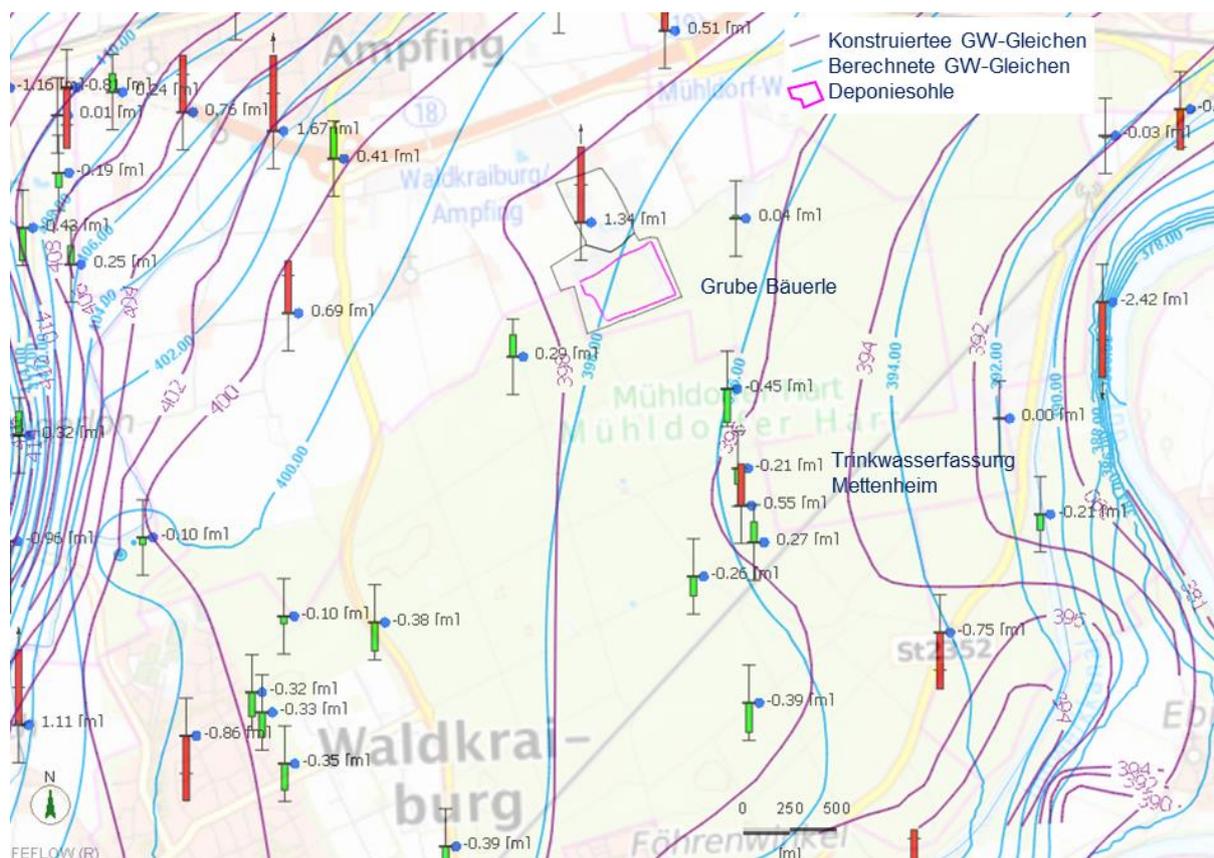


Abbildung 3-12: Modellkalibrierung: Gegenüberstellung der Messpunkte und des konstruierten Grundwassergleichenplans der Stichtagsmessung vom 27./28.3.2009 (dhK 100) mit den berechneten Grundwassergleichen und Abweichungen an den Messpunkten.

Das Grundwassergefälle und die Grundwasserfließrichtung werden mit dem Modell gut abgebildet. Abweichungen bezogen auf das Gefälle treten an Stellen mit steilerem Gradienten, wie z.B. an der Hangkante des Inns, auf. Hier sind teilweise auch Differenzen der Messpunkte von über 50 cm zu erkennen. Im Fokusgebiet werden die Messwerte sehr gut getroffen. Eine Ausnahme ist die Nordwestecke der Kiesgrube, wo Abweichungen über 50 cm registriert wurden. Auch die Grundwassergleichen weichen hier voneinander ab. Dies könnte mit dem Brunnenbetrieb für der Kiesgrube zusammenhängen, zu dem keine Daten vorliegen.

Die statistische Auswertung der Abweichungen wurden in den folgenden tabellarischen Darstellungen zusammengefasst.

Tabelle 3-6: Statistische Auswertung des Modellfehlers.

Statistik	Modellgebiet
Mittlerer Modellfehler	0,30
Mittlerer absoluter Modellfehler	0,76
Standardabweichung	1,21
<b>Mittlerer relativer Modellfehler [%]</b>	2*

\*DVGW, 2016: Bei einem mittleren relativen Fehler von unter 5 % wird von einer guten, unter 1 % von einer sehr guten Modellanpassung gesprochen.

In Tabelle 3-7 sind Minimum, Maximum und Mittelwerte sowie die Standardabweichung der Differenzen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen zusammengestellt.

Tabelle 3-7: Statistische Auswertung der Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen.

Statistik	Modellgebiet
Minimum	-1,82
Maximum	5,74
<b>Mittelwert</b>	0,30
Standardabweichung	1,21

Abbildung 3-13 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Abweichungen berechneter minus gemessener Grundwasserstände. Für das Modellgebiet liegt statistisch für 57 % der Messstellen die absolute Abweichung zwischen den berechneten und gemessenen Werten unter + - 50 cm und weisen eine gute Anpassung auf. Eine Abweichung unter + - 1 m wird von 81 % der Messstellen erreicht. Abweichungen größer + - 1 m sind vor allem im Bereich von hohen Grundwassergefällen anzutreffen, an der Innterrassenkante sowie im Nordwesten. Dort sind innerhalb weniger Meter hohe Änderungen des Grundwasserspiegels zu beobachten. Trotz der höheren absoluten Abweichungen, wird hier das Grundwassergefälle gut getroffen. Des Weiteren sind an den Modellrändern teilweise höhere Abweichungen zu erkennen, welche durch Einflüsse der angenommenen Randbedingungen bedingt sind und durch die Kalibrierungsparameter nicht verbessert werden konnten. Wie oben erwähnt, lag der Fokus der Kalibrierung auf

dem Bewertungsgebiet um die Grube Bäuerle, in deren Bereich die Messwerte gut getroffen wurden.

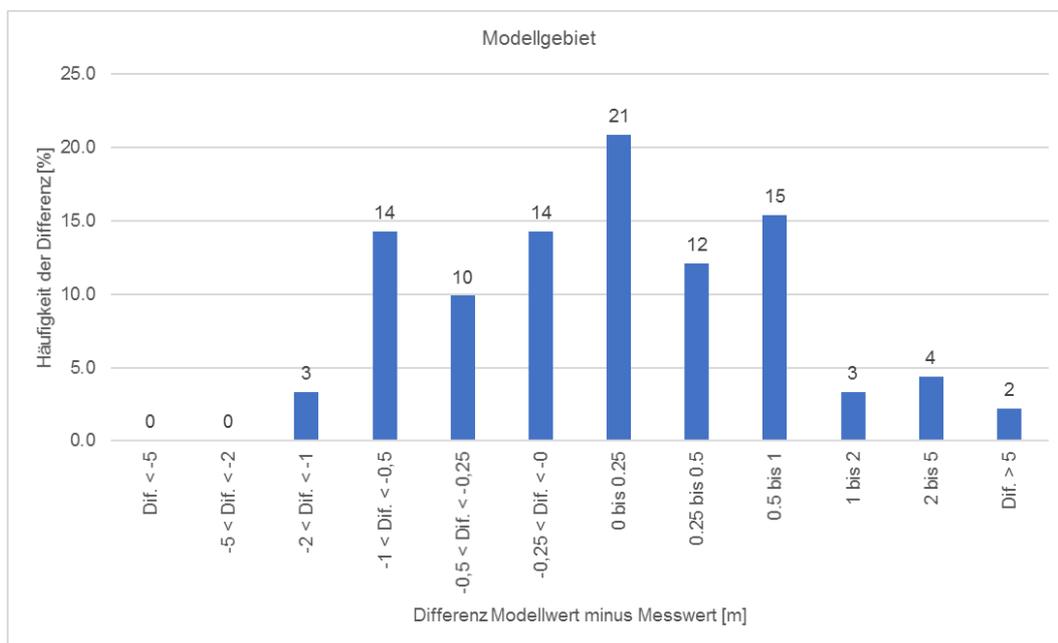


Abbildung 3-13: Häufigkeitsverteilung der Differenz Rechnung / Messung für das gesamte Modellgebiet.

Der mittlere relative Fehler (mittlere absolute Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten im Verhältnis zu der maximalen Differenz der Standrohrspiegelhöhen im Modellraum) liegt für das vorliegende stationär kalibrierte Modell bei 2 %. Nach DVGW W 107 (Februar 2016, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten) liegt eine gute Modellanpassung/Kalibrierung vor (unter 5 % entspricht gut, unter 1 % entspricht sehr gut). Abbildung 3-14 zeigt als Streudiagramm die berechneten und gemessenen Grundwasserspiegelhöhen.

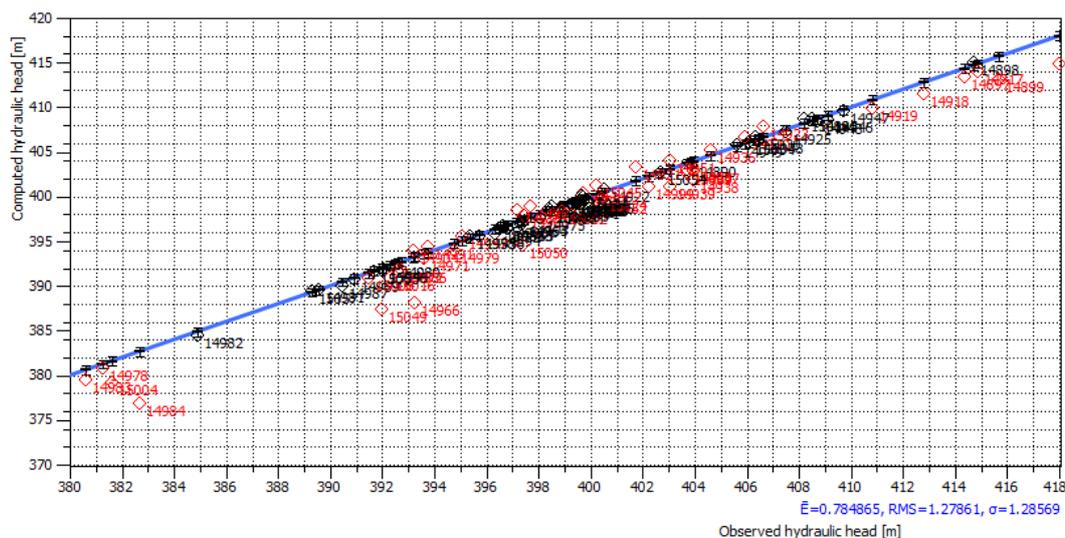


Abbildung 3-14: Gegenüberstellung der berechneten („Computed hydraulic head“) und gemessenen („Observed hydraulic head“) Grundwasserspiegelhöhen and den Messstellen.

### 3.3.2 Instationäre Kalibrierung

Die instationäre Kalibrierung erfolgte für den Zeitraum 01.03.2009 bis 31.12.2018. Dieser wurde anhand der vorliegenden Datensätze festgelegt. Dabei war die Grundwasserneubildung (siehe Kapitel 2.4.4), für die Daten bis 2018 vorliegen, der begrenzende Faktor des Enddatums der instationären Kalibrierung. Für die instationäre Kalibrierung wurden insgesamt 22 Grundwassermessstellen verwendet (siehe Kapitel 2.4.2).

Die Erfassung der Grundwasserdynamik im Grundwassermodell wird anhand der Gegenüberstellung ausgewählter Ganglinien der gemessenen und modellierten Grundwasserstände in den Abbildungen Abbildung 3-15 bis Abbildung 3-23 dargestellt.

Die Grundwasserdynamik wird mit dem Modell sehr gut abgebildet. Dies ist anhand der Grundwassermessstelle Wimpasing 611A (Abbildung 3-15), welche sich im Anstrombereich befindet, sowie anhand der Messstelle Ampfing 607 (Abbildung 3-16), welche sich im Bereich der Grube Bäuerle befindet, dargestellt. Die Schwankungsbreite der Grundwasserganglinien können bis zu drei Meter erreichen. Zu einigen Peak-Zeiten ist eine Abweichung der modellierten zu den gemessenen Wasserständen von einigen Dezimetern zu verzeichnen. In Anbetracht der hohen Schwankungsbreite und der Annahme der monatlichen Sickerwasserrate als Grundwasserneubildung, liegt dies in einem vertretbaren Rahmen.

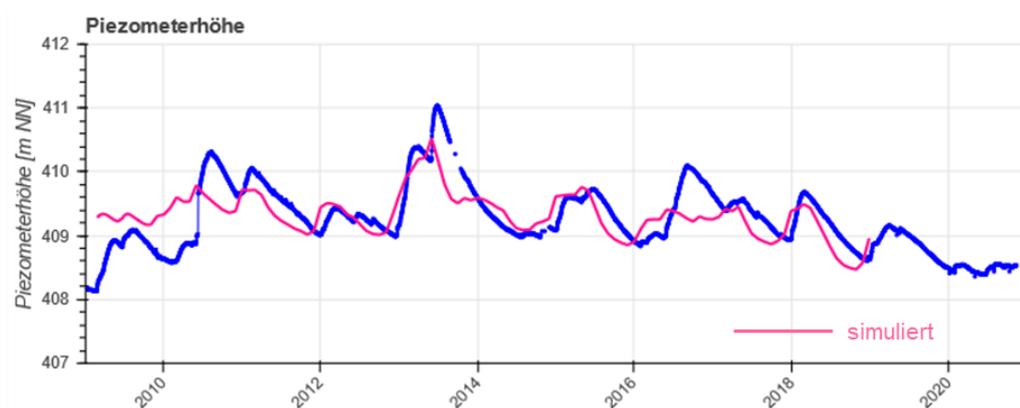


Abbildung 3-15: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Wimpasing 611A.



Abbildung 3-16: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Ampfing 607.

Mit den gewählten Modellansätzen wird auch die beobachtete Abnahme der Grundwasserstandshöhen ab 2015 sehr gut wiedergegeben. Dieser abnehmende Trend passt auch mit den rezent gemessenen Werten im Bereich der Grube Bärerle der hier beispielhaft dargestellten Grundwassermessstellen GWM 1 und GWM 3 (Abbildung 3-17 und Abbildung 3-18) sowie Ampfing Holz 610 (Abbildung 3-19) sehr gut überein. Auch in etwas weiterer Entfernung zum Bewertungsgebiet kann in der Messstelle Stachus Nord 606 (Abbildung 3-20) der abnehmende Trend gut abgebildet werden.



Abbildung 3-17: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS GWM 1.



Abbildung 3-18: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS GWM 3.



Abbildung 3-19: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Ampfinger Holz 610.

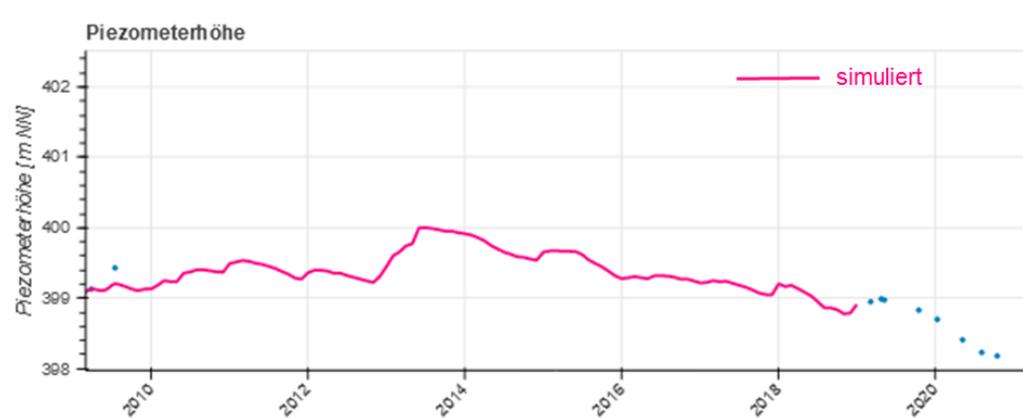


Abbildung 3-20: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Stachus Nord 606.

Die Interaktion zwischen Inn und Grundwasserleiter ist in der Messstelle Bauhof Kraiburg 1 (Abbildung 3-21) dargestellt. Es ist eine gute Korrelation zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen zu erkennen.

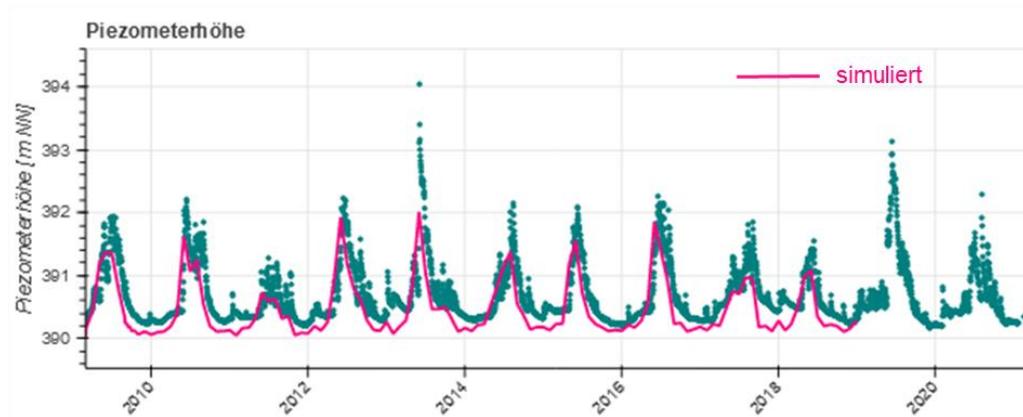


Abbildung 3-21: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Bauhof Kraiburg 1.

Südlich des Bewertungsgebietes wird in den Messstellen Rotes Kreuz 609 (Abbildung 3-22) und Stachus Süd 605 (Abbildung 3-23) die Grundwasserdynamik als auch der Grundwasserstand teilweise unterschätzt. Die Kalibrierung dieser Bereiche ergab sich als schwierig. Aufgrund der Entfernung zum Bewertungsgebiet wurden diese Abweichungen als akzeptabel eingestuft.



Abbildung 3-22: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Rotes Kreuz 609.



Abbildung 3-23: Gegenüberstellung von gemessenen und modellierten Grundwasserständen in der GWMS Stachus Süd 605.

### 3.3.3 Verifizierung

Die Modellverifizierung erfolgte anhand der Stichtagsmessung 16.01.2019 von Crystal Geotechnik. Dabei wurde das instationäre Modell zum Zeitpunkt Dezember 2018 (dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da das instationäre Modell aufgrund der vorliegenden Daten nur bis Dezember 2018 gerechnet wurde, siehe Kapitel 3.3.2) mit der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 verglichen.

In Abbildung 3-24 werden die konstruierten und berechneten Grundwassergleichen gegenübergestellt sowie die Abweichungen an den Messpunkten dargestellt. Wie in Abbildung 3-24 zu sehen stimmt die berechnete und konstruierte Grundwasserfließrichtung gut überein.

Auch die gemessenen Grundwasserhöhen an den Messpunkten werden mit dem Modell sehr gut getroffen. Alle Messpunkte weichen weniger als 50 cm von den gemessenen Werten ab (siehe grüne Balken in Abbildung 3-24).

Bezüglich des Grundwassergefälles zeigen die berechneten Isohyphen eine teilweise stärkere Varianz. Im Vergleich zu dem konstruierten Grundwassergleichenplan ist im Westen ein höheres Gefälle zu beobachten. Dort ist das topographische Relief etwas höher als im zentralen Bereich um die Grube Bäuerle. Das Modell spiegelt hier die Realität besser ab als der durch lineare Interpolation konstruierte Grundwassergleichenplan, vor allem da in diesem Bereich große Abstände zwischen den Grundwassermessstellen vorherrschen. Im „flachen“ Bereich um die Grube Bäuerle stimmen die berechneten und konstruierten Gradienten gut überein.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Modell anhand der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 für das Bewertungsgebiet verifiziert werden konnte.

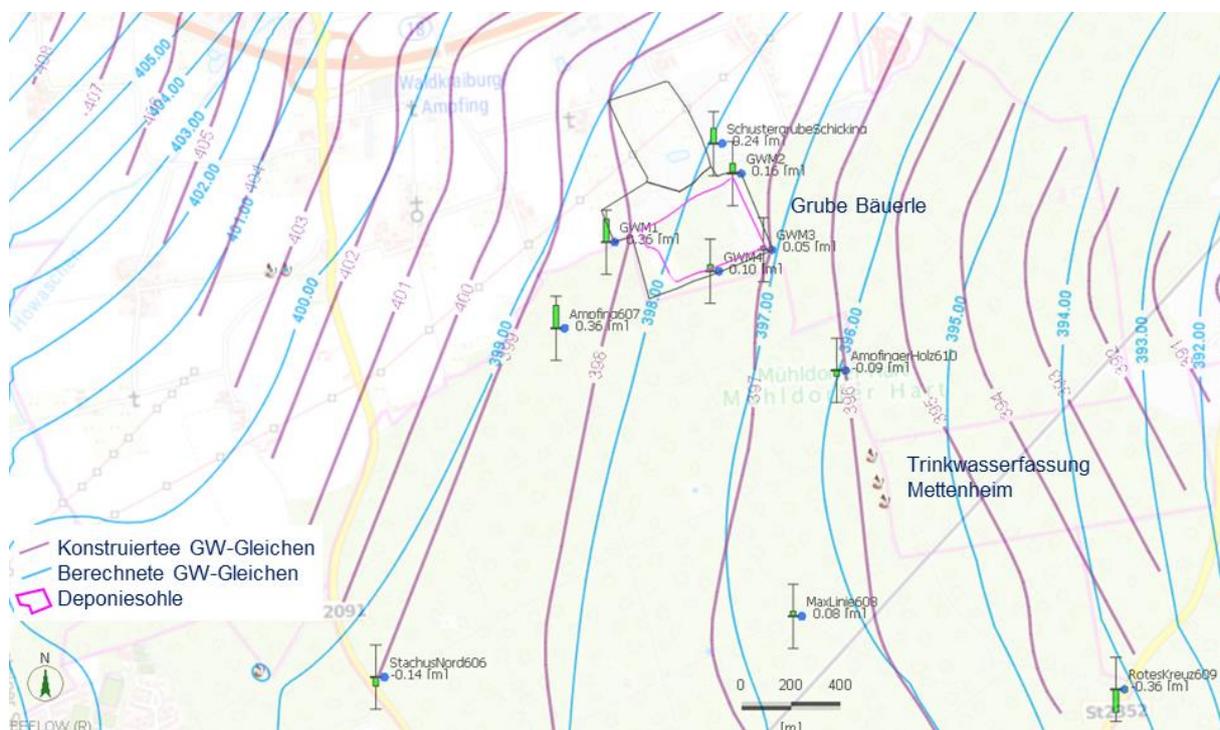


Abbildung 3-24: Modellverifizierung: Gegenüberstellung der Messpunkte und des konstruierten Grundwassergleichenplans der Stichtagsmessung vom 16.01.2019 (Crystal Geotechnik) mit den berechneten Grundwassergleichen und Abweichungen an den Messpunkten.

## 4 Modellanwendung

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Anwendung des kalibrierten stationären Grundwasserströmungsmodells zum Zwecke der Ausweisung des Zustrombereichs der Trinkwasserfassung Mettenheim als auch der Modellierung eines Schadensfalls innerhalb der Deponie. Die Berechnungen erfolgten stationär.

### 4.1 Ausweisung des Zustrombereichs der Trinkwasserfassung Mettenheim und Abstrombereich der Grube Bäuerle

Abbildung 4-1 zeigt:

- in Blau den berechneten Zustrombereich zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim (kalibriertes stationäres Modell, mittlere Fördermengen der Jahre 2018/19) sowie
- in Rot den Abstrombereich der Grube Bäuerle.

Dargestellt sind die Rückwärts- (blau) und Vorwärtsbahnlinien (rot) bis 1000 Tage, welche auf dem advektiven Geschwindigkeitsfeld basieren. Es ist zu erkennen, dass die Bahnlinien des Zustrombereichs der Trinkwasserfassung den Deponiebereich nicht schneiden, sondern in einem Abstand von ca. 500 südlich der Grube Bäuerle verlaufen. Der Abstrom der Grube Bäuerle verläuft Richtung Inn, parallel zum Anstrombereich der Trinkwasserfassung. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Trinkwasserfassung der Gemeinde Ampfing im Anstrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim liegt.

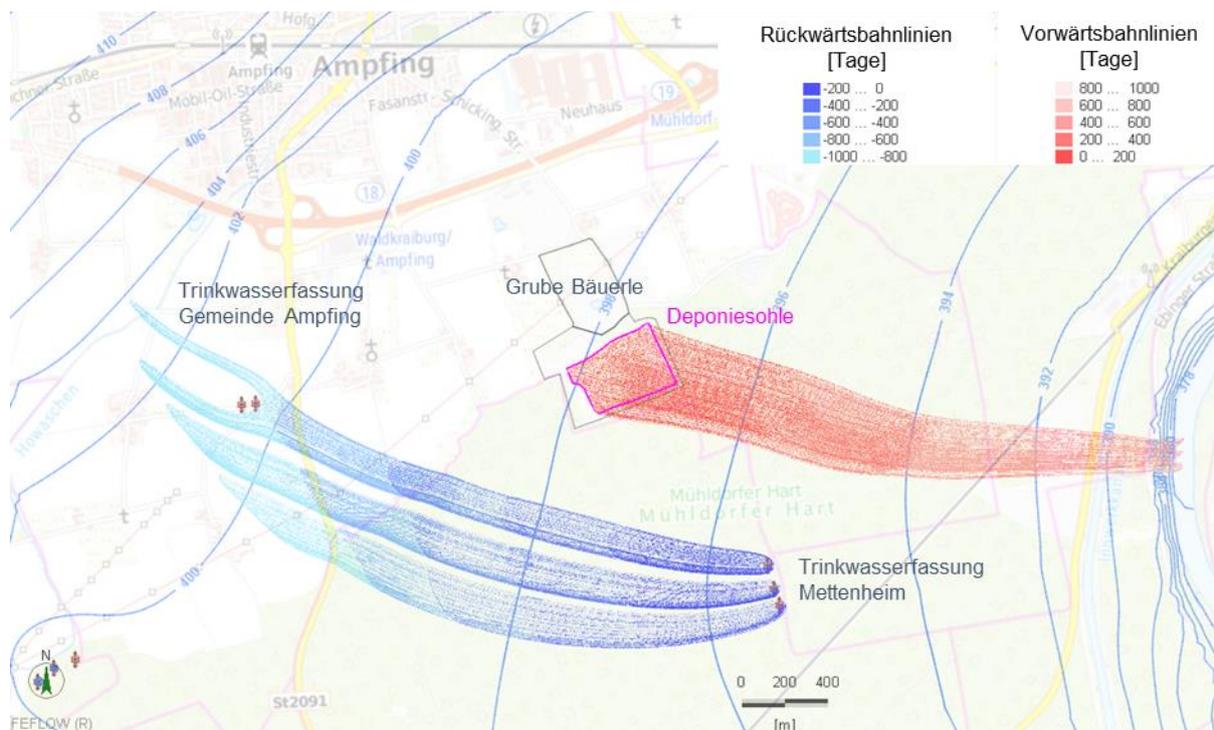


Abbildung 4-1: Dargestellt in Blau der Zustrombereich als Rückwärtsbahnlinien bis 1000 Tage zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim sowie in Rot der Abstrombereich als Vorwärtsbahnlinien bis 1000 Tage der Grube Bäuerle.

## 4.2 Untersuchung eines Schadenfalls (Sulfataustrag)

### 4.2.1 Vorgehensweise und getroffene Annahmen

Zur Bewertung des möglichen Einflusses der Wiederverfüllung der Grube Bäuerle (Deponie der Klasse 0) auf die Trinkwasserfassung Mettenheim wurde ein potenzieller Schadensfall, ein Schadstoffaustrag, simuliert. In diesem Fall wurde Sulfat als typischer Schadstoff einer Deponie der Klasse 0 gewählt.

Als Hintergrund wird hier kurz auf die geplante Abdichtung der Deponie eingegangen, um den simulierten Schadenfall anschließend besser einschätzen zu können. Als Ersatz für die fehlende geologische Barriere ist die Herstellung einer technischen Barriere vorgesehen (siehe Abbildung 4-2). Gemäß Deponieverordnung ist diese in einer Dicke von  $d \geq 1,0$  m vorgesehen. Sie wird aus vier Lagen mineralischem Dichtungsmaterial mit einer Dicke von je 0,25 m mit einem gegenüber den Anforderungen der Deponieverordnung um den Faktor 100 geringeren Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s hergestellt (statt von  $k_f \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s gemäß Deponieverordnung). Mit diesem geringen Durchlässigkeitsbeiwert soll der besonderen hydrogeologischen Situation am Rande eines Trinkwasserschutzgebiets Rechnung getragen werden. (Quelle: AU Consult GmbH, 2019)

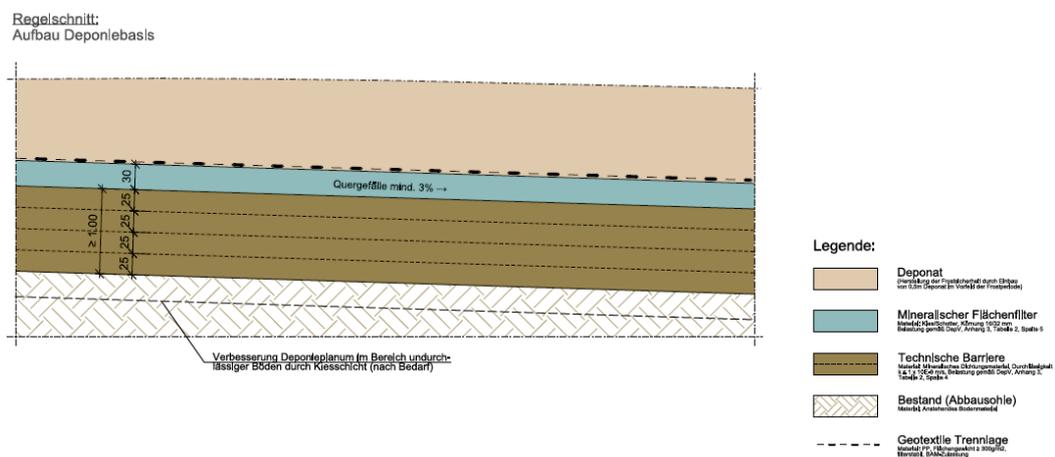
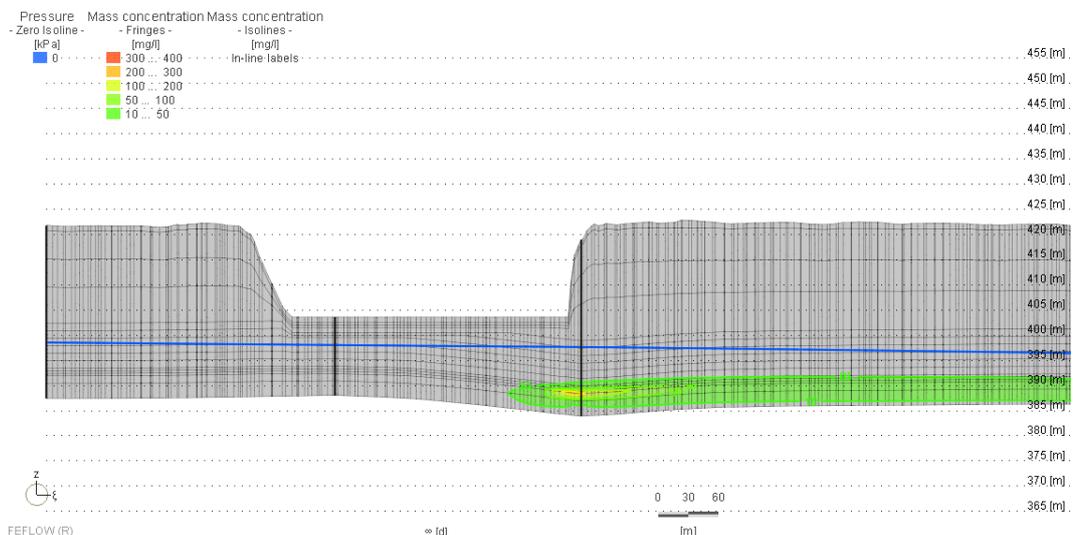


Abbildung 4-2: Regelschnitt des geplanten Aufbaus der Deponiebasis.

Für die Simulation eines potentiellen Schadenfalls wurden folgende konservative Modellannahmen getroffen:

- Der potenzielle Stoffaustrag mit Sulfat als Tracer wurde auf ca. 100 m<sup>2</sup> der Deponie-Sohlfläche und an der Einzugsgebietsgrenze der Trinkwasserfassung nahegelegenen südwestlichen Ecke angesetzt. Dies würde ein 100 m<sup>2</sup> großes „Loch“ in der Deponieabdichtung (technische Barriere) bedeuten. Unter Anbetracht des duktilen Verhaltens des Dichtungsmaterials (Ton) wird aus Sicht des Gutachters ein „Loch“ von ca. 100 m<sup>2</sup> als konservative Annahme gesehen.
- Der Schadstoffaustrag (Stofftransportrandbedingung) wurde bei ca. 14 m unterhalb der Deponiesohle, direkt im Grundwasser angesetzt. D.h. die ungesättigte Zone wurde bereits passiert. Somit wird die eigentliche Schutzfunktion der ungesättigten Zone hier außer Acht gelassen und das durch das Sickerwasser eingetragene Sulfat wird eins zu eins im Grundwasser angesetzt. Dies repräsentiert wiederum einen konservativen Ansatz, der so in der Realität nicht zu erwarten ist. Abbildung 4-3 zeigt in einem W-E Profilschnitt den Bereich um die geplante Deponie. Es ist

ersichtlich, dass die Stofftransportrandbedingung etwa 8 m unterhalb des Grundwasserspiegels (blaue Linie) als dauerhafter Quellterm angesetzt wurde.



**Abbildung 4-3:** W-E Schnitt im Bereich der Grube Bäuerle mit der angesetzten Stofftransportrandbedingung unterhalb des als blaue Linie dargestellten Grundwasserspiegels. Farblich hinterlegt sind die angesetzten Durchlässigkeitsbeiwerte. (20-fach überhöhte Darstellung)

- Konstanter dauerhafter Schadstoffeintrag (stationärer Modellansatz). Hierbei wird der Eintrag an Sulfat nicht als zeitlich begrenzter Schadensfall, bei dem für einen bestimmten Zeitraum der Schadstoff eingetragen wird, betrachtet, sondern als kontinuierlicher gleichbleibender Schadstoffeintrag. Dies repräsentiert ebenfalls eine auf der sicheren Seite liegende Betrachtung.
- Es wurde ein Sulfateintrag von 400 mg/l gewählt, basierend auf den Erfahrungswerten von anderen DK-0 Verfüllungen (Sulfatwert im Sickerwasser von 350 – 400 mg/l).
- Die Stofftransportberechnung erfolgte ohne Abbau- oder Rückhaltprozesse. Der Stoff geht im Modell keinerlei Reaktionen ein. D.h. die Konzentrationen werden stoffunabhängig berechnet und können somit auf andere Schadstoffe übertragen werden. Der in der Natur vorkommende Stoffabbau bzw. Rückhalt wird im umgesetzten konservativen Ansatz des Modells nicht aufgenommen. Dadurch wird die Stoffausbreitung generell überschätzt.
- Es wurden Dispersivitäten von 50 m longitudinal und 5 m transversal angesetzt, so dass eine hohe Dispersion/ Verschmierung der Stoffaustrags in die Breite erfolgen kann und in diesem Sinne die Stoffausbreitung konservativ betrachtet wird.
- Mittlere Fördermengen 2018/19 an allen drei Brunnenstandorten der Mettenheimer Gruppe von je 1.268 m<sup>3</sup>/d. Im Moment (Stand August 2021) sind nur zwei der drei Brunnen aktiv.

#### 4.2.2 Ergebnis der Stofftransportmodellierung – Schadensfall 1

Die Stofftransportmodellierung eines potentiellen Schadenfalls erfolgte mit den oben beschriebenen konservativen Ansätzen.

Abbildung 4-4 zeigt den berechneten Zustrombereich zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim (Darstellung der Rückwärtsbahnlinien bis 1000 Tage in Blau) sowie die ausgewiesene dauerhafte Stoffausbreitung (grün bis rote Bereiche).

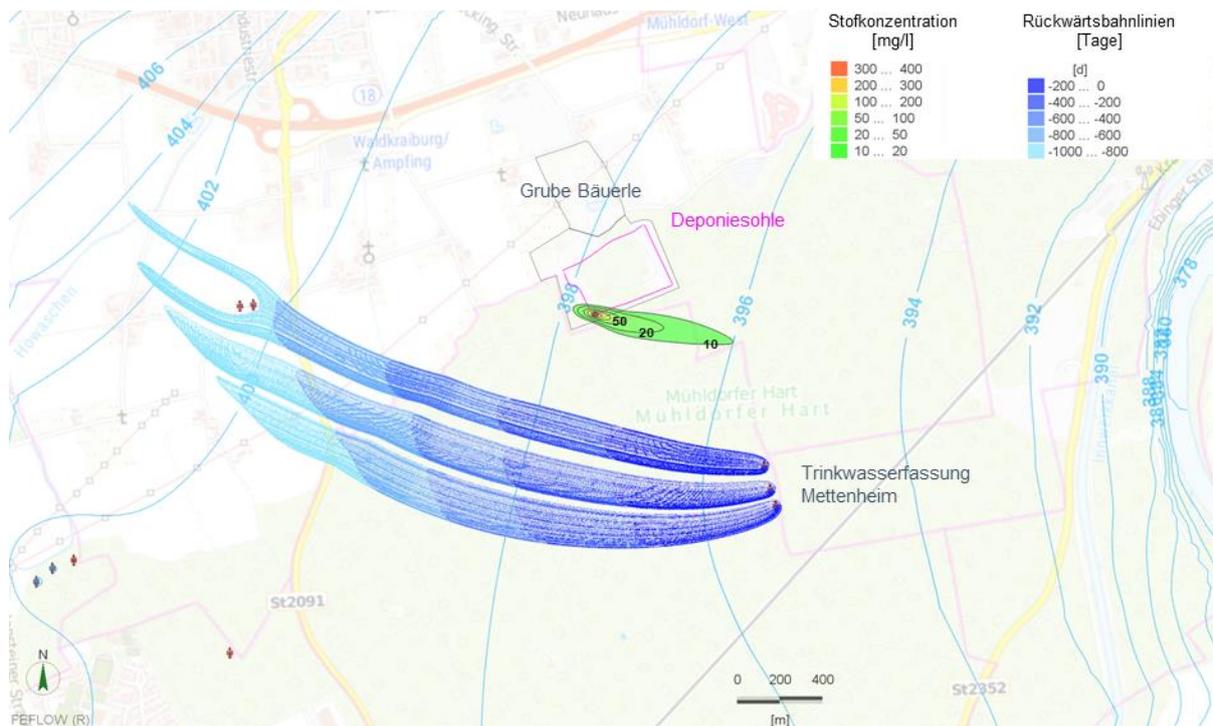


Abbildung 4-4: Ergebnis für eine angenommene Sulfatkonzentration im Sickerwasseraustrag von 400 mg/l bei Ansatz der mittleren Fördermengen 2018/19. Dargestellt ist der Zustrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim (blau) sowie die Sulfat-Ausbreitungsfahne (in mg/l).

Der Abstrom der Deponie erfolgt zum Inn, parallel zum Zustrombereich der Brunnen. Der Zustrombereich der Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim überschneidet sich nicht mit der Grube Bäuerle bzw. dem dargestellten Austragsbereich der Deponie. Der nördliche Randbereich des Zustrombereichs zu den Trinkwasserbrunnen liegt etwa 400 m südlich der 10 mg/l Isokonzentration der Sulfatfahne. Die berechneten Konzentrationen in den Trinkwasserfassungen liegen bei 0,0017 mg/l. Dies entspricht 0,00043 % der angesetzten Sulfatkonzentration im Sickerwasseraustrag von 400 mg/l. Unter Berücksichtigung der geogenen Sulfat-Hintergrundwerte von 77,2 mg/l (Wagner et. al, 2014, BGR, Hintergrundwerte im Grundwasser) und der LAWA-Geringfügigkeitsschwelle von 250 mg/l (LAWA - Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, 2016), liegen die berechneten Konzentrationen von 0,0017 mg/l deutlich unter diesen Werten. **Es erfolgt demnach keine schädliche Beeinflussung der Trinkwasserqualität der Trinkwasserfassung Mettenheim.**

#### 4.2.3 Ergebnis Stofftransportmodellierung – Schadensfall 2

Der Schadensfall 2 wurde als Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um verbleibende Modellunsicherheiten durch eine Veränderung relevanter Parameter auf dessen Aussagefähigkeit zu überprüfen. Dazu wurden folgende Parameter verändert:

- Der Sulfateintrag wurde von 400 mg/l auf 600 mg/l erhöht, um eine unverhältnismäßige Erhöhung der Stofffracht darzustellen.
- Die Fördermengen der drei Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim wurden auf die maximalen Fördermengen (7.050 m<sup>3</sup>/d verteilt auf die drei Brunnen ergeben 2.350 m<sup>3</sup>/d je Brunnen; siehe Kapitel 2.4.3) erhöht. Dieser Maximalwert repräsentierte einen Extremwert, der in den letzten 10 Jahren nur einmal im April 2010 erreicht wurde. Hier wird dieser Maximalwert als dauerhafte Fördermenge angesetzt.
- Die Durchlässigkeitsbeiwerte ( $k_f$ -Werte) wurden im gesamten Modellgebiet halbiert. Im Bereich um die Grube Bäuerle ergibt sich dadurch ein  $k_f$ -Wert von  $1,5 \times 10^{-3}$  m/s.

Abbildung 4-5 zeigt den berechneten, verbreiterten Zustrombereich zu den Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim (Darstellung der Rückwärtsbahnlinien bis 1000 Tage in Blau). Dies begründet sich durch die höheren Förderraten sowie die halbierten Durchlässigkeitsbeiwerte. Ebenfalls dargestellt ist die ausgewiesene dauerhafte Stoffausbreitung (grüne bis rote Bereiche).

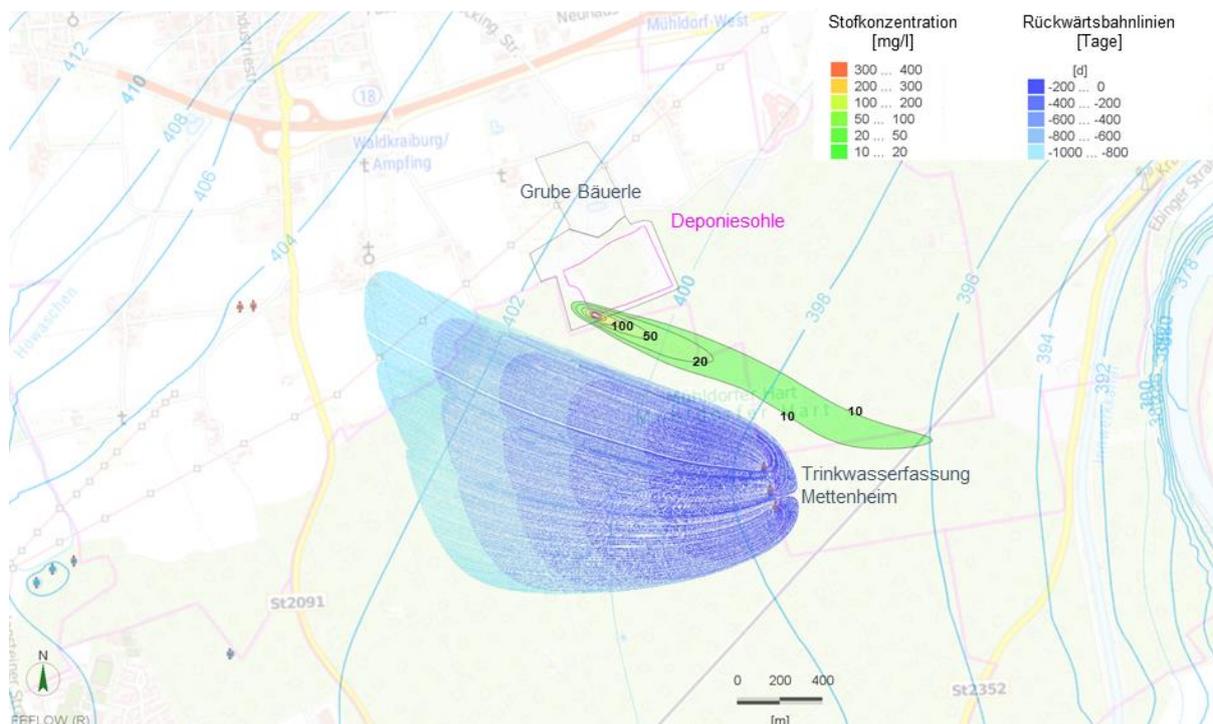


Abbildung 4-5: Ergebnis für eine angenommene Sulfatkonzentration im Sickerwasseraustrag von 600 mg/l bei Ansatz der maximalen Fördermengen sowie um die Hälfte reduzierten Durchlässigkeitsbeiwerten. Dargestellt ist der Zustrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim (blau) sowie die Sulfat-Ausbreitungsfahne (in mg/l).

Der Abstrom der Deponie erfolgt zum Inn, parallel zum Zustrombereich der Brunnen. Der Zustrombereich der Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim überschneidet sich nicht mit der Grube Bäuerle bzw. dem dargestellten Austragsbereich der Deponie. Der nördliche Randbereich des Zustrombereichs zu den Trinkwasserbrunnen liegt etwa 100 m südlich der 10 mg/l Isokonze der Sulfatfahne. Die berechneten Konzentrationen in

den Trinkwasserfassungen liegen bei 0,035 mg/l. Dies entspricht 0,0058 % der angesetzten Sulfatkonzentration im Sickerwasseraustrag von 600 mg/l. Unter Berücksichtigung der geogenen Sulfat-Hintergrundwerte von 77,2 mg/l (Wagner et. al, 2014, BGR, Hintergrundwerte im Grundwasser) und der LAWA-Geringfügigkeitsschwelle von 250 mg/l (LAWA - Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, 2016), liegen die berechneten Konzentrationen von 0,035 mg/l deutlich unter diesen Werten. **Es erfolgt demnach keine schädliche Beeinflussung der Trinkwasserqualität der Trinkwasserfassung Mettenheim.**

#### 4.2.4 Hinweis

Das erstellte Grundwassermodell wurde auf Grundlage eines hydrogeologischen Strukturmodells erstellt, welches wiederum auf punktuellen Bohrdaten und Profilschnitten basiert. Die punktuellen Aufschlusssdaten wurden zur Erstellung des Strukturmodells flächig interpoliert. Auch wenn mit dem hierzu gewählten Verfahren die zu erwartenden Abweichungen des Modells von den tatsächlichen Verhältnissen reduziert werden, sind dennoch Unsicherheiten und Abweichungen nicht auszuschließen. Ähnliches gilt für die Modellränder, die aus der Interpolation von Grundwasserdaten ermittelt wurden und für die im Rahmen der Modellkalibrierung ermittelte Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte. Letztere sind für die im Modell vorherrschenden Grundwasser-gefälle maßgebend. Demzufolge kann das berechnete Grundwassergefälle von dem Grundwassergefälle, welches sich tatsächlich einstellen würde, geringfügig abweichen. Die verbleibenden Modellunsicherheiten haben soweit erkennbar keinen Einfluss auf die Kernaussage der Modellergebnisse.

## 5 Zusammenfassung

Zur Bewertung des möglichen Einflusses der Wiederverfüllung der Grube Bäuerle (Deponie der Klasse 0) auf die Trinkwasserfassung Mettenheim wurde ein großräumiges 3D-Grundwasserströmungsmodell aufgebaut, welches stationär sowie instationär kalibriert wurde.

Mit dem Modell konnte der Zustrombereich (Rückwärtsbahnlinien) der Trinkwasserfassung Mettenheim ausgewiesen werden, welcher die Grube Bäuerle nicht schneidet. Außerdem wurde der Abstrombereich der Grube Bäuerle ausgewiesen, welcher in Richtung Inn verläuft, parallel zum Anstrombereich der Trinkwasserfassung Mettenheim.

Die Ermittlung der Beeinflussung der Trinkwasserfassung Mettenheim im Schadensfall wurde mittels einer Stofftransportmodellierung durchgeführt. Der „Schadensfall 1“ basiert auf den folgenden konservativen Annahmen:

- Konstanter dauerhafter Sulfateintrag von 400 mg/l (stationärer Modellansatz).
- Annahme eines „Loches“ in der Deponieabdichtung von ca. 100 m<sup>2</sup>.
- Der Schadstoffaustrag wurde eins zu eins direkt im Grundwasser angesetzt. D.h. die schützende ungesättigte Bodenzone wurde nicht berücksichtigt.
- Keine Berücksichtigung von Stoffabbau- oder Rückhalteprozessen.
- Hohe Dispersivitäten, so dass eine hohe Dispersion / Verschmierung des Stoffaustrags in die Breite und Länge erfolgen kann.
- Mittlere Fördermengen 2018/19.

Zusätzlich wurde eine Sensitivitätsanalyse („Schadensfall 2“) durchgeführt, um verbleibende Modellunsicherheiten durch eine Veränderung relevanter Parameter auf dessen Aussagefähigkeit zu überprüfen. Dazu wurden folgende Parameter geändert:

- Erhöhung des Sulfateintrags von 400 mg/l auf 600 mg/l.
- Maximale Fördermengen der Trinkwasserfassung Mettenheim.
- Halbierung der Durchlässigkeitsbeiwerte für das gesamte Modellgebiet.

Da bei der vorliegenden Modellbetrachtung stoffspezifische Abbau- oder Rückhalteprozesse nicht berücksichtigt wurden, können die Ergebnisse der Sulfatbetrachtung auf weitere Schadstoffe (im jeweiligen Verhältnis) übertragen werden.

Die Modellergebnisse zeigen, dass sowohl für „Schadensfall 1“ als auch „Schadensfall 2“ der Zustrombereich der Brunnen der Trinkwasserfassung Mettenheim sich nicht mit der Grube Bäuerle bzw. dem Austragsbereich der Deponie überschneidet. Die berechneten Konzentrationen in der Trinkwasserfassung Mettenheim liegen für den „Schadensfall 1“ bei 0,0017 mg/l und für den „Schadensfall 2“ bei 0,035 mg/l. Dies entspricht 0,00043 % respektive 0,0058 % der angesetzten Sulfatkonzentration im Sickerwasseraustrag von 400 bzw. 600 mg/l. Unter Berücksichtigung der geogenen Sulfat-Hintergrundwerte von 77,2 mg/l und der LAWA-Geringfügigkeitsschwelle von 250 mg/l, liegen die berechneten Konzentrationen von 0,0017 mg/l und 0,035 mg/l deutlich unter diesen Werten.

**Auf Basis der zugrunde gelegten Daten, konservativen Ansätze und Modellberechnungen kommt es bei einer potentiellen Versickerung von Sulfat in das Grundwasser unter der geplanten Deponie der Klasse 0 in der Grube Bäuerle sowohl für den Schadensfall 1 als auch den Schadensfall 2 zu keiner schädlichen Beeinflussung der Trinkwasserqualität der Trinkwasserfassung Mettenheim.**