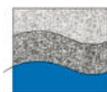




Gutachten zur
Grundwasser-Wärmepumpenanlage

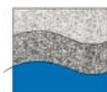
Projekt:
BV MED-Zentrum
Marie-Curie-Straße
79211 Denzlingen
Flurstück Nr.: 9549

Proj. Nr.: P-221377



Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine Angaben.....	4
1.1 Ortsangaben.....	4
1.2 Antragsteller	4
1.3 Betriebszweck	4
2 Beteiligte Firmen.....	5
2.1 Brunnenbau	5
2.2 Installation.....	5
2.3 Gutachten	5
3 Geo- und hydrogeologische Verhältnisse, Grundwasserfließrichtung.....	5
4 Umliegende Wasserrechte.....	6
5 Brunnenanlage.....	6
5.1 Entnahmekbrunnen.....	6
5.2 Rückgabekbrunnen.....	6
6 Anlagentechnik.....	7
6.1 Grundwasserwärmepumpe	7
6.2 Grundwasserförderpumpe	7
7 Hydrogeologische Berechnungen	7
7.1 Grundwasserentnahmemengen.....	7
7.2 Bestimmung der Brunnenkennwerte	7
7.2.1 Durchlässigkeitsbeiwert	8
7.2.2 Hydrogeologische Berechnungen	9
7.2.3 Absenkung- / Aufstau.....	9
7.2.4 Rückstromrate	10
7.2.5 Temperaturfelder	10
8 Chemismus des Grundwassers	11
9 Beurteilung	12
Berechnungsgrundlagen	13
Verwendete Abkürzungen.....	14



Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Brunnenkennwerte	S. 7
Tabelle 2: Ergebnisse Pump- und Auffüllversuch	S. 8
Tabelle 3: Ergebnisse der weiteren Berechnungen	S. 9
Tabelle 4: Ergebnisse der Wasseranalyse	S. 11

Verzeichnis der Abbildungen

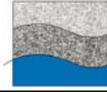
Abbildung 1: Diagramm der Rückströmrat	S. 10
--	-------

Anlagen

Anlage 1: Übersichtslageplan	M 1:25.000
Anlage 2: Grundwasserfließrichtung u. -gefälle	M 1:50.000
Anlage 3: Lage der Brunnen u. hydrogeologische Angaben	M 1:1.000
Anlage 4: Brunnenkennwerte	M 1:1.500
Anlage 5.1: Temperaturfelder Lastfall Jahresmittel	M 1:1.000
Anlage 5.2: Temperaturfelder Lastfall Winterbetrieb	M 1:1.000
Anlage 6: Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse mit Schachtausbau	

Anhang

Anhang 1: Analyse der Grundwasserprobe	
Anhang 2: Kennlinien der Grundwasserentnahmepumpe	
Anhang 3: Technische Daten der Grundwasser-Wärmepumpe	
Anhang 4: Sicherheitsdatenblatt des Kältemittels	
Anhang 5: Zertifikat des Bohrunternehmens	
Anhang 6: Protokolle der Pumpversuche	
Anhang 7: Modellierung	



1 Allgemeine Angaben

1.1 Ortsangaben

Landkreis: Emmendingen
Gemeinde: 79211 Denzlingen
Gemarkung: Denzlingen
Adresse: Marie-Curie-Straße
Flurstücksnummer: 9549

1.2 Antragsteller

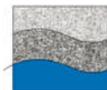
BAGA Vermietungs-UG, Weißerlenstraße 1a, 79108 Freiburg

1.3 Betriebszweck

Die Grundwasser-Wärmepumpenanlage dient zur Beheizung und Kühlung des MED-Zentrum (Ärztehaus) sowie zur Brauchwassererwärmung.

Zu diesem Zweck wurde im südöstlichen Grundstücksbereich ein Entnahmebrunnen (EB) mit einem Ausbaudurchmesser von 300 mm und einer Teufe von 16,20 m u. GOK erstellt. Die Rückgabe des thermisch veränderten Grundwassers erfolgt über einen 16,00 m tiefen Rückgabebrunnen (RB), Ausbaudurchmesser 300 mm, im nordwestlichen Grundstücksbereich. Damit wird gewährleistet, dass das entnommene Grundwasser dem Grundwasserkörper wieder zugeführt wird (Anlage 3). Die Brunnen sind mit sickerwasserdichten Schächten und Zuleitungen sowie tagwasserdichten, abschließbaren Deckeln ausgebaut.

Der Heizbedarf beträgt rund 33 kW.



2 Beteiligte Firmen

2.1 Brunnenbau

Drillexpert GmbH
Siemensstraße 9, 79331 Teningen-Nimburg
Tel.: 07663/603880; Fax: 076636038822
www.drillexpert.de; info@drillexpert.de
info@michalik-brunnenbau.de, www.michalik-brunnenbau.de

2.2 Installation

Haus Technik GmbH Installation
Goldbacher Straße 37, 99867 Gotha
Tel.: 03621 / 22947-0; Fax: 03621 / 22947-110
info@hti-gotha.de; www.hti-gotha.de

2.3 Gutachten

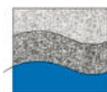
FREY-BGW
Büro für Geowissenschaften
August-Jeanmaire-Straße 27a, 79183 Waldkirch
Tel.: 07681/4748288, Fax: 07681/4979709
www.frey-bgw.de, info@frey-bgw.de

3 Geo- und hydrogeologische Verhältnisse, Grundwasserfließrichtung

Das Bauvorhaben befindet sich an der westlichen Bebauungsgrenze von Denzlingen. Hier lagern gut durchlässigen Kiese bis zur Endteufe, überdeckt durch rund 2 m mächtige sandig-schluffig-tonige Deckschichten.

Das Grundwasser fließt hier mit einem Gefälle von rd. 6 ‰ in nordöstliche Richtung (~285°) (Karte der Grundwasserhöhengleichen für mittlere Grundwasserverhältnisse, Oktober 1986, Raum Colmar-Freiburg, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1999).

An den Brunnen wurde ein kombinierter Pump- und Auffüllversuch durchgeführt. Der ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert (Pumpversuch, Kap. 7.2.1) in der Dimension $\sim 10^{-4}$ m/s ist nach DIN 18130, TI 1 als *stark durchlässig* zu bezeichnen.



4 Umliegende Wasserrechte

In der umliegenden Nachbarschaft befindet sich die wasserrechtlich erlaubte Bestandsanlage Musial. Diese Anlage wurde in der Modellierung berücksichtigt, eine Beeinträchtigung dieser Anlage ist nicht zu erwarten.

5 Brunnenanlage

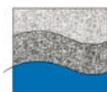
Die Höhen der Schachtdeckeloberkanten der Brunnen entsprechen den Geländeoberkanten.

5.1 Entnahmebrunnen

UTM-Koordinaten:	RW 416.317,85, HW 5.324.940,47
Verfahren:	Greiferbohrung, Bohrdurchmesser 880 mm
Ausbaudurchmesser:	300 mm
Teufe:	16,20 m ab GOK
Filterstrecke:	14,20 m – 16,20 m u. DOK
Höhe DOK:	228,35 m ü. NN
Flurabstand am 21.05.2025:	8,34 m u. DOK
Höhe Grundwasser:	220,01 m ü. NN
Schachtausbau:	Betonringfertigteile Ø 1,00 m mit Konus auf Ø 0,60 m
Schachttiefe:	1,40 m u. GOK
Schachtabdeckung (Deckel):	tagwasserdicht, abschließbar
Leitung zur WP:	PE-Rohr AD 50 mm

5.2 Rückgabebrunnen

UTM-Koordinaten:	RW 416.284,09, HW 5.324.993,08
Verfahren/Ausbaudurchmesser:	wie EB
Teufe:	16,00 m ab GOK
Filterstrecke:	10,00 m – 16,00 m u. DOK
Höhe DOK:	228,17 m ü. NN
Flurabstand am 21.05.2025:	8,64 m u. DOK
Höhe Grundwasser:	219,53 m ü. NN
Schachtausbau:	wie EB



6 Anlagentechnik

6.1 Grundwasserwärmepumpe

Es wird eine Wärmepumpe, Fabrikat Waterkotte, Modell EcoTouch 5034.5T installiert. Dies ist eine Solemaschine, die über einen Wärmetauscher von der Grundwasserseite getrennt ist. Die Heizleistung beträgt bei einem Grundwasservolumenstrom von 1,70 l/s (6,12 m³/h), einer Spreizung von 4 K und einer heizungsseitigen Vorlauftemperatur von 35° C 34,1 kW (Anhang 3). Als Kältemittel werden 4,0 kg R410A verwendet (Anhang 4). Die Wärmepumpe schaltet über serienmäßig eingebaute Druckwächter bei Leckage automatisch ab.

6.2 Grundwasserförderpumpe

Das Grundwasser wird mit einer Tauchpumpe, Modell 4 GWE 8 - 20 entnommen (Anhang 2).

7 Hydrogeologische Berechnungen

7.1 Grundwasserentnahmemengen

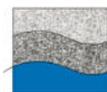
Die Grundwasser-Wärmepumpenanlage benötigt einen Grundwasserdurchsatz von 6,12 m³/h (1,70 l/s). Die Wärmepumpenanlage wird nach VDI 4640 für die Heizung und die Brauchwassererwärmung 2.400 Stunden/Jahr und für die Kühlung 1000 Stunden/Jahr betrieben werden. Das ergibt eine jährliche Gesamtmenge von rund 20.808 m³/a.

7.2 Bestimmung der Brunnenkennwerte

Den hydrogeologischen Berechnungen liegen folgende Brunnenkennwerte zugrunde:

Tab. 1: Brunnenkennwerte

Brunnenkennwerte	Zeichen	Messwert
Flurabstand EB/RB am 31.08.25/15.04.25	A [m]	9,67/8,35
Brunnentiefe EB/RB	T [m]	16,20/16,00
Brunnenradius EB/RB	r [m]	0,15/0,15
Wassersäule EB/RB	h _{EB} [m]	6,53/7,65
Filterlänge EB/RB	l [m]	2,00/6,00
Grundwassergefälle	I [m/km]	6,0
Brunnenabstand	a [m]	70,00
Anströmwinkel	α [°]	40



7.2.1 Durchlässigkeitsbeiwert

Am 31.08.2023 wurde durch die Fa. Drillexpert GmbH ein Pumpversuch (PV) am EB und am 15.04.2025 ein Auffüllversuch (AV) am RB bis zum quasistationären Zustand zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes durchgeführt. Die Entnahme- bzw. Auffüllmenge betrug 2,00 l/s bzw. 2,20 l/s. Dabei ergaben sich eine Absenkung im EB von 2,61 m und ein Aufstau im RB von 2,96 m.

Für die Berechnung des Kf-Wertes nach Dupuit-Thiem genügt die Absenkung bzw. der Aufstau mit der zugehörigen Entnahme-/Auffüllmenge im Beharrungszustand. Der Durchlässigkeitsbeiwert wird nach der Formel für quasistationäre Verhältnisse im freien Grundwasser, ohne Beobachtungspiegel nach Dupuit-Thiem berechnet. Hierbei wird von dem geringen Schwankungsbereich des Logarithmus von R/r ausgegangen und mit Ln 3,3 eine erste Annäherung erzielt (nach Logan, 1964). Anschließend kann der Absenktrichter nach Kusakin berechnet und damit der kf-Wert präzisiert werden.

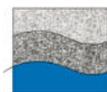
Der Durchlässigkeitsbeiwert aus dem PV beträgt in erster Annäherung $k_f = 6,42 \cdot 10^{-5}$ m/s, der präzisierte kf-Wert $k_f = 2,86 \cdot 10^{-4}$ m/s. Der Durchlässigkeitsbeiwert aus dem AV beträgt in erster Annäherung $k_f = 5,27 \cdot 10^{-5}$ m/s, der präzisierte kf-Wert $k_f = 2,40 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Die Absenkung im Betriebszustand wird aus den Pump- und Auffüllversuchen, unter Zugrundelegung der Linearität (analog zur Lineargleichung), ermittelt. Daraus ergeben sich bei einer Entnahme von 1,70 l/s im Betriebszustand eine Absenkung von 2,12 m im EB und ein Aufstau von 2,15 m im RB.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tab. 2: Ergebnisse Pump- und Auffüllversuch

Entnahme-/ Auffüllmenge aus EB/RB	Q_{PV} [m ³ /s]	$2,0 \cdot 10^{-3} / 2,2 \cdot 10^{-3}$
Absenkung im EB	s_{PV} [m]	2,61
Abgesenkte Wassersäule im EB	h_w [m]	3,92
Aufstau im RB	s_{AV} [m]	2,96
Durchlässigkeitsbeiwert aus PV	$k_{f_{PV}}$ [m/s]	$2,86 \cdot 10^{-4}$
Durchlässigkeitsbeiwert aus AV	$k_{f_{AV}}$ [m/s]	$2,40 \cdot 10^{-4}$
Entnahmemenge Wärmepumpe	Q_{WP} [m ³ /s]	$1,70 \cdot 10^{-3}$
Absenkung im Betriebszustand im EB	s_{EB} [m]	2,12
Aufstau im Betriebszustand im RB	s_{RB} [m]	2,15



7.2.2 Hydrogeologische Berechnungen

Mit den Brunnenkennwerten aus Tabelle 1 und der Pump- und Auffüllversuchsauswertung aus Tabelle 2 können die hydrogeologischen Berechnungen zur Beschreibung der Anlage durchgeführt werden, wobei der errechnete kf-Wert aus dem PV für die weiteren Berechnungen herangezogen wird. Der kf-Wert aus dem AV wird für die Temperaturfeldberechnung herangezogen (Kap. 7.2.5). Die Ergebnisse sind in Tab. 3 aufgelistet (Rechengrundlagen im Anhang):

Tab. 3: Ergebnisse der weiteren Berechnungen

Parameter	Einheit	Dimension
Einzugsbreite	B [m]	151,68
Zuströmbreite	b [m]	75,84
Unterer Kulminationspunkt	x_o [m]	24,15
Reichweite des Absenktrichters	R_{AT} [m]	52,56
Reichweite des Aufstaukegels	R_{AK} [m]	52,94
Filtereintrittsgeschwindigkeit EB	v_F [m/s]	$1,13 \cdot 10^{-3}$
Fassungsvermögen EB	F [m ³ /s]	$2,12 \cdot 10^{-3}$
Brunnenabstand Mehlhorn (Mittel aus EB/RB)	a^* [-]	2,87

7.2.3 Absenkung- / Aufstau

Die Absenkung im EB während des Betriebes der Wärmepumpe beträgt 2,12 m, die Reichweite des Absenktrichters 52,56 m. Der Aufstau im Rückgabebrunnen während des Betriebes der Wärmepumpe beträgt 2,15 m, die Reichweite des Aufstaukegels 52,94 m.

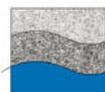
Innerhalb des Absenktrichters befindet sich folgende Gebäude mit Restabsenkung:

- Kirchstraße 9, Flurstück Nr. 2401/2403/2404, Abstand 29,6 m, Restabsenkung 0,3 m

Innerhalb des Aufstaukegels befindet sich folgende Gebäude mit Restaufstau:

- Marie-Curie-Straße. 2, FSN 8419, Abstand 39,7 m, Restabsenkung 0,18 m
- Marie-Curie-Straße. 4, FSN 8418, Abstand 32,0 m, Restabsenkung 0,26 m

Aufgrund der hohen Flurabstände und des Untergrunds (Gründung im Kies) sind keine Auswirkungen auf Dritte zu erwarten.



7.2.4 Rückstromrate

Aus dem Diagramm nach Mehlhorn (Abb. 1) ergibt sich bei einem Brunnenabstand a^* von 2,87 und einem Anströmwinkel von 40° eine Rückstromrate von $\sim 10\%$. Ein hydrothermaler Kurzschluss zwischen den Entnahme- und dem Rückgabebrunnen ist somit nicht zu erwarten.

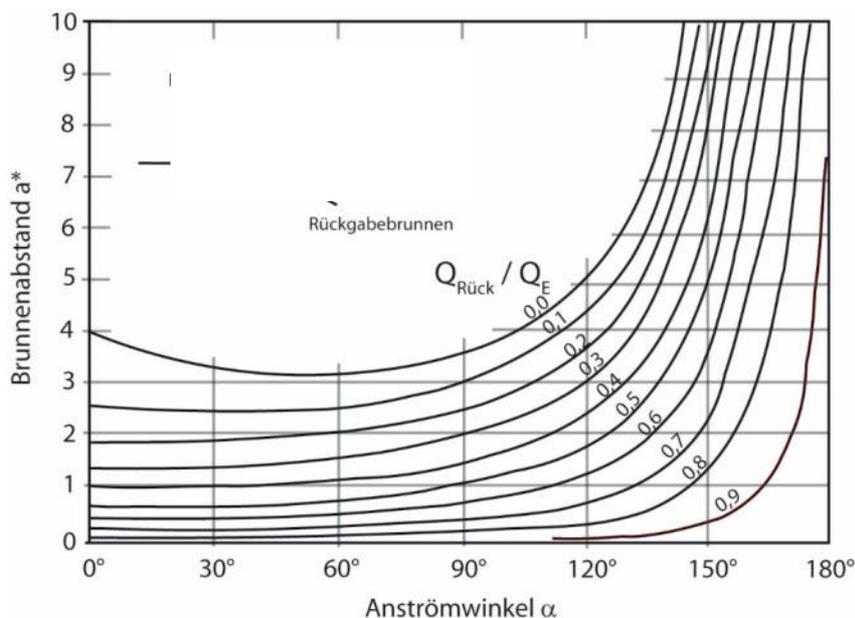


Abb. 1: Diagramm der Rückströmrate (aus Mehlhorn et al., 1981)

7.2.5 Temperaturfelder

Bei Anlagengrößen > 45.000 kW/a wird eine numerische Berechnung (Modellierung) zur Berechnung der Temperaturfeldausbreitung verlangt. Die Modellierung wurde durch das Büro HydrosConsult GmbH durchgeführt. Es wurden folgende Längen und Breiten, ausgehend von einer Simulationsdauer von 20 Jahren, berechnet (Anhang 7):

Lastfall Jahresmittel:

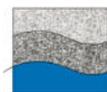
- 1° K-Isotherme: Länge 26 m, Breite 9 m
- 2° K-Isotherme: Länge 8 m, Breite 4 m
- 3° K-Isotherme: Länge 2 m, Breite 2 m

Lastfall Winterbetrieb:

- 1° K-Isotherme: Länge 54 m, Breite 15 m
- 2° K-Isotherme: Länge 19 m, Breite 8 m
- 3° K-Isotherme: Länge 7 m, Breite 3 m

Lastfall Kühlbetrieb:

- 1° K-Isotherme: nicht darstellbar
- 2° K-Isotherme: nicht darstellbar
- 3° K-Isotherme: nicht darstellbar



8 Chemismus des Grundwassers

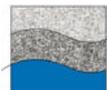
Am 16.04.2025 wurde eine Wasserprobe zur Analyse der brunnenrelevanten Parameter Eisen und Mangan entnommen und im Labor analysiert (siehe Anhang 1). Ferner wurden die allgemeinen Kenngrößen zur Beschreibung von Grundwässern direkt vor Ort gemessen. Hierbei ergab sich brunnenseitig keine Einschränkung für den geplanten Betriebszweck. Für die Wärmepumpe sind die Herstellerangaben zu beachten.

Wir weisen im Allgemeinen darauf hin, dass für einen störungsfreien, nachhaltigen Betrieb von Grundwasser-Wärmepumpen, die Anlagen und das Leitungssystem absolut luftdicht ausgebaut werden müssen. Bei Überflur-Anordnung bedeutet das, im Rückgabebrunnen muss in der Rückgabelleitung eine Absperrvorrichtung vorgesehen werden, die ein Leerlaufen der Rückgabelleitung und der Anlage verhindert.

Bei der Inbetriebnahme muss zwingend darauf geachtet werden, dass die Leitungen vollständig entlüftet werden und die Leitungen vollständig wassergefüllt sind.

Tab. 4: Ergebnisse der Wasseranalyse

Parameter	Dimension	Messwert
Temperatur	[° C]	12,8
pH-Wert	-	6,9
El. Leitfähigkeit	[µS/cm]	535
Sauerstoffsättigung	[%] - [mg/l]	25,6 – 2,6
Eisen, gesamt	[mg/l]	0,13
Eisen, gelöst	[mg/l]	< 0,02
Mangan, gesamt	[mg/l]	0,01
Mangan, gelöst	[mg/l]	< 0,005



9 Beurteilung

Die Grundwasser-Wärmepumpenanlage "MED-Zentrum, Denzlingen" wurde auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie den im Gelände erhobenen Daten beurteilt und weiterführende Berechnungen durchgeführt. Die Situation stellt sich wie folgt dar:

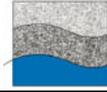
Das Grundwasser fließt in nordwestliche Richtung (285°) mit einem durchschnittlichen Gefälle von rd. 6 ‰. Das Temperaturfeld der 1° Isotherme folgt im Lastfall Jahresmittel der Fließrichtung auf einer Länge von 26 m, im Lastfall Winterbetrieb 54 m. Die Temperaturfelder im Kühlfall sind zu gering um sie darstellen zu können. Die Rückströmrate liegt bei $\sim 10\%$.

- **Infolge der Berechnungen und auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Unterlagen bestehen aus gutachterlicher Sicht keine Einwände gegen den Betrieb der beantragten Grundwasser-Wärmepumpenanlage, vorbehaltlich der Ausführungen aus Kapitel 8.**

Waldkirch, den 29.07.2025

Christian Frey
(Projektleiter)

Lutz Gehring
(Projektbearbeiter)



Berechnungsgrundlagen

Durchlässigkeitsbeiwert nach DUPUIT–THIEM

$$k_F = 0,733 \cdot Q_{PV} \cdot \frac{\ln \frac{R}{r}}{h_{EB}^2 - h_w^2} [m/s]$$

Einzugsbreite (aus Hölting, 1992)

$$B = \frac{Q_{WP}}{k_f \cdot I \cdot h_{EB}}$$

Zuströmbreite (aus Hölting, 1992)

$$b = \frac{B}{2}$$

Unterer Kulminationspunkt (aus Hölting, 1992)

$$x_0 = \frac{B}{2\pi}$$

Reichweite des Absenktrichters (Kusakin)

$$R = 575 \cdot S_{PV} \cdot \sqrt{k_f \cdot h_{EB}}$$

Filtereintrittsgeschwindigkeit (Sichard)

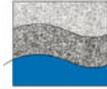
$$v_F = \frac{\sqrt{k_f}}{15}$$

Fassungsvermögen (Sichard)

$$F_f = 2\pi \cdot r \cdot l \cdot v_F$$

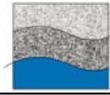
Brunnenabstand a^* (Mehlhorn)

$$a^* = a \frac{2\pi \cdot h_{EB} \cdot k_f \cdot I}{Q_{WP}}$$

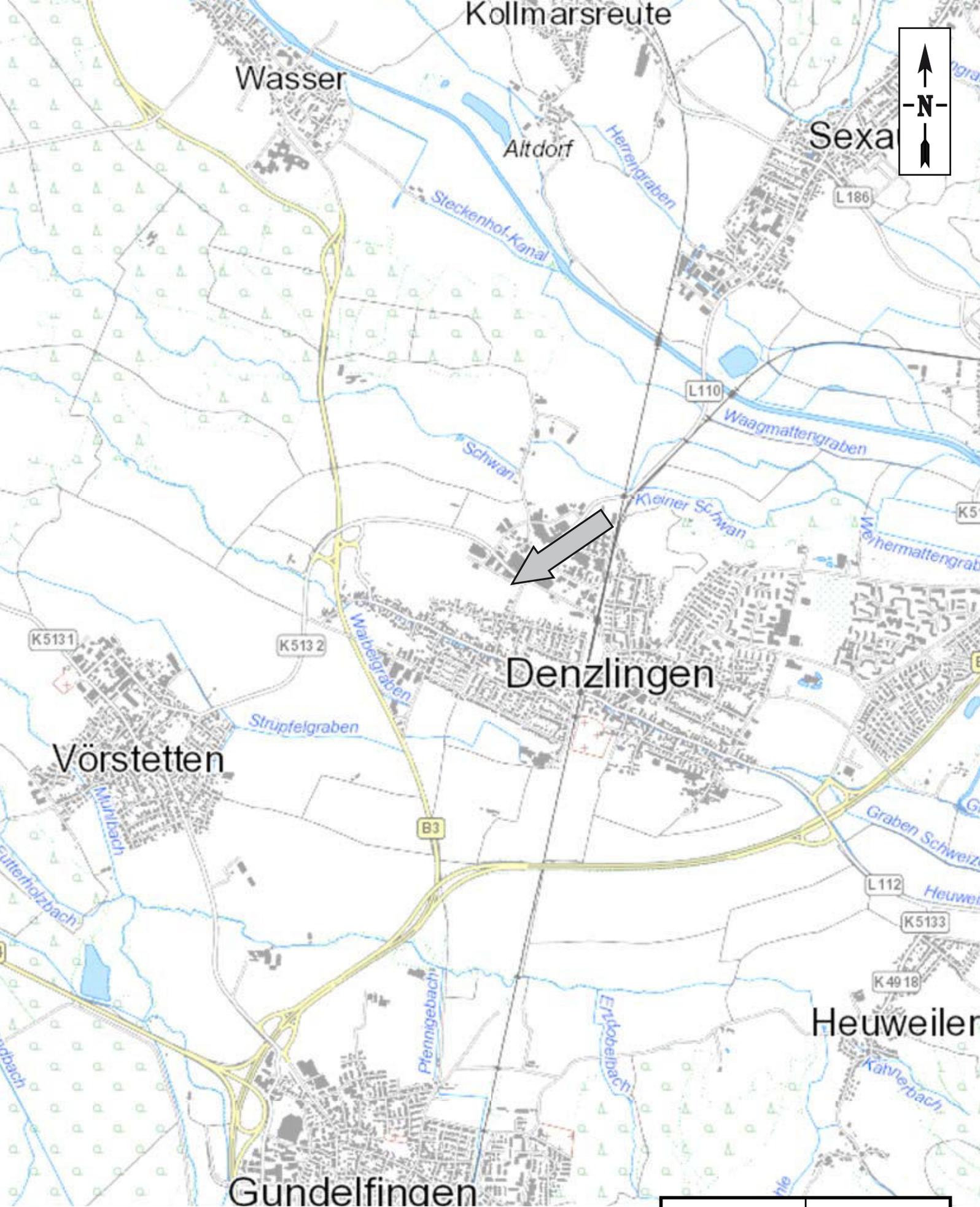


Verwendete Abkürzungen

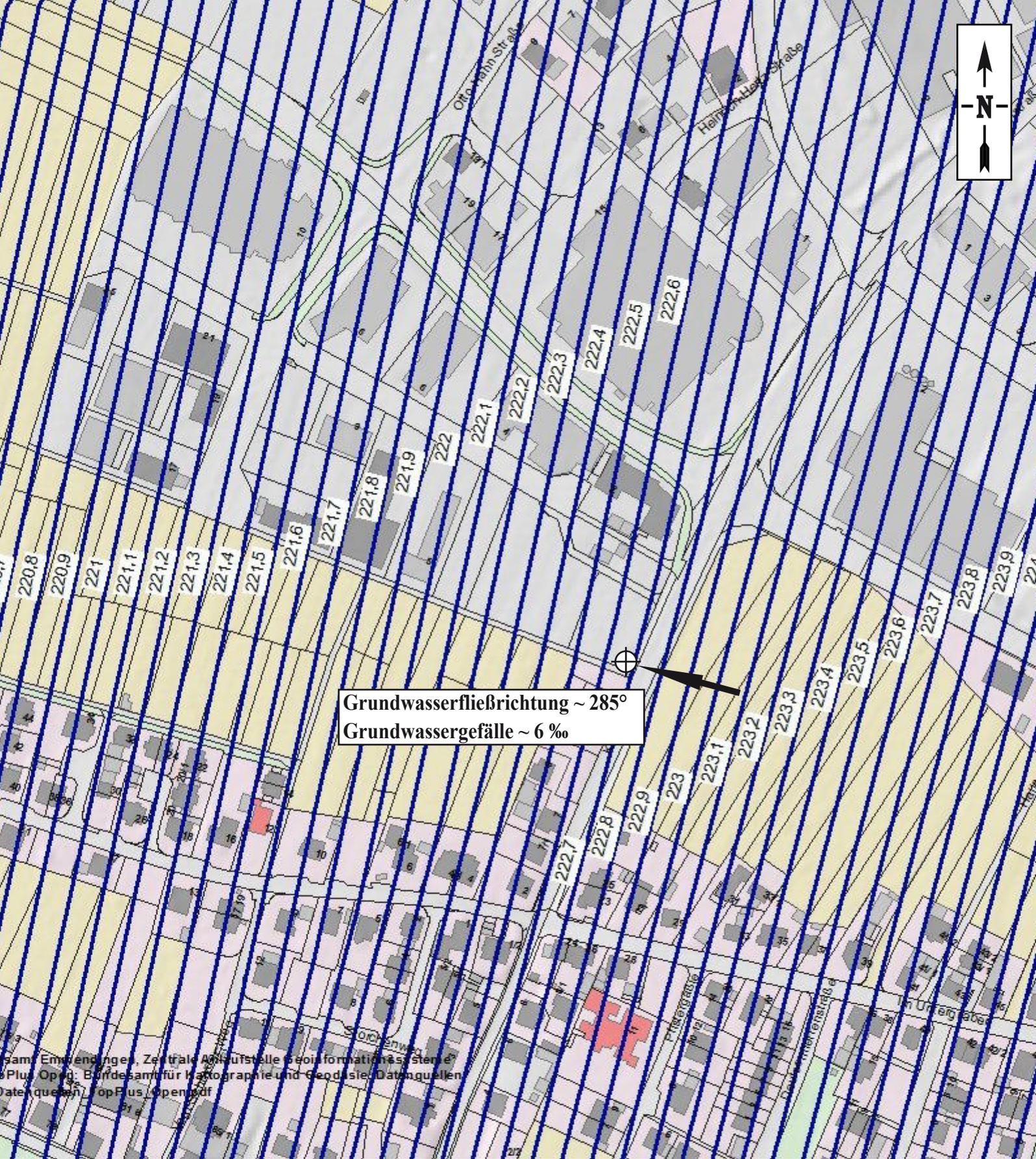
A [m]:	Flurabstand
a [m]:	Brunnenabstand
a* [-]:	Brunnenabstand Mehlhorn
α [°]:	Anströmwinkel
B [m]:	Einzugsbreite
b [m]:	Zuströmbreite
h_{EB} [m]:	Wassersäule im EB
h_{RB} [m]:	Wassersäule im EB
h_w [m]:	abgesenkte Wassersäule im EB
I [m/km]:	Grundwassergefälle
k_f -Wert [m/s]:	Durchlässigkeitsbeiwert
l [m]:	Filterlänge
F [m ³ /s]:	Fassungsvermögen
Q_{PV} [m ³ /s]:	Entnahmemenge Pumpversuch
Q_{WP} [m ³ /s]:	Entnahmemenge der Wärmepumpe
R_{AT} [m]:	Reichweite des Absenktrichters
R_{AK} [m]:	Reichweite des Aufstaukegels
r [m]:	Brunnenradius
SPV [m]:	Absenkung während des Pumpversuchs
SAV [m]:	Aufstau während des Auffüllversuchs
SEB [m]:	Absenkung im Betriebszustand im EB
SRB [m]:	Aufstau im Betriebszustand im RB
T [m]:	Brunnentiefe
v_F [m]:	Filtereintrittsgeschwindigkeit
x_o [m]:	Unterer Kulminationspunkt



Anlagen

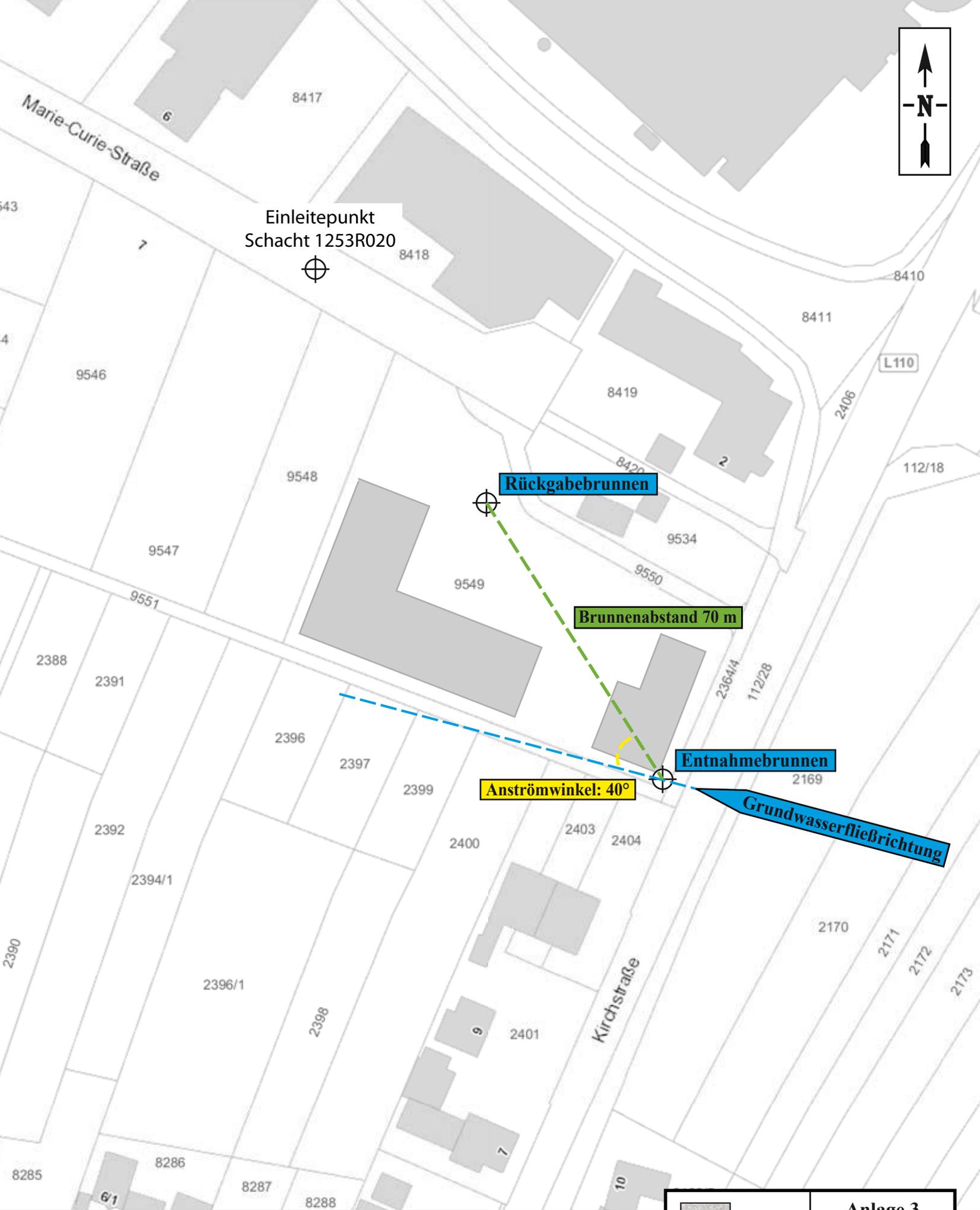
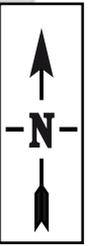


 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 1
	M 1:25.000
Übersichtslageplan	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	



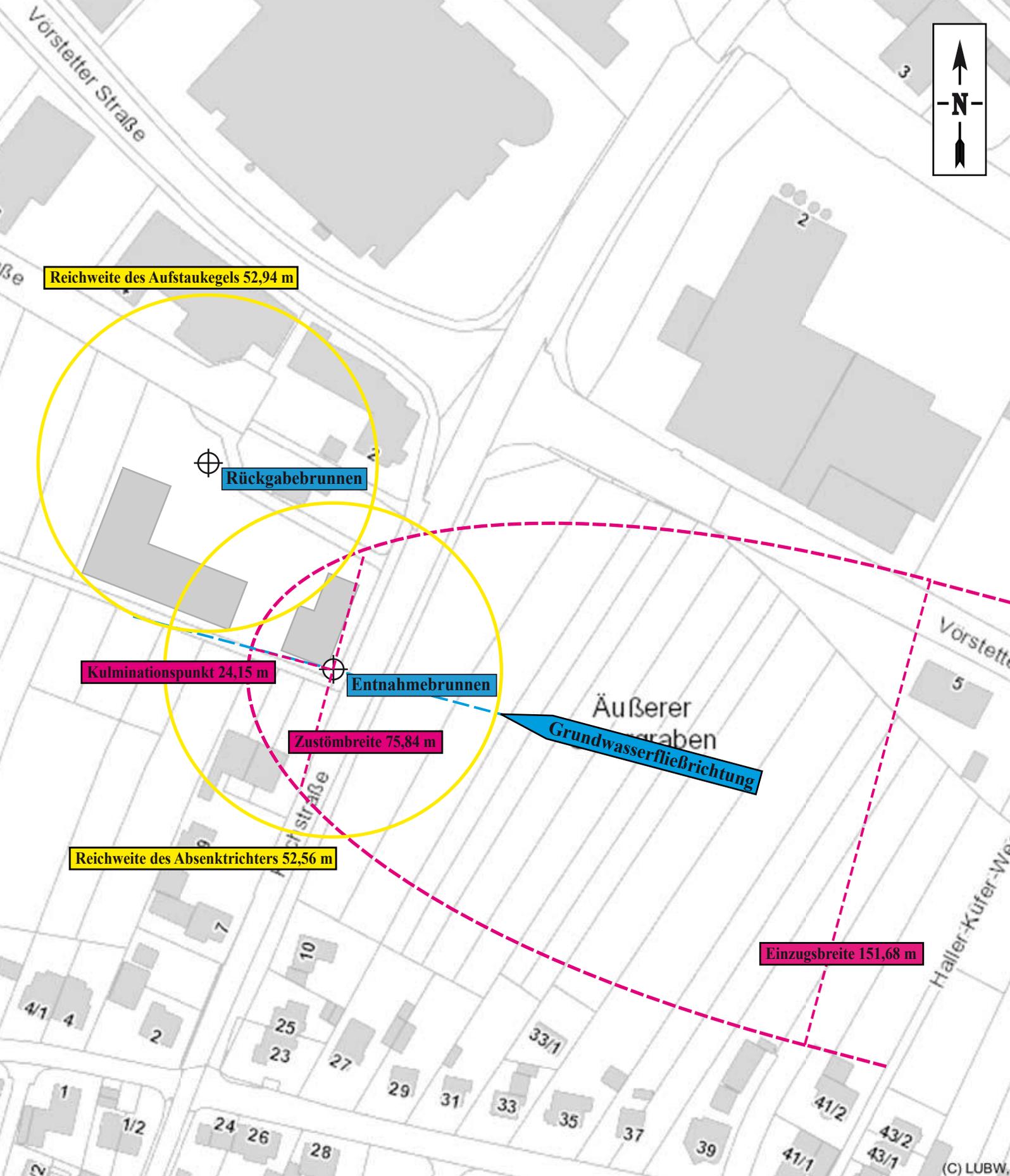
sam, Emmentinger, Zentralarchivstelle Geoinformationssysteme
 BPlus, Opq: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Datenquellen:
 Datenquelle: TopPlus, OpenTopo

 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 2
	M 1:2.500
Grundwasserfließrichtung und -gefälle	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	



 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 3
	M 1:1.000
Lage der Brunnen und hydrogeologische Angaben	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	

Grundlage:
- Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19



Reichweite des Aufstaukegels 52,94 m

Rückgabebrunnen

Kulminationspunkt 24,15 m

Entnahmebrunnen

Zustömbreite 75,84 m

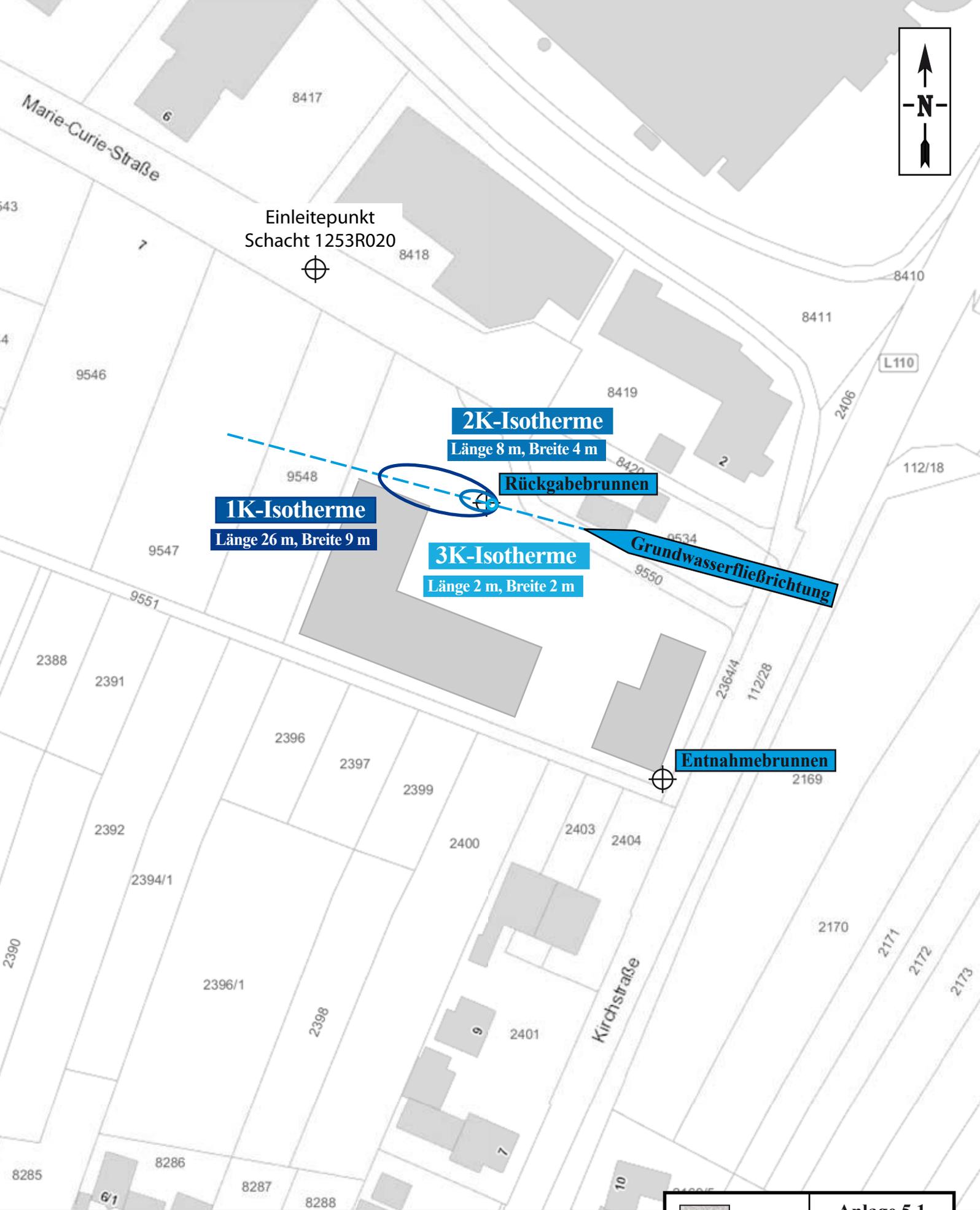
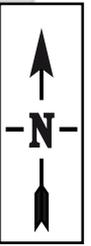
Äußerer Grundwasserfließrichtung

Reichweite des Absenktrichters 52,56 m

Einzugsbreite 151,68 m

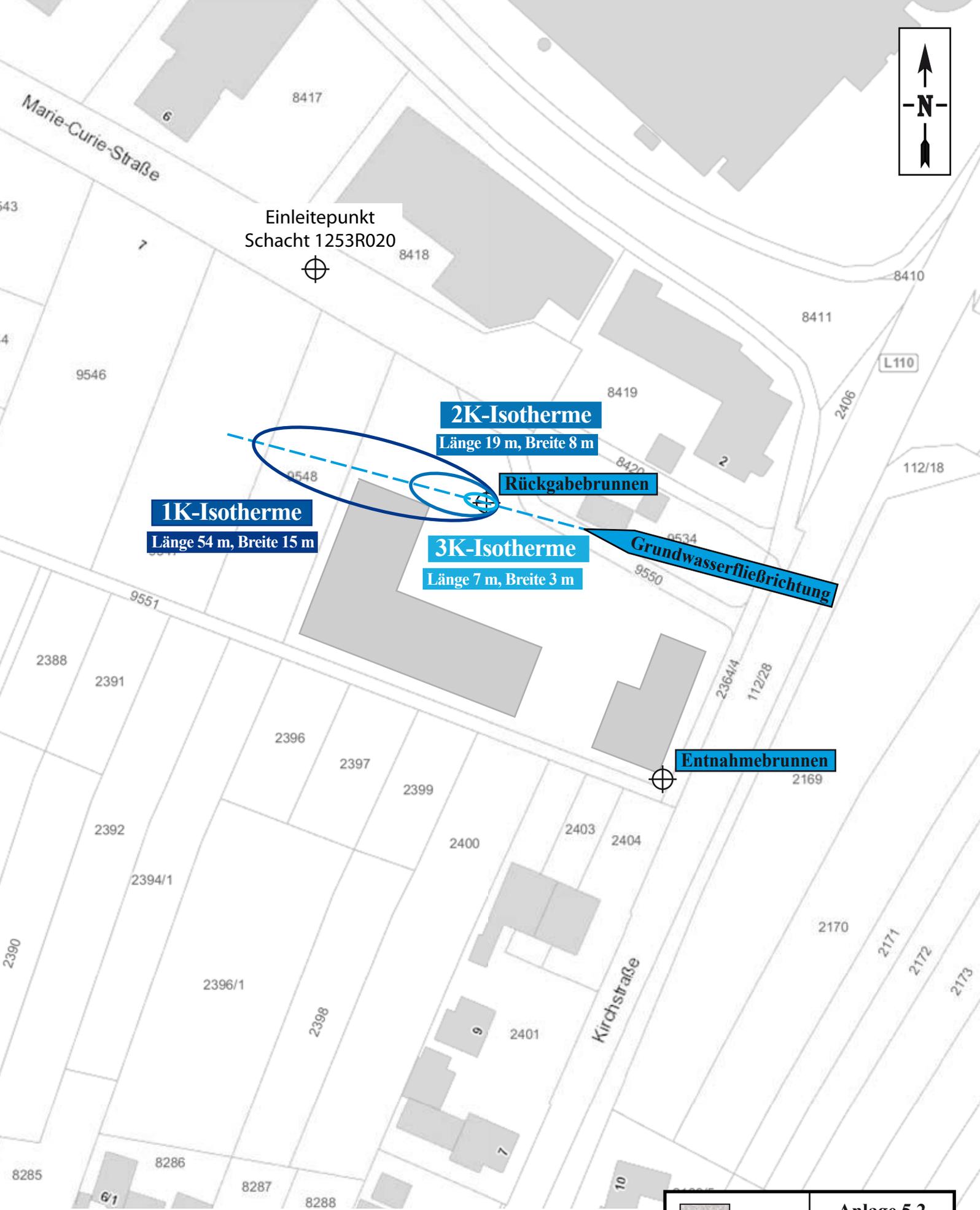
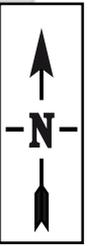
Grundlage:
- Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19

 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 4
	M 1:1.500
Brunnenkennwerte	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	



Grundlage:
- Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19

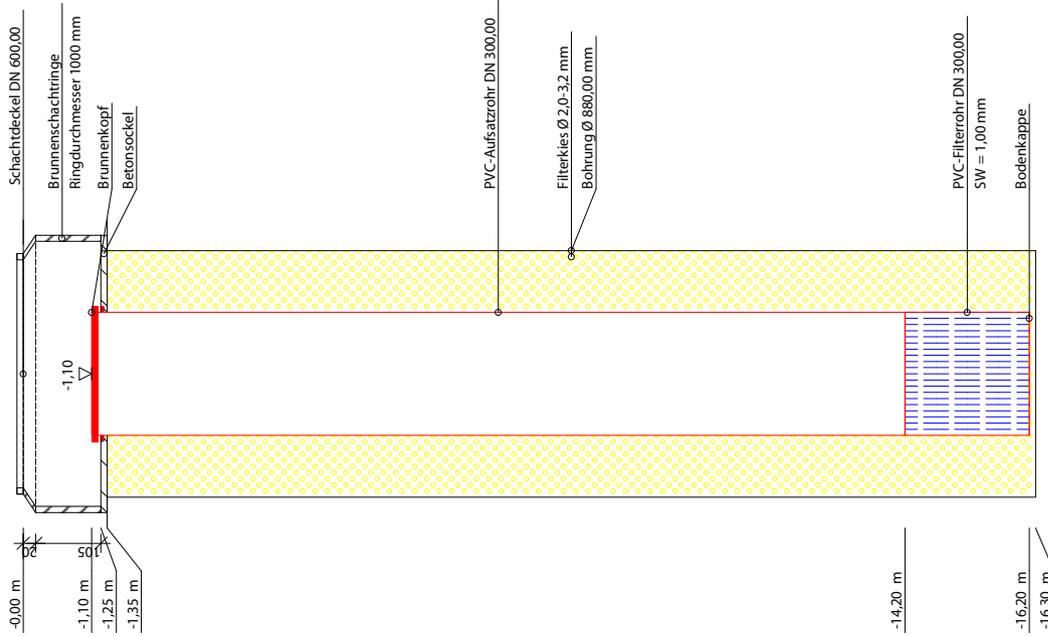
 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 5.1
	M 1:1.000
Temperaturfelder Lastfall Jahresmittel	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	



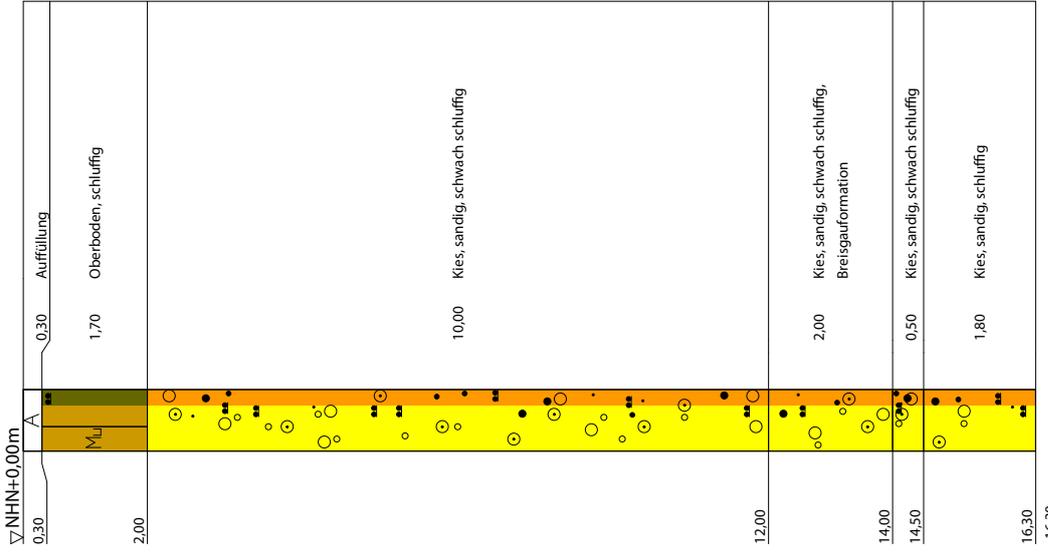
Grundlage:
- Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19

 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 5.2
	M 1:1.000
Temperaturfelder Lastfall Winter	
BV MED-Zentrum, Denzlingen	

EB 1 12"-Brunnenausbau



EB 1 Bodenprofil



drillexpert
 drillexpert GmbH
 Siemensstraße 9
 79331 Teningen-Nimburg
 Tel.: +49(0)7663-60388 - 0
 Fax: +49(0)7663-60388 - 22

Bauvorhaben:
 WW BAGA, Denzlingen

Planbezeichnung:
 Brunnenausbaukizze und
 Bodenprofil

Plan-Nr.:	
Projekt-Nr.:	2022-0547.1
Datum:	29.08.2023
Maßstab:	1 : 100
Bearbeiter:	Ch. Fleissner

ET 16,30 m

 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 6
	Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse mit Schachtausbau
	BV MED-Zentrum, Denzlingen

Anlage :
Projekt-Nr.: 2022-0547.1

SCHICHTENVERZEICHNIS

Kopfblatt zum Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bohrung: **EB 1 / Blatt 0**

Karte i.M. 1: Nr:

Name des Kartenblattes:

Gitterwerte des Bohrpunktes: Rechts:

Hoch:

Ort, in oder bei dem die Bohrung liegt: **Denzlingen**

Kreis: **Emmendingen**

Zweck der Bohrung: **Errichtung eines Brunnens**

Baugrund:

Höhe des Ansatzpunktes in m über NHN: **0,00**

(Ansatzpunkt **0,00** m über Gelände)

Auftraggeber: **HIN Haus Vertrieb GmbH, Ringsheim**

Objekt: **WW BAGA, Denzlingen**

Bohrunternehmer: **drillexpert GmbH**

Geräteführer: **Herr Jonas Buderer**

Gebohrt vom **29.08.2023** bis **29.08.2023**

Endteufe: **16,30** m unter Ansatzpunkt ¹⁾)

Bohrlochdurchmesser: bis **16,30** m **880,00** mm

Bohrverfahren bis **16,30** m **Greiferbohrung**

Zusätzliche Angaben bei Wasserbohrungen:

Filter: von **16,20** m bis **14,20** m unter Ansatzpunkt Ø **300,00** mm Art: **PVC-Filterrohr, SW 1,0 mm**

von **14,20** m bis **1,10** m unter Ansatzpunkt Ø **300,00** mm Art: **PVC-Aufsatzrohr**

Kiesschüttung: von **16,30** m bis **1,35** m unter Ansatzpunkt, Körnung: **2 - 8 mm**

GW gemessen am 29.08.2023 - 9,90 m Tiefe

Schachtbauwerk, Brunnenkopf, Bodenkappe, 3 x Abstandhalter

Proben: 16 x EP

Unterschrift des Geräteführers

gez. Jonas Buderer

Fachtechnisch bearbeitet von **Herrn Ch. Fleissner**

am **29.08.2023**

Proben nach Bearbeitung aufbewahrt bei

Anzahl: **0**

unter Nr.:

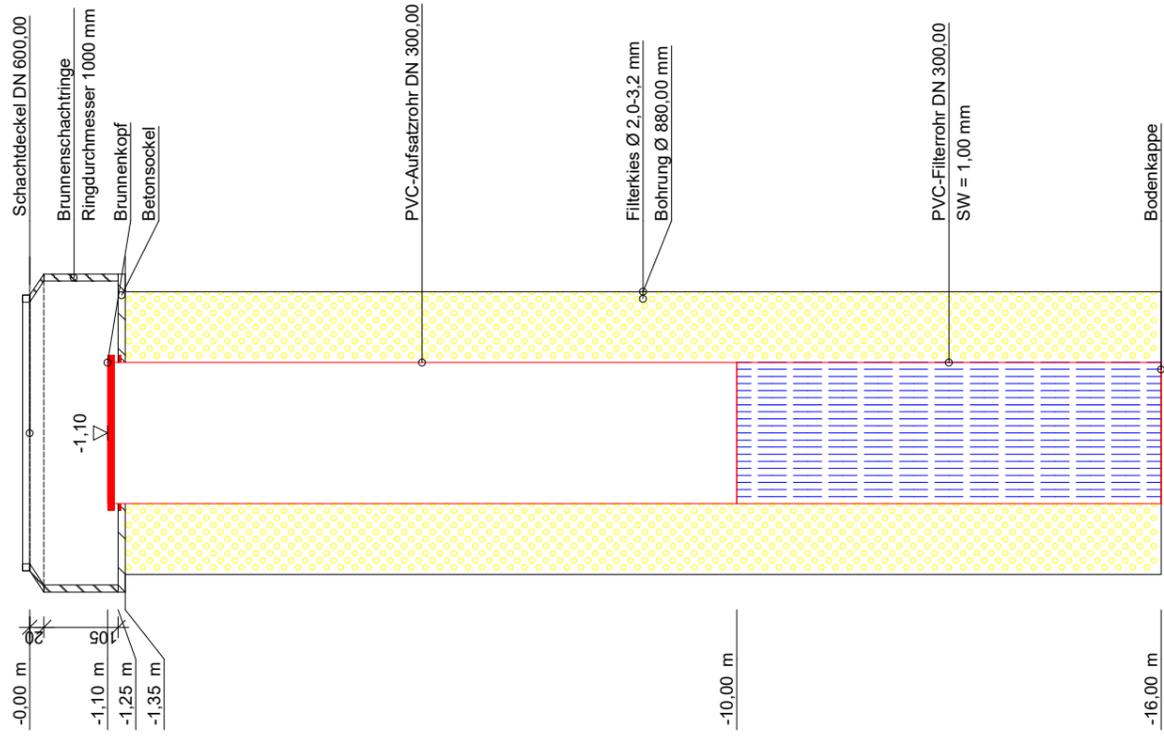
¹⁾ bei Schrägbohrungen = Bohrlänge

²⁾ Verrohrte Strecken sind unterstrichen

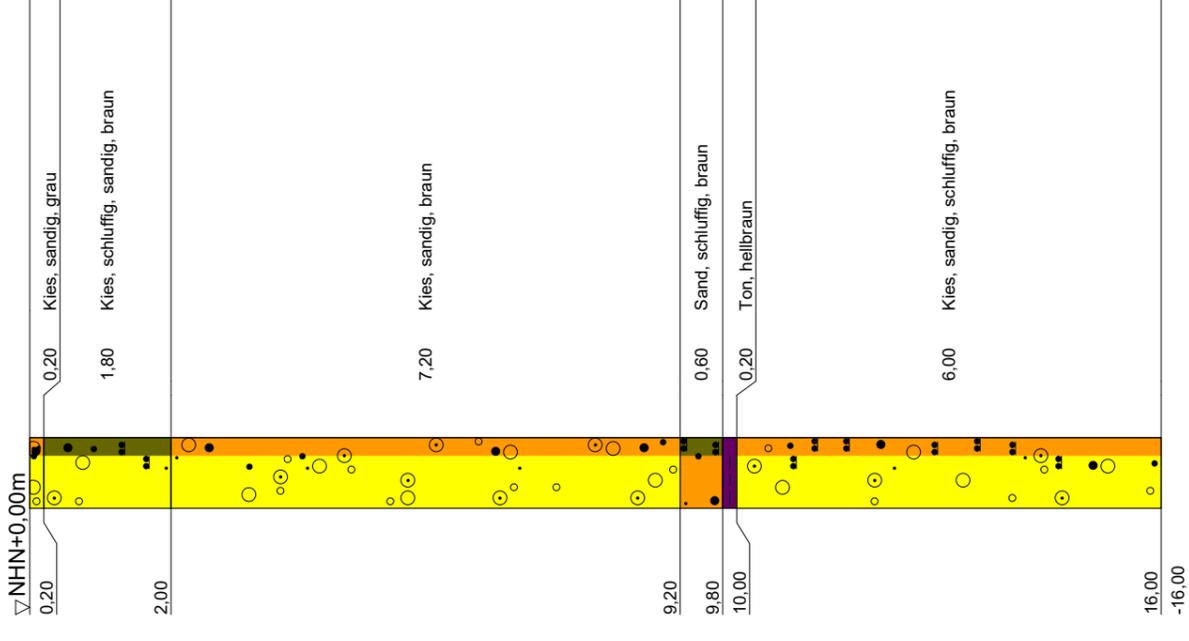
		Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben				Anlage:		
						Bericht:		
						AZ: 2022-0547.1		
Bauvorhaben: WW BAGA, Denzlingen								
Bohrung Nr.: EB 1 / Blatt 1					Datum: 29.08.2023			
1	2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust		Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾					Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe			i) Kalk- gehalt		
0,30	a) Auffüllung			Greifer Ø 880 von 0,00 - 16,30 m				
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		
2,00	a) Oberboden, schluffig							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		
12,00	a) Kies, sandig, schwach schluffig							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		
14,00	a) Kies, sandig, schwach schluffig, Breisgauformation							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		
14,50	a) Kies, sandig, schwach schluffig							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		
16,30	a) Kies, sandig, schluffig							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)			i)		

¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor

SB 12"-Brunnenausbau



SB Bodenprofil



8,36 GW
 15.04.2025

drillexpert

drillexpert GmbH
 Siemensstraße 9
 79331 Teningen-Nimburg
 Tel.: +49(0)7663-60388 - 0
 Fax: +49(0)7663-60388 - 22

Bauvorhaben:

WW BAGA, Denzlingen

Planbezeichnung:

Brunnenausbaukizze und
 Bodenprofil

Plan-Nr:

Projekt-Nr: 2022-0547.1

Datum: 16.04.2025

Maßstab: 1 : 100

Bearbeiter: F. Fechner

Anlage :
Projekt-Nr.: 2022-0547.1

SCHICHTENVERZEICHNIS

Kopfblatt zum Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bohrung: **SB / Blatt 0**

Karte i.M. 1: Nr:

Name des Kartenblattes:

Gitterwerte des Bohrpunktes: Rechts:

Hoch:

Ort, in oder bei dem die Bohrung liegt: **Denzlingen**

Kreis: **Emmendingen**

Zweck der Bohrung: **Errichtung eines Brunnens**

Baugrund:

Höhe des Ansatzpunktes in m über NHN: **0,00**

(Ansatzpunkt **0,00** m über Gelände)

Auftraggeber: **HIN Haus Vertrieb GmbH, Ringsheim**

Objekt: **WW BAGA, Denzlingen**

Bohrunternehmer: **drillexpert GmbH**

Geräteführer: **Herr Jonas Buderer**

Geböhrt vom **01.04.2025** bis **16.04.2025**

Endteufe: **16,00** m unter Ansatzpunkt ¹⁾)

Bohrlochdurchmesser: bis **16,00** m **880,00** mm

Bohrverfahren bis **16,00** m **Greiferbohrung**

Zusätzliche Angaben bei Wasserbohrungen:

Filter: von **16,00** m bis **14,00** m unter Ansatzpunkt Ø **300,00** mm Art: **PVC-Filterrohr, SW 1,0 mm**

von **14,00** m bis **1,10** m unter Ansatzpunkt Ø **300,00** mm Art: **PVC-Aufsatzrohr**

Kiesschüttung: von **16,00** m bis **1,35** m unter Ansatzpunkt, Körnung: **2 - 8 mm**

GW gemessen am 15.04.2025 - 08:00 Uhr - 8,36 m Tiefe

Schachtbauwerk, Brunnenkopf, Bodenkappe

Proben: 16 x EP

Unterschrift des Geräteführers

gez. Jonas Buderer

Fachtechnisch bearbeitet von **Herrn F. Fechner**

am **16.04.2025**

Proben nach Bearbeitung aufbewahrt bei

Anzahl: **0**

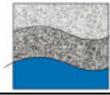
unter Nr.:

¹⁾ bei Schrägbohrungen = Bohrlänge

²⁾ Verrohrte Strecken sind unterstrichen

		Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben				Anlage: Bericht: AZ: 2022-0547.1	
		Bauvorhaben: WW BAGA, Denzlingen					
Bohrung Nr.: SB / Blatt 1					Datum: 16.04.2025		
1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen ¹⁾				Art	Nr.	Tiefe in m Unter- kante
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung ¹⁾	h) ¹⁾ Gruppe		i) Kalk-gehalt		
0,20	a) Kies, sandig			Greifer Ø 880 von 0,00 - 16,00 m			
	b)						
	c)	d)	e) grau				
	f)	g)	h)		i)		
2,00	a) Kies, schluffig, sandig						
	b)						
	c)	d)	e) braun				
	f)	g)	h)	i)			
9,20	a) Kies, sandig						
	b)						
	c)	d)	e) braun				
	f)	g)	h)	i)			
9,80	a) Sand, schluffig						
	b)						
	c)	d)	e) braun				
	f)	g)	h)	i)			
10,00	a) Ton						
	b)						
	c)	d)	e) hellbraun				
	f)	g)	h)	i)			
16,00	a) Kies, sandig, schluffig						
	b)						
	c)	d)	e) braun				
	f)	g)	h)	i)			

¹⁾ Eintragung nimmt wissenschaftlicher Bearbeiter vor



Anhänge



IFU GmbH Gewerbliches Institut für Fragen des Umweltschutzes
Grißheimer Weg 7a • 79423 Heitersheim

Ingenieurbüro Frey-BGW, Büro für
Geowissenschaften
Büro für Geowissenschaften
August-Jeanmaire-Str. 27a
79183 Waldkirch



Die Akkreditierung nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2018 gilt für die
im Anhang zur Akkreditierungsurkunde
aufgeführten Prüfverfahren.

Datum

23.07.2025

Seite 1 von 2

Prüfbericht

D-12606

Prüfberichts-Nr.:	25-04295	Kunden-Nummer:	30218
--------------------------	-----------------	-----------------------	--------------

Auftraggeber:	Ingenieurbüro Frey-BGW, Büro für Geowissenschaften		
Ansprechpartner:	Christian Frey		
Auftrag / Bestellung:	18.07.2025		
Betreff:	BAGA, Denzlingen		
Probeneingang / Prüfbeginn:	18.07.2025	Prüfende:	23.07.2025
Probenanzahl:	1 x Grundwasser		
Verteiler:	info@frey-bgw.de		

Übersicht der untersuchten Proben:

Probe	Entnahmestelle	Probenart	Untersuchungsprogramm
1	BAGA, Denzlingen	Grundwasser	Standardprobe Grundwasserwärmepumpe

 <p>Frey-BGW Büro für Geowissenschaften</p>	<h1>Anhang 1</h1>
<p>Analyse der Grundwasserprobe BV MED-Zentrum, Denzlingen</p>	



Prüfberichts-Nr.: 25-04295

Probe:	25-04295-001	Material:	Grundwasser
Probenahme durch:	Auftraggeber*	Probenahmemethode:	keine Angabe
Probenahmezeitpunkt:	16.07.2025 10:00	Eingangsdatum:	18.07.2025
Probenbezeichnung:	BAGA, Denzlingen		
Untersuchungsprogramm:	Standardprobe Grundwasserwärmepumpe		

Chemische Untersuchungen

Parameter	Methode	Ergebnis	Einheit	Spezifikation
pH-Wert (Labormessung)	DIN EN ISO 10523 (C5) 2012-04	6,9		
Eisen, gelöst (filtriert)	DIN EN ISO 11885 (E22) 2009-09	< 0,02	mg/l	
Eisen, gesamt	DIN EN ISO 11885 (E22) 2009-09	0,13	mg/l	
Mangan, gelöst (filtriert)	DIN EN ISO 11885 (E22) 2009-09	< 0,005	mg/l	
Mangan, gesamt	DIN EN ISO 11885 (E22) 2009-09	0,01	mg/l	

* nicht akkreditiert

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Proben und Untersuchungsumfänge.
Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Prüfberichtes bedarf einer Genehmigung des Prüflabors.

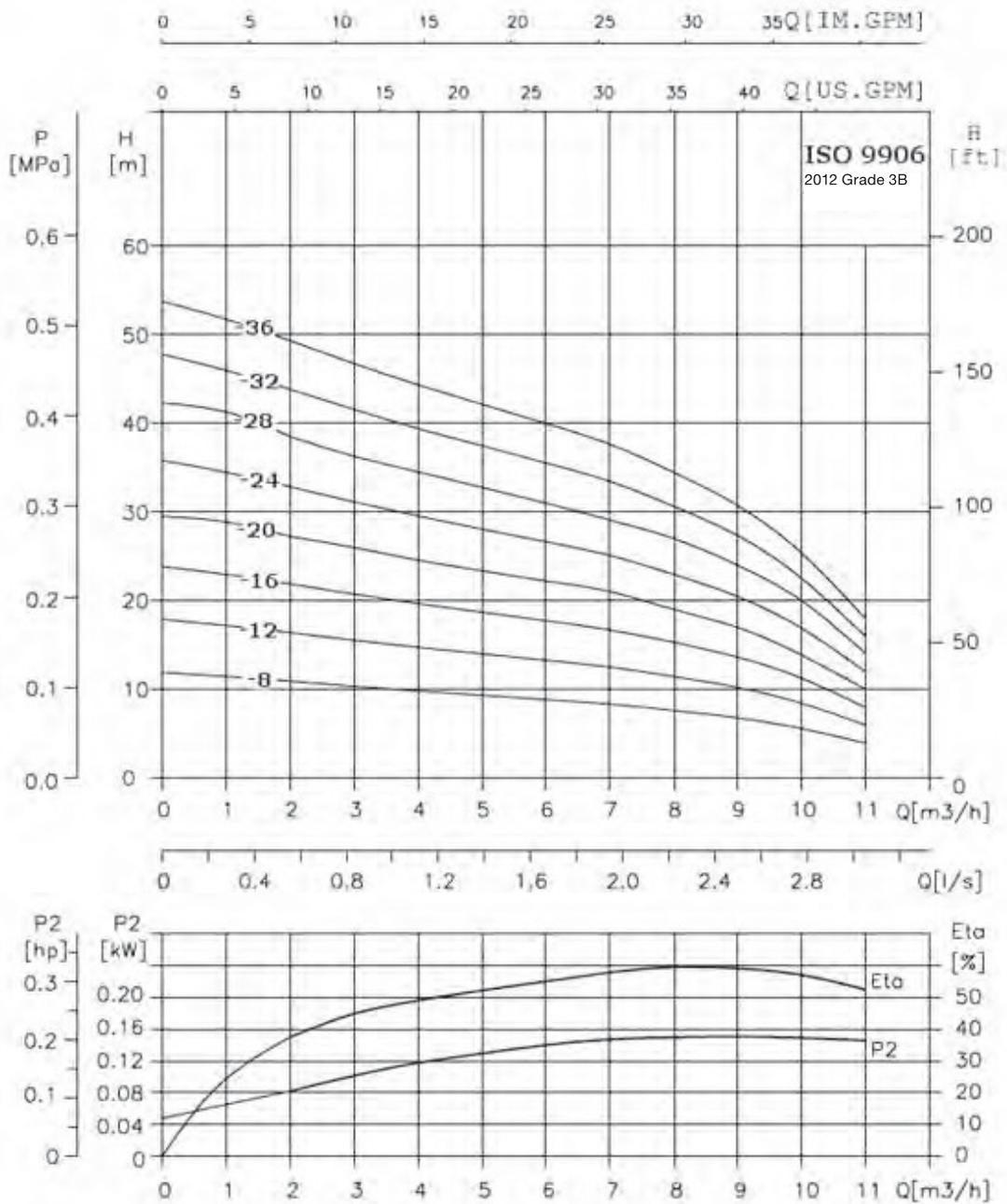
Wir hoffen, Ihnen mit unseren Ausführungen weitergeholfen zu haben und stehen Ihnen für weitere Fragen und Problematiken jederzeit gerne zur Verfügung.

Für Sie zuständig: Masoumeh Kisomi, Laborleiterin / +49 7634 5103-17

Vielen Dank für Ihren Auftrag!

Dr. Alexander Scholz
Geschäftsführer

Dieser Prüfbericht wurde elektronisch erstellt, geprüft und am 23.07.2025 15:13 freigegeben. Er ist ohne Unterschrift gültig.



4 GWE Edelstahl Unterwasserpumpen in Verbindung mit den Geothermie Bereichsmotoren senken ihre Betriebskosten und haben je nach Belastung einen um maximal 25% höheren Wirkungsgrad als Standardmotoren. Höhere Effizienz der Motoren bedeutet weniger Verluste und dementsprechend geringere thermische Belastung. Unter folgenden Rahmenbedingungen kann daher auf eine definierte Umströmung der Motoren verzichtet werden (Strömung am Motor von 0 m/s zulässig):

- Fördermedium Rohwasser maximal 15°C
- Pumpe / Motor zentriert im Brunnen vertikal eingebaut
- Schaltspiele: Dauerbetrieb bis max. 5 Starts / h
- Pumpe / Motor nicht im Brunnensumpf positioniert (Schlamm verhindert die Wärmeableitung)

 <p>Frey-BGW Büro für Geowissenschaften</p>	<h2>Anhang 2</h2>
<h3>Kennlinien und technische Daten der Grundwasserentnahmepumpe</h3>	
<h3>BV MED-Zentrum, Denzlingen</h3>	

15 Technische Daten

EcoTouch 5050T mit R410A	5028.5T	5034.5T	5045.5T	5056.5T
Wärmequelle Grundwasser^{1,3)}				
Leistung Aufn./ Abg. W10/W35 ³⁾ , kW	4,4/26,8	5,6/34,1	7,7/45,2	9,6/56,4
Leistungszahl nach EN 14511	6,0	5,8	5,6	5,6
Raumheizungs-Energieeffizienz ⁶⁾	A+++	A+++	A+++	A+++
Energieeffizienzklasse der Verbundanlage ⁵⁾	A+++	A+++	A+++	A+++
Grundwasserdurchfluss, m ³ /h (W10/W35), ΔT=3K	6,5	8,2	10,8	13,5
Druckverlust im Verdampfer, mWS	1,9	2,2	2,4	2,6
Grundwasserdurchfluss, Minimum m ³ /h ²⁾ ΔT=6K	3,3	4,1	5,4	6,7
Hzg.-Wasserdurchfluss, m ³ /h (W10/W35); ΔT=5K	4,6	5,9	7,8	9,7
Druckverlust im Verflüssiger, mWS	1,2	1,2	1,3	1,4
Einsatzgrenze	W10/W65			
Wärmequelle Erdreich				
Leistung Aufn. / Abg. B0/W35 ³⁾ , kW	4,4/20,2	5,6/25,6	7,5/34,1	9,2/42,4
Leistungszahl nach EN 14511	4,5	4,5	4,4	4,5
Raumheizungs-Energieeffizienz	A+++	A+++	A+++	A+++
Energieeffizienzklasse der Verbundanlage ⁵⁾ Raumheizung	A+++	A+++	A+++	A+++
Wärmequelle-Durchfluss ⁴⁾ , m ³ /h (B0/W35), ΔT=3K	5,2	6,6	8,7	10,8
Druckverlust im Verdampfer, mWS (30 % Ethylenglykol)	1,7	1,8	2,0	2,1
Hzg.-Wasserdurchfluss, m ³ /h (B0/W35), ΔT=5K	3,5	4,4	5,9	7,3
Druckverlust im Verflüssiger, mWS	0,6	0,7	0,8	0,8
Einsatzgrenze	B-5/W60 , B0/W65			
Verdichter	Tandem-Scroll			
1. Kompressor: Schalleistung n. EN12102 bei B0/W35 dB(A)	53,0	55,0	57,0	54,0
2. Kompressor: Schalleistung n. EN 12102 bei B0/W35 dB(A)	58,0	60,0	62,0	59,0
1. Kompressor: Schalleistung n. EN 12102 bei B0/W55 dB(A)	53,0	55,0	57,0	54,0
2. Kompressor: Schalleistung n. EN 12102 bei B0/W55 dB(A)	58,0	60,0	62,0	59,0
Elektrische Daten				
Spannung Kompressor	400 V, 3~, 50 Hz			
Anzugsstrom, A	51,5	62,0	75,0	102,0
Anzugsstrom mit Sanftanlauf, A (serienmäßig)	26,0	31,0	38,0	51,0
Max. Betriebsstrom, A	2x 7,4	2x 9,7	2x 13,0	2x 15,3
Bauseitige Hauptsicherung, A	C 20 A	C 25 A	C 32 A	C32 A
Bauseitige Steuersicherung, A	B 10 A	B 10 A	B 10 A	B 10 A
Abmessungen, Gewichte, Anschlüsse				
Anzahl Scroll-Kompressor	2	2	2	2
Volumen Kompr. Ölfüllung (l)	2x1,24	2x 1,24	2x 1,89	2x 1,77
Füllmasse Kältemittel R410A (kg)	3,65	4,0	5,0	5,6
Mindestraumvolumen in m ³ nach EN 378-1	8,3	9,1	10,2	11,4
Gerätgewicht (kg)	221	232	265	286
Anschlüsse: Wärmequelle / Nutzung	R2"a			
Maße B x H x T, mm	750x1470x611			

¹⁾ Die Wärmequelle Grundwasser ist mit Zwischenkreislauf zu nutzen, Lösungen finden sie in unserem Lieferprogramm. Auf dieser Systemkonfiguration beruhen unsere Leistungsangaben. ²⁾ Bei W10/W35 und Δt=6K. ³⁾ Für die oben genannten Leistungsangaben gelten die Toleranzen nach EN 12900 und EN 14511. ⁴⁾ Wärmequelle (70 % Wasser + 30 % Ethylen-Glykol). ⁵⁾ Beim Verbundlabel wurde der Waterkotte WWPR Regler Klasse III berücksichtigt (ohne Raumtemperaturfühler). ⁶⁾ Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienzklasse bei durchschnittlichen Klimaverhältnissen - Mitteltemperaturanwendung (FF 20)

Frey-BGW
Büro für Geowissenschaften

Anhang 3

Technische Daten der
Grundwasserwärmepumpe

BV MED-Zentrum, Denzlingen



DuPont™ SUVA® 410A Refrigerant

Version 2.3
Überarbeitet am 17.07.2007 Ref. 130000000570

Für ausreichende Belüftung sorgen, besonders in geschlossenen Räumen.

Persönliche Schutzausrüstung

Atemschutz : Bei Rettungs- und Instandhaltungsarbeiten in Lagerbehältern umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät verwenden. Dämpfe sind schwerer als Luft und können durch Verdrängung des Luftsauerstoffs zu Ersticken führen.

Handschutz : Wärmeisolierende Handschuhe

Augenschutz : Schutzbrille

Hygienemaßnahmen : Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten.

9. PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

- Form : Verflüssigtes Gas,
- Farbe : farblos,
- Geruch : nach Ether,
- pH-Wert : neutral
- Siedepunkt/Siedebereich : -51,6 °C bei 1 013 hPa
- Flammpunkt : nicht entflammbar
- Untere Explosionsgrenze : , nicht anwendbar
- Dampfdruck : 16 530 hPa bei 25 °C
- Dampfdruck : 30 520 hPa bei 50 °C
- Dichte : 1,062 g/cm3 bei 25 °C, (als Flüssigkeit)
- Dichte : 0,0066 g/cm3 bei ca. 26 °C (1 013 hPa)

10. STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

- Zu vermeidende Stoffe : Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Pulverförmige Metalle, Pulverförmige Metallsalze
- Gefährliche Zersetzungsprodukte : Halogenwasserstoff, Kohlendioxid (CO2), Kohlenmonoxid, Fluorkohlenwasserstoffe, Carbonylhalogenide

11. TOXIKOLOGISCHE ANGABEN

- Akute Toxizität bei Inhalation
- Pentafluorethan (R125) : ALC1/4 h/ Ratte : > 3 480 mg/l



DuPont™ SUVA® 410A Refrigerant

Version 2.3
Überarbeitet am 17.07.2007 Ref. 130000000570

• Difluormethan (R32) : LC50/4 h/ Ratte : 2 158 mg/l

Karzinogenitätsbewertung : Zeigte keine krebserzeugende Wirkung im Tierversuch.

Bewertung der Reproduktionstoxizität : Tierversuche zeigten keine erbgutverändernden oder fruchttschädigenden Effekte.

Erfahrung am Menschen : Übermäßige Einwirkung kann beim Menschen folgende Gesundheitsschäden bewirken:

- Einatmen
- Starke Kurzatmigkeit, Narkose, Herzrhythmusstörungen

Weitere Information : Schnelles Verdampfen der Flüssigkeit kann Erfrierungen bewirken.

12. UMWELTSPEZIFISCHE ANGABEN

Erwärmungspotential (GWP) : 1 975

13. HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

- Produkt : Wiederverwendung nach Aufarbeitung.
- Verunreinigte Verpackungen : Leere Druckgefäße an den Lieferanten zurückgeben.

14. ANGABEN ZUM TRANSPORT

- ADR**
- Klasse: 2
 - Klassifizierungscode: 2A
 - NI Nr.: 20
 - UN-Nummer: 1078
 - Kennzeichnungs-Nr.: 2.2
 - Ordnungsgemäße Versandbezeichnung: Gas als Kältemittel, n.a.g. (Pentafluoroethane, Difluoromethane)
- IATA_C**
- Klasse: 2.2
 - UN-Nummer: 1078
 - Kennzeichnungs-Nr.: 2.2
 - Ordnungsgemäße Versandbezeichnung: Refrigerant gas, n.o.s. (Pentafluoroethane, Difluoromethane)
- IMDG**
- Klasse: 2.2
 - UN-Nummer: 1078
 - Kennzeichnungs-Nr.: 2.2
 - Ordnungsgemäße Versandbezeichnung: Refrigerant gas, n.o.s. (Pentafluoroethane, Difluoromethane)

<p>SICHERHEITSDATENBLATT gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006</p>	
<p>DuPont™ SUVA® 410A Refrigerant</p> <p>Version 2.3 Überarbeitet am 17.07.2007</p>	<p>Ref. 130000000570</p>
<p>15. ANGABEN ZU RECHTSVORSCHRIFTEN</p>	
<p>Kennzeichnung gemäß EG-Richtlinien</p>	
<p>Das Produkt ist nach EG-Richtlinien oder den jeweiligen nationalen Gesetzen nicht kennzeichnungspflichtig.</p>	
<p>Nationale Vorschriften</p>	
<p>Wassergefährdungsklasse : WGK 1 schwach wassergefährdend</p>	
<p>16. SONSTIGE ANGABEN</p>	
<p>Wortlaut der R-Sätze unter Abschnitt 3</p>	
<p>R12 Hochentzündlich.</p>	
<p>Weitere Information</p>	
<p>Vor Gebrauch DuPonts Sicherheitsinformationen beachten. Für weitere Angaben richten Sie sich bitte an die lokale DuPont Geschäftsstelle oder an einen DuPont Vertreter. ^e Eingetragenes Warenzeichen von DuPont</p>	
<p>Die Angaben in diesem Sicherheitsdatenblatt entsprechen nach bestem Wissen unseren Erkenntnissen zum Zeitpunkt der Überarbeitung. Die Informationen sollen Ihnen Anhaltspunkte für den sicheren Umgang mit dem in diesem Sicherheitsdatenblatt genannten Produkt bei Lagerung, Verarbeitung, Transport und Entsorgung geben. Die Angaben sind nicht übertragbar auf andere Produkte. Die obgenannten Angaben beziehen sich nur auf das bestimmte genannte Produkt (die bestimmten genannten Produkte) und ist nicht übertragbar auf dieses (diese) Produkt(e), wenn dieses(diese) mit anderen Materialien vermischt, vermischt oder verarbeitet wird (werden), oder wenn das Material verändert oder einer Bearbeitung unterzogen wird, ausser dies sei ausdrücklich im Text vermerkt.</p>	
<p>5/5</p>	

ZERTIFIKAT

Zertifizierung Bau GmbH bescheinigt, dass das Unternehmen

drillexpert GmbH

Siemensstraße 9, 79331 Teningen-Nimburg

die Anforderungen nach dem Arbeitsblatt

DVGW W 120-1

Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -regenerierung, -sanierung und -rückbau / Ausgabe August 2012

erfüllt.

Geltungsbereich:

W 120-1 (Brunnenbau):
A 1, B 1, B 4,
R 1 (R 1.1, R 1.2),
S (S 1, S 2, S 3, S 4, S 5)

Das Zertifikat besteht aus 2 Seiten und gilt vom **26.07.2023** bis **25.07.2028** nur in Verbindung mit dem Eintrag unter www.zert-bau.de/unternehmenssuche.

Registrier-Nr. 7.01.0232
 Ausstellungsdatum 26.07.2023
 Erstzertifizierung 29.07.2008




 Dipl.-Ing. Andreas Stumm
 GB Brunnenbau/Geothermie

Verantwortliche Fachaufsicht:

Dipl.-Geol. Wolfgang Fechner

Bauleitende Fachkraft:

Dipl.- Geol. Christian Fleissner
 Felix Fechner
 Ferdinand Strodel

Legende zum Zertifizierungsumfang Arbeitsblatt DVGW W 120-1 / August 2012:

A	Ausbaurichtsmesser - Messstelle	B	Trockenbohrverfahren Verfahren
A 1	bis DN 400	B 1	bis 75 m Tiefe
A 2	bis DN 400	B 2	bis 75 m Tiefe
A 3	bis DN 300	B	Spülbohrverfahren direkt/indirekte Verfahren
A 4	bis DN 150	B 3	über 300 m Tiefe
		B 4	bis 300 m Tiefe
		B 5	bis 100 m Tiefe
R	Regenerierungsverfahren Verfahren	R 2	chemische Regenerierung mit Mehrkammergeräten
R 1	mechanische Regenerierung (jeweils mit Bürsten/Ausräumen)	S	Sanierung und Rückbau Sanierung und Rückbau
R 1.1	Intensivverfahren	S 1	Bohrlochregenerierung, Messstellen und Brunnen
R 1.2	Koblen	S 2	Rückbauabfüllung
R 1.3	Gründeln	S 3	Einschubverrohrung
R 1.4	Niederdruck-Immerspülung	S 4	Überbohren/Rohrschnitt
R 1.5	Hochdruckspülverfahren-Immerspülung	S 5	Verfüllung/Teilverfüllung
R 1.6	Hochdruckspülverfahren-Außenspülung		
R 1.7	Druckwellen-/Impulsverfahren – Erzeugung durch Wasserhochdruck		
R 1.8	Druckwellen-/Impulsverfahren – Erzeugung durch Knallgas, Wasser-, Luft- oder Gaskomprimierung		
R 1.9	Druckwellen-/Impulsverfahren – Erzeugung durch Sprengladungen		
R 1.10	Druckwellen-/Impulsverfahren – Erzeugung durch Ultraschall		

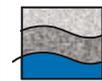
Legende zum Zertifizierungsumfang DVGW-Arbeitsblatt W 120-2 / Juli 2013:

G 400 Bohrungen zur Errichtung von Erdwärmesonden bis 400 m Tiefe
 G 200 Bohrungen zur Errichtung von Erdwärmesonden bis 200 m Tiefe
 G 100 Bohrungen zur Errichtung von Erdwärmesonden bis 100 m Tiefe

Registrier-Nr. 7.01.0232
 Ausstellungsdatum 26.07.2023
 Erstzertifizierung 29.07.2008




 Dipl.-Ing. Andreas Stumm
 GB Brunnenbau/Geothermie



Frey-BGW
 Büro für Geowissenschaften

Anhang 5

Zertifikat des Bohrunternehmens
 BV MED-Zentrum, Denzlingen

Pumpversuchsprotokoll



Aufschlussbohrungen | Brunnenbau | Erdwärme

BV: WW BAGA, Denzlingen

Bohrung Nr. SB

Blatt: 1/1

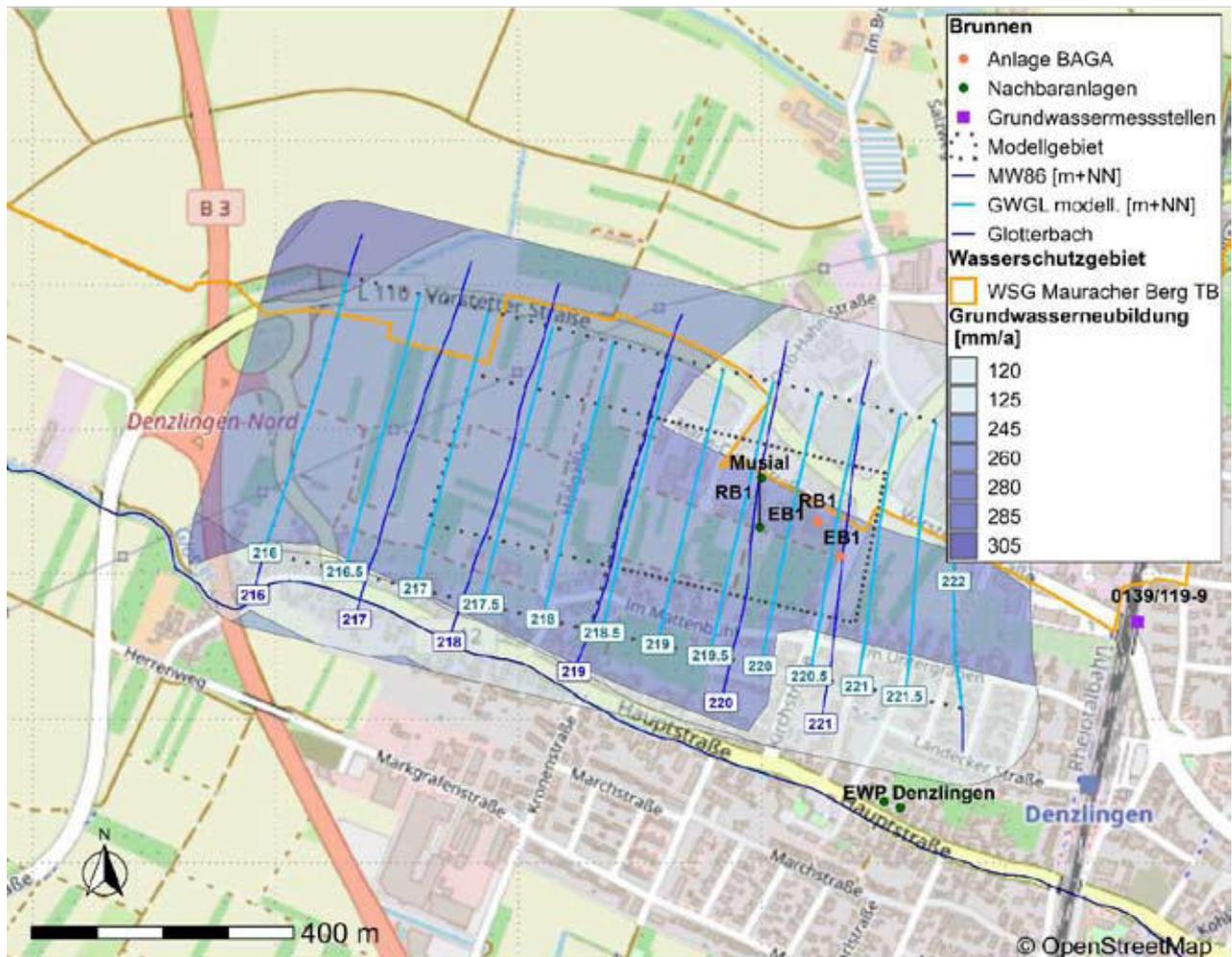
Auftr.Nr.: 2022-0547.1

Datum: 15.04.2025

Ausgeführt von: Herrn Jonas Buderer

Messtelle	SB	Abstichmaße ab GOK						
Höhe ROK								
Dauer		l/sec.					Bemerkungen	
0:00:00	8,35						Ruhewasserspiegel	
0:01:00	8,07	2,20						
0:02:00	7,77							
0:03:00	7,80							
0:04:00	7,58							
0:05:00	7,35							
0:06:00	7,14							
0:07:00	6,95							
0:08:00	6,81							
0:09:00	6,68							
0:10:00	6,58							
0:12:00	6,38							
0:14:00	6,21							
0:16:00	6,07							
0:18:00	5,99							
0:20:00	5,90							
0:25:00	5,77							
0:30:00	5,67							
0:40:00	5,58							
0:50:00	5,54							
1:00:00	5,53							
1:15:00	5,52							
1:30:00	5,49							
2:00:00	5,44							
2:30:00	5,43							
3:00:00	5,42							
3:30:00	5,37							
4:00:00	5,38							
4:30:00	5,38							
5:00:00	5,36							
5:30:00	5,37							
5:51:00	5,39							
0:00:00	5,39						Wiederanstieg	
0:01:00	5,47							
0:02:00	5,80							
0:03:00	6,13							
0:04:00	6,42							
0:05:00	6,64							
0:10:00	7,52							
0:15:00	7,88							
0:20:00	8,03							
0:25:00	8,11							
0:30:00	8,15							
0:40:00	8,20							
0:50:00	8,23							

Modelltechnische Untersuchung zu den Auswirkungen der Grundwasserwärmenutzung Denzlingen/ BAGA



Bearbeiter:in: M.Sc. Hydrologie Joscha Schelhorn

Auftraggeber: BAGA Vermietungs UG

Weißerlenstraße 1a, 79108 Freiburg

Juli 2025

GIT HydroS Consult GmbH

Bertoldstr. 61

79098 Freiburg

Tel.: +49 761 211138-10

Fax.: +49 761 211138-29

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Modellgebiet	4
1.2	Hydrogeologische Situation	5
1.3	Brunnen der Grundwasserwärmenutzung.....	6
1.4	Grundwassernutzung zu Heiz- und Kühlzwecken	8
2	Grundwasserströmungsmodell	12
2.1	Modellaufbau	12
3	Wärmetransportmodellierung.....	15
3.1	Nutzungsszenarien.....	15
3.2	Modellierungsergebnisse	16
3.3	Abgleich gegen den "Lastfall Jahresmittel"	19
4	Zusammenfassung.....	21
5	Literatur	23
6	Anhang: Kartenmaterial A4	25
6.1	Übersichtskarte Abbildung 1 in A4	25
6.2	Übersichtskarte im Brunnenbereich Abbildung 2 in A4.....	26
6.3	Übersichtskarte Kf-Werte Abbildung 8 in A4	27
6.4	Übersichtskarte Kf-Werte Brunnenbereich Abbildung 9 in A4	28
6.5	Temperaturfeld Heizen mit – 1 K Isotherme Abbildung 10 in A4	29
7	Anhang: Temperaturfelder zum Ende der Kalendermonate.....	30
7.1	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Januar	30
7.2	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Februar	31
7.3	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende März	32
7.4	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende April	33
7.5	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Mai.....	34
7.6	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Juni	35
7.7	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Juli	36
7.8	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende August	37
7.9	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Oktober.....	39
7.10	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende November..	40
7.11	Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Dezember ..	41
8	Anhang	42
8.1	Grundwassermessstellen.....	42

1 Einleitung

Auf dem Grundstück (Flurstück Nr. 9549) des Bauvorhabens BAGA (BV BAGA), Marie-Curie-Straße, 79211 in der Gemeinde Denzlingen, soll Grundwasser über eine Grundwasserwärmepumpe bzw. Wärmetauscher für Heiz- und Kühlzwecke genutzt werden. Für die modelltechnische Untersuchung der Grundwasserwärmenutzung des BV BAGA in Denzlingen werden in diesem Modellbericht die Auswirkungen auf die Grundwassertemperatur aufgezeigt und untersucht, ob von Beeinträchtigungen im Grundwasser und Beeinflussungen Dritter auszugehen ist.

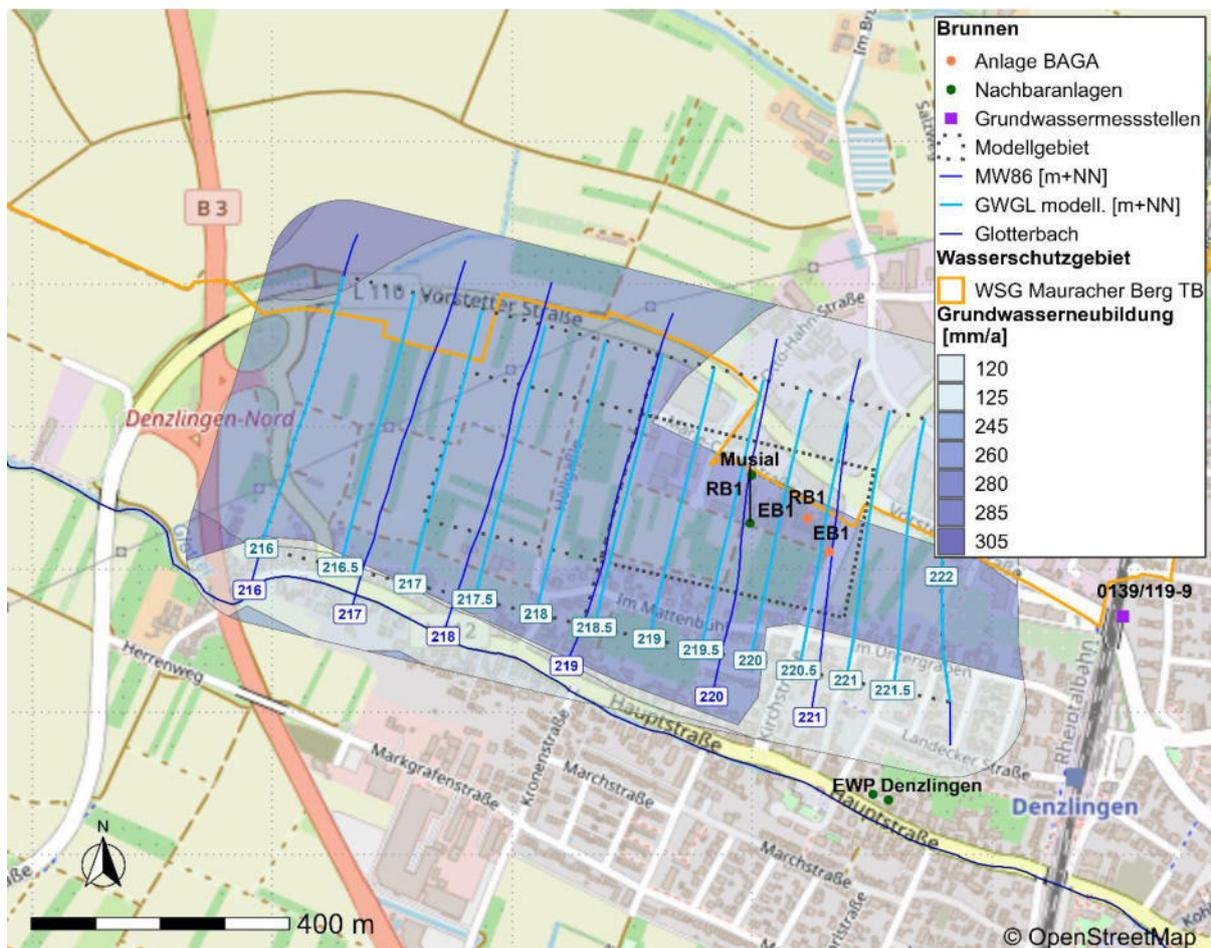


Abbildung 1: Modellgebiet mit Brunnenstandorten, Grundwassergleichen (MW86) [LfU, 2001] und flächenhafter Grundwasserneubildung (GWN) nach Morhard [2022].

Im näheren Umfeld der geplanten Anlage BAGA sind zwei weitere Grundwasserwärmeanlagen bekannt (**Abbildung 1**), welche durch die zukünftige Nutzung nicht beeinflusst werden dürfen [RP LGRB, 2021; GIT HydroS Consult GmbH, 2022]. Die südlich des BV BAGA gelegene Anlage EWP Denzlingen befindet sich in strömungsparallel und wurde daher nicht in die Modellierung integriert. Die im Abstrombereich der Anlage BAGA gelegene Nachbaranlage Musial wurde in die Modellierung einbezogen.

1.1 Modellgebiet

Das definierte Modellgebiet liegt in der oberrheinischen Tiefebene im südlichen Oberrheingraben in der Gemeinde Denzlingen, etwa 9 km nördlich von Freiburg, im Elz-Glotter-Schwemmfächer. Um störende Randeinflüsse zu minimieren, wurde das Modellgebiet ausreichend weit über die zu untersuchenden Brunnen der Wärmeanlage BAGA ausgedehnt und so erweitert, dass die Nachbaranlage Musial hinreichend berücksichtigt werden kann. Das Modellgebiet, die Grundwassersituation und die Lage der Brunnen sowie der Nachbaranlagen sind in **Abbildung 1** dargestellt.

In unmittelbarer Umgebung des BV BAGA ist laut Bohrarchiv des LGRB [LGRB Bohrarchiv, 2025] eine Grundwasserwärmeanlage bekannt (**Abbildung 1**). Im Abstrombereich nordwestlich des Grundstücks der Anlage BAGA (Flurstücks-Nr. 9549), in einer Entfernung von ca. 280 m, befinden sich ein Entnahme- und Rückgabebrunnen der Grundwasserwärmeanlage Musial (BV Musial, Marie-Curie-Straße 7, Flurstücks-Nr. 9546) mit Heiz- und Kühlnutzung und einer insgesamt geförderten Menge von 23.000 m³/Jahr [GIT HydroS Consult, 2022].

Der Aufbau des Modellgebiets orientiert sich an der im Gebiet vorherrschenden Grundwasserströmungsrichtung, welche im Allgemeinen von Ost nach West verläuft. Das Modellgebiet liegt im südlichen Bereich des Grundwasseraquifers, welcher hier von der Neuenburg-/ Breisgau-Formation gebildet wird. Die Ost-West-Ausdehnung des in etwa rechteckigen Modellgebiets beträgt im Mittel ca. 1030 m in der Länge und ca. 540 m in der Breite. Der Mindestabstand zur Modellgrenze der Brunnen beträgt im Zustrom etwa 175 m und im Abstrom etwa 845 m. Die Ausdehnung und Lage des Modellgebiets orientiert sich am Modellgebiet aus dem Gutachten [GIT HydroS Consult, 2022] der benachbarten Anlage Musial, um eine bessere Vergleichbarkeit der Modelle zu gewährleisten.

Das Modellgebiet befindet sich in der Zone IIIB des Wasserschutzgebiets „WSG-WVV Mauracher Berg Denzlingen TB 1+2“. Der nordwestliche Teil des Modellgebiets grenzt direkt an die Zonen III und IIIA des Wasserschutzgebiets. Innerhalb des Modellgebiets sind keine Gewässer und keine Grundwassermessstellen vorhanden. Die Glotter verläuft südlich des Modellgebiets in einer Entfernung von etwa 50 m.

Im Umfeld des Modellgebiets gibt es vier Grundwasserstellen (GWM) der LUBW [UDO, 2025]. Im Zustrombereich östlich des Modellgebiets einer Entfernung von etwa 500 m zu den Brunnen BAGA befindet sich die Grundwassermessstelle 0139/119-9 mit einer Grundwasseramplitude von 6,3 m zwischen 220,9 m+NN und 227,2 m+NN. Der Standort der Grundwassermessstelle ist in **Abbildung 1** dargestellt. Die restlichen drei Grundwassermessstellen liegen weiter entfernt. Südlich des Modellgebiets in einer Entfernung von etwa 1,3 km befindet sich die GWM 0136/119-5 und etwa 1,2 km nördlich des Modellgebiets die GWM 0102/119-0. Die beiden GWM liegen etwa strömungsparallel zu den Brunnen. Die Grundwasseramplitude der GWM 0102/119-0 schwankt etwa 2,3 m zwischen 216,8 m +NN und 219,1 m+NN. Die Grundwasseramplitude der GWM 0136/119-5 schwankt etwa 3,6 m zwischen 216,6 m +NN und 220,2 m+NN.

Im Abstrombereich nordwestlich des Modellgebiets in einer Entfernung von etwa 2,6 km zu dem Rückgabebrunnen BAGA befindet sich die GWM 0134/119-6 mit einer Grundwasserwasseramplitude von etwa 2,7 m zwischen 205,6 m+NN und 208,3 m+NN [UDO, 2025]. Im **Anhang 8** sind die Zeitreihen der Grundwassermessstellen mit Übersichtskarten zur Verortung dargestellt.

1.2 Hydrogeologische Situation

Die Hydrogeologie mit den grundwasserführenden Schichten bildet hier die Neuenburg-/ Breisgau-Formation. Als oberste Schicht bildet die Neuenburg-Formation den oberen Grundwasserleiter aus und überlagert ohne Trennschicht die Breisgau-Formation, welche den unteren Grundwasserleiter darstellt. Die Geometrien und Eigenschaften der Formationen sind in RP-LGRB [2007] detailliert beschrieben und stehen in Form von Geodatensätzen für eine direkte Nutzung im GIS zur Verfügung.

Der hochdurchlässige obere Grundwasserleiter (Neuenburg-Formation) weist im Bereich der Brunnen eine Mächtigkeit von 13 m auf und variiert insgesamt zwischen 8,2 m und 13 m im Modellgebiet. Die Breisgau-Formation hat bezogen auf das Modellgebiet eine maximale Mächtigkeit von ca. 61 m und eine minimale Mächtigkeit von ca. 20 m.

Für die Geländeoberkanten wurde das öffentlich verfügbare digitale Geländemodell in 1 m-Auflösung (DGM1) verwendet [LGL, 2025] und für die Modellierung auf eine Auflösung von 25 m reduziert. Die Geländeoberkante variiert im Modellgebiet zwischen 218,36 m+NN und 231,24 m+NN.

Für die Grundwassersituation wurde der Grundwassergleichenplan MW86 des LfU verwendet [LfU, 2001]. Dieser stellt im Original die Isolinien im 1 m-Intervall dar. Das Modell wurde auf Höhe der Grundwassergleichen 216 m+NN bis 222 m+NN aufgebaut. Die Grundwasserströmung verläuft in Ost-West-Richtung mit einem Gefälle von ca. 5,842 Promille.

Aus den Datensätzen des RP LGRB [2007] ist die Durchlässigkeit des oberen Abschnittes des oberen Grundwasserleiters definiert und variiert zwischen $0,94 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1,46 \cdot 10^{-3}$ m/s im gesamten Modellgebiet. Da für den in dieser Modellierung betrachteten Bereich keine Durchlässigkeitswerte für den unteren Abschnitt des oberen Grundwasserleiters zur Verfügung vorhanden sind, werden die kf-Werte aus dem oberen Abschnitt des oberen Grundwasserleiters herangezogen. Für den unteren Abschnitt der Neuenburg-Formation ergeben sich demnach ebenfalls geringfügig schwankende kf-Werte $0,94 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1,46 \cdot 10^{-3}$ m/s im gesamten Modellgebiet. Der untere Grundwasserleiter, die Breisgau-Formation, weist kf-Werte von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s auf [RP LGRB, 2007].

Für die Bereiche der Entnahme- und Rückgabebrunnen der Anlage BAGA wurden kf-Werte gemäß der Ergebnisse des Pumpversuchs und für die Nachbaranlage Musial die kf-Werte aus dem Gutachten verwendet, das zur Verfügung steht [Frey BGW 2025; GIT HydroS Consult 2022]. Die Durchlässigkeitsbeiwerte aus den

Pumpversuchen betragen für die Anlage BAGA $0,286 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ für den Entnahmehrunnen und $0,24 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ für den Rückgabehrunnen. Die Ergebnisse der durchgeführten Kurzpump- und Auffüllversuche für die Anlage Musial ergaben kf-Werte von $3,37 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ am Entnahmehrunnen sowie $4,10 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ am Rückgabehrunnen. Im Vergleich dazu sind die kf-Werte des RP-LGRB [2007] mit $0,96 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ im Brunnenbereich leicht erhöht. Abweichungen können auf lokale Gegebenheiten des räumlich heterogenen Schotterkörpers zurückgeführt werden.

Das entleerbare Porenvolumen wurde in Abhängigkeit von den kf-Werten nach Marotz [1968] berechnet und liegt zwischen 9 % und 17 %. Unter Berücksichtigung dieser ergibt sich nach Marotz [1968] bei einem mittleren kf-Wert von $1,05 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ für den oberen Abschnitt der Neuenburg-/ Breisgau-Formation sich eine mittlere effektive Porosität von 15 %. Daraus lässt sich eine Abstandsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des Grundwassergefälles im homogenen isotropen Grundwasserleiter von 3,5 m/Tag oder 1278 m/Jahr berechnen.

Die flächenhafte Grundwasserneubildung wurde aus den Berechnungsergebnissen der im Auftrag der Landesbehörden von Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz durchgeführten KLIWA Langzeitsimulation 1951-2020 [Morhard, 2022] übernommen, bei der es sich um die derzeit aktuelle Fortschreibung des für den Wasser- und Bodenatlas [WaBoA, 2007] entwickelten Landesmodells der LUBW handelt. Verwendet wurde der Mittelwert für die Jahre 2001-2020, d.h. für den Zeitraum nach dem Ende der 80er- und 90er-Jahre beobachteten, markanten Temperaturanstieg („klimatischer Ist-Zustand“). Bei einer nach Landnutzung, Bodeneigenschaften und Versiegelungsgrad differenzierten Grundwasserneubildung ergibt sich für das Modellgebiet eine Grundwasserneubildung zwischen 106 mm/Jahr und 288 mm/Jahr (**Abbildung 1**).

1.3 Brunnen der Grundwasserwärmenutzung

Auf dem Grundstück des BV BAGA (Flurstück Nr. 9549) wurde ein Entnahmehrunnen (EB1) und ein Rückgabehrunnen (RB1) abgeteuft. Der Entnahmehrunnen und der Rückgabehrunnen haben eine Endteufe von 16,2 m u. GOK. Die Filterstrecken liegen zwischen 14,2 und 16,2 m u. GOK (EB1) bzw. zwischen 10 und 16 m u. GOK (RB1). Der Ausbaudurchmesser der Brunnen beträgt jeweils 300 mm.

Der Entnahmehrunnen (EB1) und der Rückgabehrunnen (RB1) der Anlage Musial (Flurstück Nr. 9546) haben eine Endteufe von 15 m u. GOK. Die Filterstrecken liegen zwischen 12 und 15 m u. GOK (EB1) bzw. zwischen 11 und 15 m u. GOK (RB1). Der Ausbaudurchmesser der Brunnen beträgt ebenfalls 300 mm. Die Entfernung zwischen dem Entnahmehrunnen und dem Rückgabehrunnen von Musial beträgt etwa 75 m, wobei der Rückgabehrunnen in etwa strömungsparallel, jedoch leicht im Abstrom, zum Entnahmehrunnen liegt (**Abbildung 1**). **Tabelle 1** gibt eine Übersicht über die Koordinaten und den Ausbau der Brunnen der Anlage BAGA und der benachbarten Anlage Musial sowie die kf-Werte aus den kombinierten Pump- und Auffüllversuchen, die für die Modellierung verwendet wurden. Die Entfernung zwischen dem RB1 der Anlage BAGA und dem EB 1 der Anlage Musial beträgt etwa 90 m.

Tabelle 1: Koordinaten und Ausbau der Brunnen BAGA und der Nachbaranlagen nach Angaben von [Frey BGW, 2025; GIT HydroS Consult GmbH, 2022].

	Ost UTM32 [m]	Nord UTM32 [m]	Durch- messer [mm]	Filter [m u. GOK]	kf [m/s]	Teufe [m u. GOK]	Flurstueck Nr. []
EB1 BAGA	416.317,85	5.324.940,47	300	14,2-16,2	2.86e-04	16,2	9549
RB1 BAGA	416.284,09	5.324.993,08	300	10-16	2.40e-04	16,2	9549
EB1 Musial	416.195,00	5.324.987,00	300	12-15	3.37e-04	15,0	9546
RB1 Musial	416.199,00	5.325.062,00	300	11-15	4.10e-04	15,0	9546

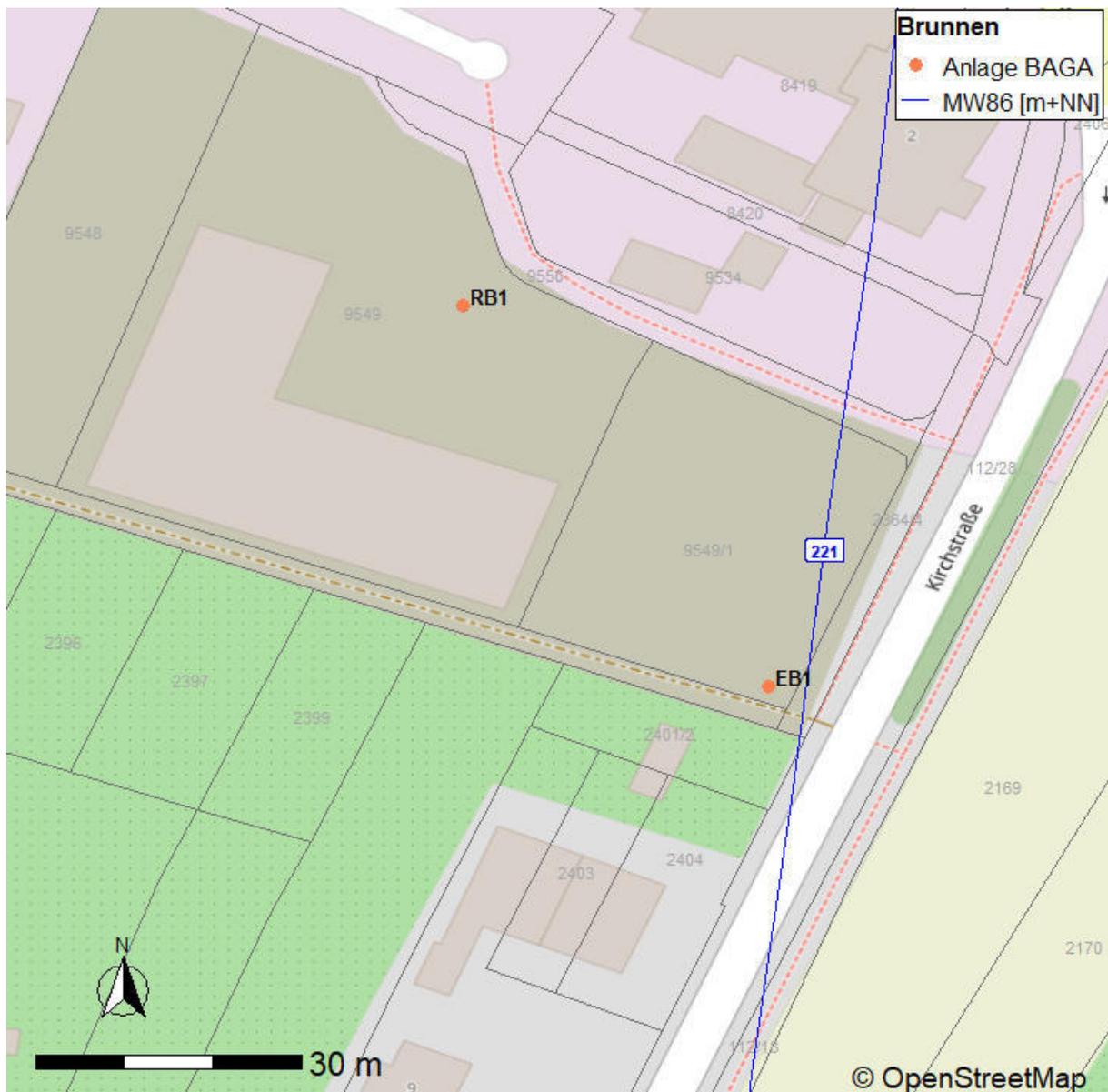


Abbildung 2: Standorte von den Entnahme- und Rückgabebrunnen BAGA und Flurstücke mit den Grundwassergleichen MW86 [LfU, 2001; Frey BGW 2025; GIT HydroS Consult 2022].

In **Abbildung 2** sind alle Entnahme- und Rückgabebrunnen der Anlagen BAGA und Musial dargestellt.

1.4 Grundwassernutzung zu Heiz- und Kühlzwecken

Die geplanten Kennwerte der Grundwasserwärmeanlage BAGA sowie der bestehenden benachbarten Anlage Musial für die Modellierung sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Die Entnahme des Grundwassers für die Anlage BAGA erfolgt für den Heiz- und Kühlbetrieb mit einem Volumenstrom von 1,7 l/s. Das insgesamt geförderte Grundwasservolumen beträgt maximal 21.030 m³ pro Jahr. Dies teilt sich in 14.660 m³ pro Jahr für den Heizbetrieb und 6.370 m³ pro Jahr für den Kühlbetrieb auf. Die maximale tägliche Entnahmemenge der Wärmepumpe BAGA zum Heizen beträgt 73,4 m³/Tag (12 h mit 1,7 l/s) und zum Kühlen 49 m³/Tag (8 h mit 1,7 l/s). Die rechnerisch mittlere kontinuierliche Entnahme pro Jahr beträgt für die Grundwasserwärmeanlage beim Heizen 40,3 m³/Tag (24 Stunden mit 0,47 l/s) und beim Kühlen

17,3 m³/Tag (24 Stunden mit 0,2 l/s). Die Temperaturpreizung zwischen entnommenem und wiedereingespeistem Grundwasser beträgt bei der Wärmepumpe BAGA beim Heizen 4 K und beim Kühlen 1 K (**Tabelle 2**).

	Volumen - strom [l/s]	Gesamt- entnahme [h/Jahr]	Gesamt- entnahme [m ³ /Jahr]	Max. Entnahme [m ³ /Tag]	Max. Betriebs- dauer [h/Tag]	Ø- Entnahme pro Jahr [m ³ /Tag]	Ø- Entnahme pro Jahr [l/s] pro 24h	Tem- peratur Delta [K]
Heizung BAGA	1,7	2.395	14.660	73,4	12	40,3	0,47	4
Kühlung BAGA	1,7	1.041	6.370	49,0	8	17,3	0,20	1
Heizung Musial	2,5	1.546	13.910	72,0	8	38,2	0,44	5
Kühlung Musial	2,5	1.010	9.090	54,0	6	24,8	0,29	5

Tabelle 2: Kennwerte der maximalen/durchschnittlichen Entnahmedauer, Volumenstrom und Gesamtentnahmemengen des Entnahmebrunnens BAGA nach Angaben von Frey BGW [2025] und der benachbarten Anlagen nach Angaben von GIT HydroS Consult GmbH [Frey BGW, 2025; GIT HydroS Consult, 2022].

Hinweis: Dem Grundwasser wird in einem Primärkreislauf über einen Wärmetauscher ein Temperaturdelta entzogen und danach direkt wieder ins Grundwasser zurückgeleitet. Der Sekundärkreislauf wird beim Heizen/Kühlen verwendet und tritt nicht in direkten Kontakt mit dem Grundwasser.

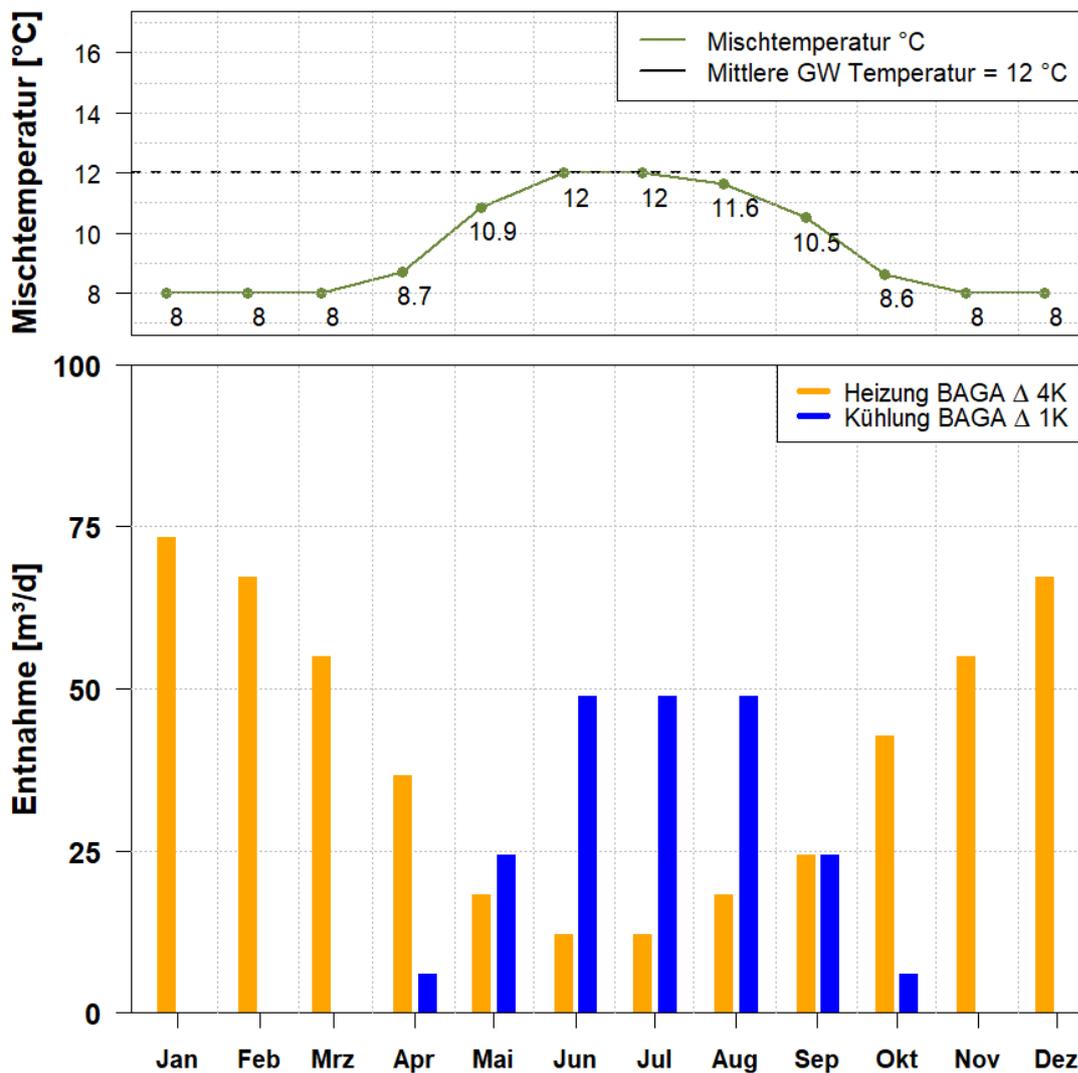


Abbildung 3: Jahresverlauf der Temperatur am Rückgabebrunnen (Mischtemperatur °C) (oben) und Entnahmeregime von BAGA für die Grundwasserwärmanlage (unten) nach Angaben von Frey BGW [2025].

In der Modellierung wird mit täglicher Auflösung gerechnet und aus diesem Grund die Mischtemperatur von Heizen und Kühlen berechnet. In **Abbildung 3** sind der zeitliche Verlauf der Rückgabetemperatur (Mischtemperatur in °C) dargestellt, die auf Basis der monatlichen Entnahmemengen und den jeweiligen Temperaturdelta der Heiz- und Kühlmengen bestimmt werden und das Entnahmeregime der Grundwasserwärmanlage BAGA dargestellt. Die **Abbildungen 4** zeigt den Jahresverlauf der Temperatur am Rückgabebrunnen und das Entnahmeregime der benachbarten Anlage Musial.

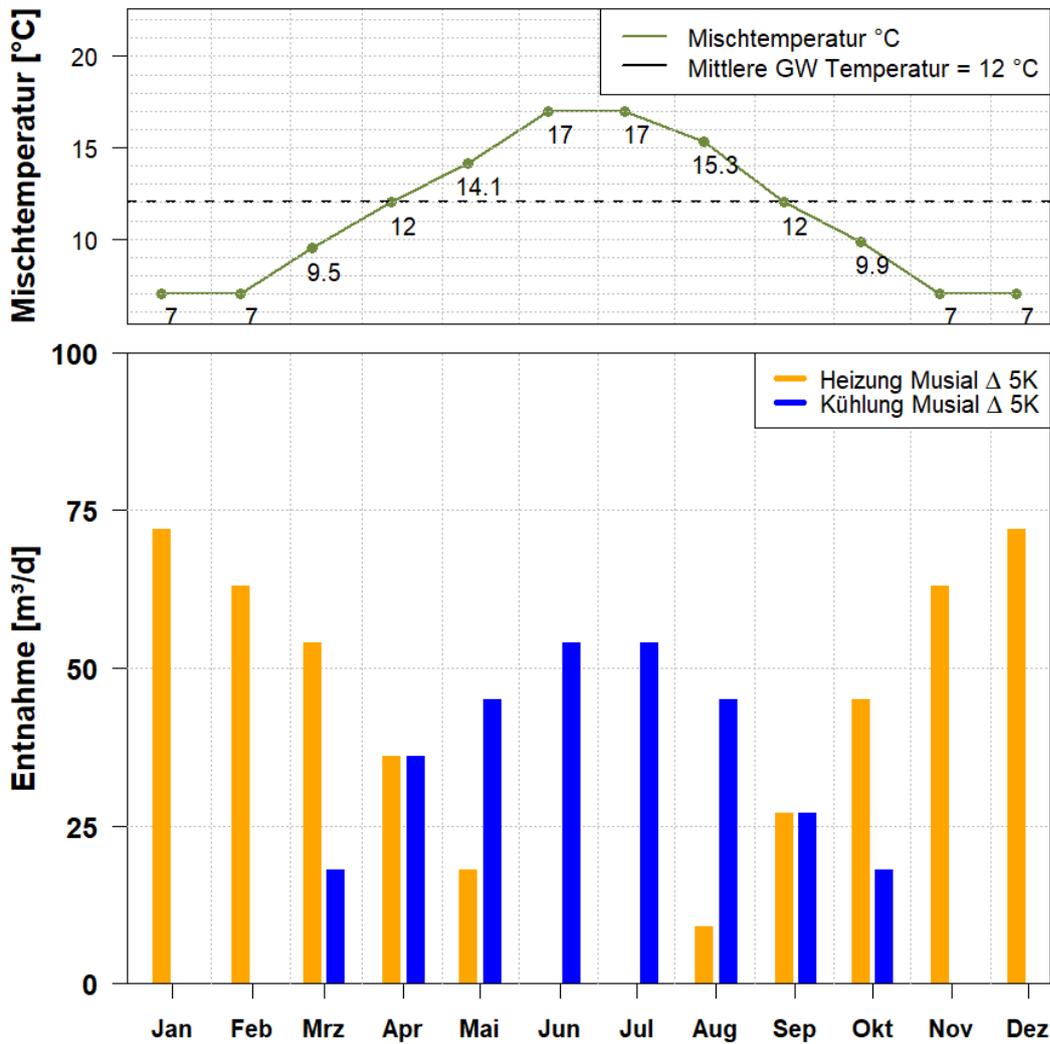


Abbildung 4: Jahresverlauf der Temperatur am Rückgabebrunnen (Mischtemperatur °C) (oben) und Entnahmeregime von Musial (unten) für die Grundwasserwärmeanlage nach Angaben von GIT HydroS Consult GmbH [2022].

2 Grundwasserströmungsmodell

Die Berechnungen wurden unter Verwendung der 3D Finite Elemente Grundwassermodellierungsplattform FEFLOW in der Version 10.0 [DHI WASY, 2025] durchgeführt. Die hydraulischen Randbedingungen wurden in Form ihrer langjährigen Mittelwerte zusammengefasst und ergeben ein quasistationäres Grundwasserströmungsmodell, auf das ein instationäres Wärmetransportmodell aufgesetzt wurde.

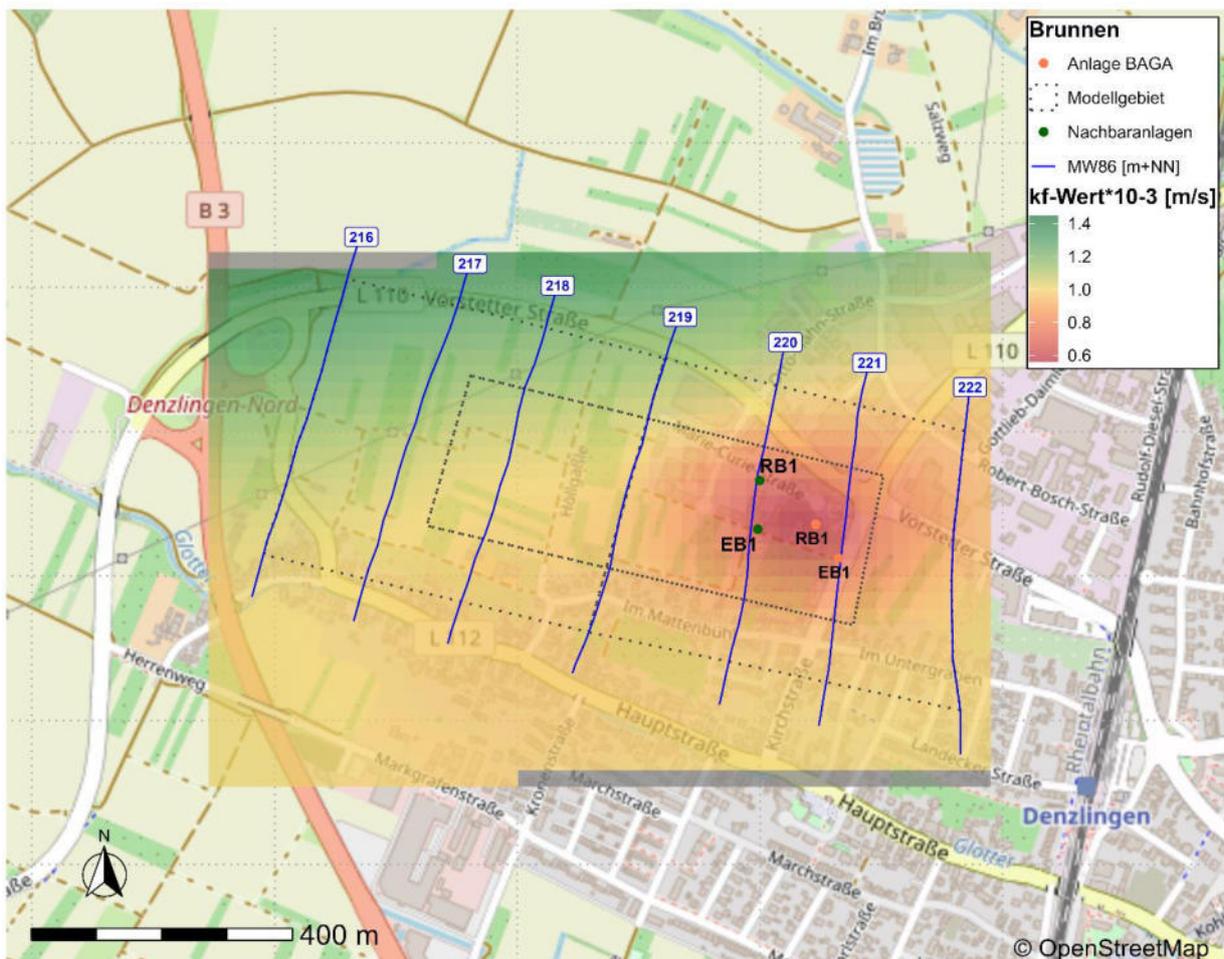


Abbildung 5: Modellgebiet mit Brunnen, Grundwassergleichen MW86 und der verwendeten kf-Wert Verteilung aus Landesdaten und im Brunnenbereich aus Pumpversuchen [Frey BGW 2025; GIT HydroS Consult GmbH 2022; LfU, 2001; RP LGRB, 2007].

2.1 Modellaufbau

Das Modell wurde als 3D-Grundwasserströmungsmodell mit den Rasterdatensätzen der Neuenburg-/ Breisgau-Formation des LGRB [RP LGRB, 2007] in 13 Modellschichten gegliedert. Da die Mächtigkeit der Neuenburg Formation im Bereich der Brunnen in den Datensätzen LGRB [RP-LGRB, 2007] nur maximal 13 m beträgt, jedoch die Brunnen bis auf eine Teufe von 16,2 m ausgebaut und verfiltert wurden, wurde die Neuenburg-Formation im Modell im Bereich der Brunnen um 4 m erweitert. Dies entspricht einer Abbildung der dort vorgefunden geologischen Verhältnisse. Der obere Abschnitt, des

Grundwasserleiters, die Neuenburg-Formation wurde aufgrund der vorliegenden Daten im Bereich der Brunnentiefe in 7 Modellschichten à 2 m unterteilt und die verbleibende Mächtigkeit der Schicht in eine Schicht à 2,7 m unterteilt. Die Breisgau Formation mit einer Mächtigkeit von 30,8 m wurde in fünf Schichten à 6,2 m aufgeteilt.

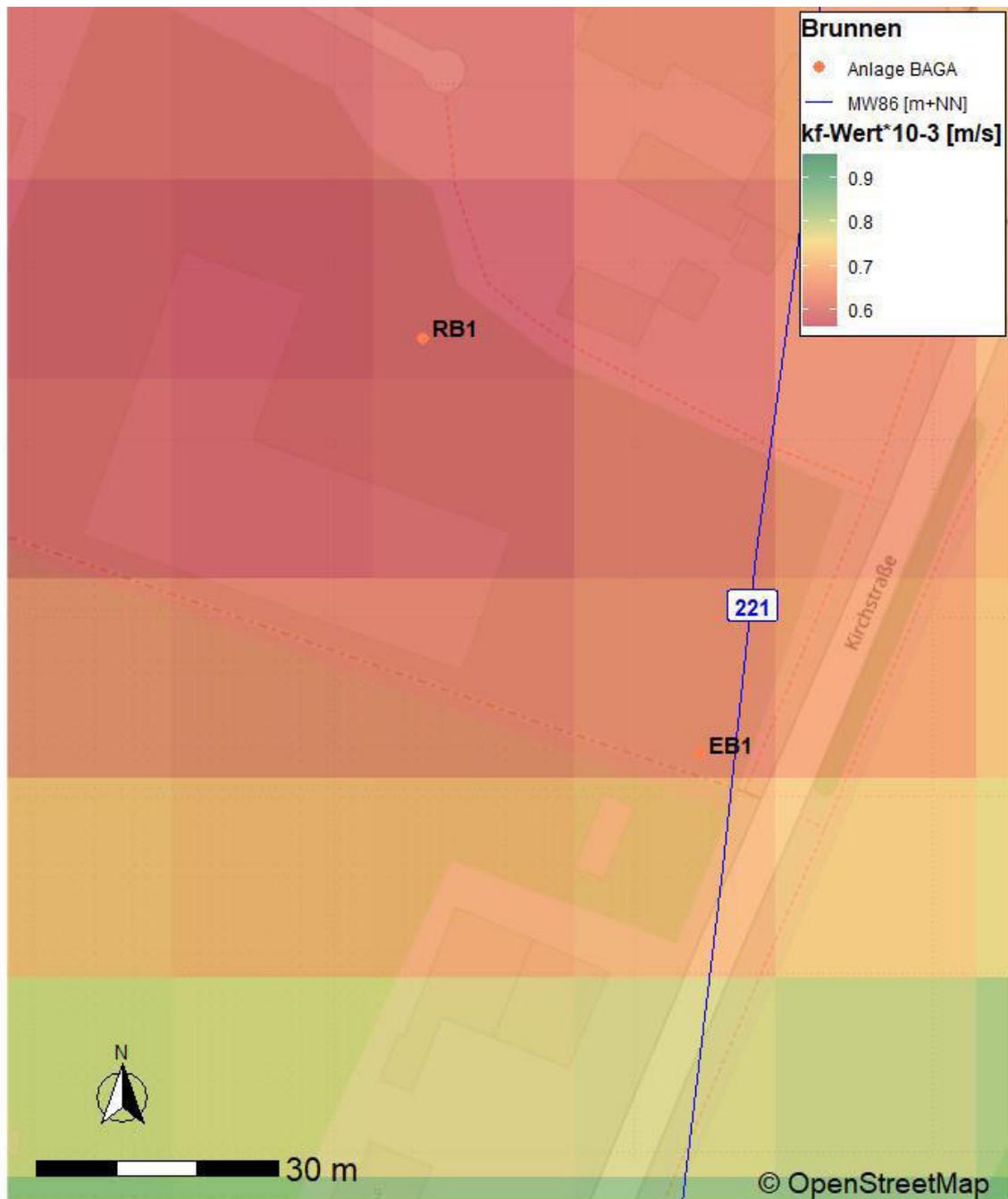


Abbildung 6: Brunnenbereich mit der verwendeten kf-Wert Verteilung aus Landesdaten und Pumpversuchen und Grundwassergleichen MW 86 [Frey BGW, 2025; LfU, 2001; LGRB, 2007].

Durch die Schichtaufteilung ist es möglich, die Filterstrecken der Brunnen präzise im Modell abzubilden und bei der anschließenden Modellierung des Wärmetransports auch in der Vertikalen eine angemessene Auflösung zu gewährleisten. Das Finite Elemente Netz wurde speziell im Bereich der Brunnen und im Abstrom der Rückgabeburgen räumlich feiner diskretisiert, um numerische Instabilitäten zu vermeiden.

Für die Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte) wurden die räumlich interpolierten Datensätze des RP LGRB [2007] für das Modellgebiet übernommen. Im Bereich der Brunnen BAGA und Musial wurden die kf-Werte des LGRB durch kf-Werte aus den durchgeführten Pumpversuchen ersetzt [Frey BGW, 2025] und anschließend räumlich interpoliert. Für die Anlage BAGA wurden kf-Werte aus Pumpversuchen an den Brunnen im Bereich von $0,286 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $0,24 \cdot 10^{-3}$ m/s angesetzt. Für die Anlage Musial liegen die eingesetzten Werte zwischen $0,337 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $0,41 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Die kf-Werte des oberen Abschnitts der Neuenburg-Formation, des oberen Grundwasserleiters, sind in **Abbildung 5** in einem Raster für das Modellgebiet, sowie in **Abbildung 6** im Brunnenbereich der Anlage BAGA, dargestellt.

Die Porosität wurde in Abhängigkeit vom kf-Wert nach Marotz [1968] berechnet und genauso wie die kf-Werte schichtbezogen im Modell zugewiesen.

An den Zu- und Abstromrändern wurden Festpotentiale der Grundwassergleichen als Randbedingungen erster Art angesetzt. Die Grundwassersituation in der Modellierung bildet den Grundwassergleichenplan MW86 [LfU, 2001] insgesamt gut ab. Die modellierten Grundwassergleichen im Abstrombereich sind leicht stromaufwärts verschoben, da aufgrund der hohen kf-Werte vom LGRB und der niedrigeren kf-Werte aus den Pumpversuchen die Grundwassergleichen nicht exakt abgebildet werden können. D.h. im Modell liegt der Grundwasserstand auf Höhe der Brunnen etwas niedriger als im Grundwassergleichenplan MW86 [LfU, 2001]. Das allgemeine Strömungsbild der Grundwassermodellierung wird dadurch jedoch nicht verändert und sehr gut nachgebildet und das Modell weist eine hohe Modellgüte auf (**Abbildung 1**).

Die mittlere Grundwasserneubildung [Morhard, 2022] wurde als Randbedingung in der obersten Modellschicht angesetzt (**Abbildung 1**).

Auf Basis der verfügbaren hydrogeologischen Datengrundlage konnte ein quasistationäres Grundwassermodell erstellt werden, welches die Grundwasserströmungsverhältnisse plausibel abbildet.

3 Wärmetransportmodellierung

Das erstellte quasistationäre Grundwasserströmungsmodell wurde im nächsten Schritt zu einem instationären Wärmetransportmodell erweitert. Damit bildet das Modell eine geeignete Grundlage zur Ausweisung der zu erwartenden Auswirkungen der geplanten instationären Grundwasserwärmenutzung.

Aus dem Modellgebiet ausströmendes Grundwasser tritt jeweils mit seiner aktuell modellierten Temperatur aus dem Grundwasserkörper aus. An der Oberfläche des Grundwasserkörpers und an den Zustromrändern wird die mittlere Jahrestemperatur des Grundwassers mit 12 °C entsprechend den Transportrandbedingungen erster Art gesetzt.

Die aus der thermischen Nutzung resultierende Abkühlung/Erwärmung wird in den Auswertungen relativ gegenüber der angesetzten Jahresmitteltemperatur von 12 °C ausgewiesen, welche zugleich den ungestörten Ausgangszustand für die Transportmodellierung definiert.

Die Parametrisierung der Dispersivität (longitudinal 5 m, transversal 0,5 m) ist in Feflow nach dem „ersten Fickschen Gesetz“ definiert, welches besagt, dass sich Flüssigkeiten proportional zum räumlichen Gradienten der Stoffkonzentration ausbreiten [Fick, 1855].

Dadurch werden räumliche Inhomogenitäten des durchströmten Grundwasserkörpers, deren Ausbreitung und Verbreitung nicht im Detail bekannt sind, und somit nicht adäquat durch die Modelleigenschaften berücksichtigt werden können, berücksichtigt. Darunter fallen Micro- und Macro-Inhomogenitäten wie zum Beispiel Poren, welche nicht in Fließrichtung verlaufen oder Schichtlagerungen bzw. (Schicht-)Linsen.

Die Dispersivitäten von Porengrundwasserleitern (Sande und Kiese) liegen i. Allg. im Bereich von 0,1 bis 100 m [LGRB, 2025]. Aus Ermangelung an In-situ Untersuchungen im Modellgebiet hinsichtlich der Dispersivität, auch Dispersionslänge genannt, wird für dieses Modell in Feflow das „erste Ficksche Gesetz“ angewendet und die Dispersivität longitudinal mit 5 m und transversal mit 0,5 m parametrisiert.

3.1 Nutzungsszenarien

Die Grundwasserentnahme der Anlage BAGA erfolgt in Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Bedarf nach dem in **Abbildung 3** dargestellten Entnahmeregime. Die Nutzung wird monatsweise in Form der täglichen Entnahme- und Rückgabemengen an den Filterstrecken der Brunnen parametrisiert.

Am Rückgabebrunnen werden Wärmetransportrandbedingungen erster Art mit der vorgegebenen Temperaturspreizung von 4 K beim Heizen und 1 K beim Kühlen gesetzt, d.h. ausgehend von einer mittleren Grundwassertemperatur von 12 °C wird das zum Heizen abgekühlte Grundwasser mit 8 °C und das zum Kühlen erwärmte Grundwasser mit 13 °C wieder in den Grundwasserleiter eingeleitet.

Mehrjährige und saisonale Abweichungen der Grundwassertemperatur um 1 K bis 3 K gegenüber der angesetzten mittleren Grundwassertemperatur von 12 °C bleiben ohne Bedeutung, solange als Ergebnis die relative Temperaturspreizung und räumliche Ausbreitung des gegenüber der Entnahmetemperatur abgekühlten Grundwassers betrachtet wird.

3.2 Modellierungsergebnisse

Die Modellergebnisse beziehen sich auf alle zwölf Monatsenden im letzten Jahr des 20-jährigen Modellzeitraums. Da sich das durch das Heizen abgekühlte Grundwasser entlang seiner Fließstrecke allmählich wieder auf die ungestörte modellierte Umgebungstemperatur (12 °C) einstellt, hängt der Zeitpunkt, zu dem die maximale Ausdehnung des Temperaturfelds erreicht wird, neben den hydraulischen Randbedingungen und dem Entnahmeregime der Anlage auch von der betrachteten Isotherme ab. Die Temperaturentstreuung wird entsprechend der Schicht mit der höchsten Ausdehnung, d.h. im Bereich der Filterstrecke, abgegriffen. Dies ist bei der Anlage BAGA in einer Tiefe von ca. 14 m. Die Ausdehnung der Temperaturfelder wird beginnend vom Rückgabebrunnen gemessen.

Das Entnahmeregime ist durch eine ganzjährige Heizperiode sowie eine Kühlperiode von April bis Oktober gekennzeichnet. In den Monaten April und Oktober überwiegt der Heizbetrieb, im September ist der Betrieb ausgeglichen, während in den Sommermonaten Juni, Juli und August der Kühlbetrieb dominiert (**Abbildung 3**). Entsprechend wird die Temperaturfahne in der Zeit von September bis April durch den Heizbetrieb ausgebildet. Während der Phase mit gleichzeitigem Heiz- und Kühlbedarf von April bis Oktober kommt es durch abschwächende Effekte zum Abreißen der Temperaturfahne. Im Mai reißt die Fahne ab, und in den Monaten Juni, Juli und August bildet sich keine Temperaturfahne aus. Ab September erfolgt erneut eine Ausbreitung der Fahne infolge des Heizbetriebs.

Ab dem zweiten Jahr ist die maximale Ausbreitung der Temperaturfahne genauso groß wie nach dem zwanzigsten Jahr. Es treten somit keine kumulativen Effekte über mehrere Jahre hinweg auf. Die Modellergebnisse zur maximalen Ausbreitung der Isothermen sind in **Tabelle 3** aufgelistet.

Tabelle 3: Maximale Längs- und Querausdehnung der Isothermen der Anlage BAGA nach 20 Jahren.

	Temperatur- differenz [K]	max. Längs- ausdehnung (Länge/Breite) [m]	Monat (längs)	max. Quer- ausdehnung (Länge/Breite) [m]	Monat (quer)	Tiefe [m u. GOK]
BAGA	-3	7/3	Januar	7/3	Januar	16,7
BAGA	-2	19/8	Januar	19/8	Januar	16,7
BAGA	-1	54/13	März	45/15	Januar	16,7
Musial	-4	5/2	Januar	5/2	Januar	14,0
Musial	-3	13/6	Januar	13/6	Januar	14,0

	Temperatur- differenz [K]	max. Längs- ausdehnung (Länge/Breite) [m]	Monat (längs)	max. Quer- ausdehnung (Länge/Breite) [m]	Monat (quer)	Tiefe [m u. GOK]
Musial	-2	29/10	Februar	27/11	Januar	14,0
Musial	-1	68/14	April	60/17	Februar	14,0
Musial	1	45/13	August	39/14	Juli	14,0
Musial	2	19/8	Juli	19/8	Juli	14,0
Musial	3	10/5	Juli	10/5	Juli	14,0
Musial	4	3/2	Juli	3/2	Juli	14,0

Nach Analyse der Modellergebnisse der instationären Modellierung für die Anlage BAGA ist die maximale Ausbreitung für die $-1,0\text{ K}$ Isotherme im Jahresverlauf mit rund 54 m , gemessen ab dem Rückgabebrunnen 1, im März zu beobachten (**Tabelle 3**). **Abbildung 7** zeigt die Ausdehnung des Temperaturfeldes der Anlage BAGA. Dieses breitet sich ausgehend vom RB1 in der Längsausdehnung rund 36 m auf dem eigenen Flurstück 9549 aus. Die Temperaturfahne breitet sich weitere 18 m westlich über das angrenzenden Flurstücke 9548 aus.

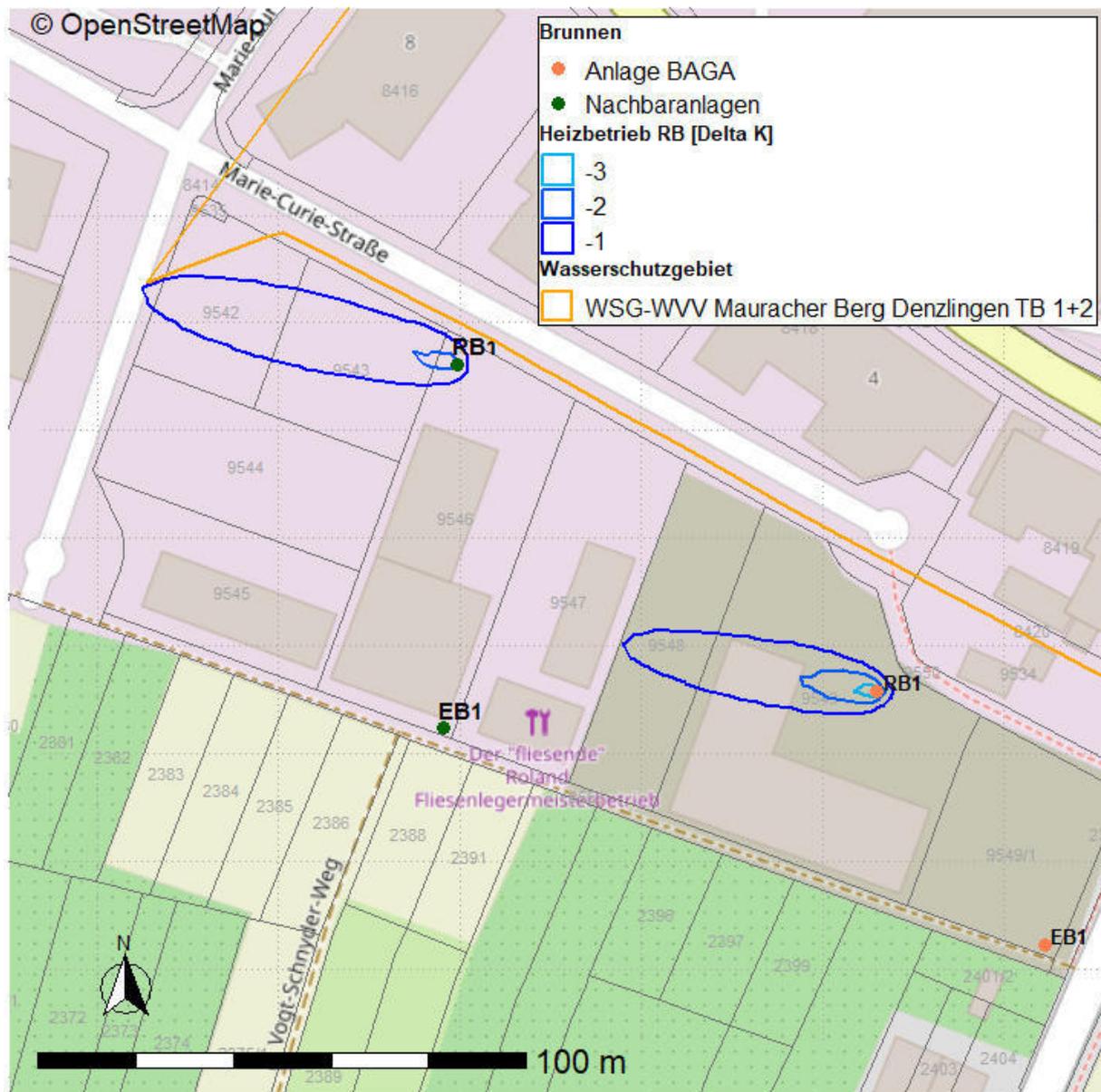


Abbildung 7: Temperaturfeld der Rückgabebrunnen BAGA nach 20-jähriger Modellierungsdauer zum Zeitpunkt mit maximaler Ausdehnung der $-1,0\text{ K}$ Isotherme mit Flurstücken [Geoportal, 2025; WaBoA, 2007].

Die Analyse der instationären Modellergebnisse für die Anlage BAGA zeigt, dass infolge abschwächender Effekte durch den parallelen Heiz- und Kühlbetrieb keine

Ausbreitung einer Temperaturfahne durch den Kühlbetrieb bzw. keine Ausbreitung einer 1-K-Isotherme erfolgt.

Den genauen Verlauf der Temperaturfahnen übers Jahr gesehen, kann anhand der monatlichen Abbildungen im **Anhang 7** im Detail nachverfolgt werden.

Anhand dieser Datengrundlage ist ein Kurzschluss der Anlage BAGA zwischen den Entnahme- und Rückgabebrunnen nach dem Verlauf der Isothermen zu keinem Zeitpunkt des Jahres zu befürchten, d.h. abgekühltes/erwärmtes Grundwasser des Rückgabebrunnens gelangt nicht an den Entnahmebrunnen. Aufgrund der beschriebenen Datengrundlage gibt es in der Modellierung keine Beeinflussung Dritter durch die Anlage BV BAGA. Zum Zeitpunkt der maximalen Ausbreitung der - 1-K-Isotherme der Anlage BAGA beträgt der Abstand der Temperaturfahne der Anlage BAGA zum EB1 der Anlage Musial 40 m.

Im **Anhang** sind die Kartendarstellungen zusätzlich in A4 (**Anhang 6**) angehängt und die Ausdehnungen der modellierten Temperaturfelder im Querschnitt und Ansicht von oben für alle zwölf Kalendermonate (**Anhang 7**) dargestellt.

3.3 Abgleich gegen den "Lastfall Jahresmittel"

Maßgeblich für das vorliegende Gutachten ist der instationäre Lastfall gemäß dem vorgesehenen, saisonal variablen Entnahmeregime der Grundwasserwärmeanlagen von BAGA (**Abbildung 3, Kapitel 3.2**).

Tabelle 4: Maximale Längs- und Querausdehnung der Isothermen beim "Lastfall Jahresmittel" nach 20 Jahren Modellierungsdauer.

	Temperatur-differenz [K]	mittlere Längs-ausdehnung [m]	mittlere Quer-ausdehnung [m]	Tiefe [m u. GOK]	Jahres-mittel-Gesamt [m ³ /Tag]
BAGA	-3	2	2	16,7	23,0
BAGA	-2	8	4	16,7	23,0
BAGA	-1	26	9	16,7	23,0
Musial	-4	1	1	14,0	13,5
Musial	-3	4	3	14,0	13,5
Musial	-2	9	4	14,0	13,5
Musial	-1	27	9	14,0	13,5

Als ergänzende Information wird zusätzlich der in der Arbeitshilfe zum Leitfaden zur Nutzung der Erdwärme mit Grundwasserwärmeanlagen [2009] beschriebene "Lastfall Jahresmittelwert" betrachtet. Bei gleichmäßiger Aufteilung der vorgesehenen Entnahme von 21.028 m³ pro Jahr auf in 14.657 m³ pro Jahr für den Heizbetrieb und 6.371 m³ pro Jahr für den Kühlbetrieb ergibt sich auf die 365 Tage des Jahres für die stationäre Modellierung eine konstante Entnahme im

Heizbetrieb von 23,0 m³/Tag mit 4 K Temperaturspreizung für die Grundwärmanlage BAGA.

Da in der Praxis nicht das ganze Jahr über gleichmäßig geheizt wird, handelt es sich dabei allerdings um ein theoretisches/weniger realistisches Szenario. Die in **Tabelle 4** zusammengestellten Ergebnisse der Temperaturlausbreitungen und Entnahmeraten basieren auf der Modellvariante "Lastfall Jahresmittel". Die Ausdehnung der Temperaturfelder wird beginnend vom Rückgabebrunnen gemessen.

Die Ausdehnung des Temperaturfeldes der -1,0 K Isotherme des Rückgabebrunnens beträgt in dieser Modellvariante 26 m für die Anlage BAGA. Da bei der stationären Modellierung für den "Lastfall Jahresmittel" die Entnahmen gleichmäßig über das Jahr verteilt sind, ist die berechnete Reichweite des Temperaturfeldes kleiner als bei jener weitaus realistischeren, instationären Modellierung (**Kapitel 3.2**). Ein gleichmäßiger Betrieb der Anlage führt im „Lastfall Jahresmittel“ zu einer Verringerung der Ausbreitung der Temperaturfahne aller Anlagen.

4 Zusammenfassung

Bei der Modellerstellung für die Grundwasserwärmanlage BAGA in Denzlingen wurden, soweit möglich, öffentlich zugängliche und gut belegte, bevorzugt von den zuständigen Fachbehörden erarbeitete Datengrundlagen zu Geometrie und Eigenschaften des Grundwasserleiters sowie den maßgeblichen hydraulischen Randbedingungen verwendet [RP LGRB, 2007]. Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden aus den Datensätzen [RP LGRB, 2007] entnommen und im Bereich der Brunnen der Anlage BAGA und der Nachbaranlage anhand der aktuellen Werte aus den Pumpversuchen und verfügbaren Gutachten [Frey BGW, 2025; GIT HydroS Consult GmbH, 2022] angepasst.

Bei guter Übereinstimmung zwischen modellierten und beobachteten Grundwassergleichen kann die Grundwasserströmungssituation MW86 [LfU, 2001] im Modell unter Berücksichtigung der für die hydraulische Durchlässigkeit verbleibenden Unsicherheit nach aktuellem Kenntnisstand als bestmöglich erfasst betrachtet werden (**Abbildung 1**).

Darauf aufbauend ist davon auszugehen, dass das Modell die Dimension des durch die thermische Grundwassernutzung induzierten Temperaturfeldes mit hoher Genauigkeit wiedergibt. Gleichwohl sollte aufgrund stets verbleibender Modellunsicherheiten sowie der Heterogenität des Grundwasserleiters bei der Interpretation der Ergebnisse eine gewisse Unschärfe einkalkuliert werden.

Die Modellrechnungen wurden für die Anlage BAGA in Abstimmung mit dem AG mit spezifizierten Entnahmeregimen (**Abbildung 3**) durchgeführt. Die Ausdehnung der berechneten Temperaturfelder hängt dabei im Wesentlichen von der entnommenen Grundwassermenge, der Temperaturspreizung zwischen Entnahme und Wiedereinspeisung (4 K beim Heizen, 1 K beim Kühlen), von den Wasserumsätzen und der Fließgeschwindigkeit im Grundwasserkörper ab. Die Temperaturentbreitung wird vom stromabwärtsgelegenen Rückgabebrunnen RB1 gemessen.

Die durch das Heizen induzierte -1,0 K Isotherme vom Rückgabebrunnen der Anlage BAGA, bezogen auf eine Grundwassertemperatur von 12 °C, breitet sich in seiner maximalen Längsausdehnung im Jahresverlauf insgesamt rund 54 m im März aus (**Tabelle 3, Abbildung 7**). Die Temperaturfahne des RB1 breitet sich etwa 36 m auf dem eigenen Flurstück 9549 aus. Die Temperaturfahne breitet sich in westliche Richtung etwa 18 m über das angrenzende Flurstück 9548 aus.

Die Reichweite der messbaren Temperaturbeeinflussung von maximal 54 m beim Heizen und liegt im vorliegenden Fall weit unter der berechneten jährlichen Fließstrecke des Grundwassers von etwa 1278 m/Jahr. Dies ist hauptsächlich auf die vergleichsweise hohen kf-Werte zurückzuführen. Mit den verwendeten kf-Werten und dem Entnahmeregime kommt es in den 20-jährigen Modellzeitraum zu keinem Kurzschluss.

Die Temperaturfahnen beim Heizen und Kühlen der Grundwasserwärmeanlage BAGA erreichen keine weitere Zone des Wasserschutzgebiets. Eine weitere Beeinträchtigung zusätzlicher benachbarter Anlagen kann aufgrund dieser Datengrundlage ausgeschlossen werden.

5 Literatur

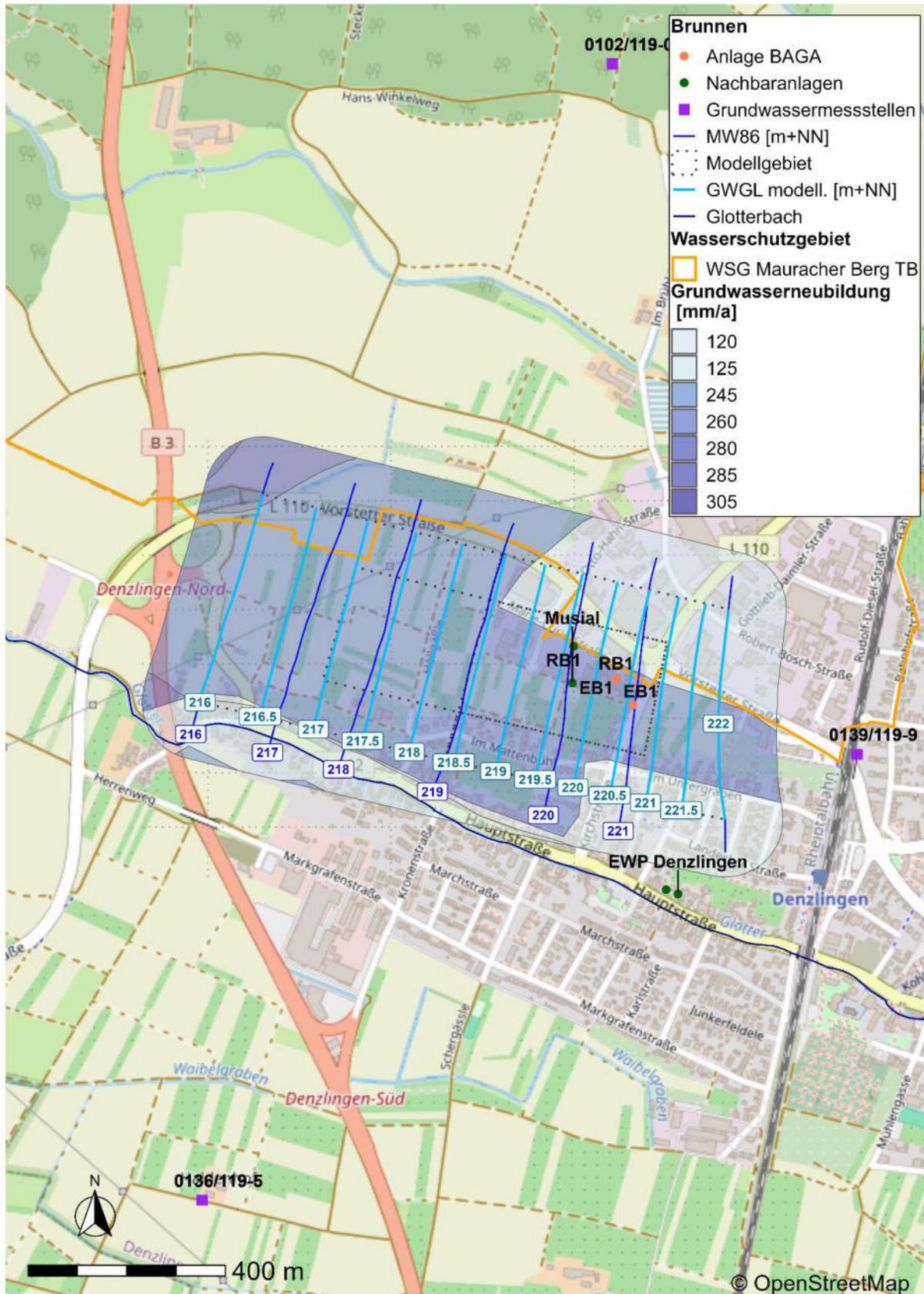
- DHI WASY [2025]: FEFLOW DHI-WASY GmbH, Berlin, FEFLOW Version 10.0, Finite Elemente Simulation System for Subsurface Flow and Transport Processes 1979-2025, <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/feflow>
- Fick, [1855]: "Über Diffusion", Annalen der Physik: 59–86, Adolf Fick.
- Frey BGW [2025] Frey Büro für Geowissenschaften Datengrundlage BV Denzlingen/BAGA, Denzlingen [12.06.2025]
- Geoportal [2025]: Geoportal Baden-Württemberg, Version v22071 Beta, Ihr Geokatalog für Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Öffentlichkeit. Aktuelle Flurstücke <https://www.geoportal-bw.de> [abgerufen am 20.06.2025]
- GIT HydroS Consult GmbH [2022]: Modelltechnische Untersuchung zu den Auswirkungen der Grundwasserwärmenutzung Denzlingen\Musial [05/2022]
- Marotz [1968]: Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. Schriftenreihe KWK, 18, Hamburg. [zitiert in Frieg B. [1987]: Hydrogeologie und Grundwasserhydraulik des Einzugsgebietes des Wasserwerkes Freiburg-Ebnet. Dissertation, Universität Heidelberg]
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft [2009]: Leitfaden zur Nutzung der Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen.
- Morhard [2022]: Langzeitsimulation von Bodenwasserhaushalt und flächenhafter Grundwasserneubildung 2001-2020 für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg.
- LfU [2001]: Grundwasserüberwachungsprogramm. Erläuterungen und Karten, Grundwasserschutz 18. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- LGL [2025]: Open GeoData Portal: Digitales Geländemodell (DGM1). [https://opengeodata.lgl-bw.de/#/\(sidenav:product/3\)](https://opengeodata.lgl-bw.de/#/(sidenav:product/3)) [abgerufen am 30.04.2025]
- LGRB [2025]: Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2025): Geowissenschaftliches Informationsportal LGRBwissen, <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/> [abgerufen am 18.06.2025]
- LGRB [2025a]: Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2025): Bohrarchiv, https://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_adb [abgerufen am 18.06.2025]
- RP LGRB [2007]: Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Regierungspräsidium Freiburg.
- RP LGRB [2021] Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2021): LGRB-Kartenviewer – Layer ADB: Aufschlüsse (Stammdaten), <https://maps.lgrb-bw.de/> [abgerufen am 10.06.2025]

UDO [2025]: interaktive Dienst UDO (Umwelt-Daten und -Karten Online), Daten aus Mess- und Untersuchungsprogrammen der LUBW und aus dem Informationsverbund der kommunalen und staatlichen Umweltdienststellen des Landes Baden-Württemberg, <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/home/index.xhtml> [abgerufen am 18.06.2025]

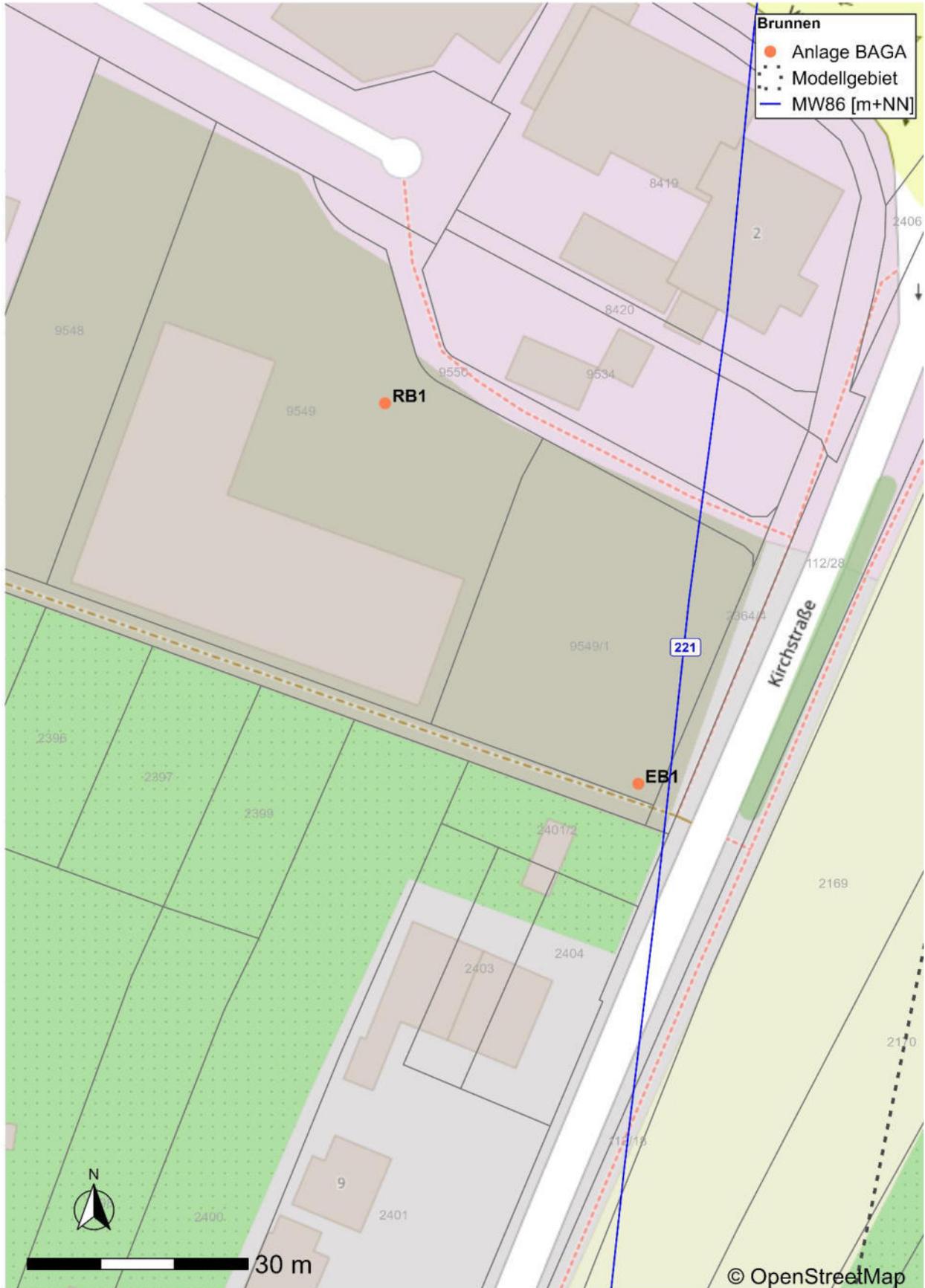
WaBoA [2007]: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Herausgegeben vom Umweltministerium Baden-Württemberg und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

6 Anhang: Kartenmaterial A4

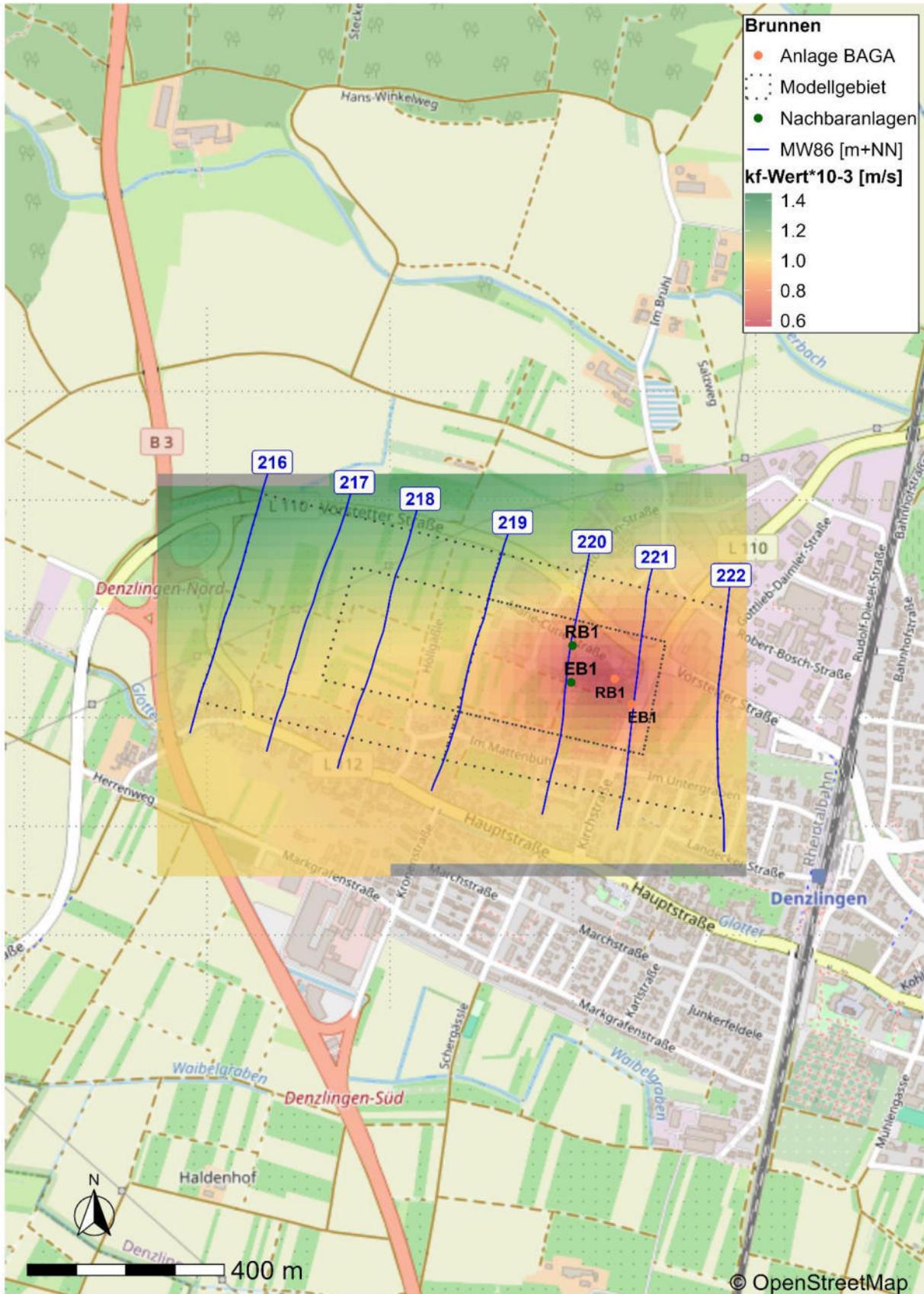
6.1 Übersichtskarte Abbildung 1 in A4



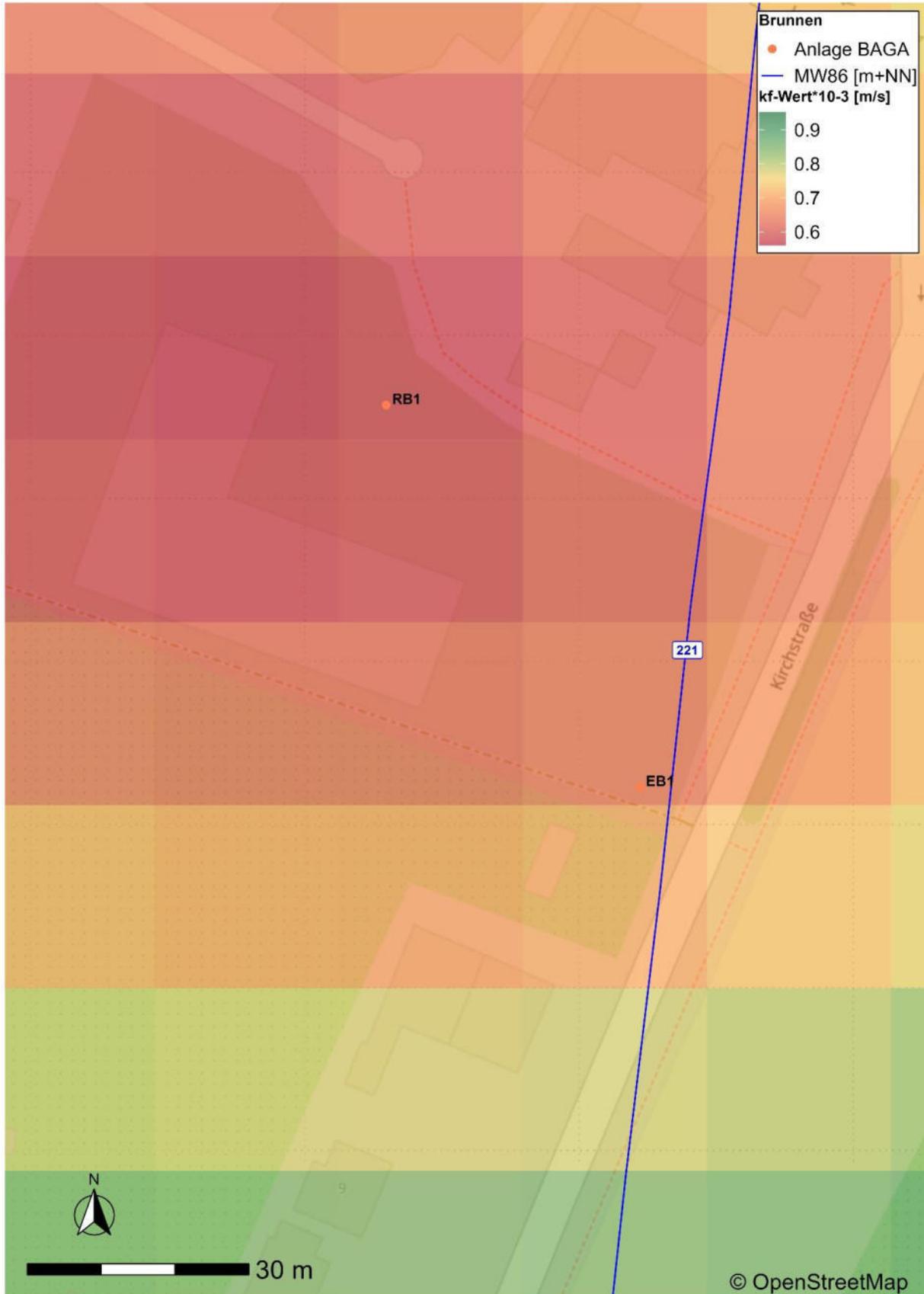
6.2 Übersichtskarte im Brunnenbereich Abbildung 2 in A4



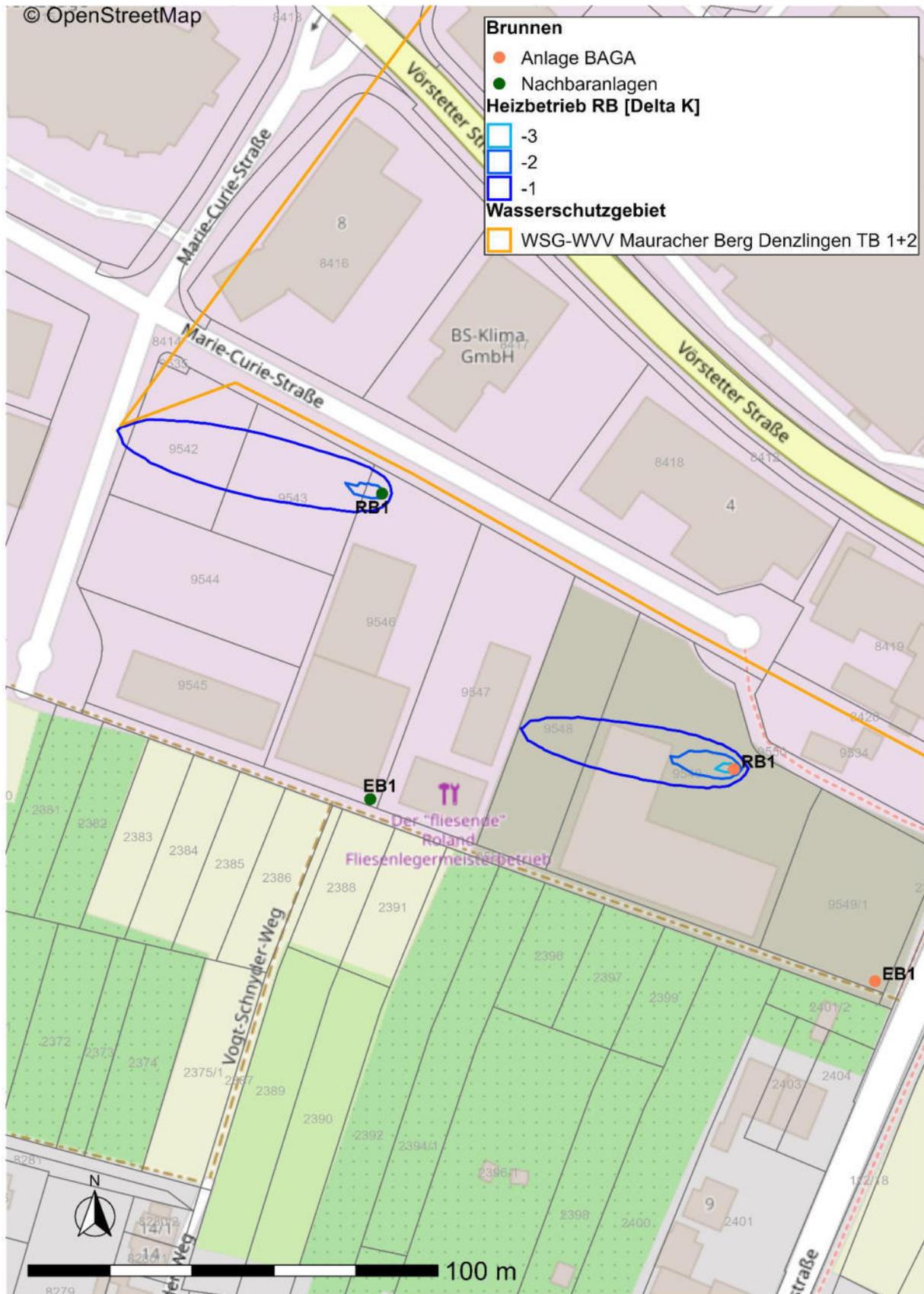
6.3 Übersichtskarte Kf-Werte Abbildung 8 in A4



6.4 Übersichtskarte Kf-Werte Brunnenbereich Abbildung 9 in A4



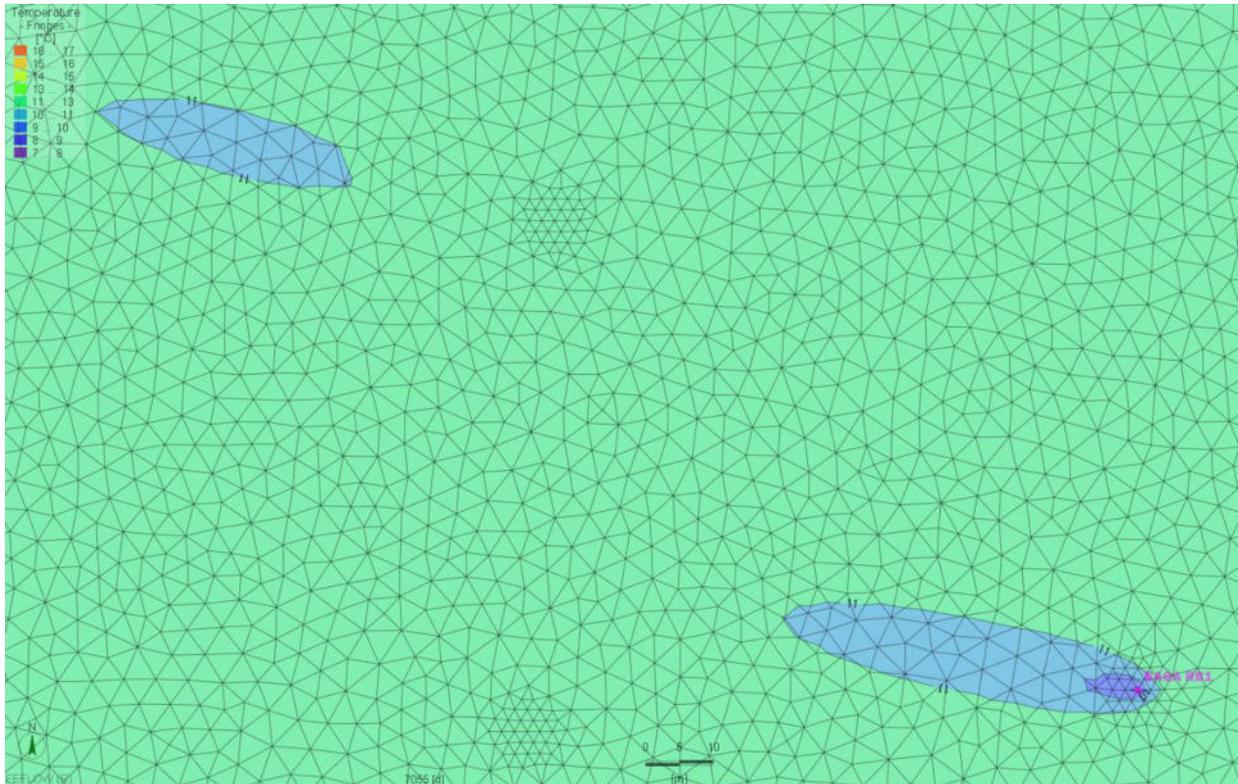
6.5 Temperaturfeld Heizen mit – 1 K Isotherme Abbildung 10 in A4



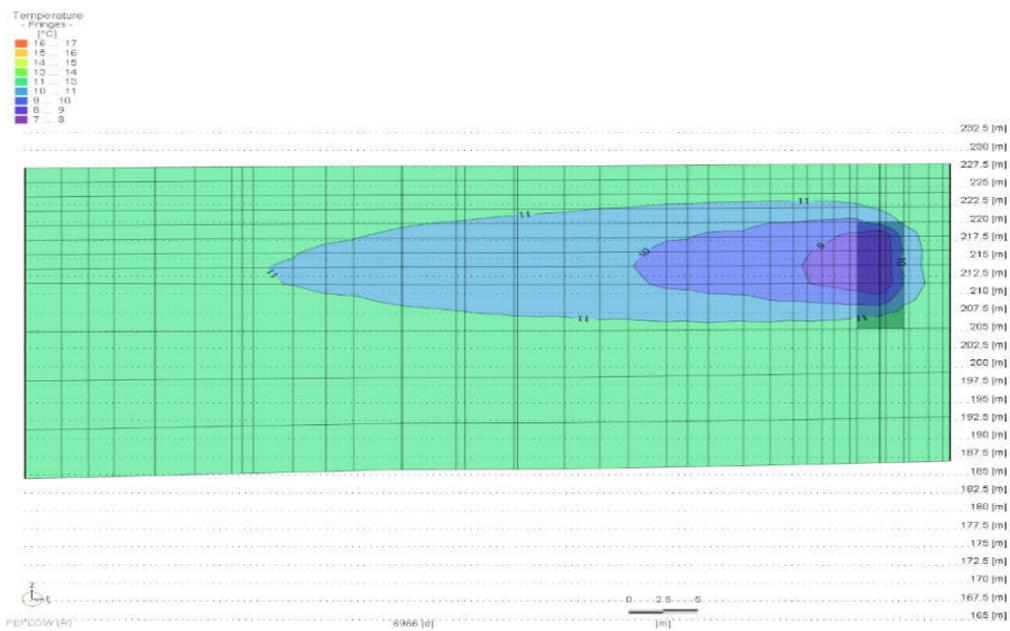
7 Anhang: Temperaturfelder zum Ende der Kalendermonate

7.1 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Januar

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

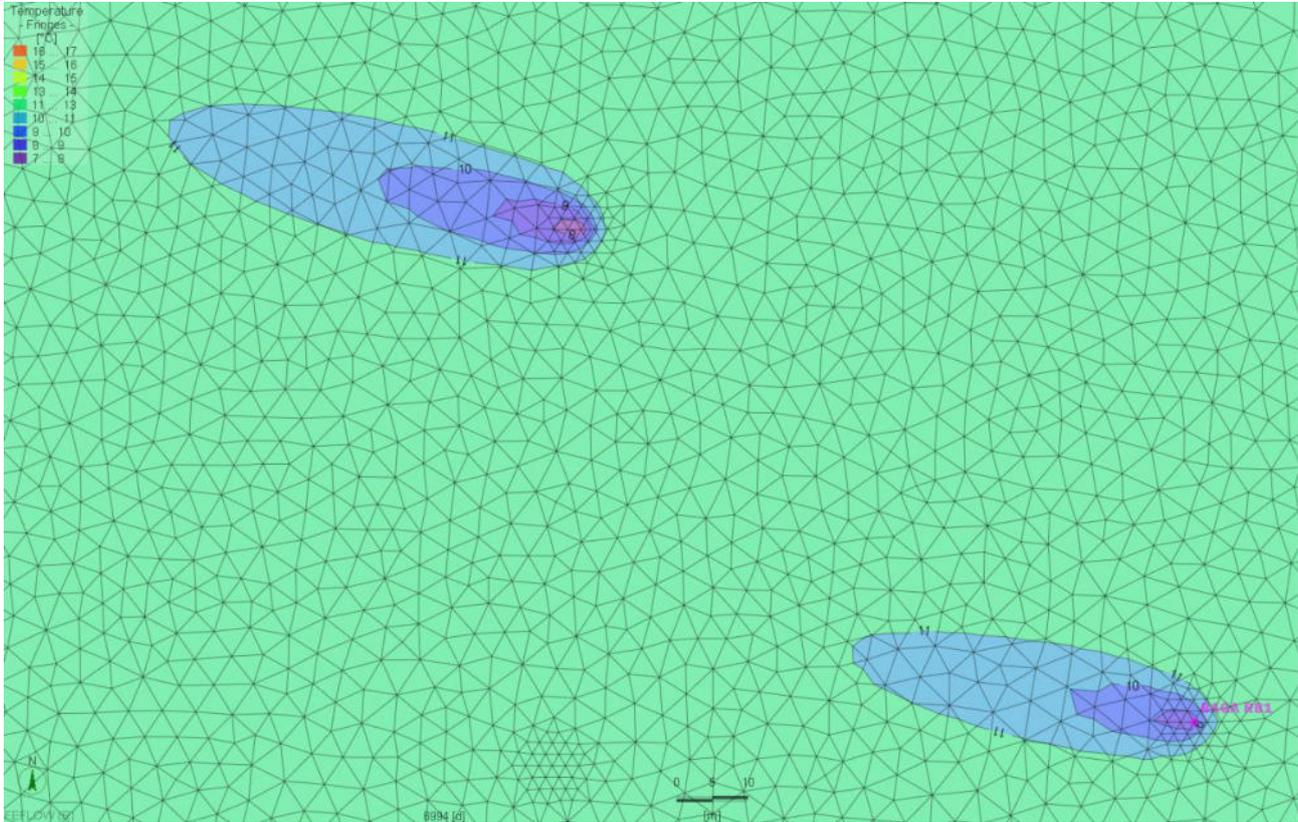


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

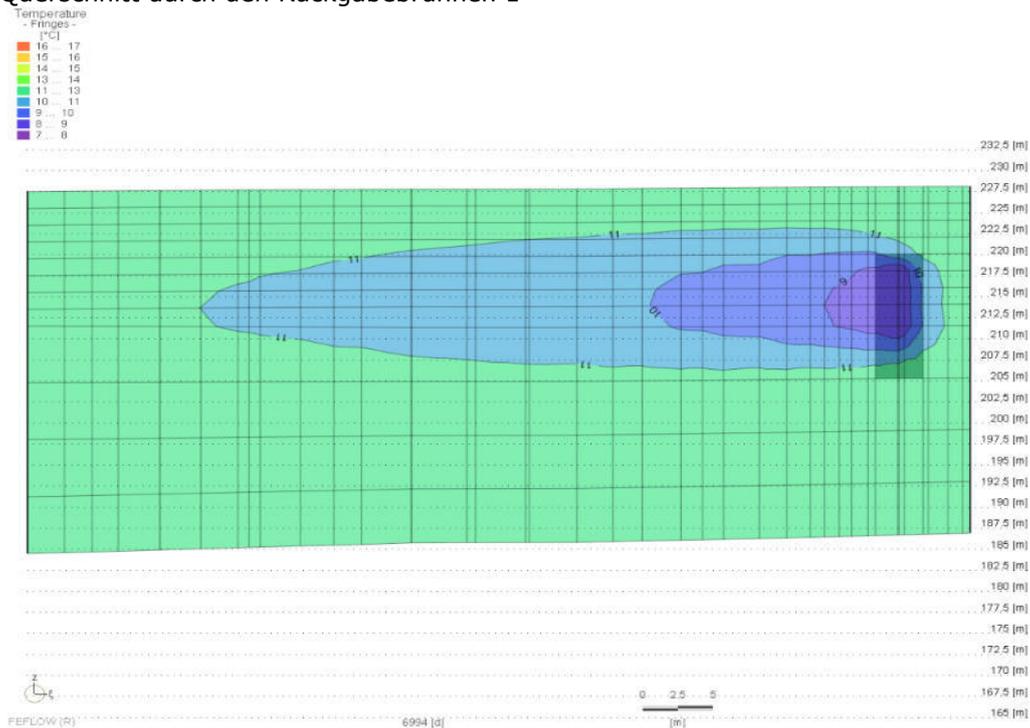


7.2 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Februar

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

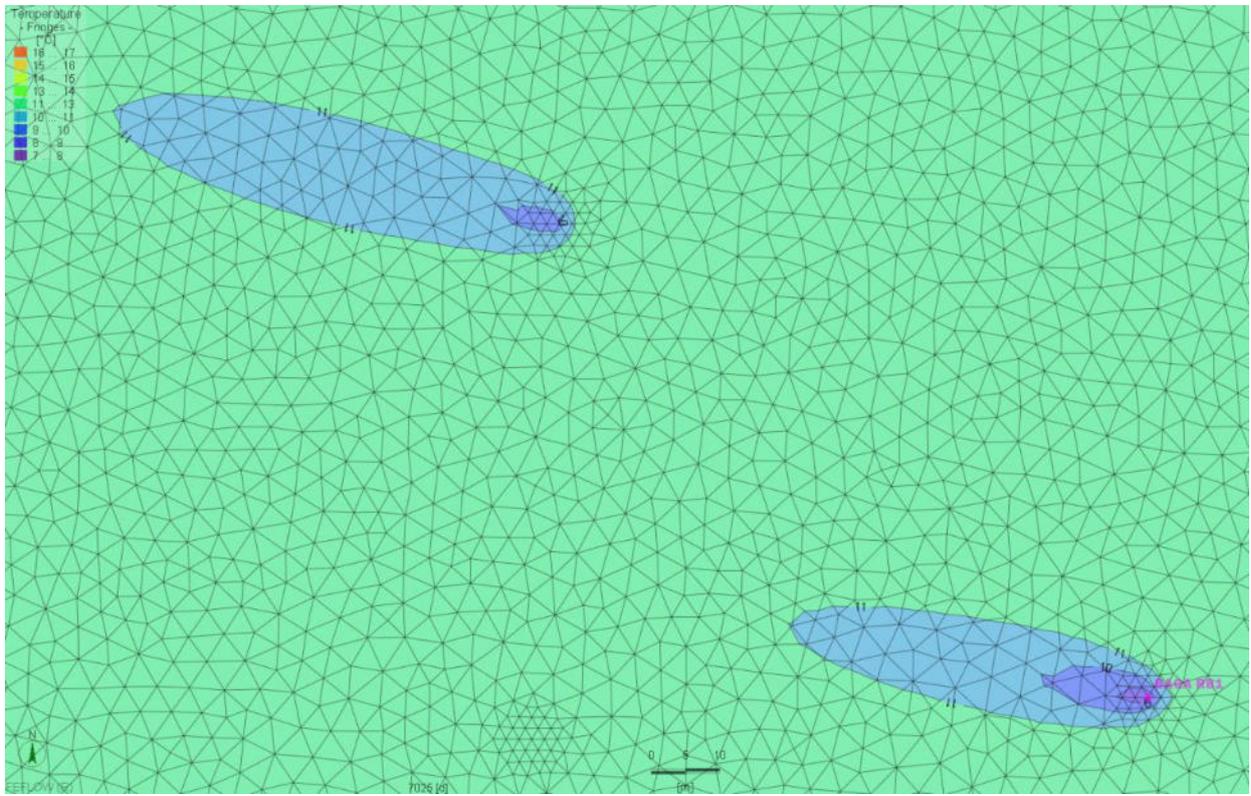


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

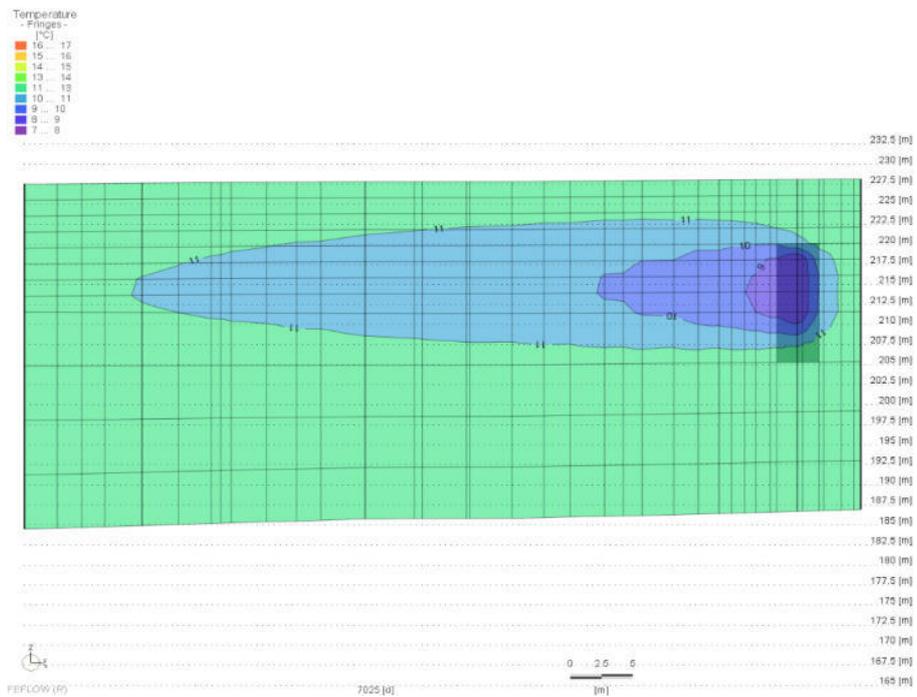


7.3 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende März

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

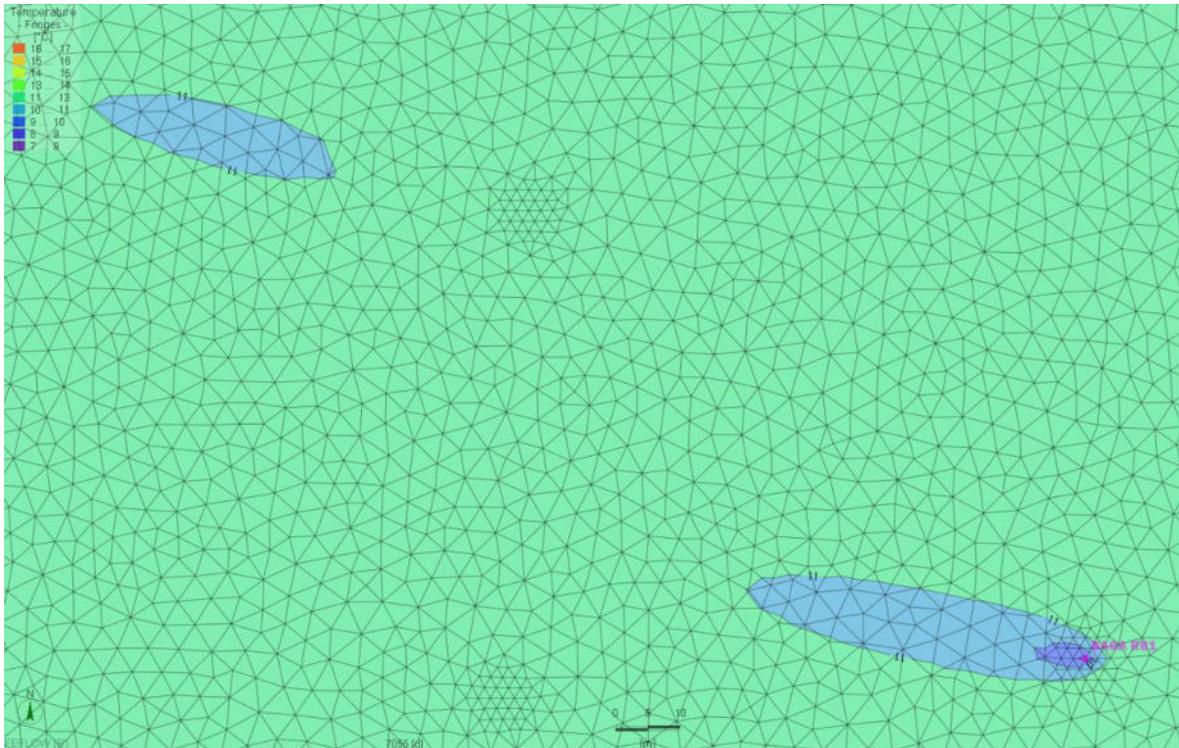


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

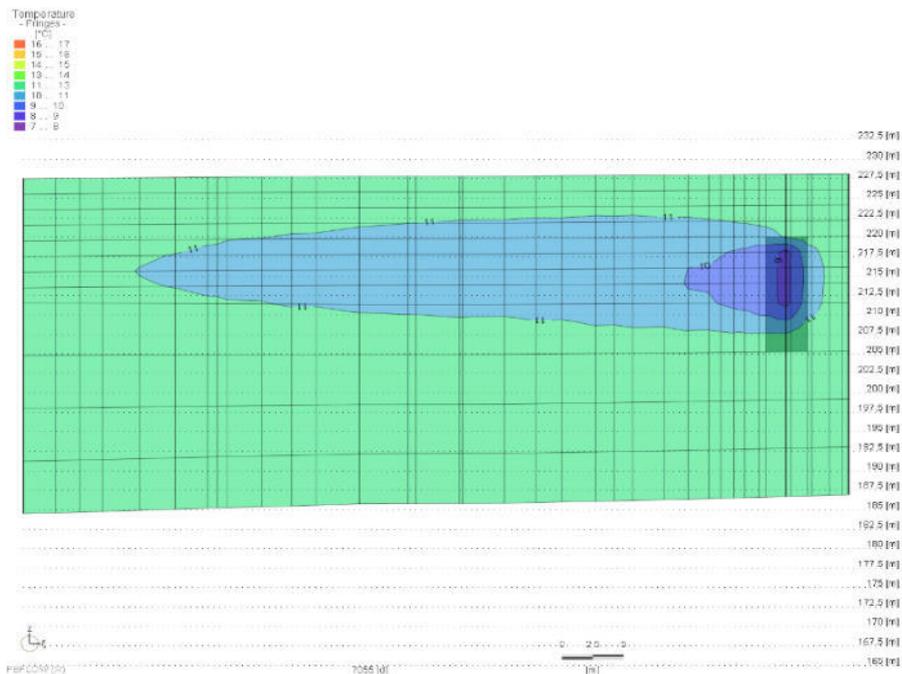


7.4 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende April

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

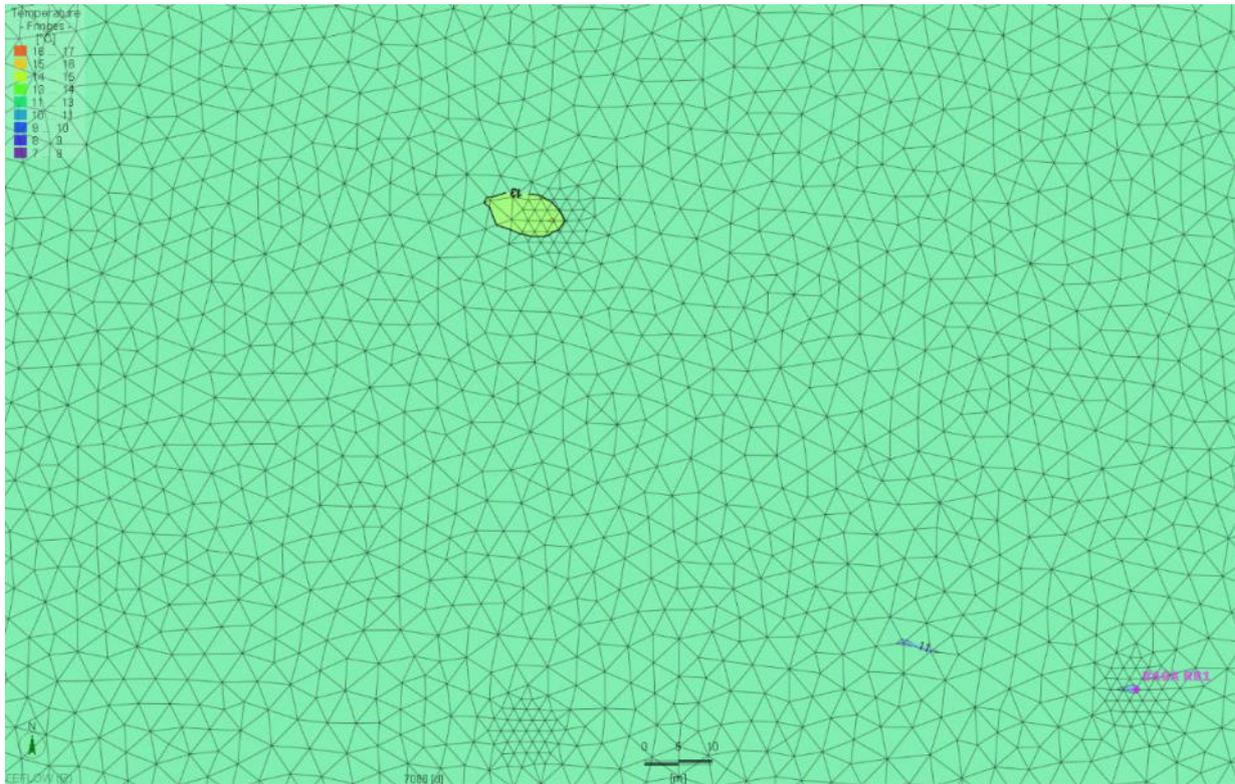


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

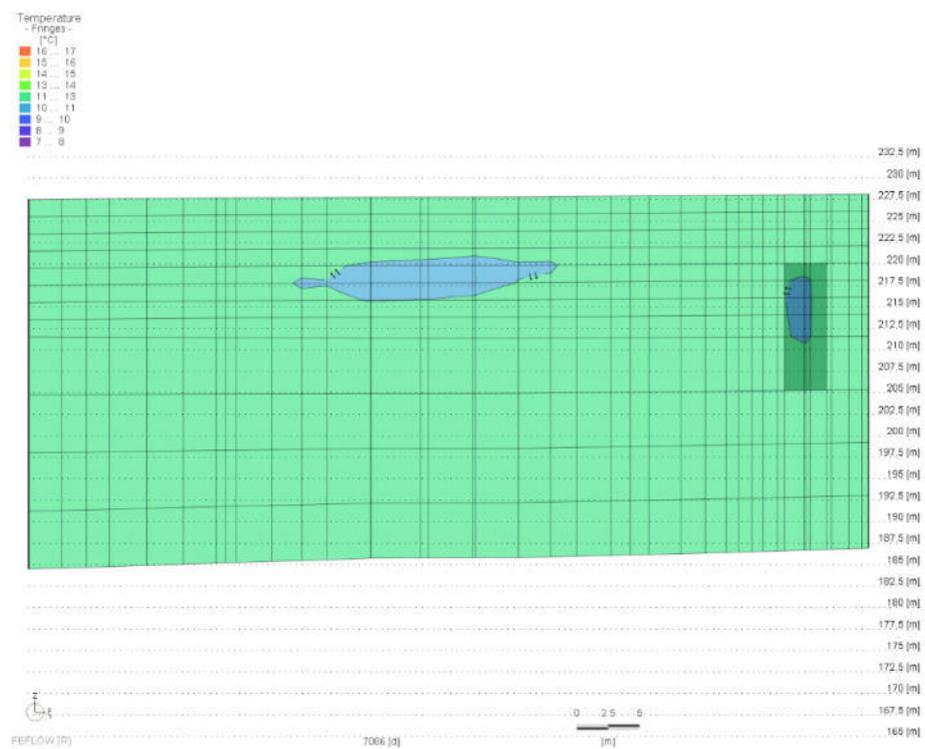


7.5 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Mai

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

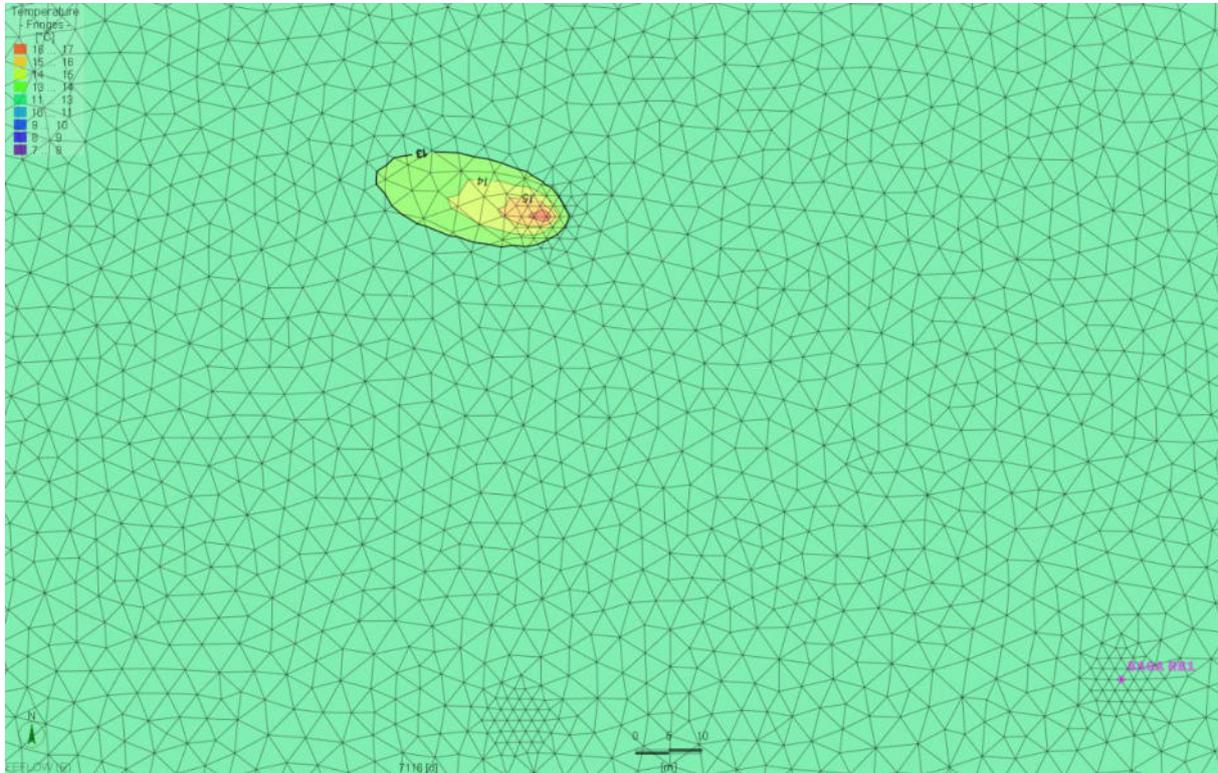


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

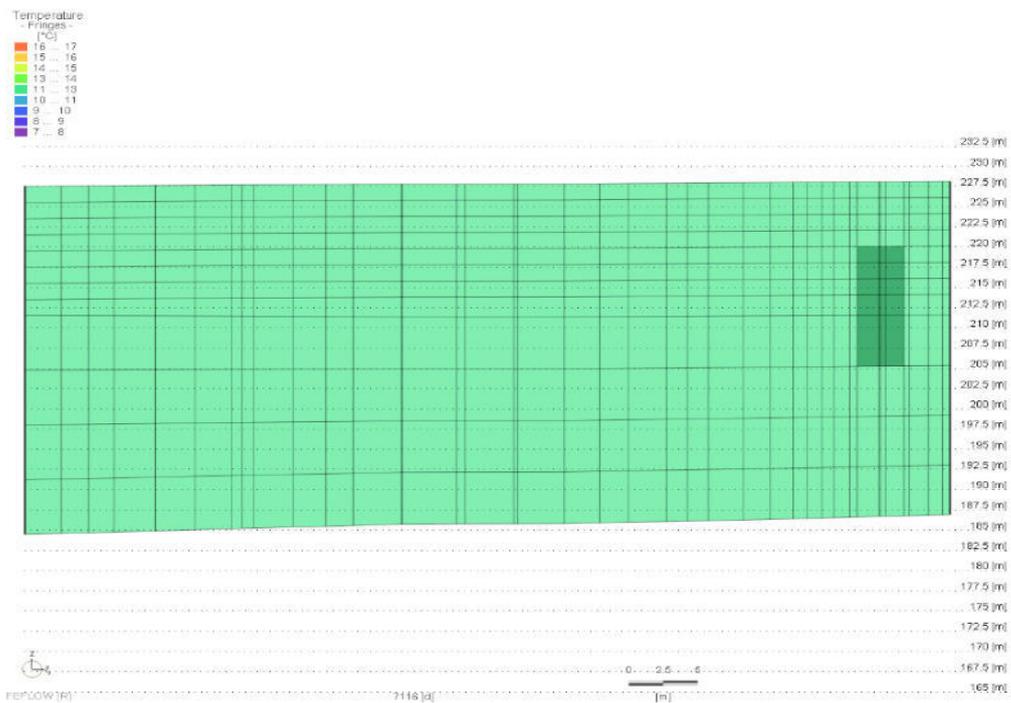


7.6 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Juni

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

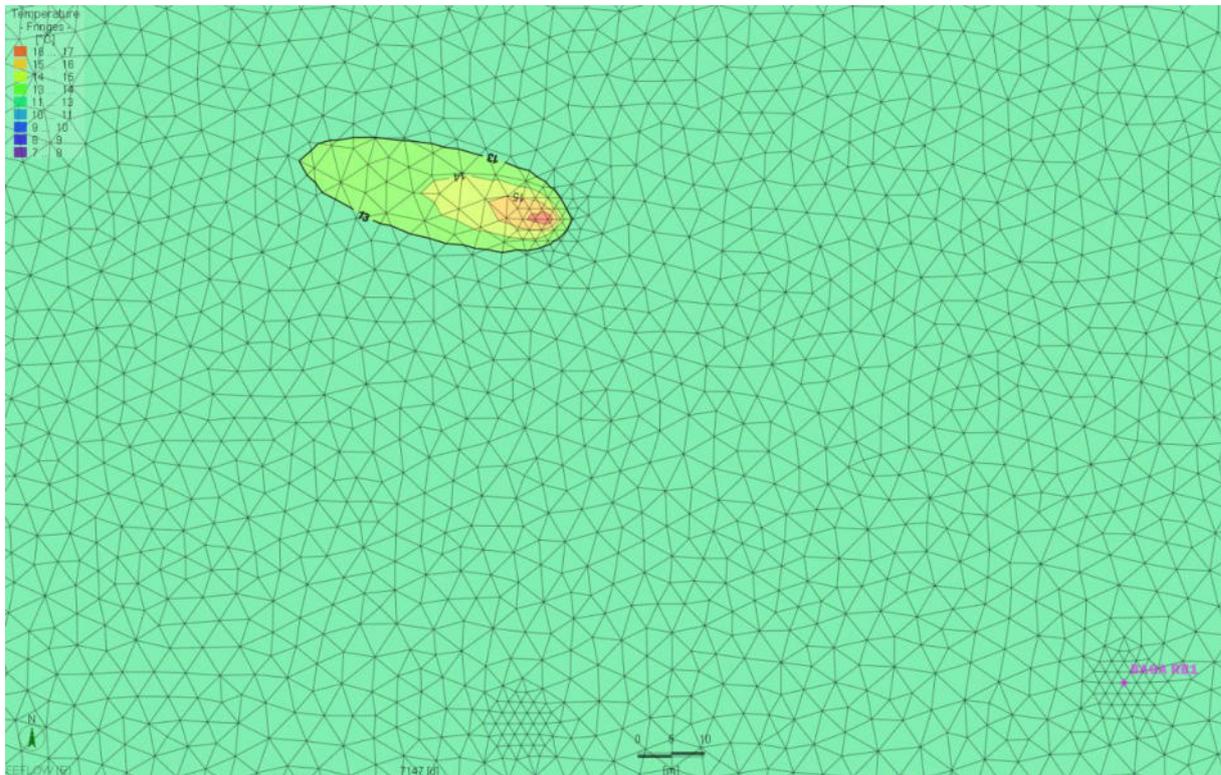


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1



7.7 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Juli

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

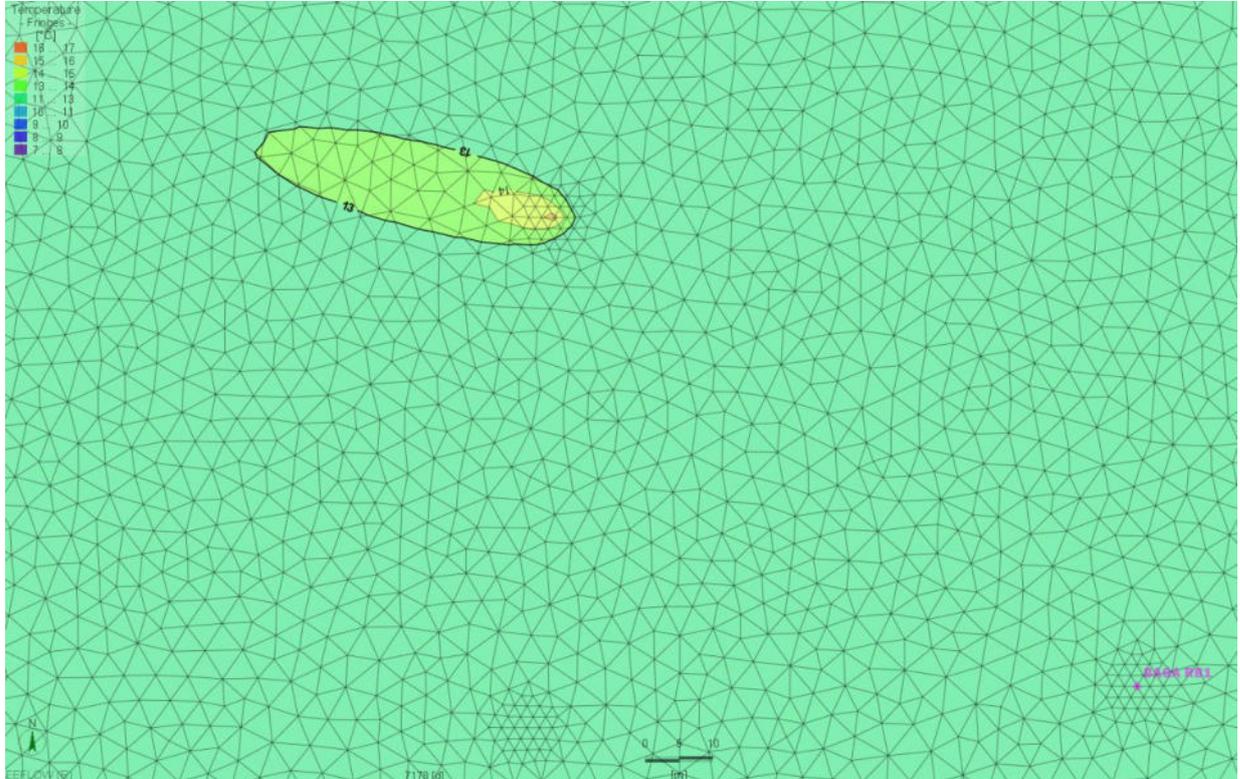


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1



7.8 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende August

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

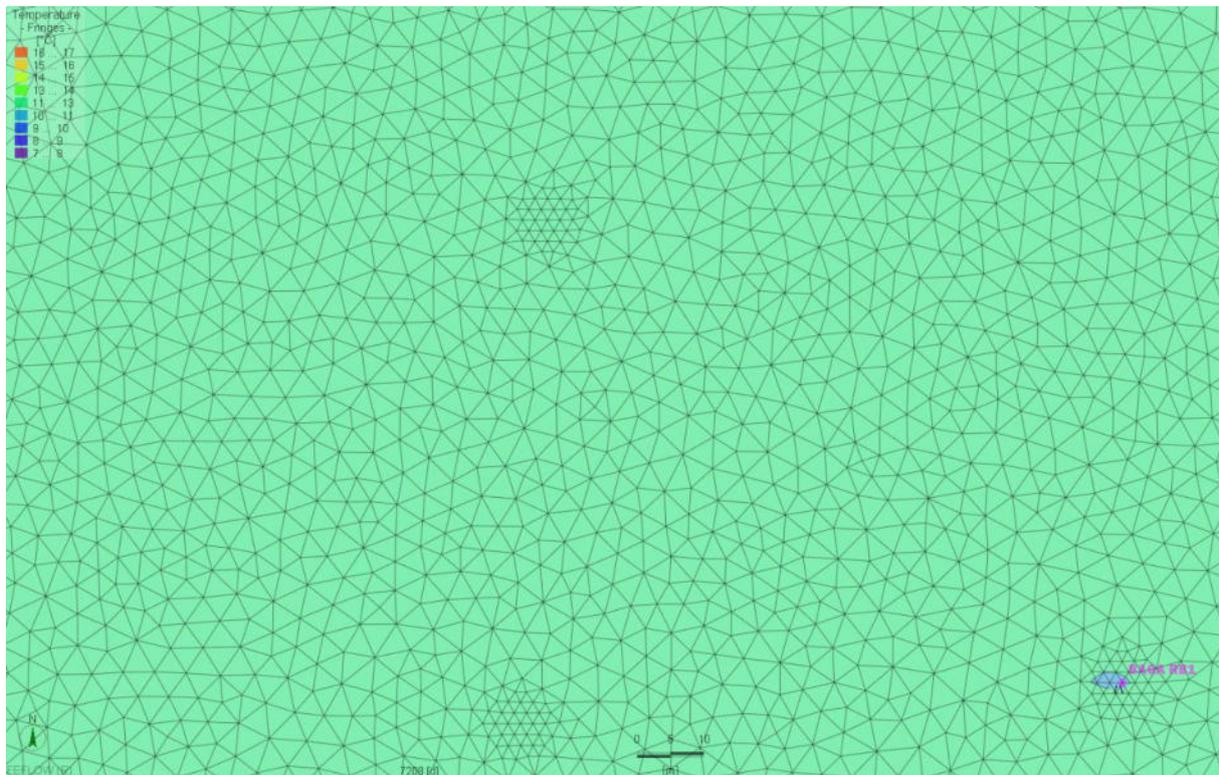


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

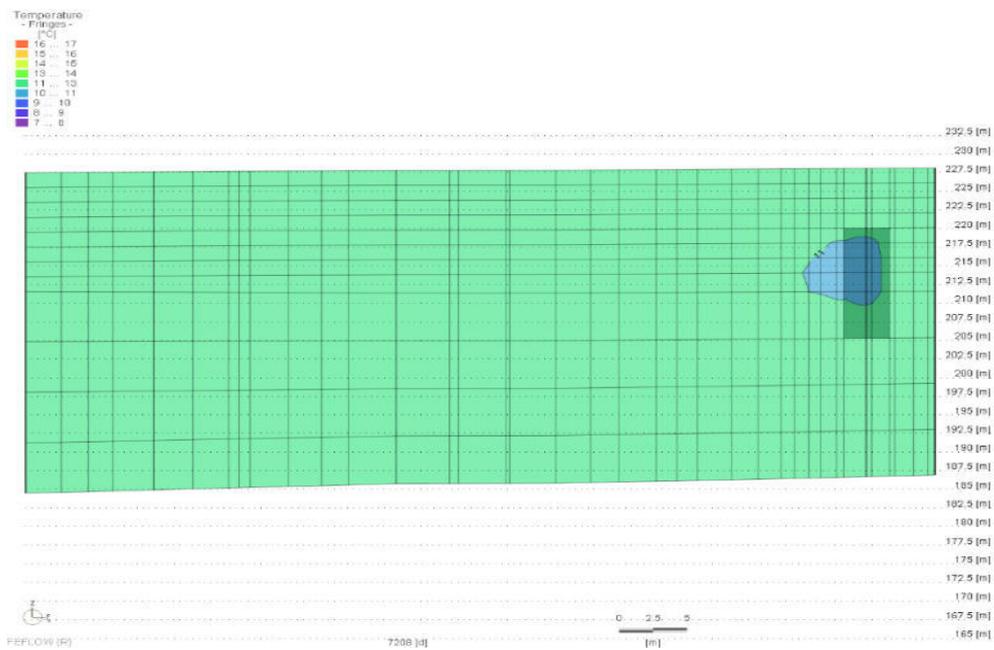


Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende September

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

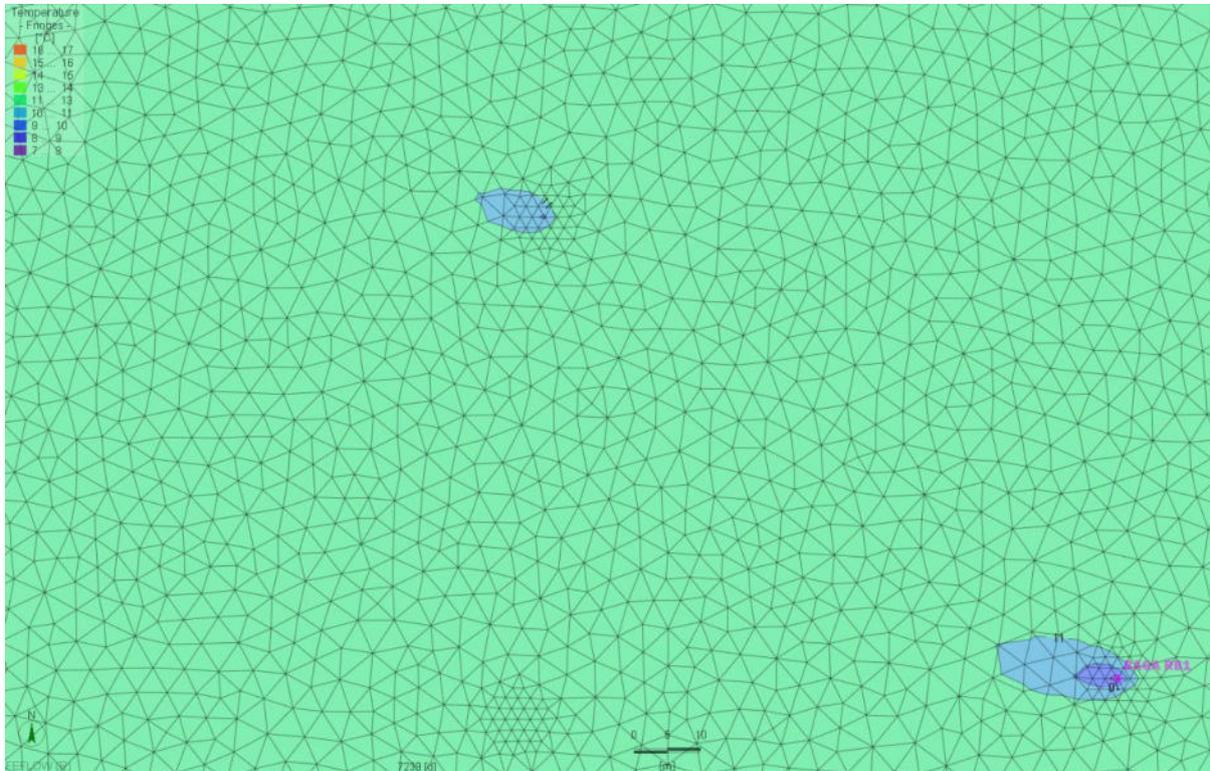


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

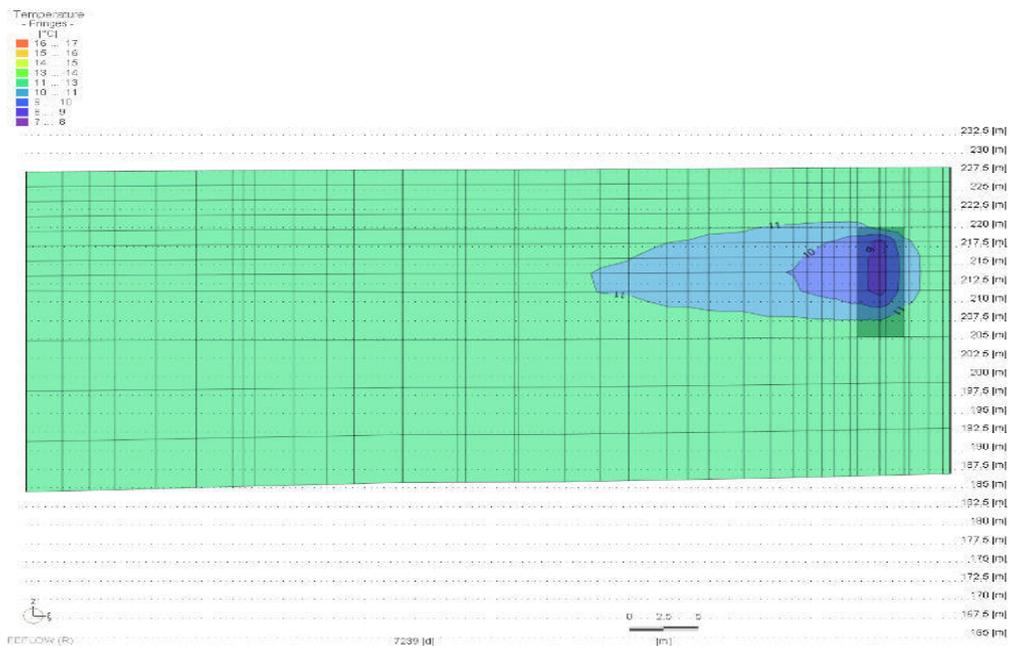


7.9 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Oktober

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

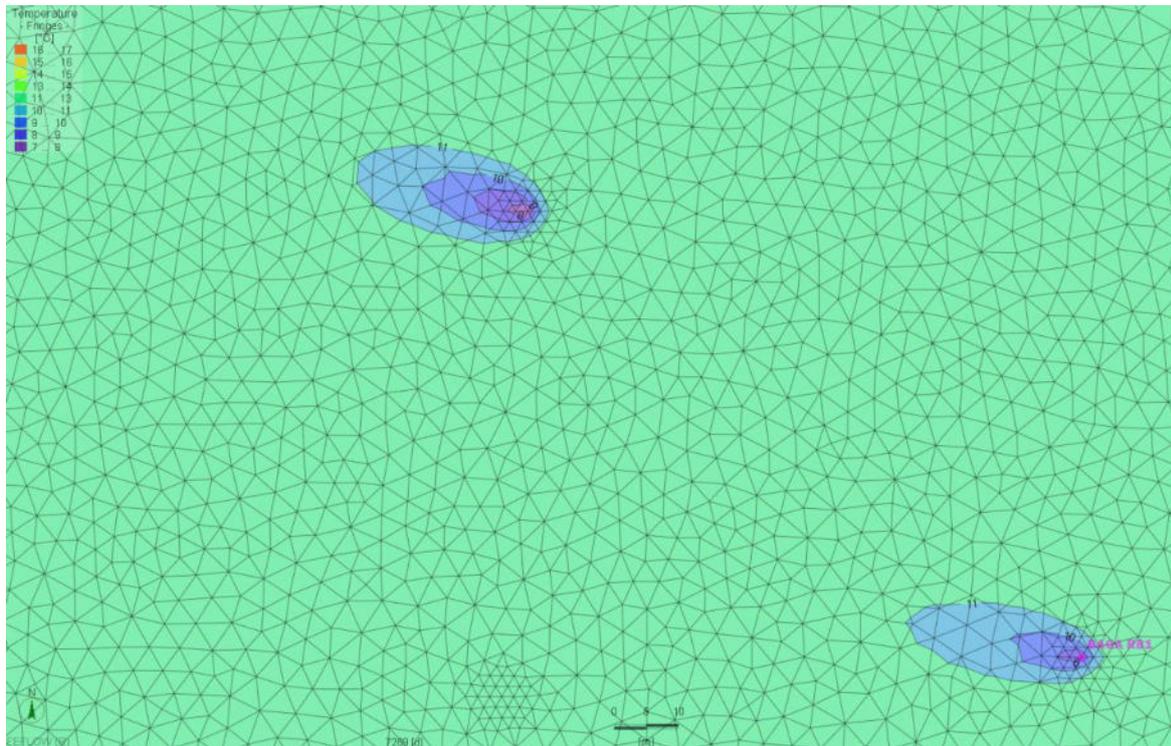


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

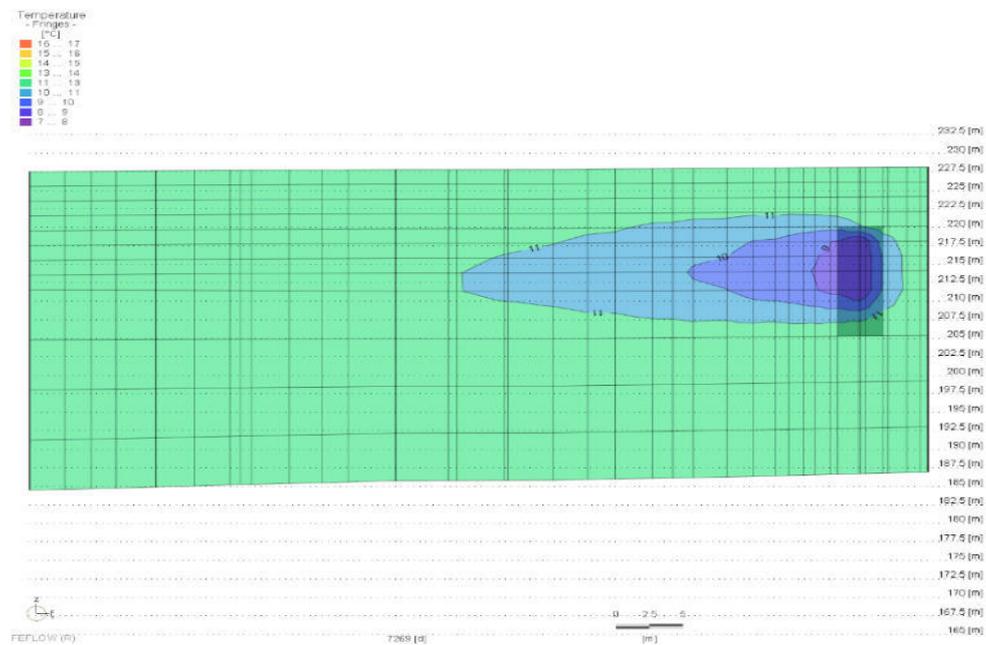


7.10 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende November

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)

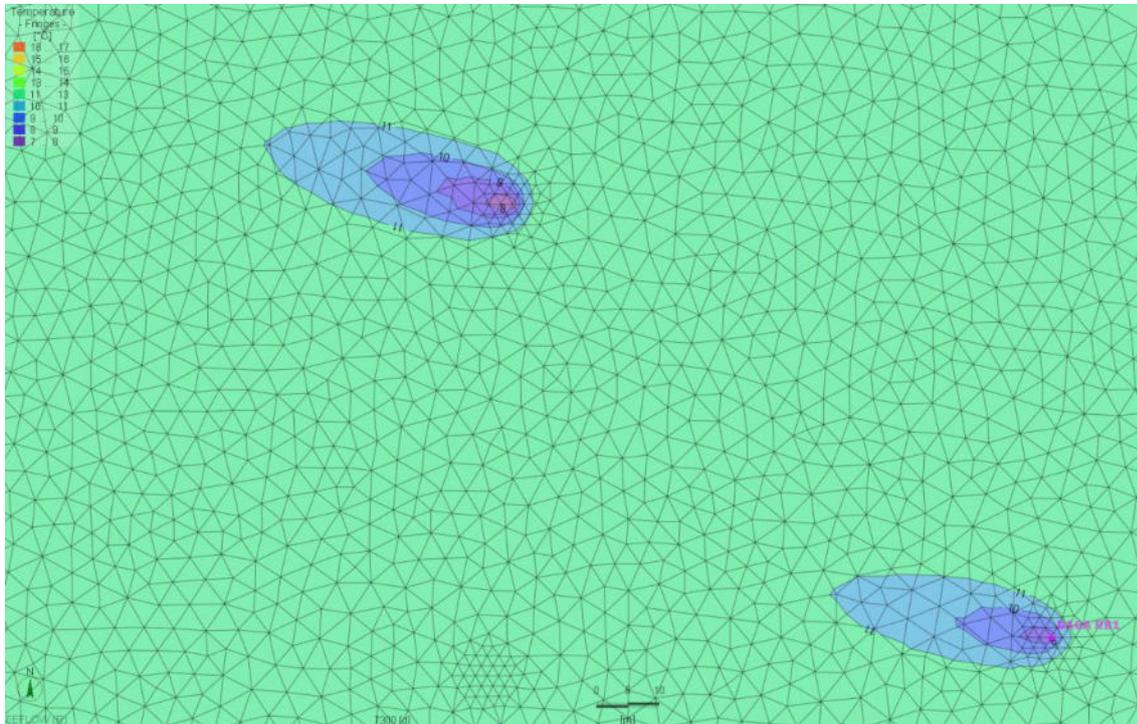


b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1

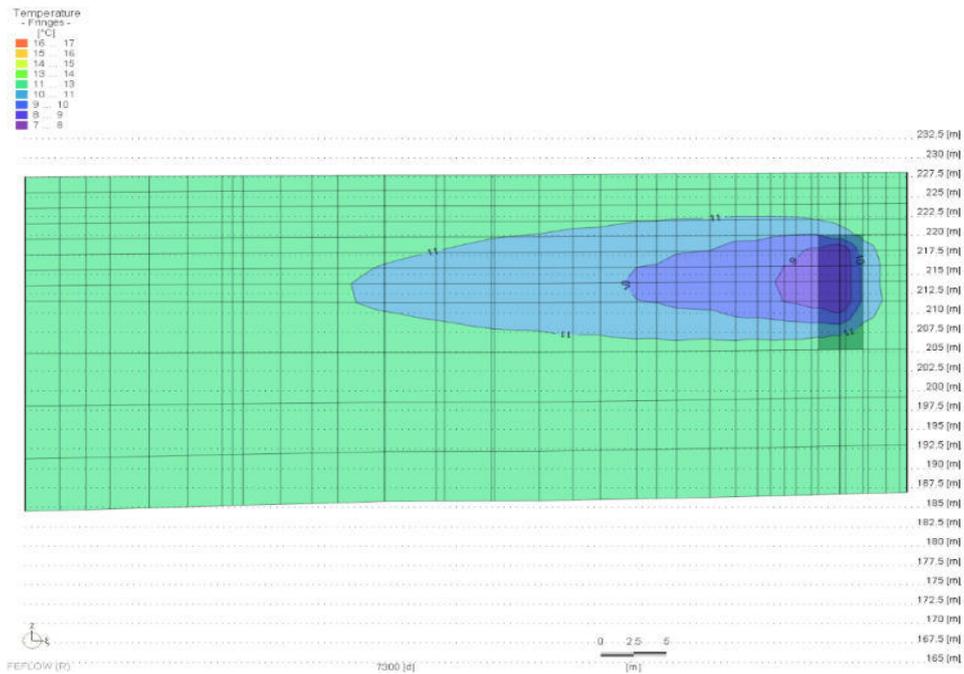


7.11 Temperaturfeld im Abstrom der Rückgabebrunnen Ende Dezember

a.) Ansicht von oben (Tiefe 14 m)



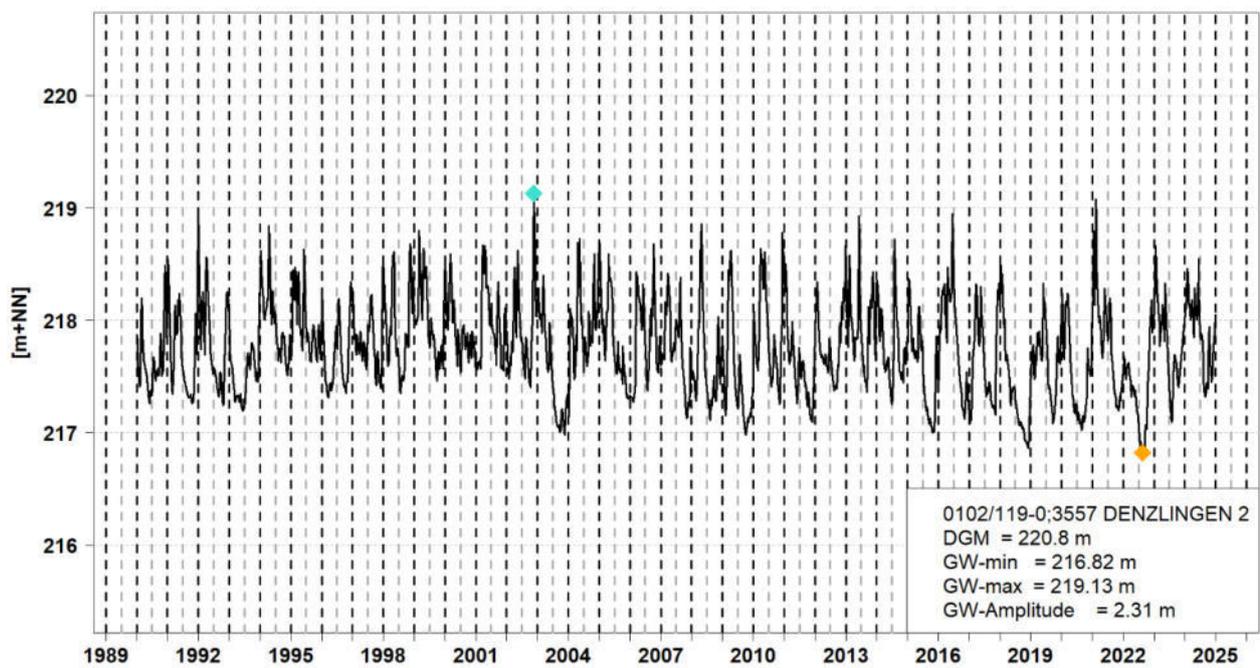
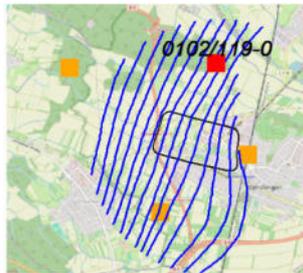
b.) Querschnitt durch den Rückgabebrunnen 1



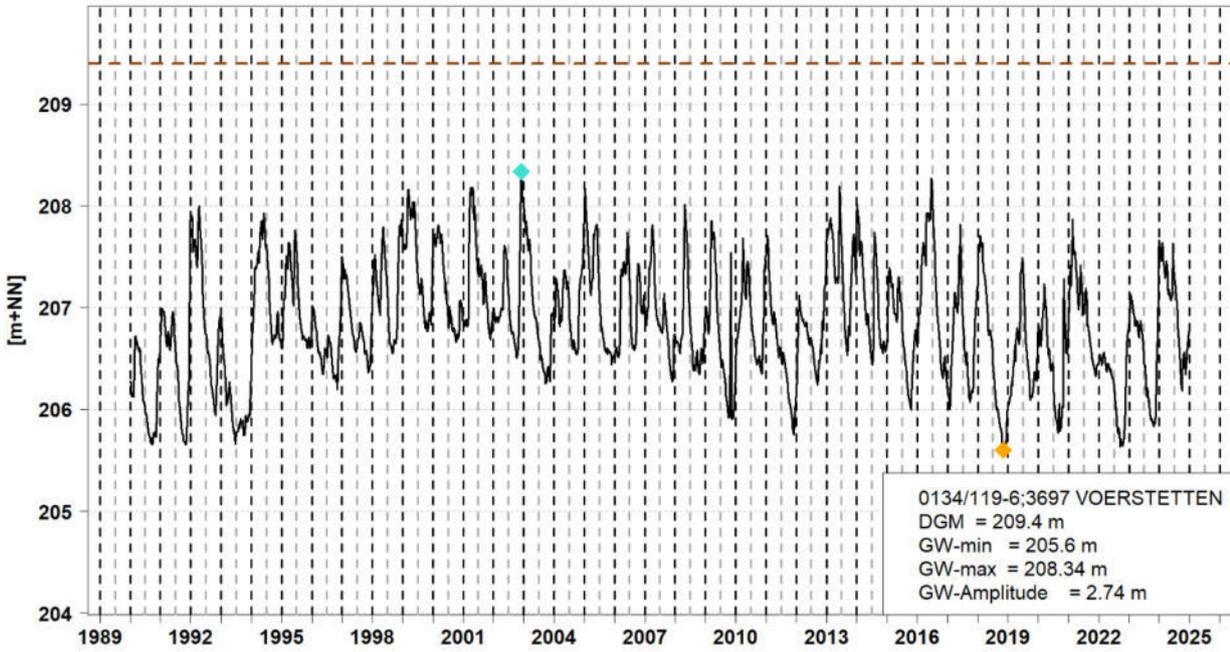
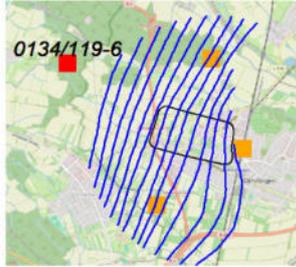
8 Anhang

8.1 Grundwassermessstellen

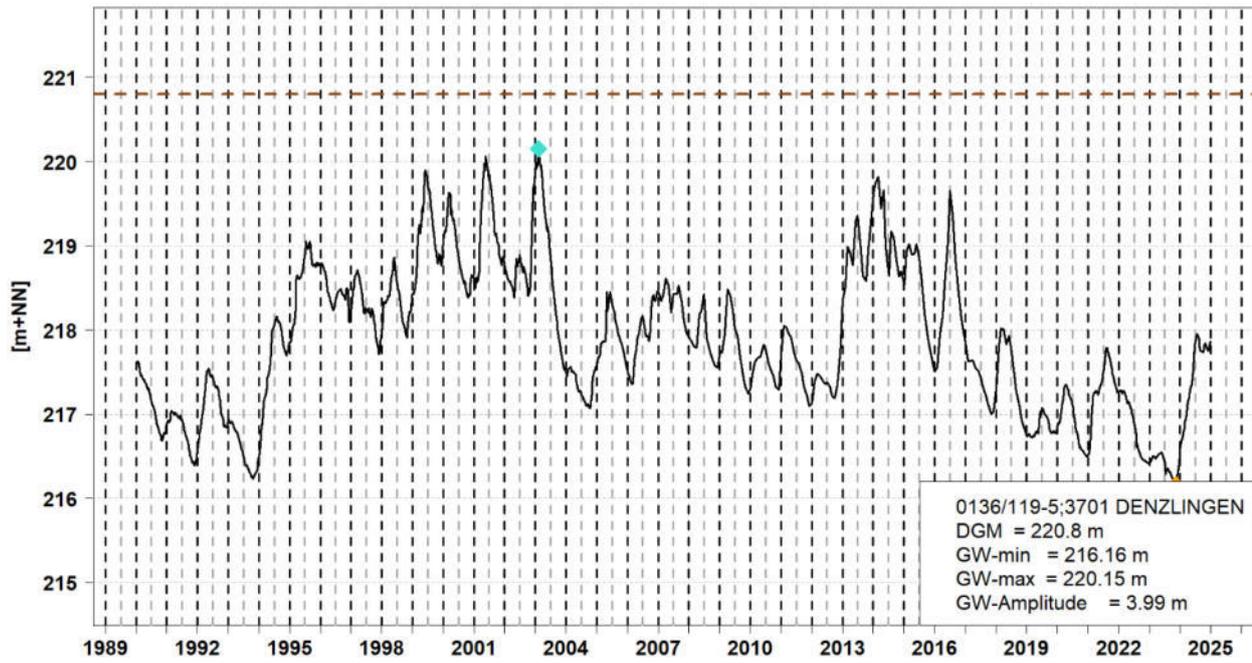
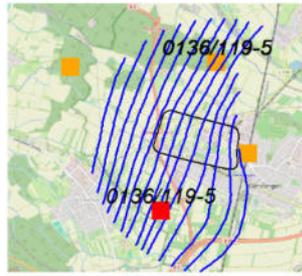
a.) Messzeitreihe der Grundwassermessstelle 0102/119-0



b.) Messzeitreihe der Grundwassermessstelle 0134/119-6



c.) Messzeitreihe der Grundwassermessstelle 0136/119-5



d.) Messzeitreihe der Grundwassermessstelle 0139/119-9

