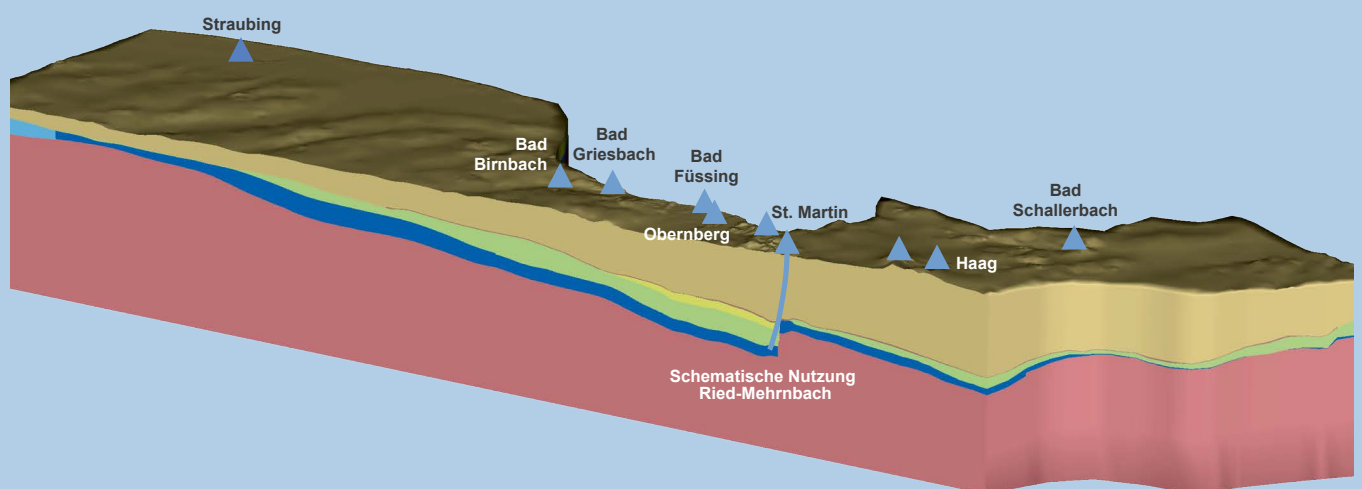


Das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken

Hydrogeologisches Modell
und numerisches Thermalwassermodell



Das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken

Hydrogeologisches Modell
und numerisches Thermalwassermodell
erstellt im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission
nach dem Regensburger Vertrag

Kurzbericht

Impressum

Das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken

Herausgeber und Auftraggeber des Projektes:

Expertengruppe Thermalwasser, im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag, vertreten durch:

- Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz | Tel.: (+43 732) 7720-14550 | E-Mail: uwd.post@ooe.gv.at
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg | Tel.: (+49 821) 9071-0 | E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Sektion Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien | Tel.: (+43 1) 71100-607100 | E-Mail: office@bml.gv.at

Konzept/Text:

- ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich | Magdalena Bottig, Stefan Hoyer, Gerhard Schubert | Rohfassung des Auftragnehmers
- Expertengruppe Thermalwasser | Andreas Graf, Franko Humer, Christoph Kolmer, Michael Lunz, Michael Samek, Emilio Sánchez, Christian Schrott, Kathleen de Vries | Endfassung

Endredaktion:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Bildnachweis:

ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich: Fachdaten zu allen Tabellen und Abbildungen, Titelbild

Kartenabbildungen:

Kartografie: Bayerisches Landesamt für Umwelt

- Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
- Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), www.bkg.bund.de

Download:

www.land-oberoesterreich.gv.at/publikationen

www.lfu.bayern.de/wasser/thermische_nutzung/thermalwassernutzung

<https://info.bml.gv.at/service/publikationen>

Druck:

bonitasprint GmbH, Max-von-Laue-Str. 31, 97080 Würzburg

Stand:

September 2024

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Anlass und Zielsetzung | 4 |
| 2 | Untersuchungsgebiet und Datengrundlage | 5 |
| 3 | Erschließungsgeschichte und aktuelle Nutzung des Thermalwasservorkommens | 5 |
| 4 | Hydrogeologisches Modell | 9 |
| 4.1 | Regional- und Strukturgeologie | 9 |
| 4.2 | Hydrogeologische Einheiten | 11 |
| 4.3 | Temperaturverhältnisse | 14 |
| 4.4 | Hydrochemie und Isotopenhydrologie | 15 |
| 4.5 | Potentiale und Strömungsverhältnisse im Thermalgrundwasserleiter | 16 |
| 4.6 | Thermalwasser-Bilanzierung | 17 |
| 4.7 | Neuerkenntnisse des vorliegenden hydrogeologischen Modells | 20 |
| 5 | Numerisches Thermalwassermodell | 21 |
| 5.1 | Zielsetzung und Modellbeschreibung | 21 |
| 5.2 | Modellaufbau | 22 |
| 5.3 | Kalibrierung und Sensitivitätsanalyse | 23 |
| 5.4 | Strömungsverhältnisse | 26 |
| 5.5 | Thermalwasser-Bilanzierung | 27 |
| 5.6 | Prognoseberechnungen | 30 |
| 5.7 | Modellgenauigkeit und Anwendungsbereich | 31 |
| 5.8 | Erkenntnisse aus der numerischen Modellierung | 32 |
| 5.9 | Modellanwendung | 32 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 33 |
| 7 | Glossar | 35 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 37 |
| 9 | Anlagenverzeichnis | 38 |

1 Anlass und Zielsetzung

Im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken erstreckt sich ein regional ausgedehntes und wasserwirtschaftlich bedeutendes Thermalwasservorkommen in den Karbonatgesteinen des Oberjura (Malmaquifer), welches von Regensburg bis in den Bereich westlich von Linz reicht. Dieses wird schon seit langem auf beiden Seiten der Staatsgrenze balneologisch als Heilwasser und für Badezwecke sowie geothermisch zur Energiegewinnung genutzt und stellt einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor für diese Region dar. Das Vorkommen ist daher von besonderer wasserwirtschaftlicher Bedeutung.

In den Jahren 1995 bis 1998 wurde im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag für dieses Thermalwasservorkommen ein hydrogeologisches Modell entwickelt und ein darauf aufbauendes 2D Thermalwasser-Strömungsmodell erstellt (Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler & Dr.-Ing. Gödecke, 1998). Dieses Modell ermöglichte die Erfassung der Grundwasserströmungsverhältnisse und eine Bilanzierung der Thermalwassermengen. Es stellte eine wesentliche Grundlage für die Bewirtschaftung des Thermalwasservorkommens dar und bildete eine bilateral anerkannte Beurteilungsgrundlage im Genehmigungs-/ Bewilligungsverfahren, um die Auswirkungen von geplanten Thermalwassernutzungen zu prognostizieren.

Im Jahr 2011 erfolgte im Bezirk Ried im Innkreis eine Neuerschließung des Thermalwasservorkommens zur geothermischen Nutzung in Form einer Dublette (Bohrungen Mehrnbach TH 1a und Mehrnbach TH 2). Die während eines Pump-/Reinjektionsversuchs und Probetriebs durchgeführten Messungen zeigten weitreichende Auswirkungen auf das Thermalwasservorkommen. Diese konnten aber mit dem 2D Thermalwasser-Strömungsmodell nicht annähernd abgebildet werden.

Diese Erkenntnis lieferte den Anlass die hydrogeologischen Modelldarstellungen neu zu entwickeln und darauf aufbauend ein neues numerisches Thermalwasser-Strömungsmodell zu erstellen. Dabei sollten alle seit 1998 erzielten hydrogeologischen Erkenntnisse und erhobenen Messdaten zum niederbayerisch-oberösterreichischen Thermalwasservorkommen berücksichtigt werden.

Im Jahr 2017 wurde von der Expertengruppe Thermalwasser das Projekt „Erstellung eines 3D Thermalwasser-Strömungsmodells im niederbayerisch – oberösterreichischen Molassebecken“ beauftragt. Das Projekt wurde von einer ARGE, bestehend aus GeoSphere Austria (vormals Geologische Bundesanstalt), Erdwerk GmbH, Montanuniversität Leoben, RAG Austria AG (vormals RAG Rohölaufsuchungs Aktiengesellschaft) und Technischer Universität München, durchgeführt. Die Projektdurchführung wurde von der Expertengruppe Thermalwasser und von einer wissenschaftlichen Projektbegleitung fachlich begleitet.

Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen sind in dem von der ARGE 2024 erstellten Endbericht dargestellt.

Generelles Ziel des Projekts war die Erstellung eines bilateral abgestimmten Instruments zur Planung und Beurteilung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen. Damit sollte ein weiterer Beitrag zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung des begrenzten Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken geleistet werden. Das zu erstellende 3D Thermalwassermodell sollte insbesondere für folgende Zielsetzungen eingesetzt werden können:

- Erfassung der Grundwasserströmungsverhältnisse im Thermalwasseraquifer und Bilanzierung des Thermalwasservorkommens
- Bewertung der hydraulischen Auswirkungen von Thermalwassernutzungen auf das Thermalwasservorkommen und auf andere Nutzungen
- Bewertung und Optimierung der bilateralen Bewirtschaftungsstrategie des Thermalwasservorkommens

2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet erfasst das gesamte Alpenvorland zwischen München und Enns sowie die angrenzenden Bereiche der Böhmisches Masse und der Alpen.

Im Untersuchungsgebiet wurden anhand hydrogeologischer Gesichtspunkte die Grenzen für das Thermalwassermodell (Modellraum) ausgewiesen. Das Modellgebiet umfasst einen etwa 180 km langen, im Westen 50 km und im Osten 20 km breiten Streifen, der im Norden durch den Donaurandbruch, den Pockinger Abbruch und den Sauwald sowie im Süden durch das Landshut-Neuöttinger-Hoch und die anschließende Zentrale Schwellenzone begrenzt wird (Anlage 1).

Als Datengrundlage für die Ausarbeitungen wurden Informationen aus 138 Fachpublikationen und unveröffentlichten Berichten sowie die Ergebnisse der Auswertungen von 1.449 Bohrungen, von denen 231 Bohrungen Teufen von mehr als 2.000 m erreichen, einbezogen. Darüber hinaus wurden umfangreiche Daten aus den Datenbanken des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung für die Bearbeitungen berücksichtigt. Weiters standen von der RAG Austria AG die Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen und Testergebnisse zum Thermalgrundwasserleiter für die Interpretation der geologischen Strukturen zur Verfügung.

3 Erschließungsgeschichte und aktuelle Nutzung des Thermalwasservorkommens

Die Erschließungsgeschichte des niederbayerisch-oberösterreichischen Thermalgrundwasserleiters zeigt den engen Zusammenhang der Kohlenwasserstoffexploration mit der Thermalwasserförderung. Die derzeitigen Erschließungen des Thermalwasservorkommens als Ergebnis verschiedener Nutzungsinteressen sind in Abbildung 1 als Übersichtskarte dargestellt. Ausgehend von der ersten Bohrung in Bad Schallerbach gibt Abbildung 2 die Erschließungsgeschichte des Thermalwasservorkommens in Form einer Timeline (Zeitlinie) wieder. Konkrete Kenndaten zu den einzelnen Thermalwasseranlagen/ -bohrungen und Messstellen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die systematische Suche nach Kohlenwasserstoffen führte 1918 zum erstmaligen Aufschließen von Thermalwasser in Bad Schallerbach. Der artesischer Überlauf betrug mehr als 60 l/s. Nach der Anerkennung als Heilquelle begann 1922 der Badebetrieb.

Von 1937 bis 1938 wurde die Erdölbohrung Füssing 1 niedergebracht. Statt des erhofften Erdöls stieß man auf einen Thermalgrundwasserleiter, dessen Ergiebigkeit zum damaligen Zeitpunkt mit einem Druck von 3,9 bar und einem artesischen Überlauf von 12,5 l/s beschrieben wurde. Im Zeitraum der nachfolgenden Nutzung seit 1947 verminderte sich der Druck stetig, wozu auch die weitere Gewinnung von Thermalwasser – insbesondere zu balneologischen Zwecken – im Umfeld maßgeblich beitrug. So wurden zwischen 1960 und 1980 in Bad Füssing, Bad Birnbach und Bad Griesbach weitere Bohrungen zur balneologischen Thermalwassernutzung abgeteuft. Im Jahr 1969 wurde Füssing der Titel „Bad“ verliehen. Griesbach erlangte 1979 die Anerkennung als Heilquellenkurbetrieb und in Birnbach folgte 1987 die Anerkennung als „Heilbad“.

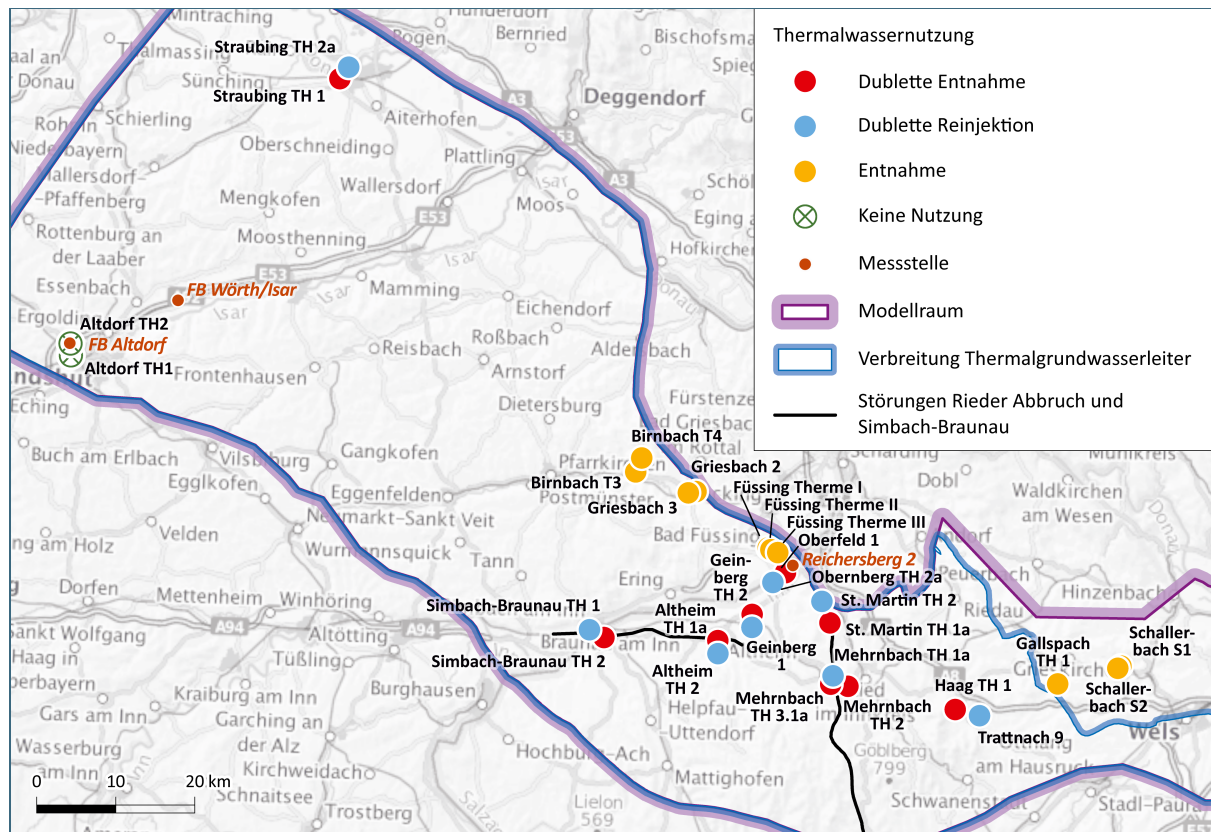


Abbildung 1: Lage der Thermalwassernutzungen und Messstellen im Modellgebiet.
 Fachdaten: ARGE, Geobasisdaten: BKG

Der Wissensstand zu den geologischen Verhältnissen im tieferen Untergrund des Molassebeckens nahm durch die Intensivierung der Kohlenwasserstoffexploration in den Nachkriegsjahren stetig zu.

Mit der Kohlenwasserstoff-Bohrung Geinberg 1 wurde das Thermalgrundwasservorkommen 1982 erstmals geothermisch genutzt. 1989 folgte eine weitere Geothermieanlage in Altheim. Beide Anlagen reinjizierten das geothermisch genutzte Thermalwasser anfangs nicht. Dies führte zu weiteren Druckabsenkungen im Zentralraum. Die ab 1998 durchgeführte Reinjektion in den Entnahmehorizont in Form einer Dublette führte zu einer Stabilisierung der Druckverhältnisse. In den folgenden Jahren wurden weitere Dubletten zur geothermischen Nutzung in Straubing, Haag, Obernberg, St. Martin und Simbach-Braunau errichtet.

Die verpflichtende Rückgabe geothermisch genutzten Thermalwassers in den Entnahmehorizont wurde 2002 in den Grundsatzpapieren zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken festgelegt (Ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ 2002). Die Grundsatzpapiere wurden im Jahr 2012 von der Expertengruppe Thermalwasser im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag aktualisiert (Expertengruppe Thermalwasser 2012 und 2018).

Die geothermische Nutzung wurde 2011 mit der Geothermieanlage Ried-Mehrnbach weiterentwickelt. Mit je einer Bohrung auf der Hoch- und der Tiefscholle am Rieder Abbruch sollte die Grundlage für die Versorgung der Stadt Ried im Innkreis mit geothermischer Energie geschaffen werden. Bereits die wasserwirtschaftlichen Versuche an dieser Geothermie-Dublette zeigten weitreichende Druckveränderungen im Thermalgrundwasserleiter. Somit belegten diese, dass der Rieder Abbruch eine hydraulische Grenze zwischen den beiden Aquifer-Bereichen der Hoch- und der Tiefscholle darstellt. Mit

Errichtung einer weiteren Bohrung in der Tiefscholle wurde die Nutzung auf diesen Aquifer-Bereich beschränkt und die Auswirkungen auf das hydraulische System im Sinne eines nachhaltigen Dublettenbetriebes minimiert.

Auf deutscher Seite wurden im Zeitraum 1984 bis 2003 weitere Bohrungen, vorrangig zu Forschungszwecken, abgeteuft.

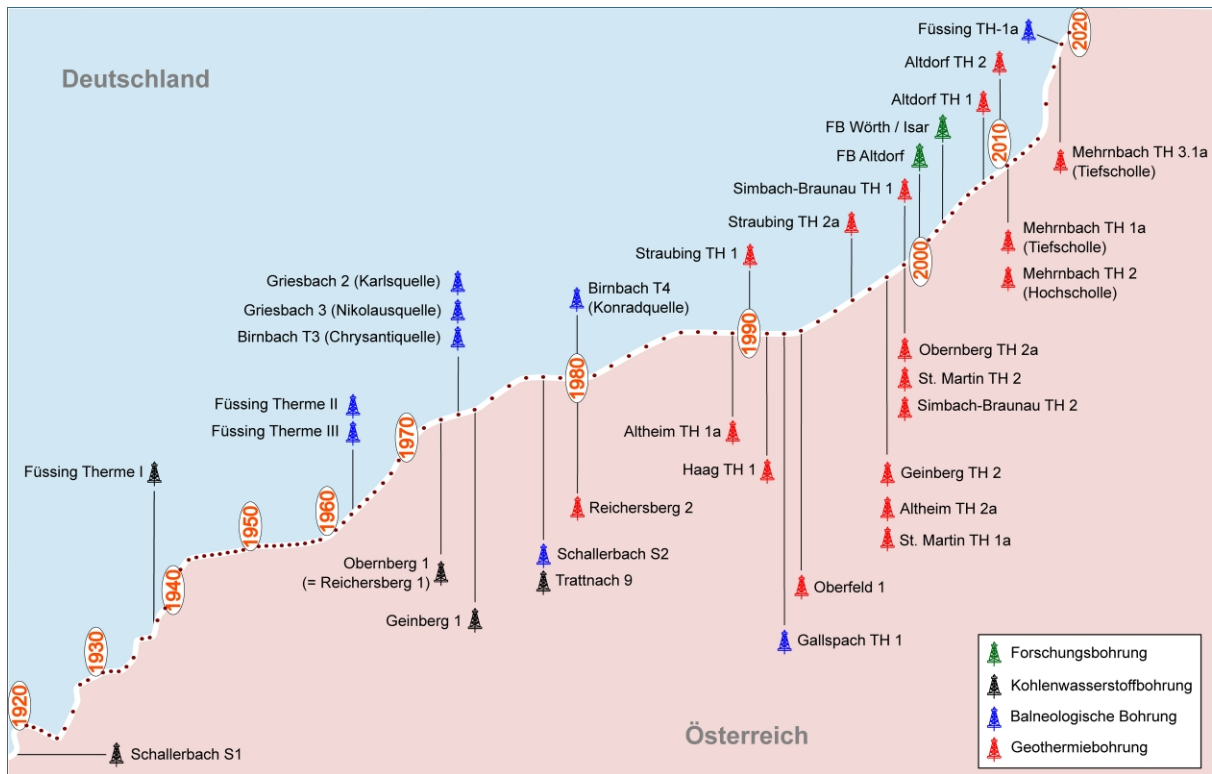


Abbildung 2: Timeline zur Erschließungsgeschichte des Thermalwasservorkommens im Grenzgebiet zwischen Niederbayern und Oberösterreich.

Der Verlauf der Zeitlinie, welche durch einen stilisierten Ausschnitt der deutsch-österreichischen Grenze abgebildet wurde, ist nicht linear, sondern im Zeitraum erhöhter Aktivität gedehnt. Die Bohrungssymbolik spiegelt den ursprünglichen Erschließungszweck wieder. Für eine Aufstellung der aktuellen Verwendung der einzelnen Bohrungen wird auf Tabelle 1 oder Abbildung 1 verwiesen.

Anlage 14 zeigt eine Kartendarstellung der Entnahmemengen exemplarisch für das Jahr 2016. Die Entwicklung der Entnahme- und Reinjektionsmengen der Thermalwassernutzungen ist in der Anlage 15 A dargestellt. Anlage 15 B zeigt die Nettoentnahmen der Thermalwassernutzungen im Zentralraum sowie die Entwicklung der Potentiale bzw. Schließdrücke ausgewählter Bohrungen. Unter der Nettoentnahme wird bei einer Geothermie-Dublette der Differenzbetrag zwischen der Förder- und Reinjektionsrate verstanden.

Tabelle 1: Kenndaten zu den Thermalwasseranlagen und Messstellen

| Region | Anlage | Bohrung | Bohrjahr | Aquifer | Top Malm / (Reservoir) [m NN] | Endteufe MD [m u. GOK] | Reservoirtemperatur [°C] | Nutzungsart | Entnahme / Reinjektion | tatsächl. Entnahme-/Reinjektionsmenge in 2016 [m ³] | Ø Volumenstrom in 2016 [l/s] |
|----------------------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|------------------------|---|------------------------------|
| OÖ | Altheim | Altheim TH 1a | 1989 | jw | -1.791 | 2.472 | 107 | G | E | 1.522.176 | 48,3 |
| | | Altheim TH 2a | 1998 | jw | -1.789 | 3.078 | 107 | | R | -1.522.176 | -48,3 |
| BY | Bad Birnbach | Birnbach T3 (Chrysanti-Quelle) | 1973 | jw | -1.046 | 1.618 | 70 | B | E | 84.672 | 2,7 |
| | | Birnbach T4 (Konrad-Quelle) | 1980 | jw | -932 | 1.362 | 67 | | E | 174.070 | 5,5 |
| BY | Bad Füssing | Füssing TH-1a | 2018 | jw | -599 | 1.212 | 46 | B | E | 0 | 0 |
| | | Füssing Therme I | 1938 | jw | -591 | 1.142 | 61 | | E | 414.547 | 13,1 |
| | | Füssing Therme II (Europa Therme) | 1964 | jw | -648 | 979 | 54 | | E | 300.567 | 9,5 |
| | | Füssing Therme III (Johannesbad) | 1964 | jw | -724 | 1.061 | 53 | | E | 304.129 | 9,6 |
| BY | Bad Griesbach | Griesbach 2 (Karlsquelle) | 1973 | Uma | (-142) | 480 | 32 | B | E | 39.621 | 1,3 |
| | | Griesbach 3 (Nikolausquelle) | 1973 | jw | -1.061 | 1.522 | 62 | | E | 106.331 | 3,4 |
| OÖ | Bad Schallerbach | Schallerbach S 1 | 1918 | UMj | (-155) | 479 | 38 | B | E | 0 | 0 |
| | | Schallerbach S 2 | 1978 | UMa | (-240) | 715 | 41 | | E | 357.850 | 11,3 |
| OÖ | Gallspach | Gallspach TH 1 | 1992 | eol kro | (-543) | 930 | 51 | B GWM | E | 210 | 0,01 |
| OÖ | Geinberg | Geinberg 1 | 1974 | jw | -1.750 | 2.167 | 117 | G | R | -1.139.305 | -36,1 |
| | | Geinberg TH 2 | 1998 | jw | -1.747 | 3.155 | 109 | B | E | 1.197.940 | 38,0 |
| OÖ | Haag | Haag TH 1 | 1991 | kro jw jm | -1.318 | 2.056 | 89 | G | E | 232.080 | 7,4 |
| | | Trattnach 9 | 1978 | jw | -1.144 | 1.650 | 61 | | R | -232.080 | -7,4 |
| OÖ | Ried-Mehrnbach | Mehrnbach TH 1a | 2011 | jw | -1.883 | 2.660 | 106 | G | R | -1.566.933 | -49,7 |
| | | Mehrnbach TH 2 | 2011 | jw | -1.233 | 2.360 | 86 | | E | 1.566.933 | 49,7 |
| | | Mehrnbach TH 3.1a | 2019 | jw | -1.891 | 2.592 | 105 | | E | 0 | 0 |
| OÖ | Reichersberg 1 | Obernberg 1 (Reichersberg 1, RAG) | 1972 | jw | -1.316 | 1.850 | 80 | B | E | 0 | 0 |
| | | Oberberg | Oberfeld 1 | 1994 | jw | -1.188 | 1.560 | 86 | G | E | 248.578 |
| | Obernberg TH 2a | | 1999 | jw | -1.432 | 2.025 | 80 | R | | -248.578 | -7,9 |
| BY OÖ | Simbach-Braunau | Simbach-Braunau TH 1 | 1999 | jw | -1.390 | 1.848 | 77 | G | R | -2.477.436 | -78,6 |
| Simbach-Braunau TH 2 | 1999 | jw | -1.558 | 3.203 | 81 | E | 2.477.436 | | 78,6 | | |
| OÖ | St. Martin | St. Martin TH 1a | 1998 | jw | -1.501 | 2.214 | 92 | G | E | 714.439 | 22,7 |
| | | St. Martin TH 2 | 1999 | jw | -1.391 | 2.143 | 90 | | R | -714.439 | -22,7 |
| BY | Straubing | Straubing TH 1 | 1990 | jw | -381 | 825 | 36 | G | E | 225.976 | 7,2 |
| | | Straubing TH 2a | 1996 | jw | -401 | 1.087 | 37 | B | R | -205.439 | -6,5 |
| BY | Altdorf | Altdorf TH 1 | 2008 | jw | -43 | 611 | 62 | G | ng | 0 | 0 |
| | | Altdorf TH 2 | 2012 | jw | 3 | 780 | 60 | | | 0 | 0 |
| BY | | FB Altdorf | 2000 | jw | 6 | 796 | 51 | GWM | - | 0 | 0 |
| OÖ | | Reichersberg 2 | 1980 | jw | -1.115 | 1.630 | 78 | GWM | - | 0 | 0 |
| BY | | FB Wörth / Isar | 2003 | jw | 100 | 537 | 25 | GWM | - | 0 | 0 |

Abkürzungen:
Nutzungsart: G = Geothermie | B = Balneologie | GWM = Grundwassermessstelle | ng = bisher nicht genutzt
Aquifer: Uma = Rupelium | Umj = Egerium | eol = Eozän | kro = Obere Kreide | jw = Oberer Jura (Malm) | jm = Mittlerer Jura (Dogger)
Einheiten: [m NN] = Meter über Normalnull | [m u. GOK] = Meter unter Geländeoberkante | MD = measured depth bzw. gemessene Tiefe der Bohrung

4 Hydrogeologisches Modell

Im hydrogeologischen Modell fließen die Geometrie der geologischen Einheiten sowie die hydraulischen Eigenschaften und im vorliegenden Fall auch die thermischen Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten ein. Es beschreibt weiters die Potentiale und Strömungsverhältnisse des Grundwassers, seine Beschaffenheit und Verweilzeit sowie sämtliche Randbedingungen und eine vorläufige Grundwasserbilanz. Die Randbedingungen umfassen im Fall des Thermalwassers seine Grundwassererneuerung bzw. vertikale Zusickerung (Recharge) und vertikale Aussickerung (Discharge), die Randzuflüsse und Randabflüsse sowie die Entnahmen und Reinjektionen.

Die räumliche Strukturierung basiert dabei auf einem geologischen 3D-Strukturmodell, welches im Vorfeld zum hydrogeologischen Modell erstellt wurde. Darin wurden die im Modellraum vorkommenden geologischen Einheiten von den räumlichen, stratigraphischen Schichtgrenzen sowie Strukturelementen bzw. Störungen definiert und in einem dreidimensionalen Modell dargestellt.

Das hydrogeologische Modell enthält damit sämtliche Vorgaben inklusive der vorläufigen Thermalwasserbilanz, welche für die Erstellung des numerischen Thermalwassermodells notwendig sind.

4.1 Regional- und Strukturgeologie

Betrachtet man die geologische Entwicklungsgeschichte des Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken, so spricht man von einem Zeitraum ausgehend vom Oberjura vor 161,5 bis 145 Mio. Jahren bis zum Beginn des Pliozäns vor ca. 5 Mio. Jahren.

Im Zeitraum des Oberjura (nachfolgend auch als Malm bezeichnet) erstreckte sich über den niederbayerischen und oberösterreichischen Anteil des Molassebeckens ein flaches Schelfmeer. In diesem wurden bis zu 600 m mächtige, helle Karbonatgesteine abgelagert, welche den Hauptteil des Thermalgrundwasserleiters bilden. Heute sind die Karbonatgesteine des Oberjura (Malm) in der Fränkischen Alb, nördlich der Donau, an der Oberfläche aufgeschlossen. In Richtung Südosten tauchen sie gemeinsam mit den anderen Sedimenten des Mesozoikums zunehmend unter Molasse-sedimente ab. In der Gegend von Vöcklabruck befindet sich die Oberkante der Malmkarbonate daher bereits mehr als 2.000 m unter dem Meeresniveau. Einen Überblick über die Verbreitung der Malmkarbonate gibt die Kartendarstellung in Abbildung 3 und ein Profilschnitt in Abbildung 4.

Die Malmkarbonate sind dabei in zwei unterschiedliche Faziestypen zu unterscheiden, welche für die Wasserführung im Thermalgrundwasserleiter eine wesentliche Rolle spielen: Einerseits treten in Senkungsgebieten (Wannen) und Lagunen bevorzugt Bankkalke auf („Lagunenfazies“). Andererseits kommt es zur weiträumigen Entwicklung von typisch massigen Kalken, die als Gerüstbildner bevorzugt Schwämme, aber auch Korallen und Algen beinhalten. Diese massigen Kalke bilden im Südwesten des Modellgebiets entlang des Landshut-Neuöttinger-Hochs einen großflächig verkarsteten und besonders gut durchlässigen Anteil des Thermalgrundwasserleiters („Rifffazies“).

Während der Oberkreide bis ins Paläozän hinein kam es zu tektonischen Bewegungen an NW-SE bis NNW-SSE gerichteten Störungen. Bei diesen handelt es sich größtenteils um eine Reaktivierung von älteren Störungen. Im Zuge dieses Ereignisses wurden im Modellgebiet der Braunauer Trog, das Ried-Schwanenstädter Becken und das Bad Haller Becken voneinander getrennt. In den Anlagen 1 bis 9 sind diese Störungen wiedergegeben.

Teil dieses Störungssystems ist auch das wichtigste tektonische Element im Modellgebiet, der Rieder Abbruch bei St. Martin und Mehrnbach. Mit seinem enormen Höhenversatz (im Norden erreicht er eine Sprunghöhe von ca. 1.000 m) trennt er den Braunauer Trog vom Ried-Schwanenstädter Becken. Aufgrund des Höhenversatzes im Thermalgrundwasserleiter wird der Teil westlich des Rieder

Abbruchs als Tiefscholle, jener Teil östlich davon als Hochscholle bezeichnet. Er stellt dabei eine Begrenzung des Thermalgrundwasserleiters dar, welche lediglich von einem Teil des Thermalwassers südlich des Rieder Abbruchs in Richtung Hochscholle umflossen wird (vgl. Abbildung 3 und Anlage 13). Der Rieder Abbruch nimmt damit, wie neue Erkenntnisse zeigen, eine zentrale Rolle im niederbayerisch-oberösterreichischen Thermalwassersystem ein.

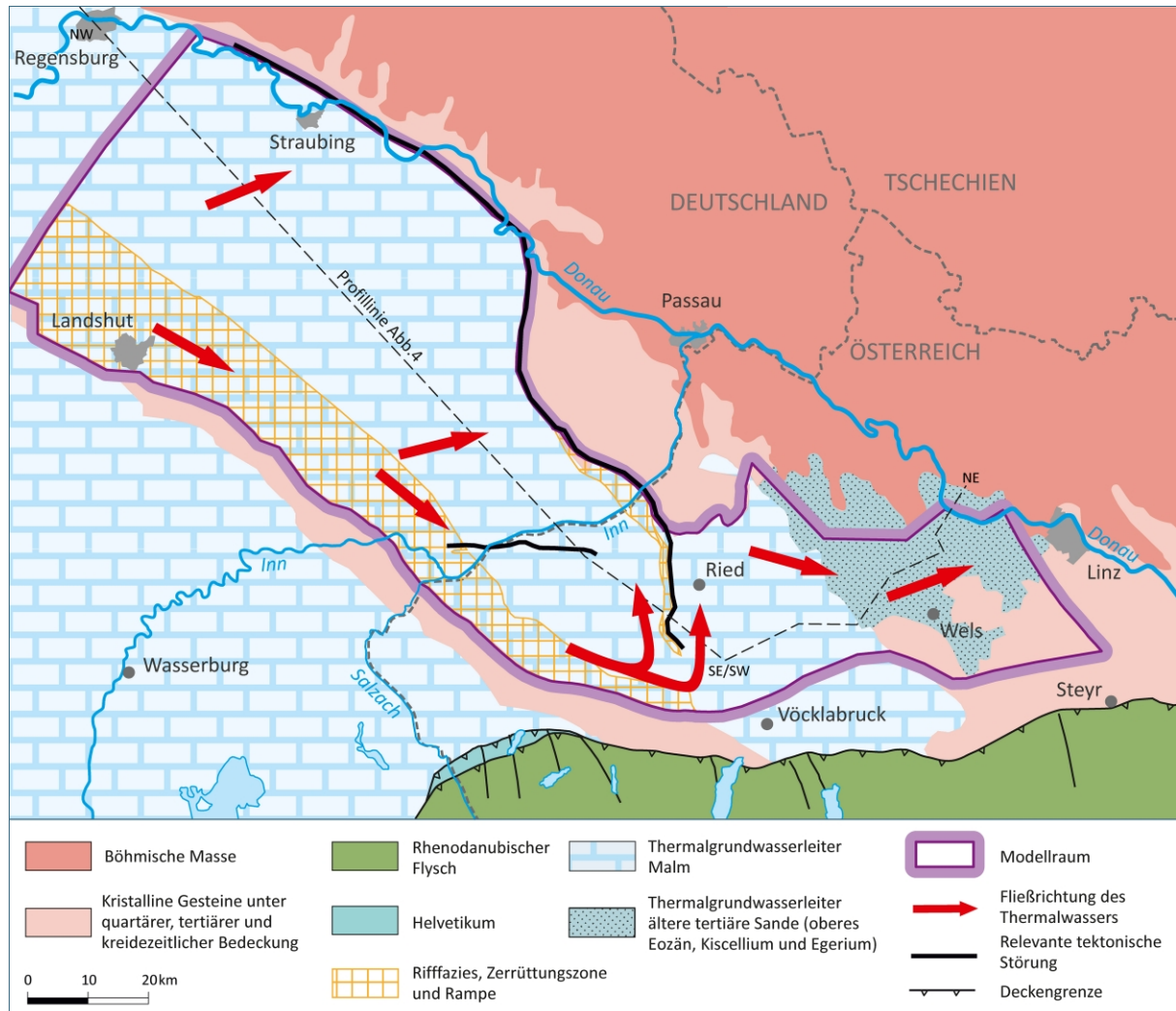


Abbildung 3: Geologischer Überblick zum Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken ohne kreidezeitliche, tertiäre und quartäre Überdeckung, verändert nach LfW (1999) und BMLF (1999), Fach- und Geobasisdaten: ARGE.

Der Thermalgrundwasserleiter besteht zum Großteil aus den Karbonaten des Oberjuras (Malm). Vor allem im Osten stehen grundwasserleitende ältere tertiäre Sande (Linzer Sande und andere) mit dem Malmaquifer im hydraulischen Kontakt, über die der Thermalgrundwasserleiter nach Osten hin schließlich aussickert.

Weitere wichtige Strukturelemente stellen die Zerrüttungszone entlang des Rieder Abbruchs sowie eine Rampenstruktur bei Bad Füssing bzw. Bad Griesbach dar. Bei der Zerrüttungszone handelt es sich um eine tektonisch gestörte Zone, welche stark erhöhte Wasserwegigkeiten aufweist. Entlang dieser Zone strömt ein wesentlicher Teil des Thermalwassers nach Norden und tritt dort auf die Rampe über.

Während die Malmkarbonate den Hauptteil des Thermalgrundwasserleiters darstellen, tragen auch weitere Einheiten zum Thermalwassersystem bei. Dazu zählen einerseits Sande des Mitteljuras (Dogger), welche gemeinsam mit dem Kristallin der Böhmisches Masse den Untergrund der

Malmkarbonate bilden. Andererseits wurden mit Beginn der Oberkreide über 1.000 m mächtige, überwiegend feinklastische Sedimente über den Malmkarbonaten abgelagert. Hervorzuheben sind dabei die bis zu 90 m mächtigen Sandsteine des Cenomanium. Diese sind hydraulisch gut an die Malmkarbonate angebunden und werden daher ebenfalls zum Thermalgrundwasserleiter gezählt.

Wesentlich für das Verständnis des Thermalwassersystems sind auch die sogenannten „älteren tertiären Sande“. Dabei handelt es sich um Sedimente, welche vorwiegend im Eozän, jedoch auch im Kiscellium und Egerium (Oligozän) als Beckenfüllung innerhalb des Molassebeckens abgelagert wurden. Wie in Abbildung 3 veranschaulicht, treten im östlichen Teil der Hochscholle keine Malmkarbonate mehr auf und die älteren tertiären Sande übernehmen hier zur Gänze die Funktion des Thermalgrundwasserleiters.

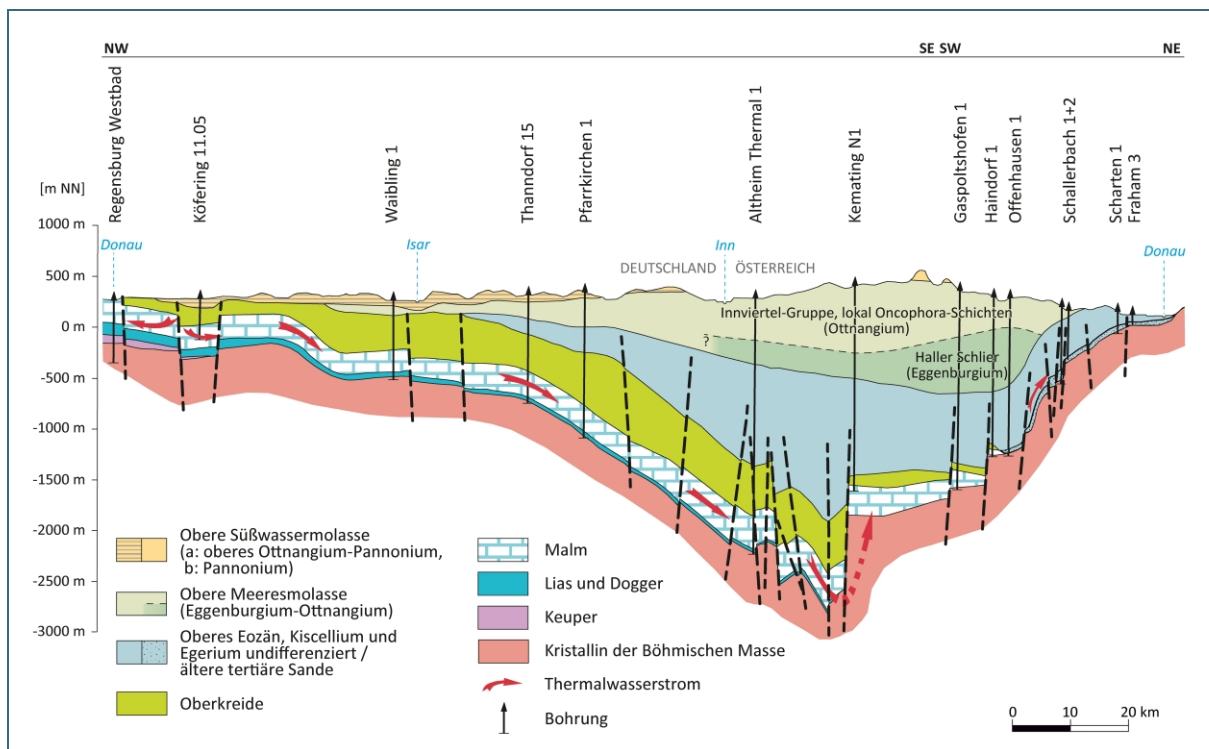


Abbildung 4: Geologischer Längsschnitt durch das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken, stark überhöht, verändert nach LfW (1999) und BMLF (1999).

Die Pfeile zeigen die Fließrichtung im Thermalgrundwasserleiter. Der im vorliegenden Längsschnitt den Thermalgrundwasserleiter durchtrennende Rieder Abbruch wird in den weiter südlich zusammenhängenden Malmkarbonaten umströmt (strichlierter Pfeil, projiziert, vgl. Abbildung 3). Das Thermalwasser der Malmkarbonate fließt im Osten über Sande des Kiscelliums und Egeriums (Linzer Sande und andere) in die Vorflut ab.

4.2 Hydrogeologische Einheiten

Die verschiedenen im Untersuchungsraum auftretenden Gesteine wurden zur Erstellung des hydrogeologischen Modells entsprechend ihrer hydraulischen Eigenschaften wie dem Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) und dem Speichervermögen sowie ihrer hydraulischen Funktion zu hydrostratigraphischen Einheiten zusammengefasst.

Das hydrogeologische Modell wird demnach aus folgenden hydrostratigraphischen Einheiten aufgebaut (vgl. Abbildung 5):

1. Das „Känozoikum undifferenziert“ umfasst die Sedimente des Quartärs sowie des Tertiärs ohne die eigens ausgewiesenen älteren tertiären Sande.
2. Die „älteren tertiären Sande“ betreffen die Sandhorizonte des Kiscelliums und Egeriums (Oligozän) sowie die im Süden angrenzenden Basissande und Lithothamnienkalke (oberes Eozän).
3. Die „Oberkreide undifferenziert“ besteht aus den Sedimentgesteinen der Oberkreide exklusive des Cenomaniums sowie der im Santonium und Campanium abgelagerten Schüttungen.
4. Das „Santonium und Campanium“ umfasst die in diesen Stufen der Oberkreide abgelagerten, teils sandreichen Schüttungen der Böhmisches Masse (früher auch als „Kristallinzersatz“ bezeichnet).
5. Der Thermalgrundwasserleiter im engeren Sinn besteht aus Sedimentgesteinen des
 - (a) Cenomaniums,
 - (b) Malms bzw. Oberjuras und
 - (c) Doggers bzw. Mitteljuras.
6. Die Einheit „Kristallin“ inkludiert lokal auch Sedimentgesteine des Permokarbons.

Anlage 7 und Anlage 8 zeigen beispielhaft die Verbreitung und Tiefenlage der hydrogeologisch wichtigen Horizonte „Oberkante Malm“ und „Oberkante ältere tertiäre Sande“.

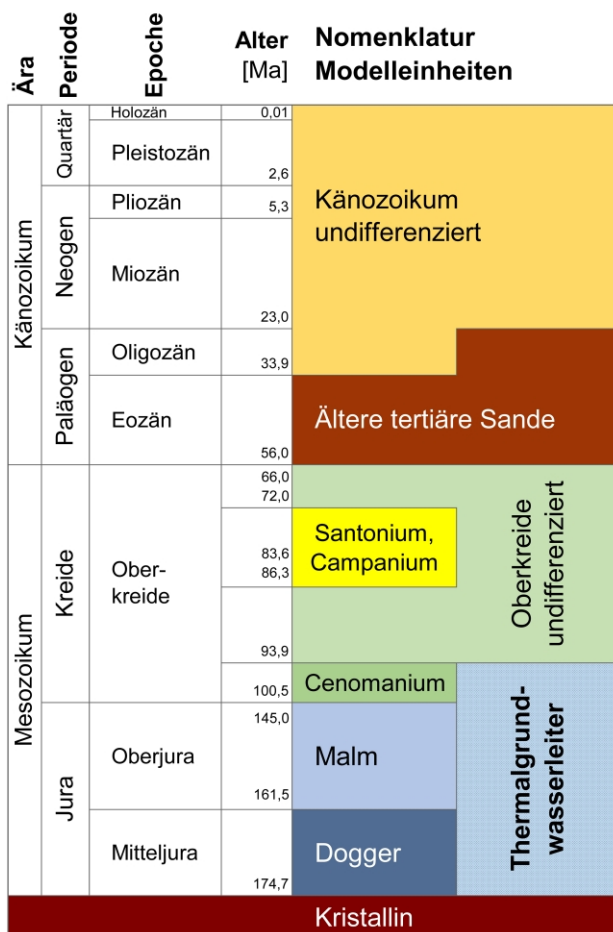


Abbildung 5: Hydrostratigraphische Einheiten im Modellgebiet.

Schichtlücken werden nicht dargestellt. Cenomanium, Malm und Dogger werden zur hydrostratigraphischen Einheit „Thermalgrundwasserleiter“ zusammengefasst. Bereichsweise übernehmen die älteren tertiären Sande dessen Funktion, so vor allem im Osten des Modellgebiets, wo kein Mesozoikum auf dem Kristallin zu liegen kommt (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

Die hydrostratigraphischen Einheiten „Kristallin“ und „Oberkreide undifferenziert“ sowie zu einem großen Teil auch das „Känozoikum undifferenziert“ (Abbildung 5) werden im hydrogeologischen Modell als wasserstauende Gesteine betrachtet. Während das „Kristallin“ die stauende Basis für den Thermalgrundwasserleiter bildet, übernehmen die vorwiegend aus feinklastischen Sedimenten bestehende „Oberkreide undifferenziert“ und das „Känozoikum undifferenziert“ die Funktion von Deckschichten.

Aufgrund ihrer bereichsweise höheren Permeabilitäten wird die Einheit des „Cenomaniums“ sowie das „Santonium und Campanium“ von den stauenden Sedimenten der „Oberkreide undifferenziert“ getrennt betrachtet. Das Cenomanium steht durchgehend mit dem Malm in Kontakt und bildet gemeinsam mit dem Ober- und Mitteljura (Malm und Dogger) den Thermalgrundwasserleiter. Ebenso werden die eozänen und oligozänen Sande (ältere tertiäre Sande) getrennt vom „Känozoikum undifferenziert“ als eigene grundwasserleitende hydrostratigraphische Einheit betrachtet (Abbildung 5).

Die an dem Thermalgrundwasserleiter angrenzenden und damit hydraulisch in Verbindung stehenden „älteren tertiären Sande“ spielen vor allem im Osten des Modellgebiets für den Thermalgrundwasserabfluss aus den Karbonaten des Malms eine wichtige Rolle: Im Gebiet nördlich von Wels – hier treten im Untergrund keine Malmkarbonate mehr auf – sickert das Thermalgrundwasser über die hier Zehnermeter mächtigen, unmittelbar auf dem kristallinen Grundgebirge liegenden obereozänen und oligozänen Sande weiter nach Osten in oberflächennahe Bereiche aus (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). Die älteren tertiären Sande übernehmen damit im Osten vollständig die Funktion als Thermalwassergrundwasserleiter (z. B. in Bad Schallerbach).

Auch unmittelbar nördlich des Landshut-Neuöttinger Hochs stehen Sedimente des oberen Eozäns mit dem Thermalgrundwasserleiter hydraulisch in Kontakt. Hier kann ebenfalls Thermalwasser aus den Malmkarbonaten in die hydrostratigraphische Einheit der älteren tertiären Sande übertreten und in der Folge dem Aussickerungs- bzw. Dischargegebiet im „Inn- und Rottal“ zufließen. Anhand des numerischen Thermalwassermodells ergab sich, dass unter den erwarteten Randbedingungen hier ein erheblicher Teil des Thermalwassers diesen Weg nimmt. Ebenso steigt über die Gesteine des Santoniums und Campaniums in den Dischargegebieten im „Gäuboden und Vilstal“ und im „Inn- und Rottal“ Thermalwasser in die Sedimente des Känozoikums auf (vgl. Profilschnitte in Anlagen 3 und 4 und Kartendarstellung in Anlage 16).

Im Nordwesten des Modellgebiets finden innerhalb des „Känozoikum undifferenziert“ mächtige, vorwiegend grobklastische, fluviatile bis limnische Sedimente weite Verbreitung. Zu diesen zählen die Nördlichen Vollsotter und die Ortenburger Schotter. Die Nördlichen Vollsotter sind ein wichtiger Aquifer im Zusickerungs- bzw. Rechargegebiet des Tertiären Hügellands. Ebenso bilden die Ortenburger Schotter im Untergrund des Gäubodens einen wichtigen Grundwasserleiter, in welchen aus dem Thermalgrundwasserleiter Wasser aussickert. Diese geologischen Einheiten wurden im geologischen 3D-Strukturmodell nicht implementiert, stattdessen wird ihnen im hydrogeologischen Modell über einen bereichsweise modifizierten k_f -Wert Rechnung getragen. Dasselbe trifft auch auf die besser wasserdurchlässigen Bereiche innerhalb der hydrostratigraphischen Einheit des Oberjura (Malm) zu.

Das hydraulische Vermögen eines Aquifers, Grundwasser zu leiten, wird als Durchlässigkeit bezeichnet und mit dem Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) beschrieben. Wesentlichen Einfluss auf die regional wirksame Durchlässigkeit eines Aquifers haben seine Porosität sowie die Ausbildung der Trennflächen (Klüfte) und der Grad der Verkarstung. Multipliziert man die Durchlässigkeit mit der Aquifermächtigkeit, so erhält man die Transmissivität, die eine wichtige Eigenschaft des Grundwasserleiters darstellt. In Tabelle 2 sind zu den wichtigsten Einheiten des Modellraums typische k_f -Werte aufgelistet.

Tabelle 2: Typische Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) der Thermalwasser führenden Gesteine im Modellgebiet (nach ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024).

| Gestein bzw. hydrostratigraphische Einheit | k_f -Wert (m/s) |
|--|--|
| Malmkarbonate (Malm) | $2,7 \cdot 10^{-7}$ bis $1,2 \cdot 10^{-2}$ Median $1,3 \cdot 10^{-5}$ |
| Cenomanium | $1,8 \cdot 10^{-7}$ bis $1,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Sandsteine des oberen Eozäns (= Teil der älteren tertiären Sande) | $1,0 \cdot 10^{-7}$ bis $5,0 \cdot 10^{-5}$ |
| Linz-Melk-Formation (Kiscellium bis Egerium) (= Teil der älteren tertiären Sande) | $5,0 \cdot 10^{-6}$ bis $7,0 \cdot 10^{-5}$ |

4.3 Temperaturverhältnisse

Im Allgemeinen hängt der Temperaturgradient wesentlich vom Wärmestrom aus der Tiefe, von der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine und vom Wärmetransport durch das Grundwasser ab. Weltweit ist im Durchschnitt von einer Temperaturzunahme mit der Tiefe im Ausmaß von etwa 3 °C pro 100 m auszugehen. Im gegenständlichen Thermalgrundwasserleiter ist in den meisten Thermalwasserbohrungen aber ein Temperaturgradient von über 4 °C pro 100 m zu verzeichnen, was auf aufsteigendes Thermalwasser zurückzuführen ist. Der höchste Temperaturgradient wird dabei in Altdorf bei Landshut verzeichnet, da hier Werte bis 12,5 °C pro 100 m erreicht werden. Dies ist auf einen Thermalwasserauftrieb aus der westlich des Landshut-Neuöttinger Hochs liegenden Wasserburger Senke zurückzuführen.

Hohe Temperaturgradienten sind auch im Raum Ried – Altheim – Bad Füssing zu verzeichnen. Hier betragen die für die einzelnen Thermalwasserbohrungen berechneten Maximalwerte 4,0 bis 5,0 °C pro 100 m. Auch die Temperaturgradienten in Bad Schallerbach (5,7 und 5,2 °C pro 100 m) und in Haag (bis 4,3 °C pro 100 m) zeigen auf, dass hier im Untergrund Thermalwasser zirkuliert (ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024).

Betrachtet man die im Thermalgrundwasserleiter gemessenen Temperaturen entlang der nach hydrogeologischer Modellvorstellung angenommenen Strömungslinien (siehe Anlage 10), so ist Folgendes zu beobachten: Im Rechargegebiet im Westen (Tertiäres Hügelland) beträgt die Temperatur des Thermalwassers etwa 22 °C (vgl. Bohrung Pfeffenhausen P2, Top Malm in 345 m Tiefe = m u. GOK). Bis zur Bohrung Straubing TH 1 im Dischargegebiet „Gäuboden und Vilstal“ steigt die Thermalwassertemperatur auf über 35 °C an (Top Malm in 708 m Tiefe). Der Temperaturzuwachs von Pfeffenhausen P2 in Richtung Südosten, also entlang des Fließpfades auf der Nordseite des Landshut-Neuöttinger Hochs, ist aufgrund der hier erreichten Tiefen noch höher. In der Bohrung Schwand 1 wurde bei einem Test eine Wassertemperatur von bereits 75 °C gemessen (Top Malm in 1.893,7 m Tiefe). Noch weiter südöstlich in der Bohrung Mauern 1 wies das getestete Thermalwasser eine Temperatur von 104 °C auf (Top Malm in 2.822,5 m Tiefe).

Nach der hydrogeologischen Modellvorstellung bilden sich am wesentlichen strukturellen Merkmal des Modellgebietes, dem Rieder Abbruch, zwei getrennte Strömungsäste aus (siehe Anlage 10).

Der westliche Strömungsast bewegt sich innerhalb der Tiefscholle des Rieder Abbruchs nach Norden in Richtung der Rampenstruktur bei Bad Füssing. Entlang dieses Aufstiegspfades gestalten sich die Temperaturverhältnisse wie folgt: Das in Mehrnbach TH 1a erschlossene Wasser weist eine Temperatur von etwa 100 °C auf (Top Malm in 2.354 m Tiefe). Eine ähnlich hohe Temperatur weist auch das Thermalwasser in Altheim TH 1a auf (Top Malm bereits in 2.144 m Tiefe). In den hohen Wassertemperaturen von Mehrnbach TH 1a und Altheim TH 1a zeigt sich die Auswirkung des Thermalwasseraufstiegs aus Richtung Mauern 1, da diese für die vorliegende Tiefe außergewöhnlich hoch sind. Noch weiter im Norden, in Füssing Therme I, beträgt die Auslauftemperatur etwa 60 °C (Top Malm in 915 m

Tiefe). Hier macht sich eine Abkühlung aufgrund der geringeren Tiefe bemerkbar, wenngleich die Temperatur im Verhältnis zur Tiefe weiterhin sehr hoch ist.

Das Thermalwasser, welches südlich des Rieder Abbruchs auf die Hochscholle des Thermalgrundwasserleiters übertritt, bildet den östlichen Strömungsast. Dabei steigt Thermalwasser östlich des Rieder Abbruchs in der Hochscholle nach Norden auf und strömt weiter nach Osten in Richtung Bad Schallerbach, Eferding und Wels. Diesem Thermalwasser mischt sich im Norden ein vom Sauwald kommendes, kühleres Tiefengrundwasser zu (siehe Anlage 10). Entlang des östlich des Rieder Abbruchs aufsteigenden Strömungsastes sind folgende Temperaturverhältnisse zu beobachten: Die auf der Hochscholle gelegene Bohrung Mehrnbach TH 2 weist eine Temperatur von etwa 85 °C auf (Top Malm in 1.704 m Tiefe). Ähnliche Temperaturen werden weiter im Osten an der Bohrung Haag TH 1 mit knapp 90 °C gemessen (Top Malm in 1.883 m Tiefe).

Weiter im Osten, in den Bohrungen Schallerbach S1 und Schallerbach S2 liegen mit ca. 37 °C (S1) bzw. ca. 40 °C (S2) deutlich niedrigere Temperaturen vor. An diesen beiden Bohrungen werden Thermalwasser führende oligozäne Sande bereits in Tiefen von 460 m (S1) bzw. 570,6 m (S2) angetroffen. Die relativ niedrigen Temperaturen in Bad Schallerbach sind jedoch nicht nur auf die geringere Tiefe zurückzuführen, sondern auch das Resultat der erwähnten Beimengung an kühlerem Tiefengrundwasser vom Sauwald. Dieses wird durch die Bohrung Raab TH 1 in oligozänen Sanden erschlossen, die ab einer Tiefe von 310 m anzutreffen sind und eine Wassertemperatur von ca. 20 °C aufweisen.

In Anlage 10 werden zum Thermalgrundwasserleiter sowohl die gemessene Temperatur in °C als auch der berechnete Temperaturgradient im Reservoir in K/100 m (= Temperaturzunahme von der Oberfläche bis zum Reservoir, dividiert durch die Tiefe des Reservoirs, mal 100) dargestellt.

4.4 Hydrochemie und Isotopenhydrologie

Der chemische Lösungsinhalt des Thermalwassers unterliegt entlang des Fließpfades durch den Thermalgrundwasserleiter vor allem folgenden zwei Veränderungen: (1) Mit zunehmender Verweilzeit im Untergrund werden die Erdalkalien Calcium und Magnesium gegen Natrium ausgetauscht. (2) Dem Thermalwasser kann sich lokal ein, wenn auch sehr geringer, Anteil an Formationswasser zumischen, was sich ebenfalls in einer Erhöhung des Natrium- und Chloridgehaltes äußert.

Anhand der hydrochemischen Daten können diese Effekte gut nachvollzogen werden. Während im Tertiären Hügelland bei Pfeffenhausen der Lösungsinhalt ca. 0,7 g/l beträgt, liegt dieser im übrigen Thermalgrundwasserleiter zumeist bei 1,0 bis 1,3 g/l (vgl. Anlage 11 mit Darstellung zum Haupt-Lösungsinhalt und mit Angabe der Kationensumme in meq/l).

Eine besondere Situation stellt sich im Bereich der Hochscholle östlich der Rieder Abbruchs ein. Dort kommt es zu einer Mischung sehr gering mineralisierter Wässer aus dem Sauwald mit jenen Thermalwässern, welche aus den tief gelegenen Malmkarbonaten südlich des Rieder Abbruchs auf die Hochscholle einströmen. Dabei strömt südlich des Sauwalds, im Bereich Schärding – Peuerbach – Waitzenkirchen, ein Teil des hier in den tertiären Sedimenten versickernden Tiefengrundwassers dem aus den Malmkarbonaten kommenden Thermalwasserzufluss zu. Ein Beispiel für die gering mineralisierten Wässer liefert die Bohrung Raab TH 1 (Gesamtlösungsinhalt 0,3 g/l). In Bad Schallerbach (Gesamtlösungsinhalt 0,5 g/l bis 1,1 g/l) mischt sich dieses gering mineralisierte Wasser mit dem aus den Malmkarbonaten aufsteigenden, stärker mineralisierten Thermalwasser. Eine chemische Mischungsrechnung ergab, dass in Bad Schallerbach im Durchschnitt etwa zwei Drittel des geförderten Thermalwassers aus dem Einzugsgebiet im Süden des Sauwalds und ein Drittel aus dem Malm-Thermalwasser stammen. Die nordöstlich von Bad Schallerbach liegenden, warmes Wasser führenden Arteser in

St. Marienkirchen, Fraham und Scharten erschließen fast ausschließlich aus dem Sauwald zuströmendes, sehr gering mineralisiertes Wasser.

In den Dischargegebieten im Umfeld des Gäubodens sowie im Inn- und Rottal kommt es ebenfalls zur Mischung von aus dem Thermalgrundwasserleiter aufsteigenden Thermalwasser mit lokalem Tiefen Grundwasser im Tertiär.

Am Südrand des Modellraums steigt der Natrium- und Chlorid-Gehalt im Thermalwasser mit zunehmender Versenkungstiefe stark an. Hier besteht ein fließender Übergang hin zu einem hoch mineralisierten, stagnierenden Bereich des Thermalgrundwasserleiters (Stagnationszone). Der Modellraum wurde im Süden daher mit einem Chlorid-Gehalt von 5 g/l begrenzt, um mit dem numerischen Thermalwassermodell nur den gut durchströmten, dynamischeren Bereich zu erfassen.

Hinsichtlich der Hydroisotope im niederbayerisch-oberösterreichischen Thermalgrundwasserleiter ist der regional stark unterschiedliche Anteil des stabilen Isotops Deuterium ($\delta^2\text{H}$) im Wasser das auffälligste Merkmal. In den beiden Rechargegebieten des Thermalgrundwasserleiters, nämlich im Tertiären Hügelland im Westen und am Südrand des Sauwalds im Osten, sind besonders stark abgereicherte, d. h. stark negative Deuterium-Werte zu beobachten. In Richtung der Thermalgrundwasserströmung steigen diese Werte jedoch an, werden also weniger negativ – so in Richtung Straubing, Künzing, niederbayerisches Bäderdreieck (Bad Füssing, Bad Griesbach und Bad Birnbach) und Haag sowie Gallspach. Die höchsten Deuterium-Werte werden dabei in Bad Birnbach, Bad Griesbach und Gallspach erreicht (vgl. Anlage 12). Die Ursache für die regional unterschiedlichen Deuterium-Werte liegt in den Klima- bzw. Temperaturbedingungen während der Grundwasserneubildung.

Die niedrigen Deuterium-Werte der meisten hier untersuchten Thermalwässer sind typisch für Grundwasser, welches während einer Kaltzeit gebildet wurde. Der niedrigste, d.h. am stärksten negative Deuterium-Wert in Anlage 12 ist jener des Brunnens Pfeffenhausen P2. Wahrscheinlich stammt dieses besonders stark abgereicherte Wasser aus den Niederschlägen des Hochglazials der letzten Kaltzeit vor rund 25.000 Jahren. Dieses Neubildungsalter passt gut zu den im Umfeld dieses Brunnens berechneten Radiokarbon-Modellaltern (Malm in Schierling 1: etwa 22.000 Jahre).

Die erwähnten hohen Deuterium-Werte in Bad Birnbach, Bad Griesbach und in Gallspach weisen auf eine Grundwasserneubildung während einer Warmzeit hin. Das geht aus einem Vergleich mit aktuellen Niederschlags- und Grundwasseranalysen hervor (vgl. Deuterium-Mittelwert der Niederschlagsmessstelle Braunau der Jahre 2007 bis 2023 mit -68,9 ‰, nach H₂O Fachdatenbank des BML). Es sei darauf hingewiesen, dass die Formationswässer des Modellraums besonders hohe Deuterium-Werte aufweisen. Der dem Thermalwasser beigemengte Anteil an Formationswasser ist jedoch zu gering, um die hier beobachteten hohen Werte im niederbayerischen Bäderdreieck und in Gallspach zu erklären.

4.5 Potentiale und Strömungsverhältnisse im Thermalgrundwasserleiter

Im vorliegenden Thermalgrundwasserleiter lässt sich die Strömungsrichtung des Thermalwasser nicht ohne Weiteres aufgrund der in den Bohrungen gemessenen Potentiale ableiten. Die Strömungsrichtung des Thermalwassers wird auch wesentlich durch die Temperaturänderung am Fließpfad, d. h. durch die sich damit ändernde Dichte des Wassers beeinflusst. So ist an einzelnen Bohrungen sogar zu beobachten, dass das Potential bzw. der Grundwasserstand des Thermalwassers höher zu liegen scheint als im Einzugsgebiet. Das wäre in einem Grundwasserleiter mit gleichbleibender Dichte des Wassers physikalisch unmöglich, da das Wasser vom höheren zum niedrigeren Potential fließt. Der Grund für dieses Phänomen liegt darin, dass jenes aus dem Rechargegebiet im Thermalgrundwasserleiter in die Tiefe absinkende Wasser kühler und schwerer ist, als das in ihm wieder aufsteigende

heiße Wasser. Aus diesem Grund wurde bei der Erstellung des hydrogeologischen Modells an jenen Bohrungen, wo entsprechende Hinweise zu finden waren, das beobachtete Potential um den zu erwartenden Auftrieb korrigiert. Damit war es möglich zu einer plausiblen Strömungsrichtung zu gelangen (siehe Anlage 13).

Den entscheidenden Hinweis auf die Strömungsrichtung lieferte vor allem die hohe Wassertemperatur in Altheim (Reservoirtemperatur etwas über 100 °C). Die Temperatur zeigte auf, dass dieses besonders heiße Wasser aus größerer Tiefe, d. h. aus Süden zuströmen muss. Nur in den größeren Tiefen des nach Süden abtauchenden Molassebeckens sind aus Kohlenwasserstoffbohrungen entsprechend hohe Temperaturen bekannt. Bei der Entwicklung des vorliegenden hydrogeologischen Modells wurde daher angenommen, dass das Thermalwasser in den tektonisch gestörten und verkarsteten Malmkarbonaten entlang des Rieder Abbruchs aufsteigt. Diese gut durchlässige Zone ist seit den wasserwirtschaftlichen Versuchen in Ried-Mehrnbach belegt. In der Folge wurde darauf geschlossen, dass vom Rechargegebiet im niederbayerischen Tertiären Hügelland ausgehend hin zum Süden des Rieder Abbruchs ebenfalls ein bevorzugter Wasserweg ausgebildet sein muss, an dem das kühle Wasser des Rechargegebiets absinken kann. Als gut durchlässiger Karstaquifer bot sich hier das Malm-Schwammriff im Norden des Landshut-Neuöttinger-Hochs an.

Das Ergebnis der hydrogeologischen Überlegungen zur Potentialströmung im Thermalgrundwasserleiter ist in Anlage 13 dargestellt. Demnach steigt das Thermalwasser, nachdem es im Süden im tiefen Becken erwärmt wurde, nicht nur nach Norden in Richtung Altheim und Bad Füssing auf. Ein Teil des Thermalwassers aus dem Braunauer Trog fließt auch südlich des Rieder Abbruchs in das Ried-Schwanenstädter Becken und weiter in das Bad Haller Becken, bevor es das Modellgebiet Richtung Osten verlässt. Südlich des Sauwalds mischt sich kühleres und weiches Tiefengrundwasser dem aus der Tiefe aufsteigenden Thermalwasserzufluss zu und führt zur geringeren Mineralisation des Thermalwassers in Bad Schallerbach. Hier kann aufgrund des Chemismus angenommen werden, dass aktuell nur etwa ein Drittel des Wassers aus dem Malm des Braunauer Trogs stammt, der Großteil dieses Mischwassers hingegen aus dem Tiefengrundwasser vom Sauwald (vgl. Kapitel 4.4).

Um die im Thermalgrundwasserleiter vorliegenden Drücke für die numerische Modellierung verwenden zu können, ist es notwendig, diese in dichtenormierte Potentiale umzurechnen. Die im Thermalgrundwasserleiter herrschenden Drücke wurden dafür in entsprechende Potentiale bzw. Standrohrspiegelhöhen einer Frischwassersäule mit 10 °C umgerechnet. Zu dichtenormierten Potentialen kann die modellierte Strömung als Fließrichtung und Filtergeschwindigkeit dargestellt werden, während modellierte Grundwassergleichen bei dem vorliegenden dichtebedingten Auftrieb nicht auf die korrekte Strömung schließen lassen (vgl. Kapitel 5.4 und Anlagen 18, 19, 24 und 25).

4.6 Thermalwasser-Bilanzierung

Bei der Thermalwasser-Bilanzierung werden alle bedeutsamen Volumenströme des Bilanzgebiets – im vorliegenden Fall entspricht dieses dem Modellraum – quantitativ beschrieben. Dabei handelt es sich zum einen um Zuflüsse aus der Grundwasserneubildung bzw. vertikalen Zusickerung (Recharge) und aus dem seitlichen Randzufluss. Zum anderen werden auch die Abflüsse aus der vertikalen Aus-sickerung (Discharge) und aus dem seitlichen Randabfluss sowie etwaige Entnahmen erfasst. Letztere sind in Tabelle 3 jedoch nicht dargestellt, da sich diese auf das Jahr 1900 bezieht, also auf die Zeit vor der ersten Erschließung des Thermalwassers.

Die in Tabelle 3 und Anlage 16 wiedergegebenen Randbedingungen des hydrogeologischen Modells basieren einerseits auf hydraulischen Überlegungen, andererseits auf der Auswertung der Hydrochemie und der Verweilzeiten. Bei der hydraulischen Berechnung der Grundwasserneubildung bzw. vertikalen Zusickerung (Recharge) gingen die Potentialdifferenz zwischen dem seichten Grundwasser und

dem darunterliegenden Thermalgrundwasser sowie der k_f -Wert der dazwischenliegenden Gesteine und deren Mächtigkeit ein. Im Tertiären Hügelland liegen zum Thermalgrundwasser zudem Altersdatierungen vor. Hier konnte die vertikale Zusickerung auch über die Porosität der Überdeckung des Thermalgrundwasserleiters und die Verweilzeit des Thermalwassers quantifiziert werden. Auch bei Randzuflüssen und -abflüssen wurde die Menge über das Darcy-Gesetz berechnet, nämlich unter Berücksichtigung des Potentialgefälles, des k_f -Werts und des durchflossenen Querschnitts. Dort, wo sich das Thermalwasser mit seichteren tertiären Tiefengrundwässern mischt, wurden aufgrund der vorliegenden hydrochemischen Analysen und der Entnahmedaten zudem Mischungsberechnungen angestellt, um den Thermalwasser-Anteil zu quantifizieren. Im Folgenden wird auf die Grundlage und Größen der einzelnen Bilanzkomponenten bzw. Randbedingungen kurz eingegangen.

Tabelle 3: Übersicht zu den Bilanzkomponenten des hydrogeologischen Modells und ihrem Erwartungswert für das Jahr 1900, also vor den ersten Erschließungen sowie den daraus abgeleiteten Vorgaben für das numerische Thermalwassermodell.

In Anlage 16 sind die im Rahmen des hydrogeologischen Modells ermittelten Bilanzkomponenten zum ungenutzten Thermalgrundwasserleiter als Übersichtskarte dargestellt.

| Nr. | Bezeichnung | Art der Bilanzkomponente | Erwartungswert hydrogeologisches Modell für das Jahr 1900 | Vorgabe für das numerische Thermalwassermodell |
|-----|--|--------------------------|---|--|
| 1 | Tertiäres Hügelland | Recharge | 105 l/s (80 l/s bis 160 l/s) ^{1, 3} | > 85 l/s |
| 2 | Zufluss bei Altdorf | Randzufluss | 45 l/s (30 l/s bis 60 l/s) ¹ | 45 l/s |
| 3 | Gäuboden und Vilstal | Discharge | 45 l/s (40 l/s bis 50 l/s) ¹ | < 70 l/s |
| 4 | Donaurandbruch | Randzufluss | 15 l/s (10 l/s bis 20 l/s) ¹ | 15 l/s |
| 5 | Aidenbacher Abbruch | Randabfluss | 10 l/s (5 l/s bis 10 l/s) ⁵ | 10 l/s |
| 6 | Griesbacher und Pockinger Abbruch | Randabfluss | 15 l/s (15 l/s bis 40 l/s) ² | > 30 l/s im Jahr 1970, Priorität der berechneten Potentialganglinien Füssing |
| 7 | Inn- und Rottal | Discharge | 45 l/s (20 l/s bis 45 l/s) ^{1, 2} | |
| 8 | Sauwald | Randzufluss | 30 l/s (20 l/s bis 65 l/s) ¹ | mehr als (Nr. 10) und 50 l/s im Jahr 1950 |
| 9 | Bereich Riedau - Kallham | Recharge | 15 l/s ¹ | |
| 10 | Eferdinger Becken | Randabfluss | 45 l/s (15 l/s bis 45 l/s) ¹ | weniger als (Nr. 8) und (Nr. 9) zusammen |
| 11 | Steyr-Störung | Randabfluss | 50 l/s (10 l/s bis 50 l/s) ¹ | ergibt sich aus Bilanzausgleich |
| 12 | Umströmung des Rieder Abbruchs (Teilbilanz zwischen Braunauer Trog und Ried-Schwanenstädter Becken) | Transferrate | 50 l/s (10 l/s bis 60 l/s) ^{1, 2, 4} | > 20 l/s im Jahr 1950 |

Ermittlungsmethoden (siehe hochgestellte Ziffer in der Spalte „Erwartungswert“):
 1 = hydraulische Berechnung nach Darcy | 2 = Chlorid-Mischungsrechnung zu Tertiär-Entnahmen mit Thermalwasseranteil | 3 = Interpretation von Altersdatierungen
 4 = Summe der anderen Bilanzkomponenten des Braunauer Trogs und Ried-Schwanenstädter Beckens | 5 = Schätzung anhand Quellschüttung.

Das wichtigste Grundwasserneubildungsgebiet des gegenständlichen Thermalgrundwasserleiters befindet sich im niederbayerischen Tertiären Hügelland (Nr. 1 in Tabelle 3, vgl. Anlage 16). Aufgrund des Potentialunterschieds zwischen dem oberflächennahen Grundwasser und dem Thermalgrundwasser wurde hier unter der Annahme eines plausiblen k_f -Werts der Überdeckung und deren Mächtigkeit eine Grundwasserneubildung von 160 l/s berechnet. Diese Menge passt zu den abgereicherten (stark negativen) Deuterium-Gehalten, die für eine Grundwasserneubildung noch vor dem Ende der letzten Kaltzeit sprechen. Berücksichtigt man auch die hohen Radiokarbon-Modellalter des Thermalwassers in diesem Raum, so ist von einer etwas langsameren Grundwasserneubildung auszugehen. Unter Berücksichtigung einer ausgeglichenen Gesamtbilanz wird daher für das Tertiäre Hügelland eine Grundwasserneubildung im Ausmaß von 105 l/s erwartet. Allgemein ist bei derartigen Berechnungen zu

berücksichtigen, dass die Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate aufgrund eines k_f -Werts oder aufgrund der Verweilzeit und Porosität mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist.

Im Raum Altdorf bei Landshut steigt aus dem Wasserburger Becken Thermalwasser auf und kann über die auf der Kristallinschwelle des Landshut-Neuöttinger-Hochs liegenden Malmkarbonate in den Braunauer Trog überfließen. Aufgrund hydraulischer Überlegungen wird von einem Randzufluss von 30 bis 60 l/s ausgegangen. Für das numerische Thermalwassermodell wurde der Zufluss bei Altdorf (Nr. 2 in Tabelle 3) mit 45 l/s fixiert. Hierbei wurde insbesondere auch die geringere Dichte des Thermalwassers von Altdorf berücksichtigt. Ebenso wurde der Randzufluss über den Donaurandbruch (Nr. 4 in Tabelle 3) aufgrund hydraulischer Überlegungen auf etwa 10 bis 20 l/s geschätzt und im numerischen Thermalwassermodell mit 15 l/s festgesetzt. Diese geringe Menge ergab sich vor allem aufgrund des für Kristallin-Gesteine in größerer Tiefe zu erwartenden geringen k_f -Werts.

Ein wichtiges Dischargegebiet des Thermalgrundwasserleiters liegt im Gäuboden und Vilstal (Nr. 3 in Tabelle 3). Aufgrund hydraulischer Überlegungen wurde hier für die Zeit vor den ersten Thermalwassererschließungen ein Discharge von 40 bis 50 l/s angenommen. Am Aidenbacher Abbruch (Nr. 5 in Tabelle 3) ist aufgrund des hier situierten Thermalwasserauftriebs bei Künzing (Römerbad bzw. Salzbrunnenquelle) ein Randabfluss von rund 5 bis 10 l/s zu erwarten.

Am Griesbacher und Pockinger Abbruch (Nr. 6 in Tabelle 3) lässt der Chemismus der östlich dieser Störungen situierten Gas- und Schwefelbrunnen aufgrund einer Mischungsrechnung auf einen Randabfluss von bis zu 40 l/s schließen. Als Erwartungswert für die Zeit vor der ersten Thermalwassererschließung wurden 15 l/s angenommen.

Im Discharge-Gebietes Inn- und Rottal (Nr. 7 in Tabelle 3) lässt eine grobe hydraulische Berechnung auf eine vertikale Aussickerung von Thermalwasser in der Größenordnung von 10 l/s schließen. Die Schüttungen der hier liegenden tertiären Gas- und Schwefelbrunnen weisen aufgrund einer hydrochemischen Mischungsrechnung jedoch auf einen deutlich stärkeren Thermalwasserauftrieb, nämlich im Ausmaß von 20 bis 45 l/s hin. Unter Berücksichtigung der Gesamtbilanz wird hier schließlich ein Discharge von 45 l/s erwartet.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Randabfluss am Griesbacher und Pockinger Abbruch sowie der Discharge im Inn- und Rottal über eine Chlorid-Mischungsrechnung an vergleichsweise oberflächennahen tertiären Tiefengrundwässern bestimmt wurde. Damit kann nicht gesagt werden, ob der hier ermittelte Thermalwasseranteil der tertiären Gas- und Schwefelbrunnen im Umfeld des Inntals zur Gänze vertikal aus dem darunterliegenden Malm aufsteigt oder ob ein Teil auch über die Sedimente des oberen Eozäns weiter aus Süden kommt (vgl. Profilschnitt B in Anlage 4).

Das zweite regional bedeutende Rechargegebiet des Thermalgrundwasserleiters befindet sich in Oberösterreich, im Süden des Sauwalds zwischen Schärding und Prambachkirchen. Hier befindet sich in den Sanden des Ottnangiums und den Linzer Sanden (Egerium) weiches Tiefengrundwasser, das sich im Süden im tieferen Untergrund mit dem aus den Malmkarbonaten aufsteigenden Thermalwasser mischt. Der Modellraum erhält hier einen nennenswerten Randzufluss aus dem Sauwald (Nr. 8 in Tabelle 3). Ebenso ist im Raum Riedau-Kallham (Nr. 9 in Tabelle 3) ein Recharge über die Überdeckung des Thermalgrundwasserleiters zu erwarten, da hier der ansonsten wasserstauende Haller Schlier (Eggenburgium) im Hangenden der Thermalwasser führenden Linzer Sande fehlt. Aufgrund einer groben hydraulischen Berechnung wurden hier ein Randzufluss im Ausmaß von etwa 20 bis 65 l/s (Erwartungswert 30 l/s) und ein flächiger Recharge von etwa 15 l/s angenommen.

Für die Randbedingung im Eferdinger Becken (Nr. 10 in Tabelle 3) und an der Steyr-Störung (Nr. 11 in Tabelle 3) wurde auf Basis hydraulischer Überlegungen ein Randabfluss von 15 bis 45 l/s bzw. 10 bis 50 l/s ermittelt (Erwartungswerte bei 45 l/s bzw. 50 l/s). Diese Werte sind – wie auch die anderen auf

dem Darcy-Gesetz basierenden Ableitungen – als grobe Annäherungen zu bewerten. Erst durch die numerische Modellierung werden aufeinander abgestimmte Bilanzmengen erzeugt (siehe Kapitel 5.5).

4.7 Neuerkenntnisse des vorliegenden hydrogeologischen Modells

Zusammenfassend ergaben sich im Vergleich zum hydrogeologischen Modell des Jahres 1998 (LfW 1999 und BMLF 1999) folgende wesentliche Neuerkenntnisse:

- Die Verweilzeit des Thermalwassers ist deutlich höher als ursprünglich angenommen und damit auch der Umsatz des Thermalgrundwasserleiters wesentlich geringer.
- Die mit Auswertungen zur Hydrochemie und Isotopenhydrologie sowie einfacher hydraulischer Berechnungen zur vertikalen Zusickerung (Recharge), Aussickerung (Discharge), Randzuflüsse und Randabflüsse ermittelten Bilanzgrößen sind insgesamt bzw. der Thermalwasserumsatz deutlich geringer als ursprünglich angenommen. Damit steht auch ein deutlich geringeres Dargebot für Thermalwassernutzungen als früher angenommen zur Verfügung.
- Eine nicht zu vernachlässigende treibende Kraft des Thermalgrundwasserstroms stellt der dichtebedingte Auftrieb dar. Die Berücksichtigung dieses Auftriebs wie auch ein wesentlich geringerer Randzufluss aus dem Kristallin der Böhmisches Masse führte teilweise zu anderen Fließrichtungen als noch im hydrogeologischen Modell des Jahres 1998 angenommen wurden. Das betrifft vor allem den Thermalwasseraufstieg auf beiden Seiten des Rieder Abbruchs nach Norden (Anlage 13). Ebenso musste der Randzufluss des Aidenbach-Griesbacher Hochs durch einen Randabfluss ersetzt werden. Die auf der Hochscholle situierten tertiären Gas- und Schwefelbrunnen sowie die Salzbrunnquelle in Künzing geben Hinweise auf Randabflüsse beim Aidenbacher, Griesbacher und Pockinger Abbruch.
- Aufgrund neuer Pumpversuchsergebnisse wurde der k_f -Wert für das Kristallin der Böhmisches Masse deutlich niedriger angesetzt als noch 1998. Daraus ergibt sich ein wesentlich geringerer Randzufluss aus dem Kristallin des Bayerischen Waldes. Im vorliegenden hydrogeologischen Modell werden auch Störungen mit großen Vertikalversätzen, die den am Kristallin liegenden Thermalgrundwasserleiter völlig durchtrennen, als Barrieren betrachtet.
- Das nun vorliegende hydrogeologische Modell gliedert den Thermalgrundwasserleiter dreidimensional in unterschiedlich durchlässige Körper. Hervorzuheben sind hier das Schwammriff im Norden des Landshut-Neuöttinger Hochs, die Zerrüttungszone und die Rampenstruktur am Übergang des Rieder Abbruchs zum Pockinger Abbruch. Diese besonders gut durchlässigen Zonen steuern die Wasserzirkulation im Thermalgrundwasserleiter wesentlich. Anhand der strukturellen Neuerkenntnisse zum Rieder Abbruch und zur Rampe lassen sich auch die weitreichenden hydraulischen Reaktionen bei den Pump-/Reinjektionsversuchen und dem Probetrieb an der Dublette Mehrnbach TH 1a – TH 2 bis zu den Thermalwasserentnahmen Füssing Therme I bis III und Griesbach 2 erklären.

5 Numerisches Thermalwassermodell

5.1 Zielsetzung und Modellbeschreibung

Übergeordnetes Ziel des Projekts war die Erstellung eines numerischen 3D Thermalwassermodells als Instrument für die Beschreibung und nachhaltige Bewirtschaftung des Thermalwasservorkommens sowie als beiderseits akzeptierte Beurteilungsgrundlage bei künftigen wasserwirtschaftlichen Genehmigungs-/ Bewilligungsverfahren zu neuen oder modifizierten Thermalwassernutzungen.

Das numerische 3D Thermalwassermodell wurde mit der Software FEFLOW® erstellt, bei der die räumliche Aufgliederung des Modellraums mit der Finite Elemente Methode erfolgt. Die Modellanpassung (Kalibrierung) erfolgte anhand der Beobachtungsmessungen der letzten Jahrzehnte, besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Modellanpassung der beobachteten hydraulischen Reaktionen (relative Potentialänderungen) zwischen Nutzungen gelegt. Da die Verhältnisse im Thermalwasservorkommen hohe Temperatur- und Dichteunterschiede aufweisen, musste eine thermisch-hydraulisch gekoppelte Modellierung erfolgen. In Tabelle 4 finden sich wesentliche Eckdaten zum Aufbau, zur Modellanpassung und zu den Prognoseberechnungen des numerischen 3D Thermalwassermodells.

| Eckdaten zum num. 3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich | |
|---|---|
| Software | FEFLOW®, Version 7.4 |
| Erstreckung des Modellgebiets | |
| West-Ost und Nord-Süd | ca. 180 km und ca. 100 km |
| Fläche des Modellgebiets | ca. 7.200 km ² |
| Maximale Tiefe | - 4.500 m NN / m ü.A. |
| Hydrogeologische Haupteinheiten | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Känozoikum (i. W. Stauer) • Ältere tertiäre Sande (Rupelium, Egerium, oberes Eozän) (Grundwasserleiter) • Oberkreide (Stauer) • Santonium und Campanium (Teilstauer) • Thermalgrundwasserleiter = Cenomanium, Oberjura (Malm) und Mitteljura (Dogger) zusammengefasst • Kristallin und Permokarbon (Stauer) |
| Diskretisierung (Finite Elemente) | |
| Anzahl Layer | 54 |
| Anzahl Elemente je Layer | 38.398 |
| Elementgröße (min.-max.) | 2,6 m ² – 3,45 km ² |
| Kalibrierung (stationär und instationär) – Kalibrierziele | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Absolutwerte gemessener Ruhepotentiale (im Zeitraum 1944–2011) • Langfristige Druckhöhen-Ganglinien (im Zeitraum 1970–2016) • Reaktionen / Nicht-Reaktionen bzw. relative Potentialänderungen auf Pumpversuche und Probebetriebe (insb. Ried-Mehrnbach) • Temperaturverteilung aus Bohrlochmessungen • Bilanzvorgaben des hydrogeologischen Modells |
| Prognoseberechnung (instationär) | |
| | Potentialentwicklung während der Lockdownsituation Anfang 2020 zur Validierung des Modells |
| Prognoseberechnungen (stationär) | |
| | Auswirkung von veränderten Entnahmekonstellationen hinsichtlich: <ul style="list-style-type: none"> • Fließrichtung und -stärke (Strömung) • relative Potentialänderungen (Potentialdifferenzen) • Thermalwasserbilanz |

Tabelle 4: Eckdaten zum numerischen 3D Thermalwassermodell im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken.

5.2 Modellaufbau

Für den Aufbau des numerischen 3D Thermalwassermodells wurde ein „Layered Mesh“ Ansatz gewählt. Dabei wird zunächst ein zweidimensionales Netz erstellt (Basislayer), das dann mehrfach in die Tiefe kopiert wird. Jedem Layer wird dann eine Tiefeninformation zugewiesen. Daher müssen auf dem Basislayer bereits alle geologisch-geometrisch relevanten Informationen sowie alle aktuellen Thermalwassernutzungen berücksichtigt werden. Abbildung 6 zeigt anhand eines schematischen Vertikalschnitts exemplarisch die Herangehensweise wie Störungen und laterale Schichtgrenzen im numerischen 3D Thermalwassermodell abgebildet werden. In diesem Beispielfall sind bereits sechs Layer notwendig, um die vier Einheiten A bis D und die Störung abzubilden.

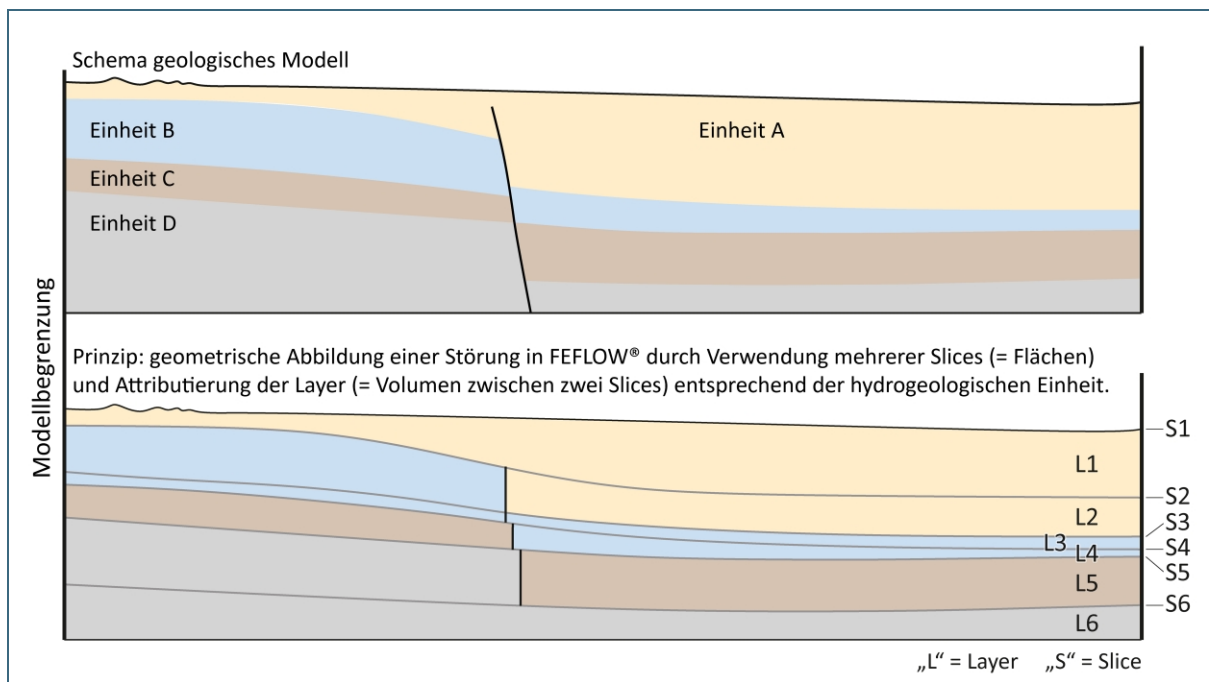


Abbildung 6: Prinzip der geometrischen Abbildung einer Störung im numerischen Thermalwassermodell.

Exemplarischer Vertikalschnitt zu vier geologischen Einheiten und einer Störung mit großem Versatz (oben) und deren geometrische Umsetzung in der verwendeten Software FEFLOW® mittels mehrerer Slices und attributierter Layer (unten).

Die übergeordneten hydrogeologischen Haupteinheiten des numerischen Modells sind entsprechend den sechs hydrostratigraphischen Einheiten (Kapitel 4.2) aufgebaut. Um die sechs hydrogeologischen Haupteinheiten (Tabelle 4 und Abbildung 5) abzubilden, werden im Thermalwassermodell zwölf Layer benötigt. Um eine hinreichende vertikale Auflösung zu erhalten, werden zusätzliche weitere Layer eingefügt. In Summe besteht das 3D Thermalwassermodell aus 54 Layern. Eine 3D Ansicht zum numerischen 3D Thermalwassermodell und ein Teilausschnitt ist in Anlage 17 dargestellt.

Eine laterale Differenzierung erfolgte in den hydrogeologischen Einheiten des Thermalgrundwasserleiters sowie des Känozoikums. Der Thermalgrundwasserleiter wurde zunächst in die Riff- und Lagunenfazies der Malmkarbonate unterschieden. Die weitere Unterteilung der Lagunenfazies erfolgte nach Gesichtspunkten der Datendichte, die im Zentralraum, der Zerrüttungszone und der Rampe relativ hoch ist, im Einzugsgebiet Hügelland-Gäuboden und der Hochscholle hingegen gering.

Darüber hinaus wurden einige kleinräumige Elemente eingeführt, um damit auf einzelne Beobachtungen einzugehen. Hierzu zählt einerseits die trennende „Störung Simbach-Braunau“, die aufgrund der

festgestellten Ruhepotentialdifferenz zwischen den Dublettenbohrungen Simbach-Braunau berücksichtigt wurde, und andererseits die höher durchlässige „Verbindungszone Ried-Haag“, die aufgrund der relativ deutlichen Reaktion in Haag TH 1 auf den Probetrieb Mehrnbach TH 1a – TH 2 eingeführt wurde.

Eine Übersicht zu allen hydrogeologischen Modelleinheiten und zur regionalen Zonierung des Thermalgrundwasserleiters zeigen Tabelle 5 und Anlage 20.

5.3 Kalibrierung und Sensitivitätsanalyse

Das Modell wurde einer teilautomatisierten Kalibrierung (Modellanpassung) unterzogen. Bei dem Prozess der Modellkalibrierung werden Prozessgrößen – in diesem Fall das hydraulische Potential, die Temperatur und ausgewählte Bilanzkomponenten – an gewissen Punkten im Modell mit Messwerten bzw. Bilanz-Erwartungswerten verglichen. Die Kalibrierroutine versucht Materialparameter (z. B. Durchlässigkeit, Speicherkoefizient) anzupassen, um die modellierten Werte an die Messwerte anzunähern.

Die hydraulische Modellanpassung erfolgte sowohl zu langfristigen Trends (anhand Messdaten über Jahrzehnte) als auch fokussiert zu beobachteten Reaktionen bzw. Nicht-Reaktionen zwischen Thermalwassernutzungen (anhand täglicher bis monatlicher Messdaten während Pumpversuchen und Probetrieben). Hierbei wurden vorrangig die Druckhöhenganglinien aus Schließdruckmessungen als Relativpotentiale zur Kalibrierung herangezogen. Schließdruck- bzw. Ruhewasserspiegelmessungen haben gegenüber Fließdruck- bzw. Betriebswasserspiegelmessungen den Vorteil, dass sie weniger vom eigenen Anlagenbetrieb beeinflusst sind und daher ein deutlich schärferes Bild der externen Beeinflussung durch andere Nutzungen zeichnen.

Als anschauliches Beispiel ist in Anlage 15 B die Schließdruckentwicklung an der Thermalwassernutzung Füssing Therme I und die Druckhöhenentwicklung an der Messstelle Reichersberg 2 von 1970 bis 2020 gemeinsam mit der Nettoentnahme-Historie aus dem Thermalgrundwasserleiter westlich des Rieder Abbruchs dargestellt. Langfristige Trends (fallende Potentiale bis Anfang 1999 gefolgt von einer relativ stabilen Phase bis 2011) geben Aufschluss über die Durchlässigkeit, die Speicherkoefizienten und das Thermalwasserdargebot und dienen somit in erster Linie der Kalibrierung des Gesamtsystems.

Die im Zentralraum deutlich erkennbare Reaktion auf die Langzeit-Pump-/Reinjektionsversuche (ab 09/2012) und den Probetrieb (ab 02/2014) in Mehrnbach TH 1a – TH 2 wird in erster Linie zur Kalibrierung der lokalen Materialparameter zwischen den dortigen Nutzungen herangezogen.

In Abbildung 7 sind die gemessenen und modellierten Druckhöhenganglinien der Nutzung Füssing Therme II exemplarisch abgebildet. Auch hier zeigen sich die Langzeit-Pump-/Reinjektionsversuche (LZPIV) in Ried-Mehrnbach von 09/2012 bis 12/2012 (Förderung an Mehrnbach TH 1a) und von 03/2013 bis 06/2013 (Reinjektion an Mehrnbach TH 1a) sowie der folgende Probetrieb ab 02/2014 (Reinjektion an Mehrnbach TH 1a, hier bis 12/2016) als markante Ereignisse.

Diese liefern auch die hochwertigsten Messdaten für die Kalibrierung. Bei mehreren Nutzungen ist eine deutliche Reaktion auf diese Ereignisse erkennbar (vgl. Abbildung 9). Dabei ist auffällig, dass die Reaktion im Bereich der Rampe deutlich höher ausfällt als im Zentralraum westlich des Rieder Abbruchs. Dieser Umstand hat dazu geführt, eine Zerrüttungszone westlich entlang des Rieder Abbruchs einzuführen. Bei der Kalibrierung wurden die Zonen der Zerrüttungszone und der Rampe sowie der Zentralraum aufgrund der höheren Informationsdichte räumlich unterschiedlich parametrisiert. Alle an-

deren Zonen des Thermalgrundwasserleiters sowie die restlichen hydrogeologischen Einheiten wurden mit konstanten Materialparametern je Zone kalibriert.

In der Sensitivitätsanalyse hat sich gezeigt, dass die Relativpotentiale sehr sensitiv auf die Parameterverteilung des Zentralraums, der Zerrüttungszone und der Rampe reagieren, während die Bilanzkomponenten und Ruhepotentiale stärker von großräumigen Parametern abhängig sind. Daher wurde die Kalibrierung zunächst auf zwei getrennte Workflows, eine lokale Zentralraumkalibrierung (zu den LZPIV und Probebetrieb Ried-Mehrnbach) und eine großräumige Kalibrierung (zur gesamten Nutzungsgeschichte von 1900 bis Ende 2016), aufgeteilt.

Nach mehreren Iterationen zwischen diesen beiden Ansätzen wurden die Ergebnisse zusammengeführt und einer gemeinsamen Kalibrierung unterzogen. In diesem zusammengeführten Modell wurden zunächst sehr geringe Bilanzgrößen erzielt. Um die Modellergebnisse näher an das zuvor definierte hydrogeologische Modell heranzuführen, wurde manuell in die automatisierte Kalibrierung eingegriffen, wodurch eine Erhöhung der Bilanzgrößen ohne nennenswerte Reduktion der Anpassungsgüte erzielt werden konnte. Das Ergebnis dieser abschließenden Kalibrierung ist dem in Tabelle 5 dargestellten Parametersatz zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht über die kalibrierten Materialparameter.

Im Unterschied zu den Profilschnitten (Anlagen 3 bis 6) sind die Einheiten des Cenomanium, Oberjura (Malm) und Mitteljura (Dogger) hier zur hydrogeologischen Haupteinheit Thermalgrundwasserleiter zusammengefasst. Eine Übersicht zur regionalen Zonierung des Thermalgrundwasserleiters zeigt Anlage 20.

| ID | Bezeichnung | Durchlässigkeitsbeiwert $k_r(x,y)$ | Durchlässigkeitsbeiwert $k_r(z)$ | Speicher-koeffizient | Wärme-pro-duktionsrate | Wärme-leitfähigkeit | Wärme-speicher-kapazität | Porosität | | |
|-----|---|------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-----------|-----------|----------|
| | | m/s | m/s | 1/m | $\mu\text{W}/\text{m}^3$ | W/m/K | MJ/m ³ /K | % | | |
| 100 | Känozoikum undifferenziert | 5,3 E -10 | 1,0 E -10 | | 1,04 | 3,8 | 2,44 | 10 | | |
| 110 | Känozoikum Hügelland | 1,8 E -5 | 9,0 E -10 | | | | | | | |
| 120 | Känozoikum Gäuboden | 2,6 E -6 | 2,6 E -6 | 3,0 E -6 | | | | | | |
| 130 | Känozoikum Inn- und Rottal | 5,0 E -6 | 5,0 E -9 | | | | | | | |
| 140 | Känozoikum Riedau – Kallham | 5,8 E -6 | 6,0 E -10 | | | | | | | |
| 210 | Rupel/Egersande Tiefscholle | 3,1 E -5 | 1,0 E -5 | 2,0 E -6 | | | | | | |
| 220 | Rupel/Egersande Hochscholle | 2,3 E -5 | 2,3 E -5 | | | | | | | |
| 300 | Oberkreide | 8,0 E -10 | 5,0 E -10 | 0,5 E -6 | | | | | | |
| 400 | Santonium/Campanium | 1,8 E -8 | 1,0 E -8 | 0,1 E -6 | | | | | | |
| 510 | Rifffazies Tiefscholle | 3,4 E -4 | 1,4 E -4 | 6,0 E -7 | | | | | | |
| 520 | Lagunenfazies Thermalgrundwasserleiter | Einzugsgebiet Hügelland-Gäuboden | | 6,0 E -7 | | | | | | |
| 521 | | Straubing | | 6,0 E -7 | | | | | | |
| 525 | | Zentralraum | | | | | | | inhomogen | 6,0 E -7 |
| 530 | | Zerrüttungszone u. Rampe | | | | | | | inhomogen | 6,4 E -7 |
| 522 | | Störung Simbach-Braunau | | 5,0 E -10 | 5,0 E -10 | 6,0 E -7 | | | | |
| 540 | | Scholle St. Martin | | 1,0 E -5 | 1,0 E -5 | 5,0 E -7 | | | | |
| 542 | | Störung St. Martin | | 8,0 E -10 | 8,0 E -10 | 5,0 E -10 | | | | |
| 570 | | Verbindungszone Ried - Haag | | | 1,0 E -4 | 1,0 E -5 | 1,2 E -6 | | | |
| 560 | | Hochscholle Nord | | 3,0 E -6 | 1,0 E -6 | 1,2 E -6 | | | | |
| 550 | Hochscholle Süd | | 9,0 E -6 | 1,0 E -6 | 1,2 E -6 | | | | | |
| 600 | Kristallin und Permokarbon | 1,0 E -12 | 1,0 E -12 | 0,1 E -6 | 4,0 | 5,0 | 2,50 | 1 | | |

Bei der Modellkalibrierung konnte bezogen auf die stärker gewichteten kurzfristigen Reaktionsmessungen eine gute Anpassungsgüte erzielt werden. In Abbildung 7 ist die Anpassungsgüte zur langfristigen und kurzfristigen Druckhöhenänderung exemplarisch für die Nutzung Füssing Therme II dargestellt. Die Anpassungsgüte der Ruhepotentiale ist im Bereich der Zerrüttungszone und Rampe sowie im Einzugsgebiet Hügelland-Gäuboden allgemein besser als im Rest des Modellgebiets (siehe Anlage 26).

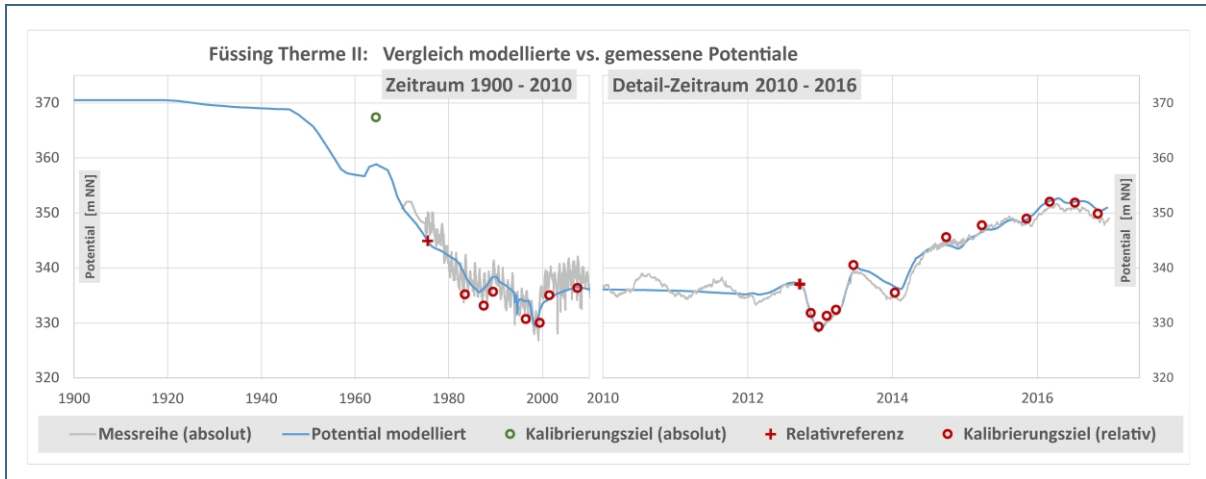


Abbildung 7: Vergleich der gemessenen und modellierten Potentialganglinie am Beispiel der Füssing Therme II.

Links ist der langfristige Zeitraum von 1900 bis Ende 2010, rechts der jüngere Zeitraum von 2010 bis Ende 2016 in höher aufgelöster Form dargestellt. Das Ruhepotential (1964) und die Schließdruck-Messreihe seit 1970 sind zur Vergleichbarkeit mit der modellierten Reihe kaltwassernormiert. Das Kalibrierungsziel (relativ) sind Potentialdifferenzen bezogen auf das jeweilige Referenzpotential (Relativreferenz).

Für eine bestmögliche Abbildung von Auftriebseffekten ist auch eine gute Temperaturanpassung notwendig. Darüber hinaus werden Temperaturanomalien auch als Hinweis auf das Strömungsgeschehen interpretiert. Gerade im Bereich der Zerrüttungszone und Rampe konnte eine sehr gute Anpassung des Modells an die Messwerte erzielt werden. Größere Temperaturabweichungen treten im Süden des Modellgebiets auf, häufig aber auch bei räumlich eng beieinanderliegenden, stark unterschiedlichen Abweichungen (siehe Anlage 27).

Im Zuge der Kalibrierung wurde das Modell laufenden Sensitivitätsanalysen unterzogen. Dabei wird untersucht, wie stark sich die Änderung eines Parameters auf die jeweiligen Kalibrierungsziele (Potential, Temperatur und Bilanzkomponenten) auswirkt. Die Analyse der Modellsensitivitäten bildete die Grundlage für die manuelle Gewichtung einzelner Beobachtungsdaten, um der automatisierten Kalibrierung gewissermaßen eine Richtung vorzugeben. Weiters konnten damit durch gezielte manuelle Änderung eines Parameters auch stärker a-priori Wissen und Erfahrungswerte in die Kalibrierung einfließen. Am sensitivsten auf die lokalen Reaktionsmessungen (zu Pumpversuchen, Probetrieb) sind die lokal heterogenen Durchlässigkeitsbeiwerte des Thermalgrundwasserleiters in Zentralraum, Zerrüttungszone und Rampe. Langfristige Druckhöhenänderungen sind als Antwort auf die gesamte Nutzungshistorie zu verstehen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte in den Recharge- und Dischargegebieten steuern maßgeblich die Bilanzkomponenten, haben aber auch einen großen Einfluss auf die Ruhepotentiale.

5.4 Strömungsverhältnisse

Anhand des numerischen Modells lassen sich die Strömungsverhältnisse zu verschiedenen Zeitpunkten darstellen. Die Modellvorstellung, dass die vertikale Zusickerung (Recharge) aus dem Tertiären Hügelland zunächst vorrangig durch die Malm-Riffazies Richtung Osten einsickert und sich im Bereich des Beckentiefsten südlich des Rieder Abbruchs in zwei Teilströme aufteilt, wovon der eine weiter nach Osten auf die Hochscholle und der zweite in relativ scharfem Winkel nach Norden entlang des Rieder Abbruchs in Richtung Bad Füssing strömt, kann durch das numerische Modell gut wiedergegeben und damit als Modellvorstellung validiert werden (siehe Anlagen 18 und 19). Die Strömungsverhältnisse im Thermalgrundwasserleiter sind dabei stark von konvektiven Prozessen überprägt. Die durch hohe Temperaturunterschiede hervorgerufenen Dichteeffekte haben einen großen Einfluss auf das Fließgeschehen. Es handelt sich also nicht um eine reine Potentialströmung, bei der sich die Fließrichtung und -geschwindigkeit rein durch Höhenunterschiede der Grundwasserdruckfläche erklären lassen. Um diese Dichteeffekte numerisch berücksichtigen zu können, ist es zwingend notwendig, mit einem hydraulisch-thermisch gekoppelten Modell zu arbeiten. Das numerische Thermalwassermodell wurde in Teilschritten bidirektional vollgekoppelt kalibriert. Beim fertigen Prognosemodell ist die kalibrierte Temperatur aus Stabilitäts- und Ressourcengründen festgehalten (unidirektional gekoppeltes Modell). Daher ist dieses auch nur für eine hydraulische, nicht jedoch für eine thermische Prognose ausgelegt.

Die Darstellung des Modellergebnisses in Form von sonst üblichen Grundwassergleichen (Isohypsenpläne) ist für das gegenständliche Modell nicht sinnvoll möglich bzw. irreführend, da die Strömungsverhältnisse nicht durch eine reine Potentialströmung, sondern maßgebliche konvektive Prozesse geprägt sind. Als Vergleichsgrößen werden daher die Fließrichtungen in Form von Vektoren und der Betrag der Filtergeschwindigkeit über die Vektorgröße und eine Farbcodierung (Raster) dargestellt. Als Beispiel wird beim Vergleich der beiden Zustände 1900 (ohne jede Nutzung, Anlage 18) und 2011 (vor Inbetriebnahme Mehrnbach TH 1a – TH 2, Anlage 19) die 2011 höhere Filtergeschwindigkeit in der Zerrüttungszone und Rampe deutlich, welche in erster Linie der Entnahme in Bad Füssing geschuldet ist. Ferner erhöht die Strömung sich im Umfeld der Dubletten-Nutzungen und in der Riffazies. Dabei bewegt sich der Betrag der Filtergeschwindigkeit in der Größenordnung von maximal wenigen mm pro Tag. Durch die Reinjektion in Mehrnbach TH 1a ab 03/2013 ist eine deutliche Erhöhung der Filtergeschwindigkeiten auf einen cm pro Tag im Bereich der Zerrüttungszone und Rampe bemerkbar. In Anlage 20 ist die Differenz des hydraulischen Potentials zwischen dem genutzten Zustand 2011 und dem ungenutzten Zustand 1900 dargestellt. Es ist eine großflächige Absenkung in der Größenordnung von 30 m im Bereich der Rampe feststellbar. Diese ist auch in den langfristigen Messreihen in Bad Füssing annähernd nachvollziehbar. Ferner zeigt sich hier klar die trennende Wirkung der „Störung Simbach-Braunau“, die aufgrund der festgestellten Ruhepotential-Differenz bei Errichtung der Dublettenbohrungen Simbach-Braunau festgestellt wurde.

Ganz allgemein ist das natürliche Strömungsgeschehen inzwischen deutlich von den bestehenden Nutzungen überprägt, besonders im Bereich der großen Dublettennutzungen (Simbach-Braunau, Geinberg, Altheim, Ried-Mehrnbach).

5.5 Thermalwasser-Bilanzierung

Aus der Bearbeitung des hydrogeologischen Modells wurde eine Thermalwasserbilanz abgeleitet. Die sich daraus ergebenden Bilanzgrößen wurden in der Kalibrierung als Zielgrößen berücksichtigt. Die Bilanzgrößen sind im numerischen Modell bis auf wenige Ausnahmen nicht zeitlich konstant, sondern reagieren dynamisch auf das Fördergeschehen. Tabelle 6 und Abbildung 8 zeigen die zeitliche Entwicklung der Bilanzkomponenten (Abbildung 8 oben: Zufluss/Recharge, Abbildung 8 Mitte: Abfluss/Discharge) sowie die zeitliche Entwicklung der Nettoentnahmesummen im gesamten Modellraum und im Zentralraum und die Speicheränderung im gesamten Modellraum (Abbildung 8, unten).

Die Speicheränderung entspricht dem Anteil der Entnahmesumme, die zunächst aus der Speicherfähigkeit des Thermalgrundwasserleiters gedeckt wird und ist somit gewissermaßen ein Maß für die Instationarität seit Nutzungsbeginn. Bis zum Beginn der Entnahme in Bad Schallerbach (1918) liegen stationäre Verhältnisse vor. Die Speicheränderung des Thermalgrundwasserleiters ist gleich null. Bei Entnahmebeginn steigt die Ausspeicherung sprunghaft auf knapp 50 l/s. Die Entnahme in Bad Schallerbach wird zunächst fast ausschließlich aus der Speicherfähigkeit gedeckt. Fast zeitgleich beginnt jedoch auch der Zufluss aus dem Sauwald langsam anzusteigen und auch der Abfluss am Ostrand (Steyr-Störung, Eferdinger Becken) reduziert sich langsam. Bis 1945 nimmt dadurch die Speicheränderung auf immer noch knapp 10 l/s ab. Mit steigender Entnahme im Bereich der Rampe und des Zentralraums (balneologische Nutzungen und geothermische Nutzungen ohne Reinjektionen vor 1998) steigt die Ausspeicherung auf über 50 l/s (kurzfristig über 100 l/s) an. Ab etwa 1998 – mit Beginn der eingeforderten Reinjektionen in Geinberg, Altheim und Obernberg – sinkt auch die Speicherentnahme wieder auf null. Ab etwa 2005 kommt es insbesondere durch Entnahmereduzierung in Bad Schallerbach zu einer Erholung des Speichers (Einspeicherung) im Thermalgrundwasserleiter.

Tabelle 6 zeigt die berechneten Bilanzkomponenten und Speicherkomponenten vor Beginn der Thermalwassernutzung (1900), zum Zeitpunkt der maximalen Nettoentnahme in Zentralraum und Rampe von 87,4 l/s (Anfang 1998) und zu einem Zeitpunkt vor Beginn der Nutzung Mehrnbach TH 1a – TH 2 und mit einer Nettoentnahme in Zentralraum und Rampe von etwa 48,4 l/s (Mitte 2012).

In einer Übersichtskarte (Anlage 21) sind die berechneten Bilanzkomponenten, Transferraten und Speicheränderungen bezogen auf drei hier umgrenzte Teilbilanzräume (Einzugsgebiet, Zentralraum, Hochscholle) und für den Zeitpunkt Mitte 2012 vereinfacht dargestellt.

Tabelle 6: Bilanzkomponenten und Speicheränderung des numerischen 3D Thermalwassermodells zu verschiedenen Zeitpunkten im Vergleich zur Vorgabe des hydrogeologischen Modells.

Bei der Speicheränderung wird hier mit (-) eine Aus-/Entscheidung und mit (+) eine Einspeicherung adressiert.

| Nr. | Bezeichnung | Art der Bilanzkomponente | Vorgabe aus dem hydrogeologischen Modell (vgl. Tabelle 3) | Bilanzgrößen laut numerischen 3D Thermalwassermodell [l/s] | | |
|----------|--|--------------------------|---|--|-------------|------------|
| | | | | 1900 | Anfang 1998 | Mitte 2012 |
| 1 | Tertiäres Hügelland | Recharge | > 85 l/s | 77,6 | 99,8 | 103,7 |
| 2 | Zufluss bei Altdorf | Randzufluss | 45 l/s | 44,9 (festgesetzt) | | |
| 3 | Gäuboden und Vilstal | Discharge | < 70 l/s | -48,0 | -39,9 | -39,1 |
| 4 | Donaurandbruch | Randzufluss | 15 l/s | 15,5 (festgesetzt) | | |
| 5 | Aidenbacher Abbruch | Randabfluss | 10 l/s | -3,0 (festgesetzt) | | |
| 6 | Griesbacher und Pockinger Abbruch | Randabfluss | > 30 l/s im Jahr 1970 | -9,0 | -8,5 | -8,5 |
| 7 | Inn- und Rottal | Discharge | | -41,4 | -30,8 | -30,9 |
| 8 | Sauwald | Randzufluss | mehr als (Nr. 10) und 50 l/s im Jahr 1950 | 36,0 | 68,3 | 54,8 |
| 9 | Bereich Riedau-Kallham | Recharge | | 3,0 | 4,0 | 4,0 |
| 10 | Eferdinger Becken | Randabfluss | weniger als (Nr. 8) und (Nr. 9) zusammen | -22,7 | -14,1 | -18,8 |
| 11 | Steyr-Störung | Randabfluss | ergibt sich aus Bilanzausgleich | -52,8 | -39,0 | -45,9 |
| 12 | Umströmung Rieder Abbruch (Teilbilanz zwischen Braunauer Trog und Ried-Schwanenstädter Becken) | Transferrate | > 20 l/s im Jahr 1950 | 36,5 | 36,2 | 32,9 |
| Speicher | Speicheränderung im Teilbilanzraum Einzugsgebiet | | | 0 | -12,4 | +1,2 |
| | Speicheränderung im Teilbilanzraum Zentralraum (inkl. Rampe) | | | 0 | -34,4 | -0,4 |
| | Speicheränderung im Teilbilanzraum Hochscholle | | | 0 | -8,5 | +4,8 |
| Entnahme | Nettoentnahme im Teilbilanzraum Einzugsgebiet | | | 0 | -1,2 | -0,5 |
| | Nettoentnahme im Teilbilanzraum Zentralraum (inkl. Rampe) | | | 0 | -87,4 | -48,4 |
| | Nettoentnahme im Teilbilanzraum Hochscholle | | | 0 | -63,9 | -22,2 |

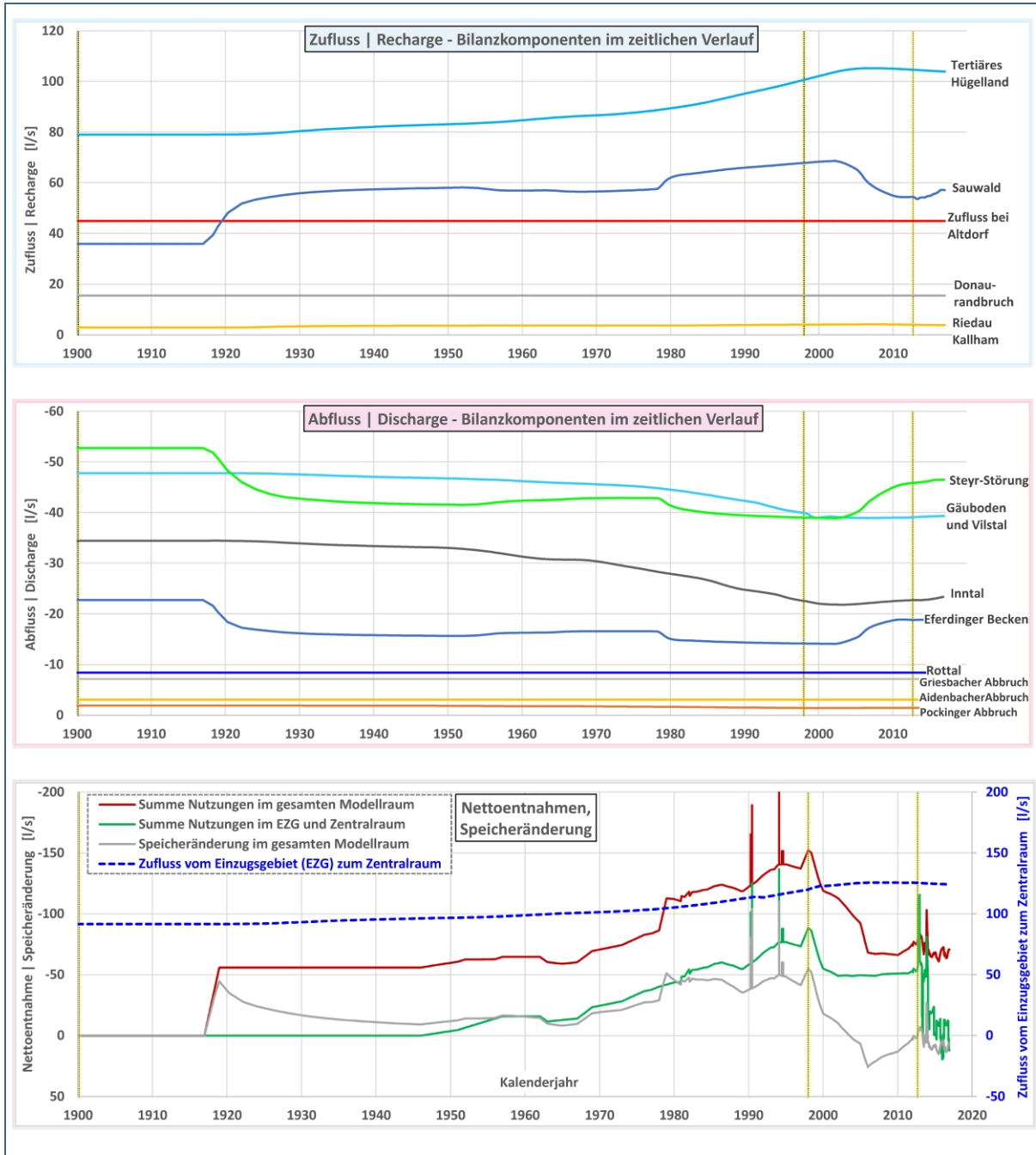


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Bilanzkomponenten nach numerischem 3D Thermalwassermodell.

(1, oben) Zufluss-/Recharge – Bilanzkomponenten, (2, Mitte) Abfluss-/ Discharge – Bilanzkomponenten und (3, unten) Entnahmesummen der Thermalwassernutzungen und die Speicheränderung, hier: (-) Entspeicherung, (+) Einspeicherung. Zusätzlich ist der Zufluss vom Einzugsgebiet in den Zentralraum dargestellt.

Die in Tabelle 6 dargelegten Zeitpunkte der Bilanzierung sind in den Diagrammen mit gelber Linie hervorgehoben. In Anlage 21 sind die Bilanzkomponenten und die Speicheränderung nach Teilbilanzräumen differenziert für Mitte 2012 (vor Beginn der Nutzung Ried-Mehrnbach) als Übersichtskarte dargestellt.

5.6 Prognoseberechnungen

Aus dem kalibrierten Modell wurde ein Prognosemodell erstellt, das künftig bei wasserrechtlichen Genehmigungs-/ Bewilligungsverfahren zu neuen oder modifizierten Thermalwassernutzungen als Werkzeug zur Ermittlung von gegenseitigen hydraulischen Beeinflussungen und von Änderungen der Strömung und Bilanzen herangezogen wird (vgl. Kapitel 5.9). Dabei ist der Fokus nicht nur auf die möglichst hohe Prognosefähigkeit, sondern darüber hinaus auch auf die Anwendbarkeit des Modells gelegt. Während das Kalibriermodell ein instationäres Modell ist, das die gesamte Förderhistorie in der zeitlichen Entwicklung abbildet, erfolgen die künftigen Prognosen daher anhand des Vergleichs zweier stationärer Modellrechenfälle, also jeweils mit zeitlich konstanten Randbedingungen.

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit wurden generische Prognosefälle gerechnet, die ein möglichst breites Spektrum an plausiblen Szenarien abdecken sollten. Darunter ist die Konsenserhöhung einer bestehenden Nutzung und eine neue thermische Nutzung (Dublette) im Bereich der Rampe sowie eine neue balneologische Nutzung im Zentralraum. Eher zur Validierung des Modells wurden weitere Szenarien berechnet. Dies betrifft die Anwendung des Prognosemodells auf die bereits bestehende Nutzung Ried-Mehrnbach TH 1a – TH 2 und die Inbetriebnahme der dritten Bohrung Mehrnbach TH 3.1a sowie einen instationären Berechnungsfall zur Pandemie-bedingten Entnahmereduktion Anfang 2020.

Als Beispiel der Prognoseberechnungen sind im Anlagenteil die hydraulischen Auswirkungen bei den Prognosefällen zur Nutzung Ried-Mehrnbach dargestellt (Anlagen 22 und 23 zu Potentialdifferenzen; Anlagen 24 und 25 zur Änderung von Fließrichtung und -stärke). Die ermittelten Potentialdifferenzen bezogen auf den Referenzzustand vor Beginn der Nutzung Mehrnbach passen sehr gut zur Modellvorstellung und den punktuellen Beobachtungen. Beim Prognosefall 2.1 (Entnahme Mehrnbach TH 2 in der Hochscholle und Reinjektion Mehrnbach TH 1a in die Tiefscholle, siehe Anlage 22) bilden sich beidseitig des Rieder Abbruchs großräumige hydraulische Absenkungen (Hochscholle) und Aufhöhungen (Tiefscholle) aus. Auf der Tiefscholle wird die Reaktion stark in Richtung Nordwesten auf die Rampe kanalisiert. Da es sich um eine stationäre Prognose handelt stellt sich die Reichweite der Beeinflussung tendenziell größer dar als im realen Betrieb beobachtet. Der Prognosefall 2.2 (siehe Anlage 23) stellt den Dublettenbetrieb Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a, beide auf der Tiefscholle gelegen, ab Ende 2019 dar. Hier bildet sich ein für eine Dublettennutzung typischer Dipol aus. Die Beeinflussung im Bereich der Rampe liegt mit +1,0 m bis +1,5 m deutlich niedriger als beim Prognosefall 2.1. Auch bei der Betrachtung der Fließrichtung/ -stärke und Filtergeschwindigkeit (Anlagen 24 und 25) ist der Unterschied deutlich. Beim Prognosefall 2.1 treten in der Zerrüttungszone nördlich der Injektion Mehrnbach TH 1a deutlich erhöhte Filtergeschwindigkeiten verglichen mit dem Referenzzustand 2011 auf, südlich von Mehrnbach TH 1a kehrt sich die natürliche Fließrichtung um. Bei Prognosefall 2.2 stellt sich in der Größenordnung wieder das Fließgeschehen von 2011 ein (vgl. Anlage 19).

Durch die Berechnung und Auswertung dieser und der weiteren Prognosefälle und der Validierung des Modells konnte die Prognosefähigkeit und Anwendbarkeit des numerischen Thermalwassermodells positiv beurteilt werden. Es wurden auch Workflows für die Berechnung, Datenauswertung und Darstellung künftiger Prognosefälle entwickelt.

5.7 Modellgenauigkeit und Anwendungsbereich

Die Modellgenauigkeit und Prognosefähigkeit sind stark von der Dichte der vorhandenen Messdaten abhängig. Abbildung 9 stellt schematisch die Informationsdichte der bekannten Reaktionsmessungen auf Pumpversuche und Probebetriebe dar. Die meisten und hochwertigsten Daten wurden dabei durch die Langzeit-Pump-/Reinjektionsversuche (LZPIV) und den Probebetrieb in Ried-Mehrnbach generiert. Die Modell- und Prognosegenauigkeit ist schwer zu quantifizieren, da diese sowohl regional als auch zeitlich variabel ist. Die Anpassung der Relativpotentiale als Reaktion auf die LZPIV und den Probebetrieb Ried-Mehrnbach kann für Füssing Therme I, Füssing Therme II, Reichersberg 2 und weitgehend auch für Oberfeld 1 im niedrigen Dezimeterbereich angegeben werden. Für Füssing Therme III ist die Anpassungsgüte im niedrigen Meterbereich auch aufgrund einer zeitweise unzureichenden Messdatenqualität geringer.

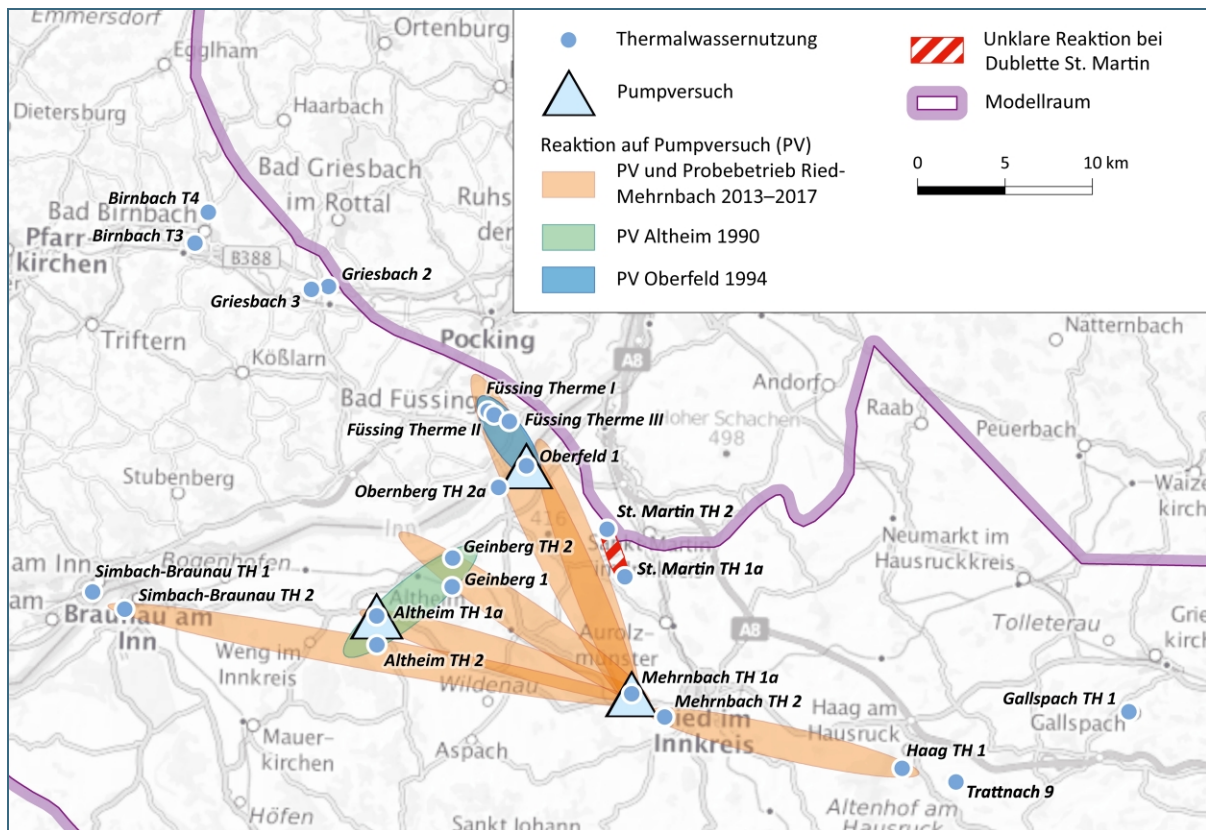


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Informationsdichte auf der Grundlage von Pumpversuchen und Probebetrieb im Zentralraum und den zugehörigen Reaktionsmessungen.

In den Bereichen mit einer belegten Reaktion (und auch Nicht-Reaktion) ist das Modell anhand der Reaktionsmessungen kalibriert. Fachdaten: ARGE bzw. Pumpversuchs-/Monitoring-Berichte, Geobasisdaten: BKG.

Zum Anwendungsbereich des Prognosemodells ist festzuhalten, dass es sich um ein Bewirtschaftungsinstrument zur Ermittlung hydraulischer Beeinflussungen und Änderungen durch neue Nutzungen bzw. Betriebsänderungen handelt, und nicht um ein Werkzeug zur konkreten Planung einer neuen Anlage. Ferner ist das Modell nicht dafür ausgelegt, thermische Auswirkungen zu berechnen, die aufgrund der Reinjektion in den Thermalgrundwasserleiter entstehen, weder vom Modellansatz (unidirektional gekoppeltes Modell) noch vom Modellnetz. Aufgrund der hier sehr großen lokal auftretenden thermischen Gradienten müsste in diesen Bereichen deutlich feiner diskretisiert werden.

5.8 Erkenntnisse aus der numerischen Modellierung

Aus der numerischen Modellierung haben sich folgende wesentlichen Erkenntnisse zum Thermalwasservorkommen ergeben:

- Die Bearbeitungen haben gezeigt, dass bei den vorliegenden hohen Temperatur- und Dichteunterschieden im Thermalwasservorkommen zwingend eine thermisch-hydraulisch gekoppelte Modellierung durchzuführen ist. Nur so können die bestehenden Auftriebseffekte berücksichtigt und folglich das Fließgeschehen korrekt dargestellt werden.
- Die hydrogeologische Modellvorstellung einer Tiefenzirkulation vom Einzugsgebiet des Tertiären Hügellandes über den tiefsten Bereich des Braunauer Trogs, entlang des Rieder Abbruchs in nördlicher Richtung bis zum Aussickerungsgebiet im Bereich des Inn- und Rottals konnte mit dem numerischen 3D Thermalwassermodell bestätigt werden.
- Die Ergebnisse der Modellberechnungen zeigen, dass in Abweichung zum hydrogeologischen Modell den älteren tertiären Sanden ein größerer Anteil der Thermalwasserströmung zuzuordnen und daher bei der lokalen Bilanzierung zu berücksichtigen ist.
- Die im hydrogeologischen Modell getroffenen Annahmen konnten durch eine durchgeführte numerische Mischungsrechnung und Evaluierung einer Altersmodellierung validiert werden.
- Die Ergebnisse der Modellberechnungen bestätigen die Aussage im hydrogeologischen Modell, dass die Bilanzgrößen deutlich geringer sind, als jene mit dem Modell 1998 ermittelten. Damit steht auch ein deutlich geringeres Dargebot für Thermalwassernutzungen als früher angenommen zur Verfügung. Es ist davon auszugehen, dass in der Hochentnahmephase vor Einführung der Reinjektion des geothermisch genutzten Thermalwassers Ende der 1990er Jahre eine Übernutzung des Thermalwasservorkommens vorlag. Dies zeigt sich in den bis zu diesem Zeitraum stetig fallenden Potentialen in Bad Füssing. In den Modellergebnissen ist zudem eine deutliche Speicherentleerung des Thermalgrundwasserleiters in den Jahren 1980–2000 erkennbar.

5.9 Modellanwendung

Mit dem numerischen 3D Thermalwassermodell wurde ein beiderseits akzeptiertes Bewirtschaftungsmodell im Hinblick auf eine nachhaltige Bewirtschaftung der Thermalwasserressource geschaffen. Dieses neue Instrument ersetzt das frühere 2D Modell und ist als Beurteilungsgrundlage bei künftigen wasserrechtlichen Genehmigungs-/ Bewilligungsverfahren zu neuen oder modifizierten Thermalwassernutzungen heranzuziehen.

Der grundlegende Rahmen zur Modellanwendung und -pflege ist in den Grundsatzpapieren zur Thermalwassernutzung (Expertengruppe Thermalwasser 2012) definiert und ist noch bei der nächsten Fortschreibung der Grundsatzpapiere an das neue 3D Thermalwassermodell anzupassen. Die Durchführung und Dokumentation eines neuen Prognosefalls zu neuen Nutzungen bzw. Betriebsänderungen soll weiterhin nur zu den hydraulischen Beeinflussungen und Änderungen erfolgen (Potentialdifferenzen vgl. Anlagen 22 und 23; berechnete Strömung vgl. Anlagen 24 und 25; Auswertung der Bilanzkomponenten). Das Modell ist hingegen nicht dafür konzipiert thermische Auswirkungen zu berechnen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken erstreckt sich zwischen Regensburg, Landshut und Linz im tiefen Untergrund ein bedeutendes Thermalwasservorkommen, das auf beiden Seiten der Grenze sowohl balneomedizinisch als auch in immer stärkerem Maße geothermisch genutzt wird. Um die bestehenden Nutzungen abzusichern und in einem wasserwirtschaftlich vertretbaren Ausmaß auch zukünftig Nutzungen zu ermöglichen, sind gemeinsame Bewirtschaftungsmaßnahmen erforderlich.

In den Jahren 1995 bis 1998 wurde im Auftrag der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag ein hydrogeologisches Modell entwickelt und ein darauf aufbauendes numerisches 2D Thermalwasser-Strömungsmodell zur Bilanzierung des Thermalwasservorkommens erstellt. Damit wurde eine bilateral anerkannte Fachgrundlage geschaffen, um die Auswirkungen von geplanten Thermalwassernutzungen zu prognostizieren und im Rahmen von wasserrechtlichen Genehmigungs- bzw. Bewilligungsverfahren beurteilen zu können.

Im Zuge einer Neuerschließung des Thermalwasservorkommens im Jahr 2011 wurde festgestellt, dass die Ergebnisse durchgeführter Messungen im Zentralraum mit dem numerischen 2D Thermalwasser-Strömungsmodell nicht mehr annähernd abgebildet werden konnten. Damit wurde es notwendig alle neueren Fachgrundlagen zu erheben und neue hydrogeologische Modellvorstellungen zu entwickeln. Dies führte zur Beauftragung des Projekts „Erstellung eines 3D Thermalwasser-Strömungsmodells im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken“ durch die Expertengruppe Thermalwasser.

Als Grundlage für die Bearbeitungen erfolgte eine umfangreiche Erhebung und Auswertung aller seit 1998 vorliegenden Informationen aus Fachpublikationen und Berichten sowie im Projektgebiet erhobenen Messdaten und durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Erhebungen und Auswertungen wurden neue hydrogeologische Modellvorstellungen entwickelt. Dabei wurde der dreidimensionale Aufbau des Thermalgrundwasserleiters und der verschiedenen überlagernden hydrostratigraphischen Einheiten berücksichtigt. Das nun vorliegende hydrogeologische Modell führte zu folgenden wesentlichen Neuerkenntnissen:

- Die Verweilzeit des Thermalwassers ist deutlich höher als bisher angenommen.
- Die Berücksichtigung des dichtebedingten Auftriebs, der neu bewerteten Randbedingungen und Durchlässigkeiten sowie des dreidimensionalen Aufbaus des Thermalgrundwasserleiters führte zu geänderten Strömungsverhältnissen.
- Die Grundwasserneubildung bzw. vertikale Zusickerung und die Randzuflüsse sind deutlich geringer. Damit steht auch deutlich weniger nutzbare Thermalwasserressource zur Verfügung als früher angenommen.

Auf Grundlage der hydrogeologischen Modellvorstellungen wurde ein numerisches 3D Thermalwassermodell erstellt und anhand vorliegender Messdaten kalibriert. Die Ergebnisse der mit dem Modell durchgeführten Berechnungen bestätigen im Wesentlichen die entwickelten hydrogeologischen Modellvorstellungen. Auch die angesetzten Bilanzgrößen konnten entsprechend bestätigt werden. Mit diesem Modell können die relativen Druckhöhenänderungen bei Pumpversuchen und die Ruhepotentiale zu verschiedenen Zeitpunkten hinreichend nachgebildet und eine Bilanzierung des Thermalwasservorkommens vorgenommen werden.

Anhand verschiedener durchgeführter Prognoseberechnungen konnte die Prognosefähigkeit und Anwendbarkeit des Thermalwassermodells zur Bewertung der hydraulischen Auswirkungen von Thermalwassernutzungen auf das Thermalwasservorkommen und andere Nutzungen gezeigt werden.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Begrenztheit der vorhandenen nutzbaren Thermalwasserressourcen und machen damit erneut deutlich, dass die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse und damit die Nutzungsmöglichkeiten nur erhalten werden können, wenn das Thermalwasser sparsam und im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung verwendet wird.

Mit dem nun vorliegenden hydrogeologischen Modell und dem numerischen Thermalwassermodell wurde eine aktualisierte Grundlage zur Optimierung und Weiterentwicklung der bilateralen Bewirtschaftungsstrategie geschaffen. Damit ist auch weiterhin grenzüberschreitend eine einheitliche Vorgangsweise für eine nachhaltige Nutzung des Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken gewährleistet.

7 Glossar

Aussickerung / Discharge

Grundwasserstrom, der aus dem betrachteten Grundwasserleiter in einen anderen Grundwasserleiter oder in ein Oberflächengewässer austritt. In Hinblick auf die Aussickerung zur Oberfläche können die Begriffe Discharge und Grundwasserentlastung synonym verwendet werden.

Bilanzierung / Grundwasserbilanz

Volumenmäßige Erfassung aller am Grundwassergeschehen im Bilanzraum bedeutsamen Bilanzkomponenten. Die Bilanzierung von Volumenströmen bzw. Wasserflüssen kann mit einem numerischen Modell für den gesamten Bilanzraum oder für Teilbilanzräume und zeitliche Abschnitte ausgewiesen werden. Die Summe der zufließenden und abströmenden Bilanzkomponenten ist Null, soweit es zu keiner Speicherauffüllung oder -entleerung kommt. Im Rahmen des hydrogeologischen Modells werden die maßgebliche Bilanzgrößen im Hinblick auf einem plausiblen Grundwasserumsatz eingegrenzt.

Dublette

Eine geothermische Dublette besteht aus einer Förderbohrung und einer Injektionsbohrung und wird zur geothermischen Wärme- oder auch Stromerzeugung eingesetzt. Dem in der Förderbohrung entnommenen Thermalwasser wird mittels Wärmetauscher thermische Energie entzogen, bevor es wieder über die Injektionsbohrung in den Untergrund reinjiziert wird, um den Druck im Aquifer aufrecht zu erhalten.

Filtergeschwindigkeit

Die Filtergeschwindigkeit [m/s] ist die Durchflussrate [m^3/s] des Grundwassers dividiert durch die zugehörige durchströmte Querschnittsfläche [m^2].

Formationswasser

Formationswasser ist tiefes Grundwasser, das in den Hohlräumen einer bestimmten Gesteinsformation angetroffen wird. Es kann schon bei der Bildung des Gesteins eingeschlossen worden sein oder erst später seinen Platz eingenommen haben. Formationswässer in Erdgas- und Erdöllagerstätten weisen einen hohen Lösungsinhalt mit vorwiegend hohen Natrium- und Chloridgehalten auf.

Gesteinsfazies / Fazies

Bei den Sedimentgesteinen wird darunter die Ausbildungsform eines Gesteins verstanden. Diese wird durch lithologische, fossilinhaltliche Eigenschaften und durch die Entstehungsgeschichte (Ablagerung, Diagenese, Tektonik, Verkarstung) bestimmt.

Grundwasserdruckfläche

Fläche durch die geometrischen Endpunkte aller Standrohrspiegelhöhen. In einem gespannten Grundwasserleiter liegt die Grundwasserdruckfläche höher als die obere Grenzfläche eines Grundwasserkörpers; steigt die Grundwasserdruckfläche über die Geländeoberkante, so handelt es sich um artesisch gespanntes Wasser.

Grundwasserneubildung / Zusickerung / Recharge

Speisung des Grundwassers durch den Zufluss von oberirdischem Wasser (aus versickerndem Niederschlag oder Oberflächengewässer). Abhängig von den Untergrundverhältnissen gelangt meist nur ein sehr geringer Teil in tiefliegende Grundwasserhorizonte.

Kalibriermodell

Mit der Modellkalibrierung/-anpassung wird das numerische Thermalwassermodell in die Lage versetzt, die historischen Beobachtungsdaten (langfristige und zu Pump-/Probetriebe) mit möglichst geringer Abweichung zu den Messwerten nachzubilden. Hierbei dürfen die Änderungen an den Parameterwerten nur innerhalb plausibler Grenzen vorgenommen werden. Das hier vorliegende Ergebnis ist ein auf Beobachtungsdaten instationär kalibriertes Modell (Kalibriermodell), mit dem die zeitliche Entwicklung der Grundwasserströmung und Bilanzkomponenten berechnet werden kann.

Prognosemodell

Das hier vorliegende Prognosemodell wird stationär – also unter langfristig konstanten Randbedingungen – zu verschiedenen Zuständen gerechnet, um die Beeinflussung einer zusätzlichen oder geänderten Thermalwassernutzung auf Bestandsnutzungen und das Fließgeschehen allgemein zu ermitteln. Es dient als Beurteilungswerkzeug zur Bewirtschaftung des Thermalwasservorkommens.

Randbedingungen

Randbedingungen beschreiben die Wechselwirkung zwischen dem betrachteten Untersuchungsbe- reich und den angrenzenden Gebieten (z. B. Zusicke- rung, Aussickerung, Randzufluss, Randabfluss, undurchlässige Begrenzungen, Entnahmen). Im Modell werden sie in Form diskreter Werte für die Rande- mente bzw. inneren Elemente vorgegeben.

Reinjektion

Mit Reinjektion wird die Rückführung eines aus dem Untergrund entnommenen Thermalwassers ver- standen. Sie ist Teil einer geothermischen Dublette und dient der Aufrechterhaltung des Drucks im Thermalgrundwasserleiter.

Schließdruck

Der Schließdruck artesischer Brunnen ist jener Druck am Brunnenkopf, der eine bestimmte Zeit nach Beendigung der Entnahme (hier: 15 Minuten) gemessen werden kann.

Standrohrspiegelhöhe

Die Standrohrspiegelhöhe ist die Höhe des Grundwasserstands in einem Standrohr (Brunnen, Grund- wassermessstelle) gemessen. Sie entspricht der hydraulischen Druckhöhe am Fußpunkt des Stan- drohrs. Im Fall des vorliegenden Thermalgrundwasserleiters ist bei der Interpretation der Druckhöhe die Dichte des Wassers zu berücksichtigen.

8 Literaturverzeichnis

- Ad hoc Expertengruppe „Tiefenwasser“ [Hrsg.]. (2002): Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. München, Wien, Linz.
- ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich. (2024). Erstellung eines 3D Thermalwasser Strömungsmodells im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken, Endbericht. Linz.
- BMLF – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft [Hrsg.]. (1999). Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. Hydrogeologisches Modell und Thermalwasser-Strömungsmodell. Kurzbericht. Wien.
- BML – Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft [Hrsg.]: H2O Fachdatenbank, <https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb>, (Abruf am 18.9.2023).
- Expertengruppe Thermalwasser – Amt der Oö. Landesregierung, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft, Bay. Landesamt f. Umwelt, Bay. Staatsministerium f. Umwelt u. Gesundheit [Hrsg.] (2012): Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. Linz, Wien, Augsburg, München.
- Expertengruppe Thermalwasser – Amt der Oö. Landesregierung, Bundesministerium f. Nachhaltigkeit u. Tourismus, Bay. Landesamt f. Umwelt, Bay. Staatsministerium f. Umwelt u. Verbraucherschutz [Hrsg.] (2018): Expertengruppe Thermalwasser – Ein Lösungsansatz zur bilateralen Thermalwasserbewirtschaftung im niederbayerisch-oberösterreichischen Grenzraum. Linz, Wien, Augsburg, München.
- Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler & Dr.-Ing. Gödecke. (1998): Detailmodell zur Bilanzierung der Thermalwasservorkommen im Niederbayerisch-Oberösterreichischen Molassebecken, Endbericht. Augsburg.
- LfW – Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft [Hrsg.]. (1999). Das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. Hydrogeologisches Modell und Thermalwasser-Strömungsmodell im Auftrag des Freistaates Bayern und der Republik Österreich. Kurzbericht. München.












9 Anlagenverzeichnis

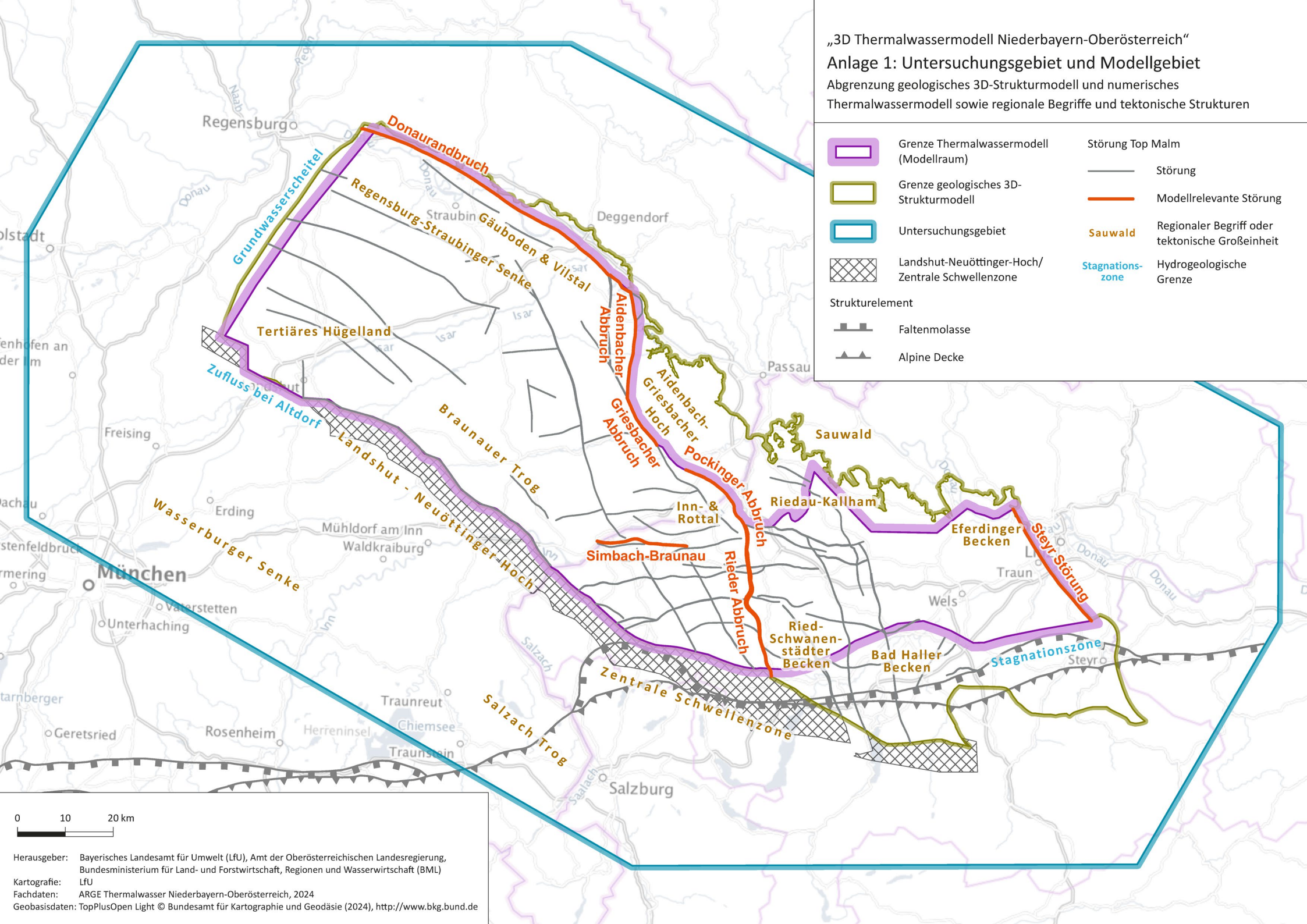
- Anlage 1: Untersuchungsgebiet und Modellgebiete
- Anlage 2: Lage der Profilschnittserie
- Anlage 3: Geologischer Profilschnitt A: Rechargegebiet Tertiäres Hügelland – Straubing
- Anlage 4: Geologischer Profilschnitt B: Raum Mauern 1 – Bad Füssing – Bad Birnbach
- Anlage 5: Geologischer Profilschnitt C: Raum Mauern 1 – Bad Schallerbach – Steyr-Störung
- Anlage 6: Geologischer Profilschnitt D: Randzufluss Sauwald – St. Marienkirchen – Fraham
- Anlage 7: Strukturkarte zur Oberkante Malm
- Anlage 8: Strukturkarte zur Oberkante „ältere tertiäre Sande“
- Anlage 9: Strukturkarte zur Mächtigkeit Thermalgrundwasserleiter
- Anlage 10: Temperaturverhältnisse im Thermalgrundwasserleiter
- Anlage 11: Hydrochemie zum Thermalgrundwasserleiter und seiner Umgebung
- Anlage 12: Stabile Isotope im Thermalgrundwasserleiter
- Anlage 13: Thermalwasserströmung nach hydrogeologischem Modell
- Anlage 14: Nettoentnahmen der Thermalwassernutzungen, Zustand 2016
- Anlage 15 A): Thermalwasserentnahmen und -reinjektionen im gesamten Modellraum
- Anlage 15 B): Entwicklung der Nettoentnahmen und Potentialganglinien im Zentralraum
- Anlage 16: Bilanzkomponenten zum ungenutzten Thermalgrundwasserleiter
(Erwartungswerte nach hydrogeologischem Modell)
- Anlage 17: 3D Ansicht des numerischen 3D Thermalwassermodells
- Anlage 18: Berechnete Strömung im ungenutzten Thermalgrundwasserleiter, Zustand 1900
- Anlage 19: Berechnete Strömung im genutzten Thermalgrundwasserleiter, Zustand 2011
- Anlage 20: Berechnete hydraulische Auswirkung im Thermalgrundwasserleiter:
Nutzung 2011 vs. ungenutzter Zustand 1900
- Anlage 21: Berechnete Bilanzkomponenten zum genutzten Thermalgrundwasserleiter,
Zustand Mitte 2012
- Anlage 22: Berechnete hydraulische Auswirkung im Thermalgrundwasserleiter bei Probebetrieb
Mehrnbach TH 1a – TH 2
- Anlage 23: Berechnete hydraulische Auswirkung im Thermalgrundwasserleiter bei neuem Betrieb
Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a
- Anlage 24: Berechnete Strömung im Thermalgrundwasserleiter bei Probebetrieb
Mehrnbach TH 1a – TH 2
- Anlage 25: Berechnete Strömung im Thermalgrundwasserleiter bei neuem Betrieb
Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a
- Anlage 26: Abweichungen des Thermalwassermodells bei den Ruhepotenzialen
- Anlage 27: Abweichungen des Thermalwassermodells bei den Temperaturwerten

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 1: Untersuchungsgebiet und Modellgebiet

Abgrenzung geologisches 3D-Strukturmodell und numerisches Thermalwassermodell sowie regionale Begriffe und tektonische Strukturen

| | | | |
|---|--|---|--|
|  | Grenze Thermalwassermodell (Modellraum) |  | Störung Top Malm |
|  | Grenze geologisches 3D-Strukturmodell |  | Störung |
|  | Untersuchungsgebiet |  | Modellrelevante Störung |
|  | Landshut-Neuöttinger-Hoch/ Zentrale Schwellenzone |  | Sauwald Regionaler Begriff oder tektonische Großseinheit |
| Strukturelement | |  | Stagnationszone Hydrogeologische Grenze |
|  | Faltenmolasse | | |
|  | Alpine Decke | | |

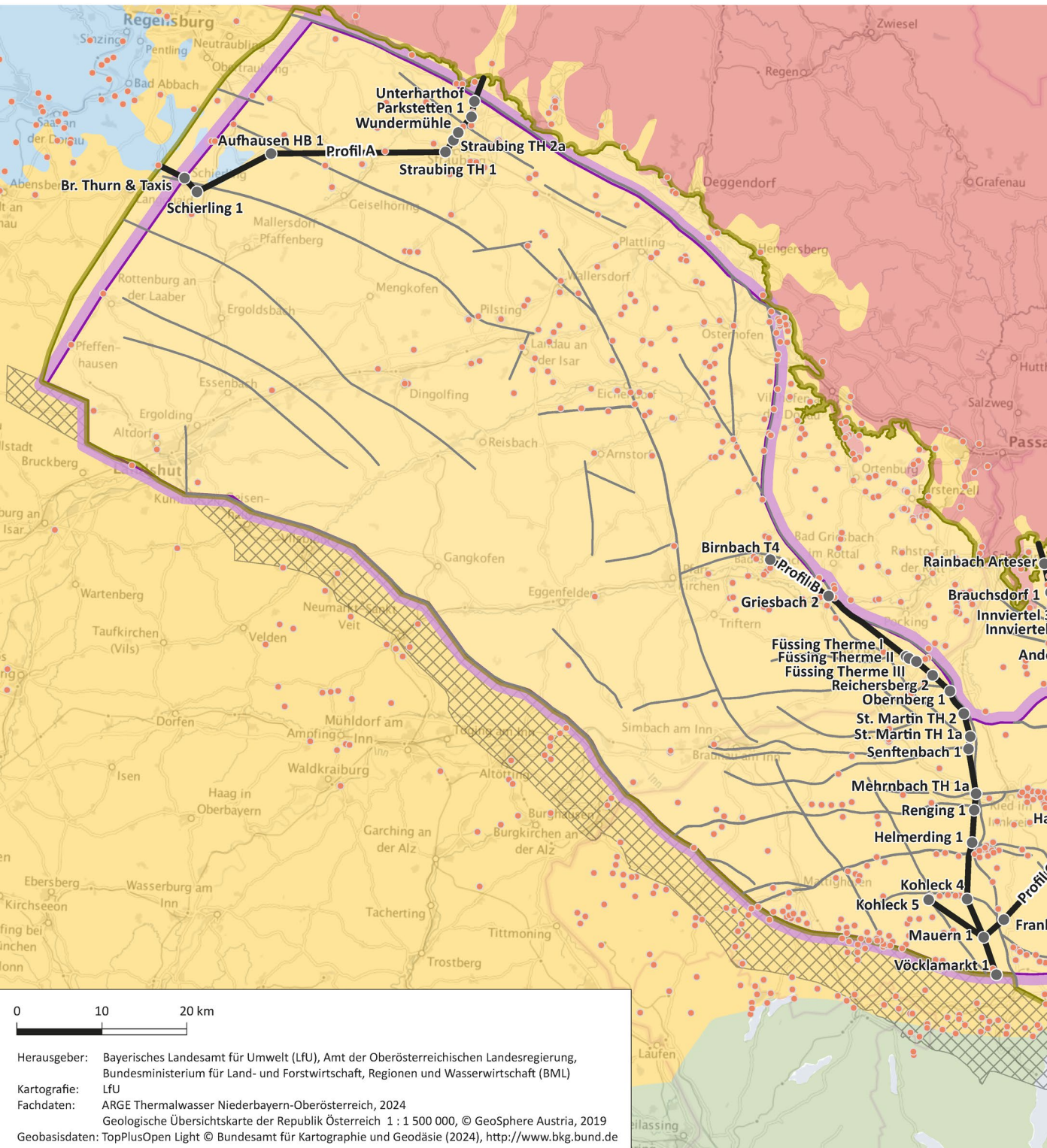


Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

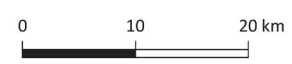
„3D Thermalwassermmodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 2: Lage der Profilschnittserie

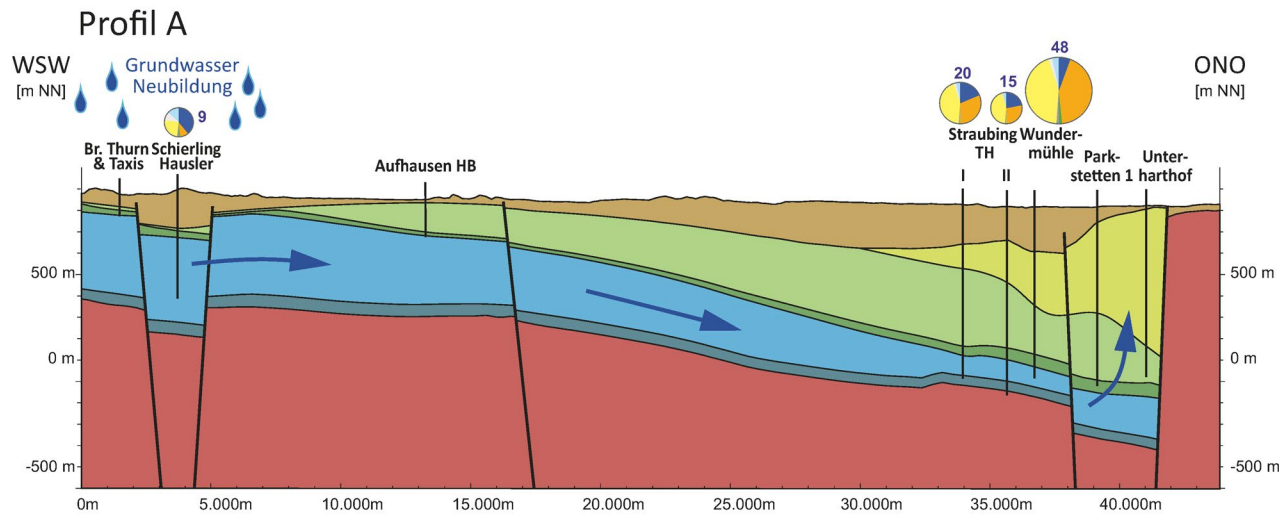
Oberflächengeologie, Bohrungen und Lage der Profilschnitte der Anlagen 3 bis 6



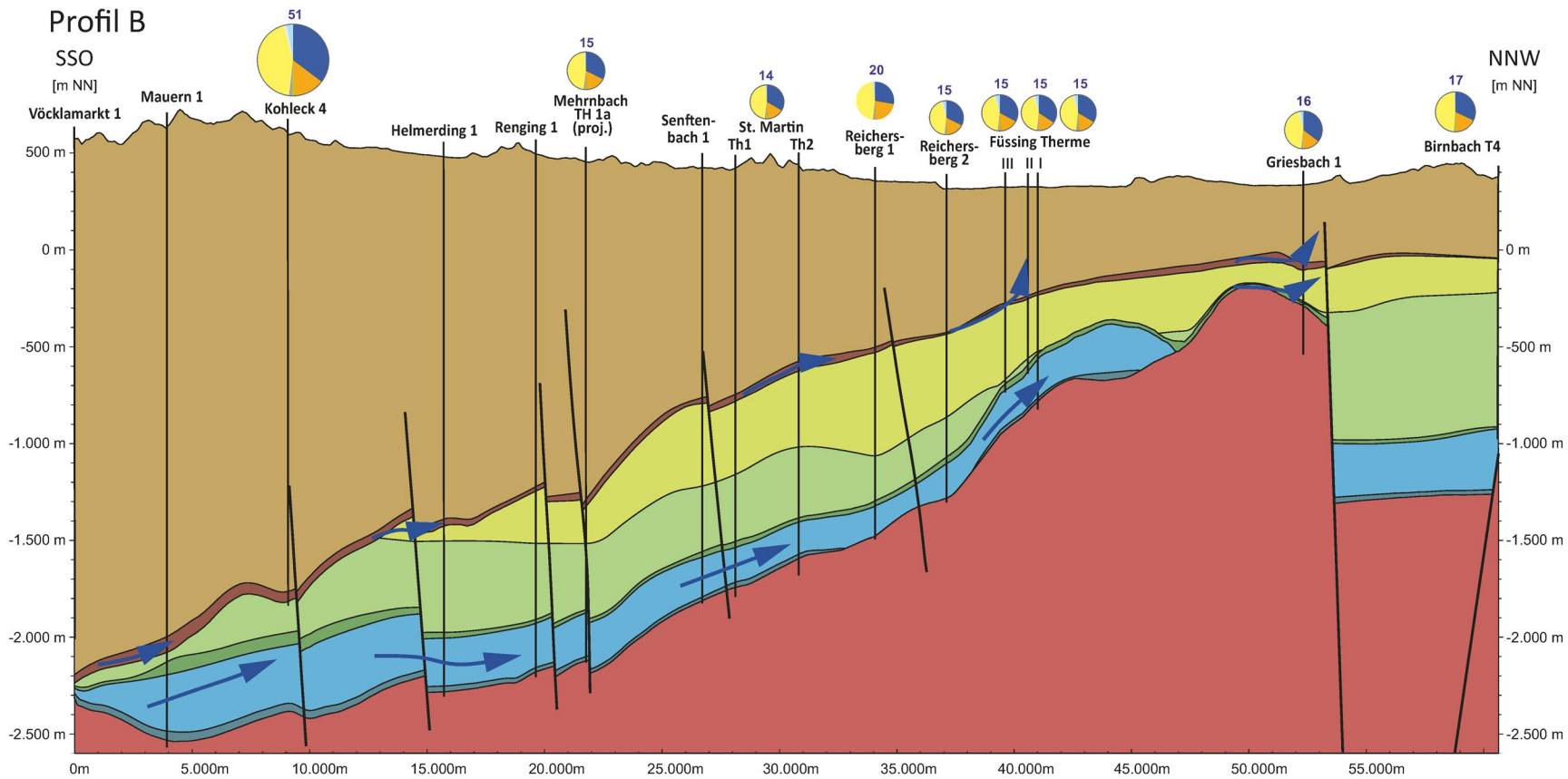
- | | | | |
|---|---|--|--------------------------------------|
| ● | Bohrung | | Oberflächengeologie |
| ● | Stützstelle Profilschnitt | | Malm, Oberkreide (Schichtstufenland) |
| — | Profilschnitt | | Flysch, Helvetikum (Alpine Decken) |
| — | Störung Molassebasis | | Nördliche Kalkalpen (Ostalpin) |
| | Modellraum | | Kristallin (Böhmische Masse) |
| | Grenze geologisches 3D-Strukturmodell | | |
| | Landshut-Neuöttinger-Hoch/ Zentrale Schwellenzone | | |



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

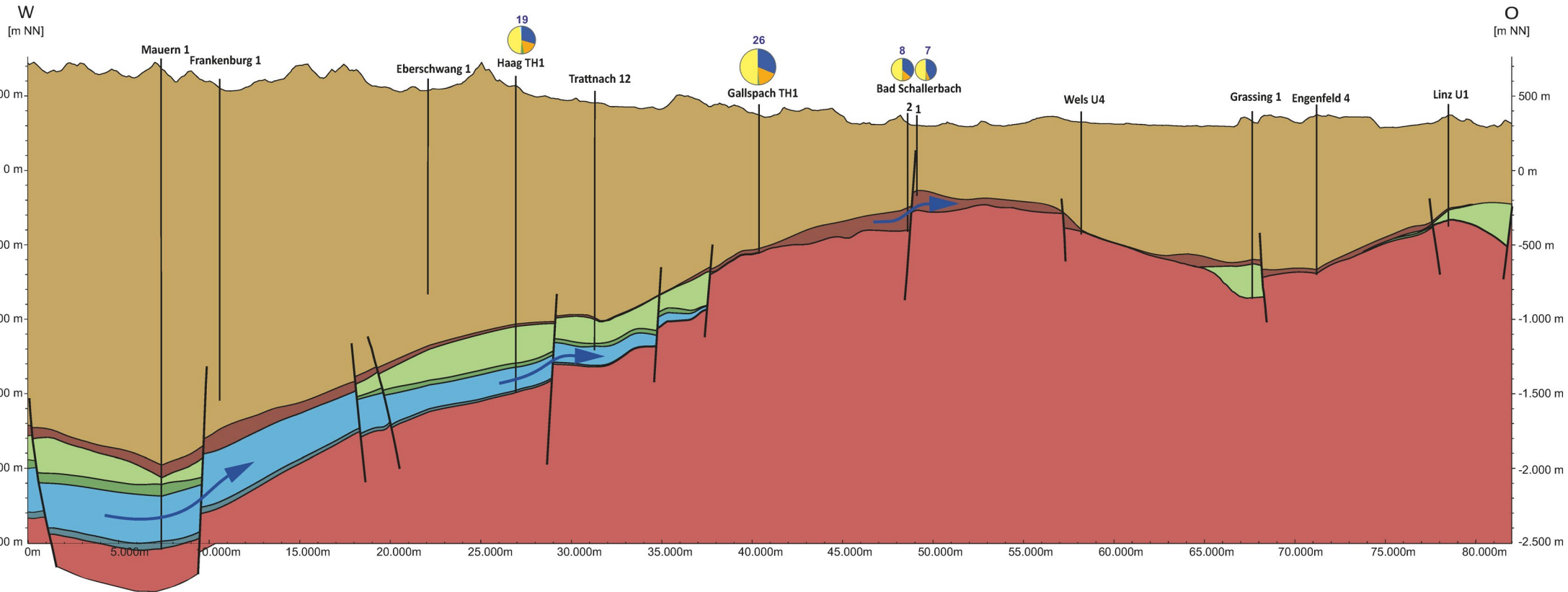


- Känozoikum undifferenziert
- Rupel/Egersande incl. Eozän
- Santonium & Campanium
- Oberkreide (exkl. Cenomanium, Santonium & Campanium)
- Cenomanium
- Oberjura (Malm)
- Mittlerer Jura (Dogger)
- Permokarbon und Kristallin

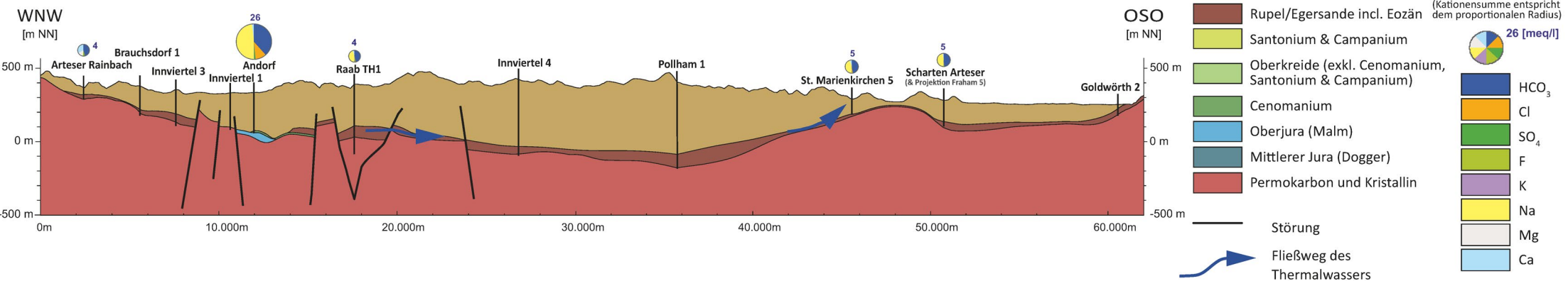


- #### Lösungsinhalt
- (Kationensumme entspricht dem proportionalen Radius)
- 20 [meq/l]
- HCO₃
 - Cl
 - SO₄
 - F
 - K
 - Na
 - Mg
 - Ca

Profil C

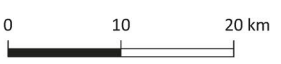
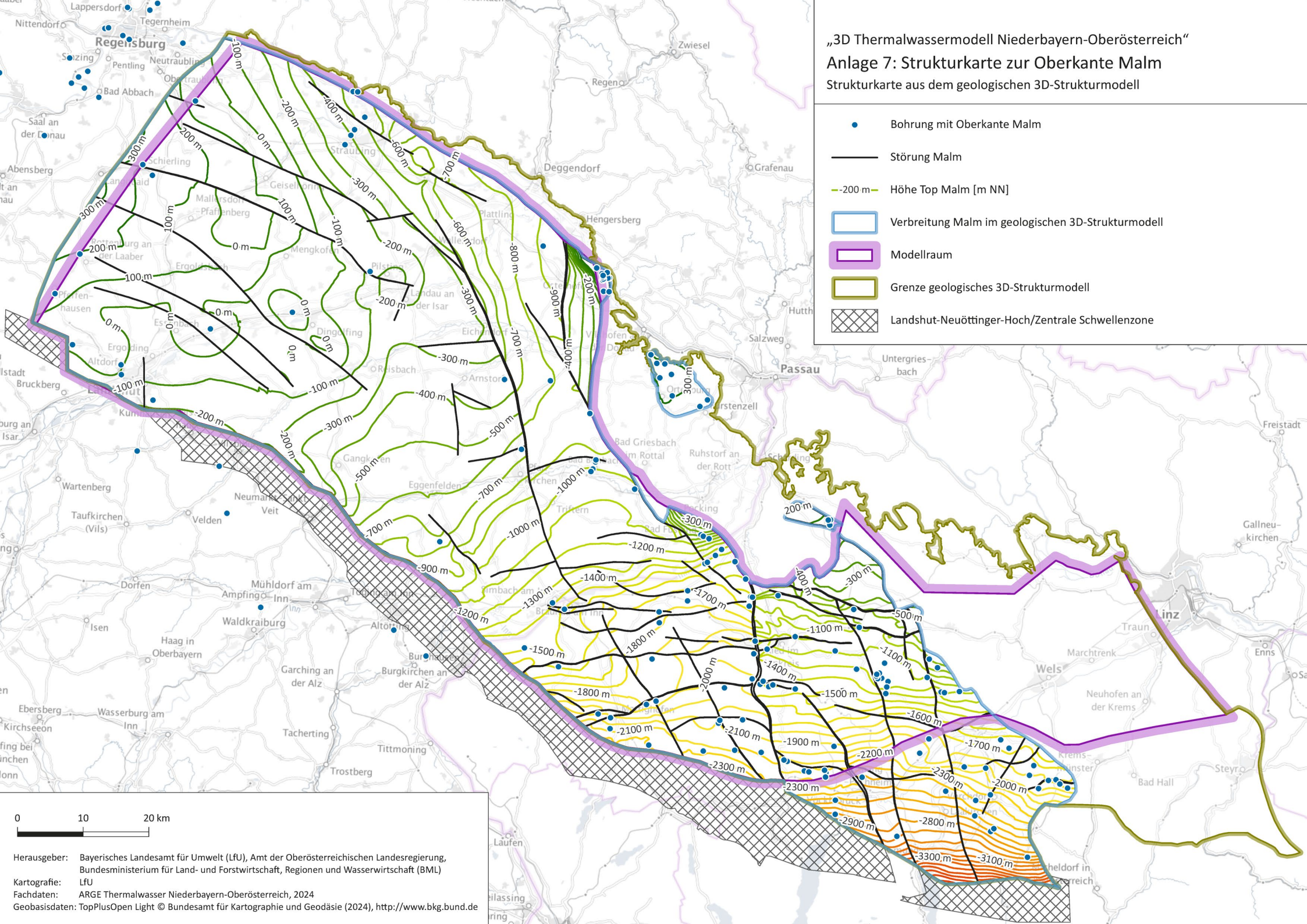


Profil D



„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
Anlage 7: Strukturkarte zur Oberkante Malm
 Strukturkarte aus dem geologischen 3D-Strukturmodell

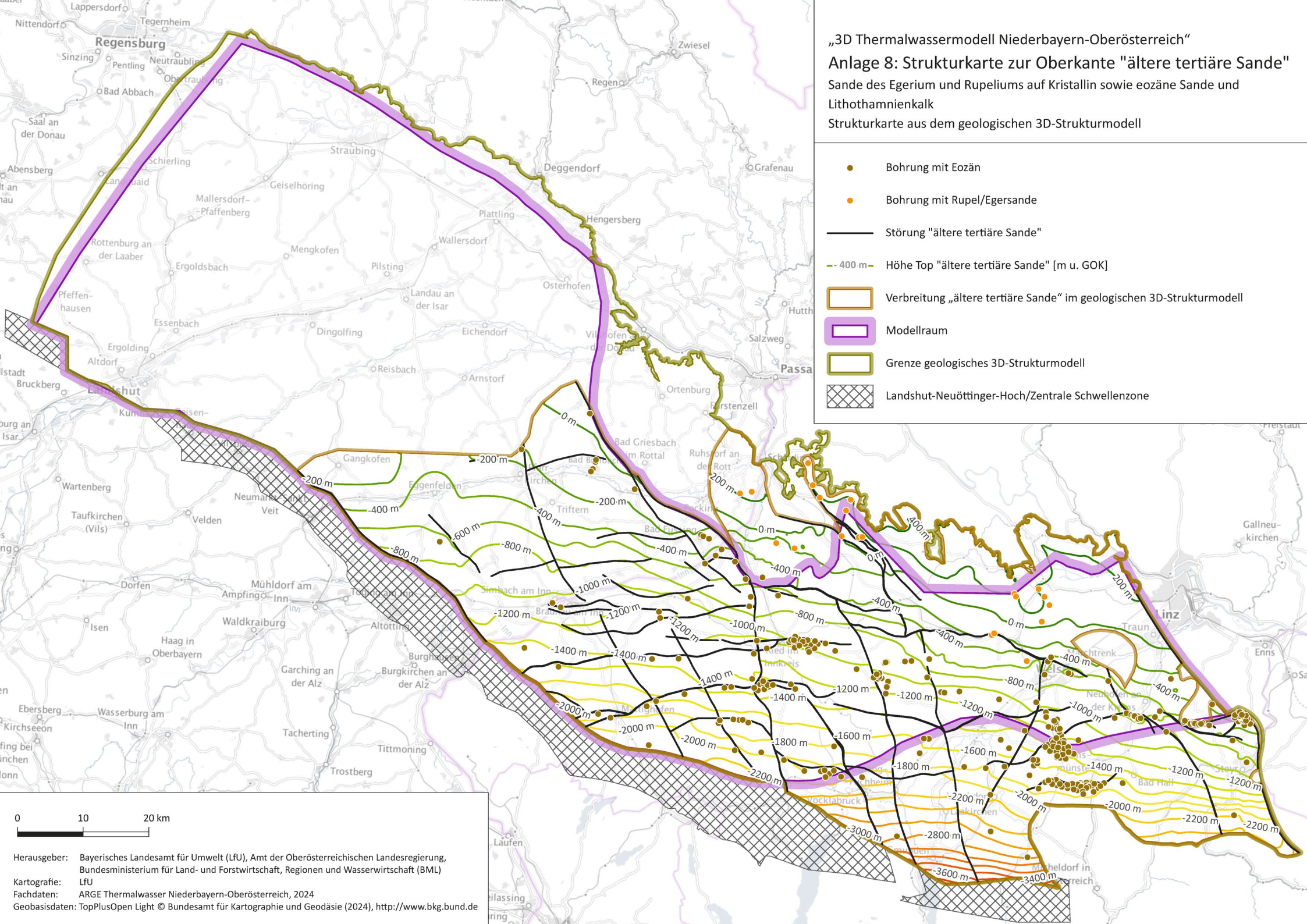
- Bohrung mit Oberkante Malm
- Störung Malm
- -200 m — Höhe Top Malm [m NN]
- Verbreitung Malm im geologischen 3D-Strukturmodell
- Modellraum
- Grenze geologisches 3D-Strukturmodell
- Landshut-Neuöttinger-Hoch/Zentrale Schwellenzone



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

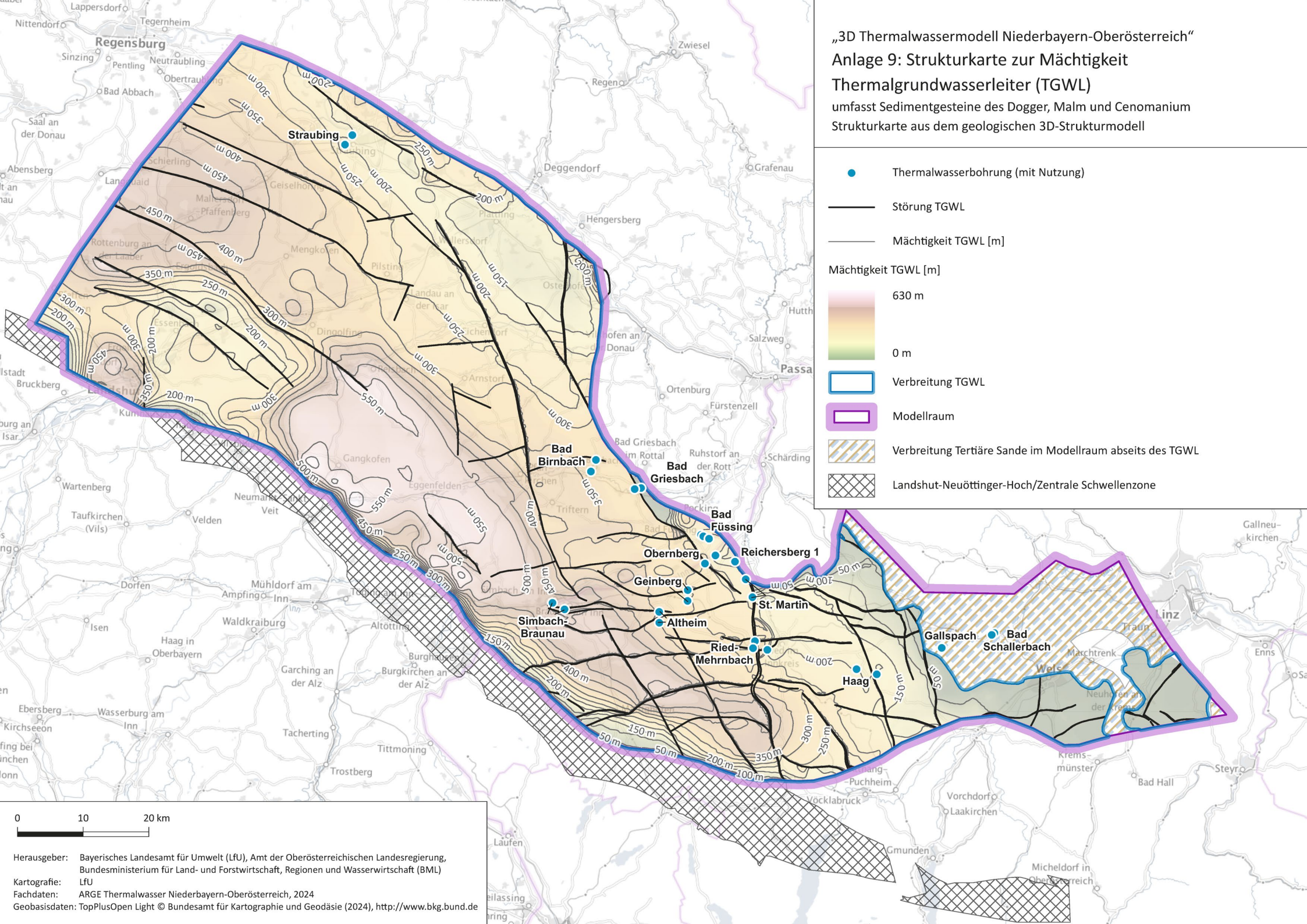
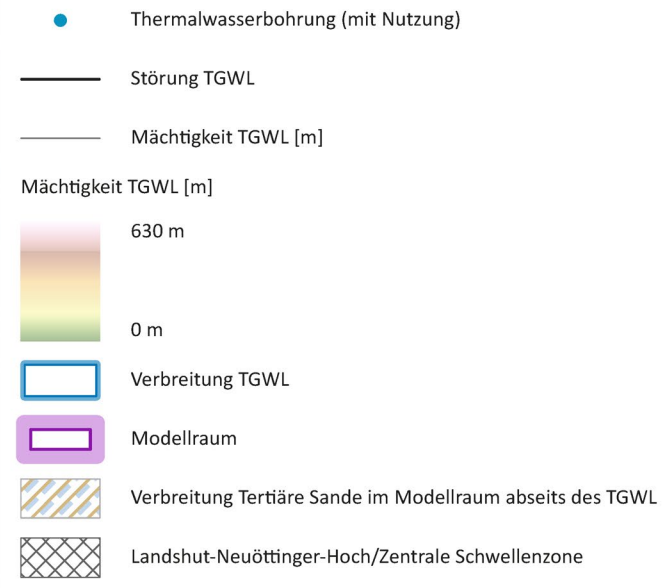
„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
Anlage 8: Strukturkarte zur Oberkante "ältere tertiäre Sande"
 Sande des Egerium und Rupeliums auf Kristallin sowie eozäne Sande und Lithothamnienkalk
 Strukturkarte aus dem geologischen 3D-Strukturmodell

- Bohrung mit Eozän
- Bohrung mit Rupel/Egersande
- Störung "ältere tertiäre Sande"
- 400 m — Höhe Top "ältere tertiäre Sande" [m u. GOK]
- Verbreitung „ältere tertiäre Sande“ im geologischen 3D-Strukturmodell
- Modellraum
- Grenze geologisches 3D-Strukturmodell
- Landshut-Neuöttinger-Hoch/Zentrale Schwellenzone



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

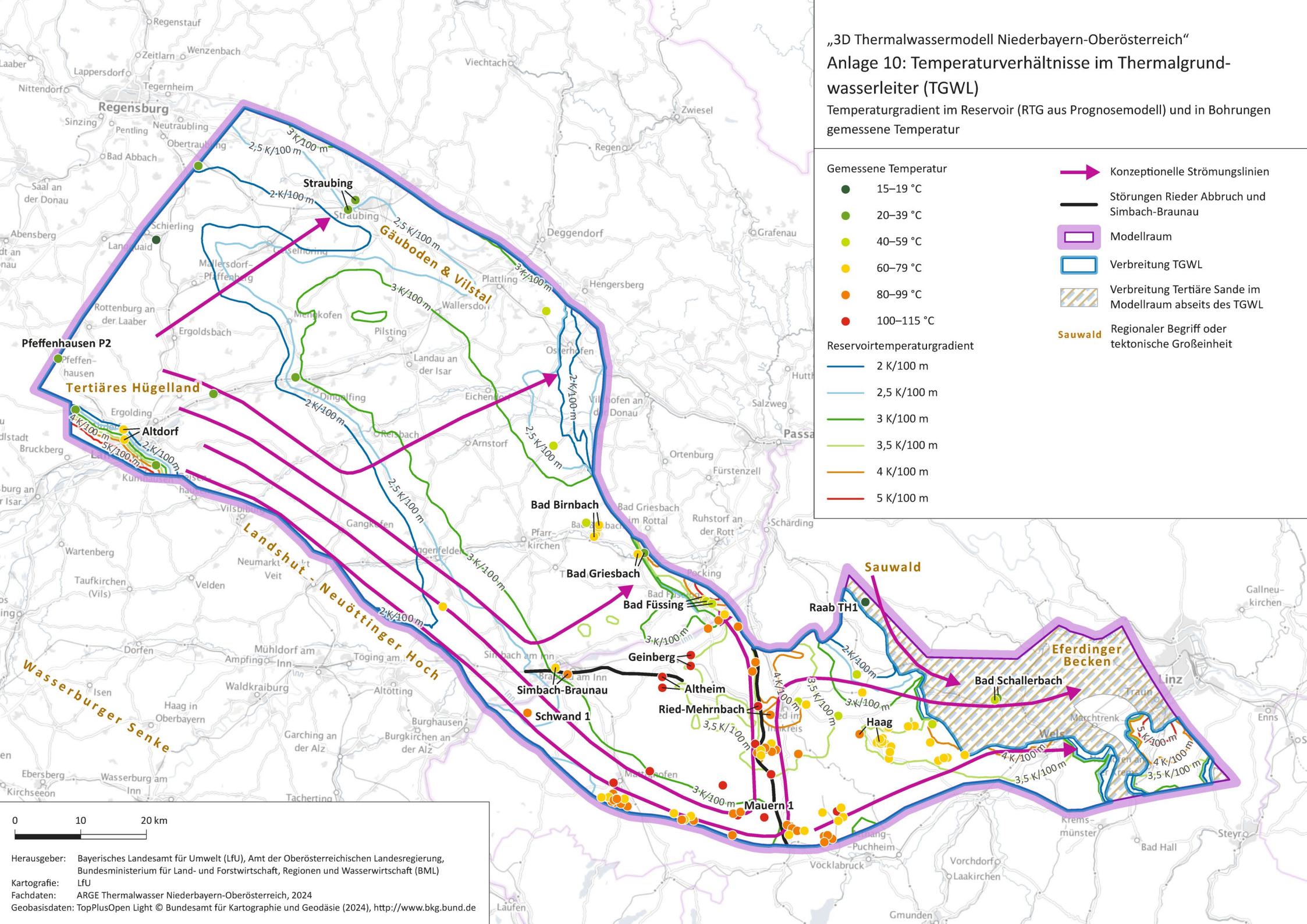
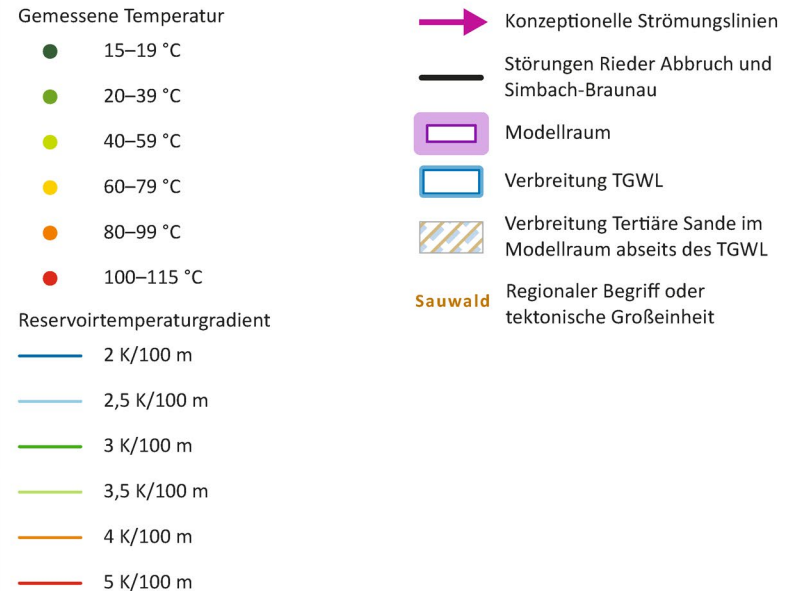
„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 9: Strukturkarte zur Mächtigkeit
 Thermalgrundwasserleiter (TGWL)
 umfasst Sedimentgesteine des Dogger, Malm und Cenomanium
 Strukturkarte aus dem geologischen 3D-Strukturmodell



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 10: Temperaturverhältnisse im Thermalgrundwasserleiter (TGWL)

Temperaturgradient im Reservoir (RTG aus Prognosemodell) und in Bohrungen gemessene Temperatur

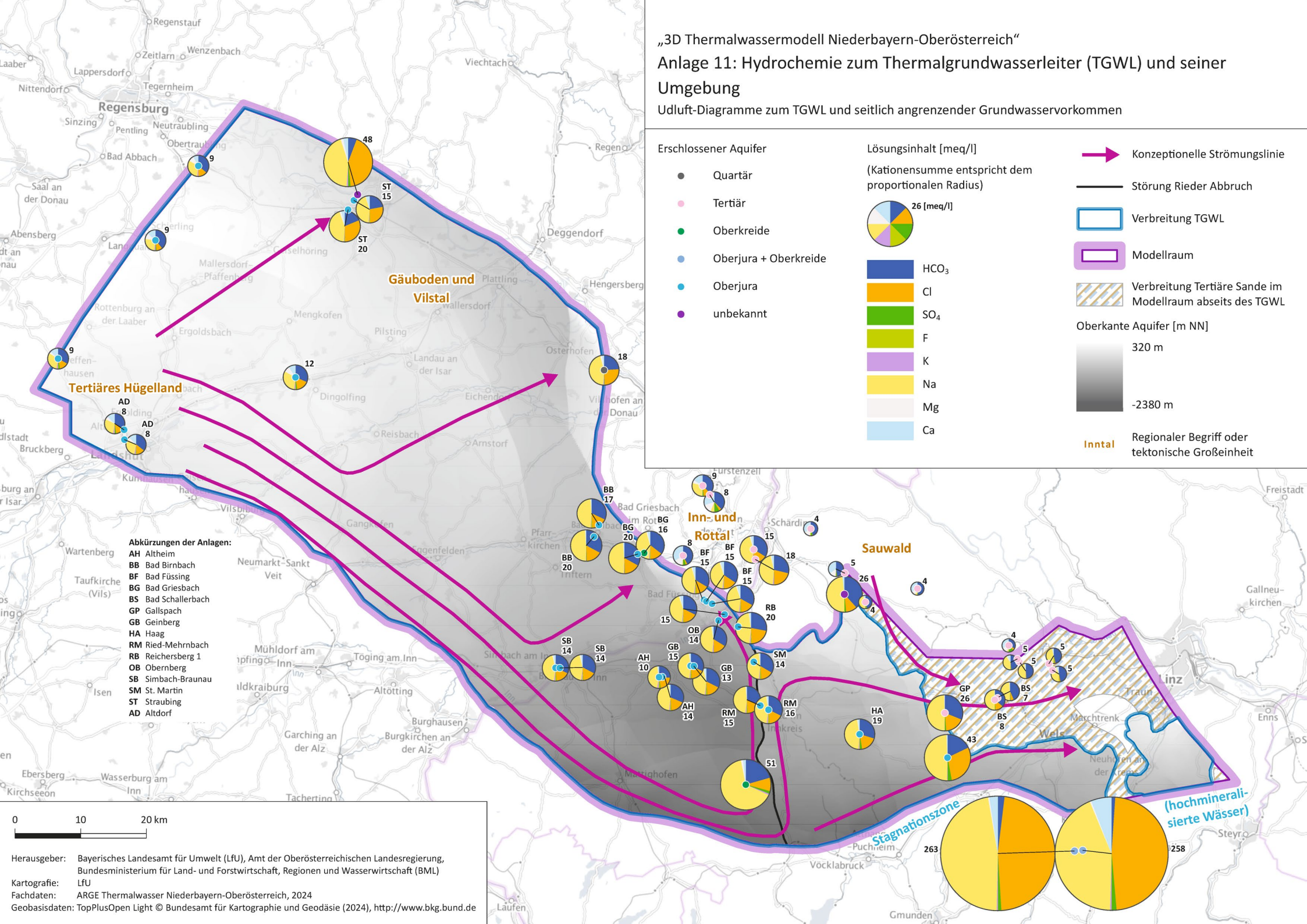


Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 11: Hydrochemie zum Thermalgrundwasserleiter (TGWL) und seiner Umgebung

Udluft-Diagramme zum TGWL und seitlich angrenzender Grundwasservorkommen



Erschlossener Aquifer

- Quartär
- Tertiär
- Oberkreide
- Oberjura + Oberkreide
- Oberjura
- unbekannt

Lösungsinhalt [meq/l]
(Kationensumme entspricht dem proportionalen Radius)

26 [meq/l]

- HCO₃
- Cl
- SO₄
- F
- K
- Na
- Mg
- Ca

Konzeptionelle Strömungslinie

— Störung Rieder Abbruch

□ Verbreitung TGWL

□ Modellraum

▨ Verbreitung Tertiäre Sande im Modellraum abseits des TGWL

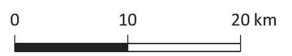
Oberkante Aquifer [m NN]

320 m

-2380 m

Inntal Regionaler Begriff oder tektonische Großeinheit

- Abkürzungen der Anlagen:**
- AH Altheim
 - BB Bad Birnbach
 - BF Bad Füssing
 - BG Bad Griesbach
 - BS Bad Schallerbach
 - GP Gallspace
 - GB Geinberg
 - HA Haag
 - RM Ried-Mehrnbach
 - RB Reichersberg 1
 - OB Oberberg
 - SB Simbach-Braunau
 - SM St. Martin
 - ST Straubing
 - AD Altdorf



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

Kartografie: LfU

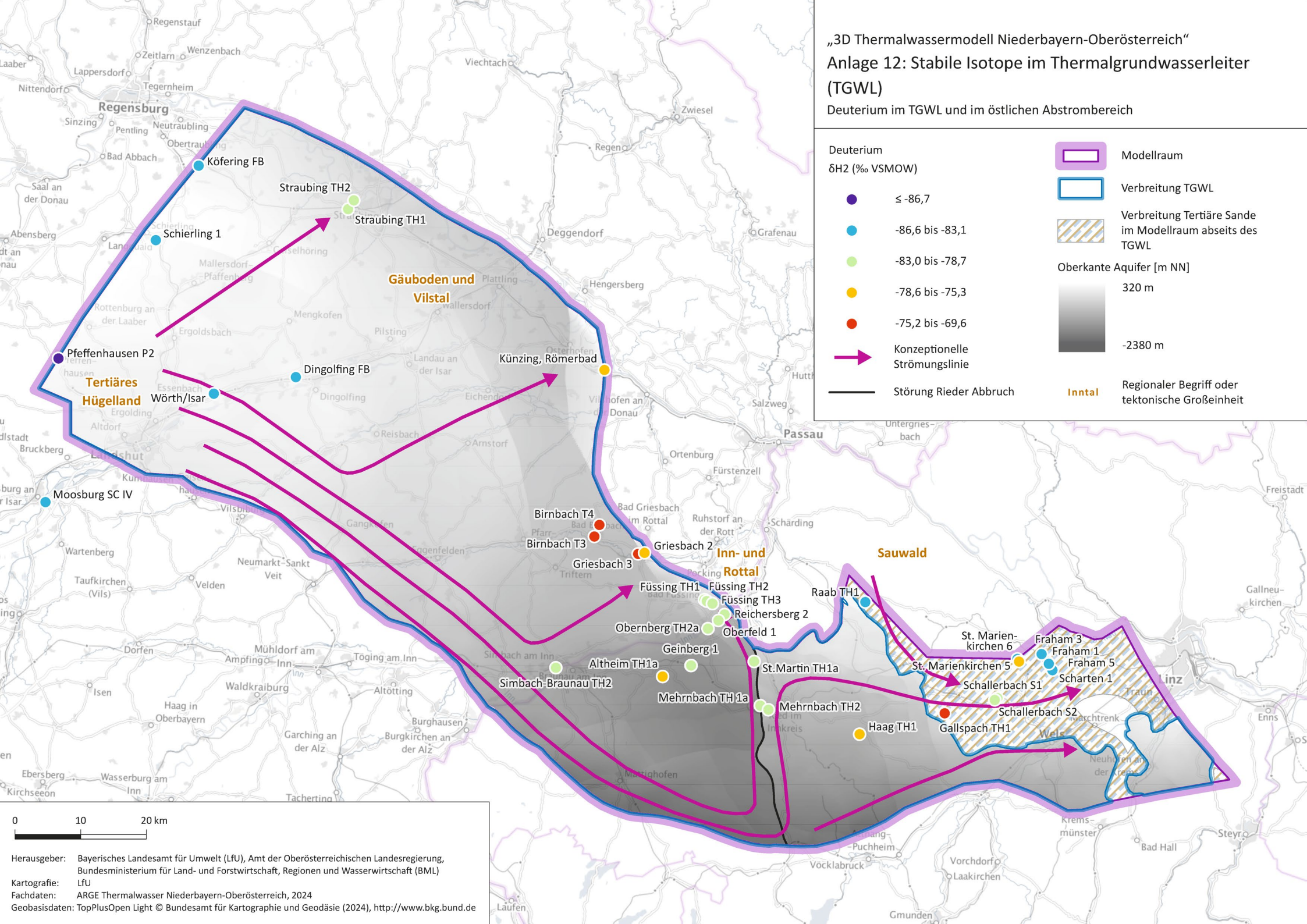
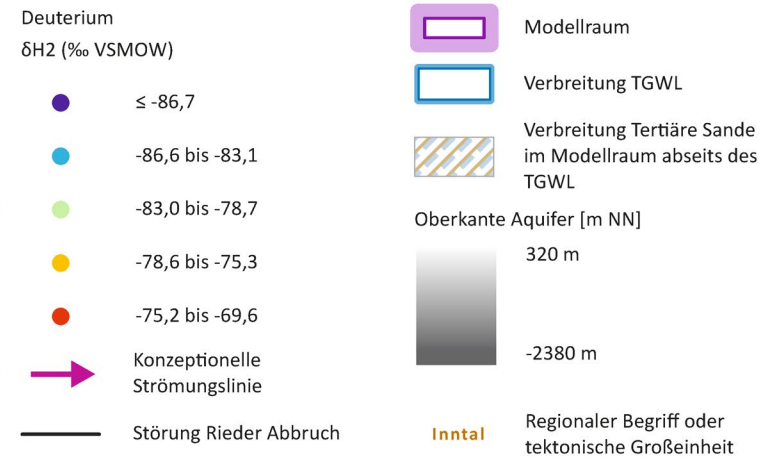
Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024

Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>



„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 12: Stabile Isotope im Thermalgrundwasserleiter
 (TGWL)

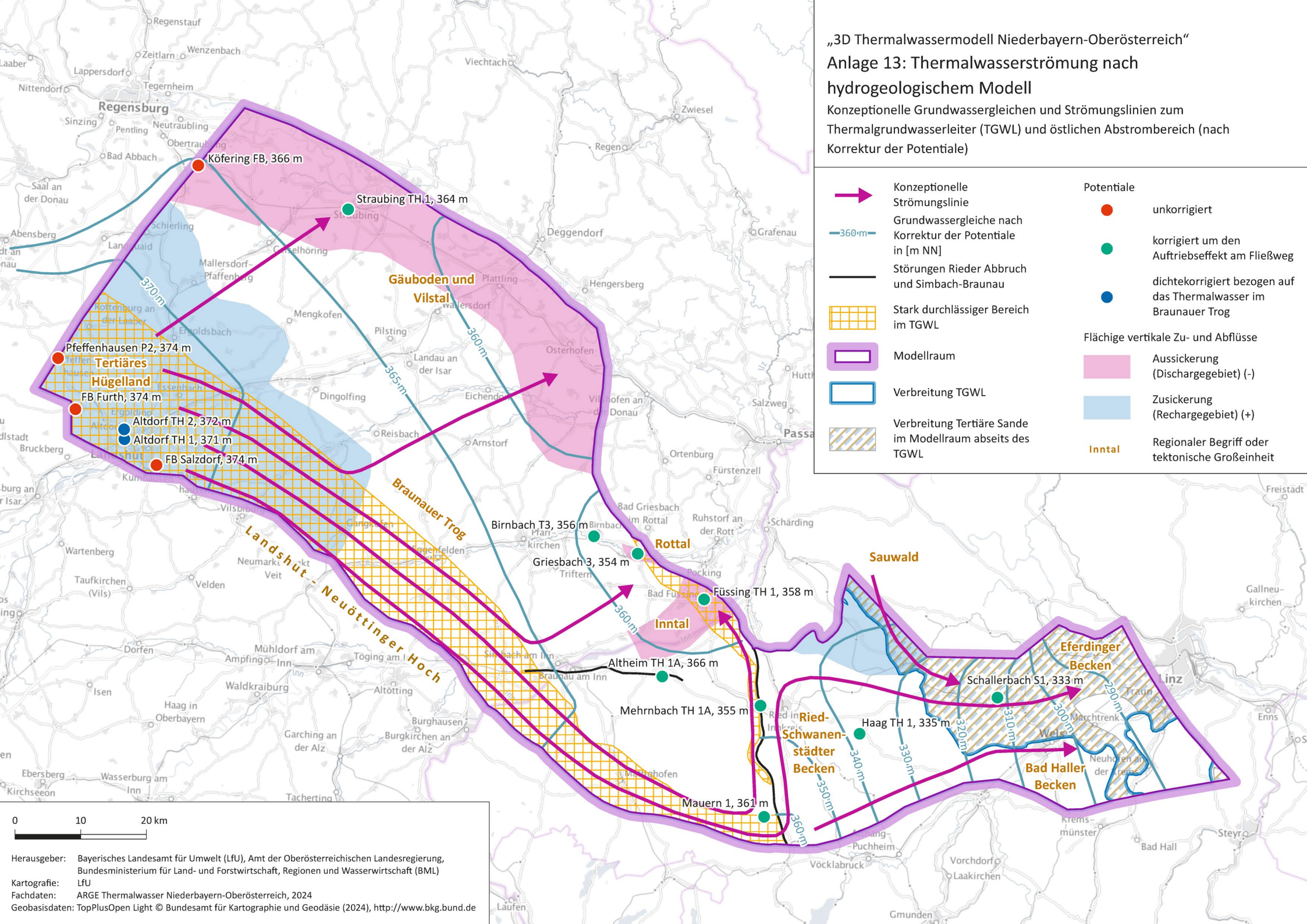
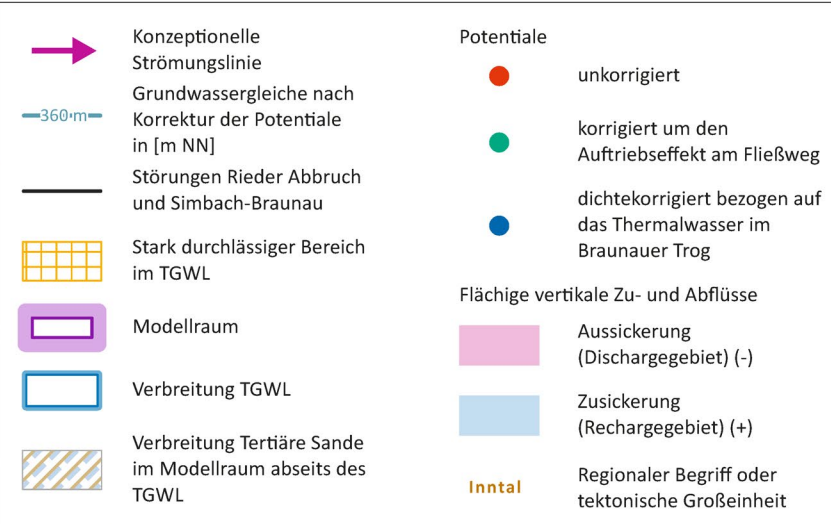
Deuterium im TGWL und im östlichen Abstrombereich



„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 13: Thermalwasserströmung nach hydrogeologischem Modell

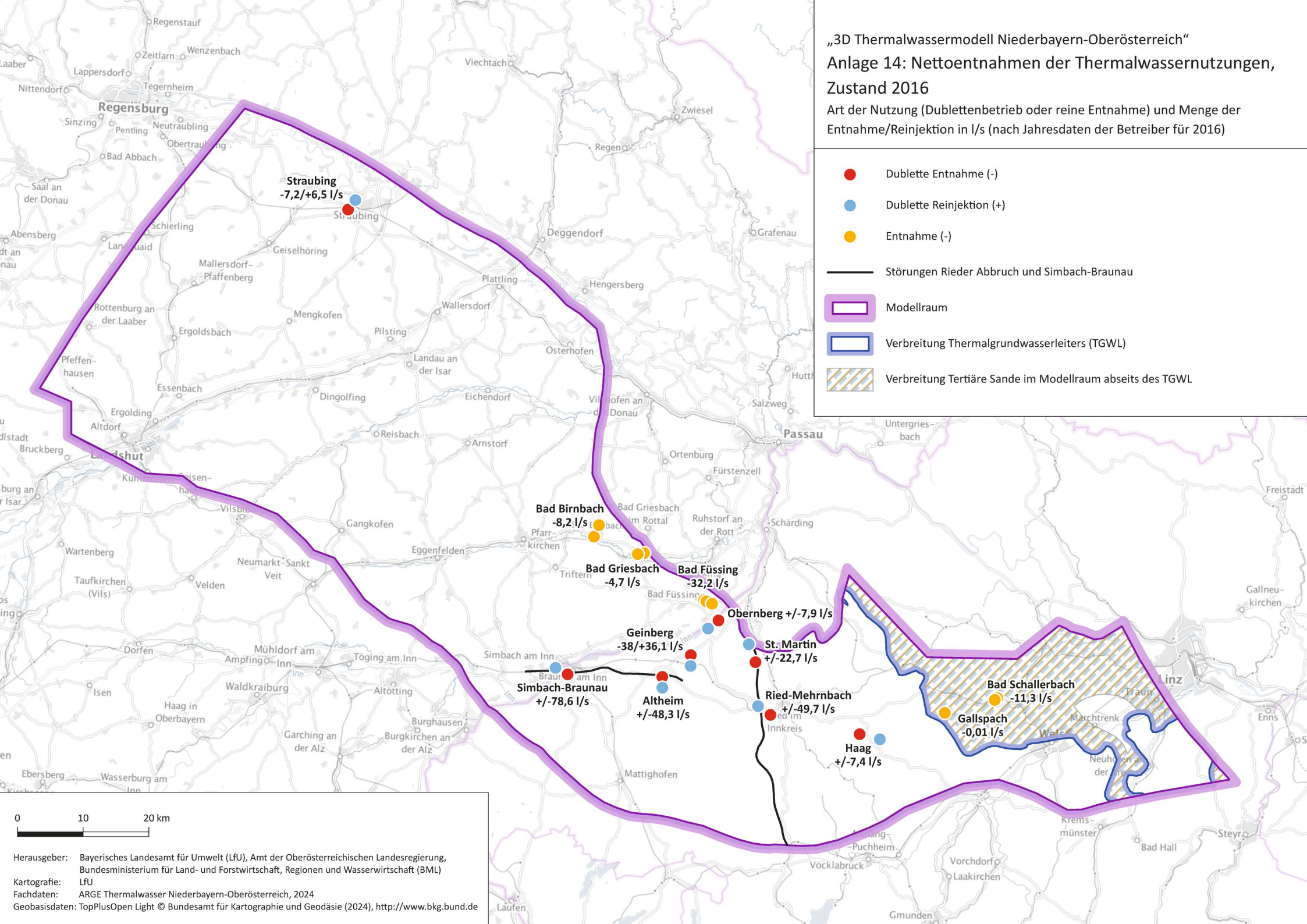
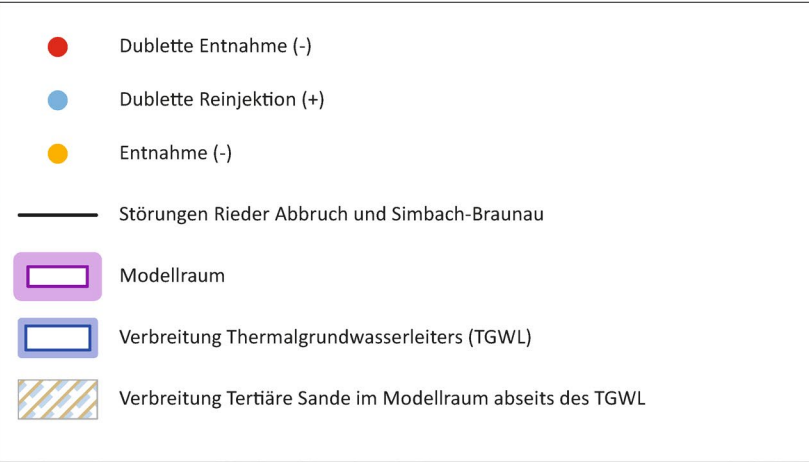
Konzeptionelle Grundwassergleichen und Strömungslinien zum Thermalgrundwasserleiter (TGWL) und östlichen Abstrombereich (nach Korrektur der Potentiale)



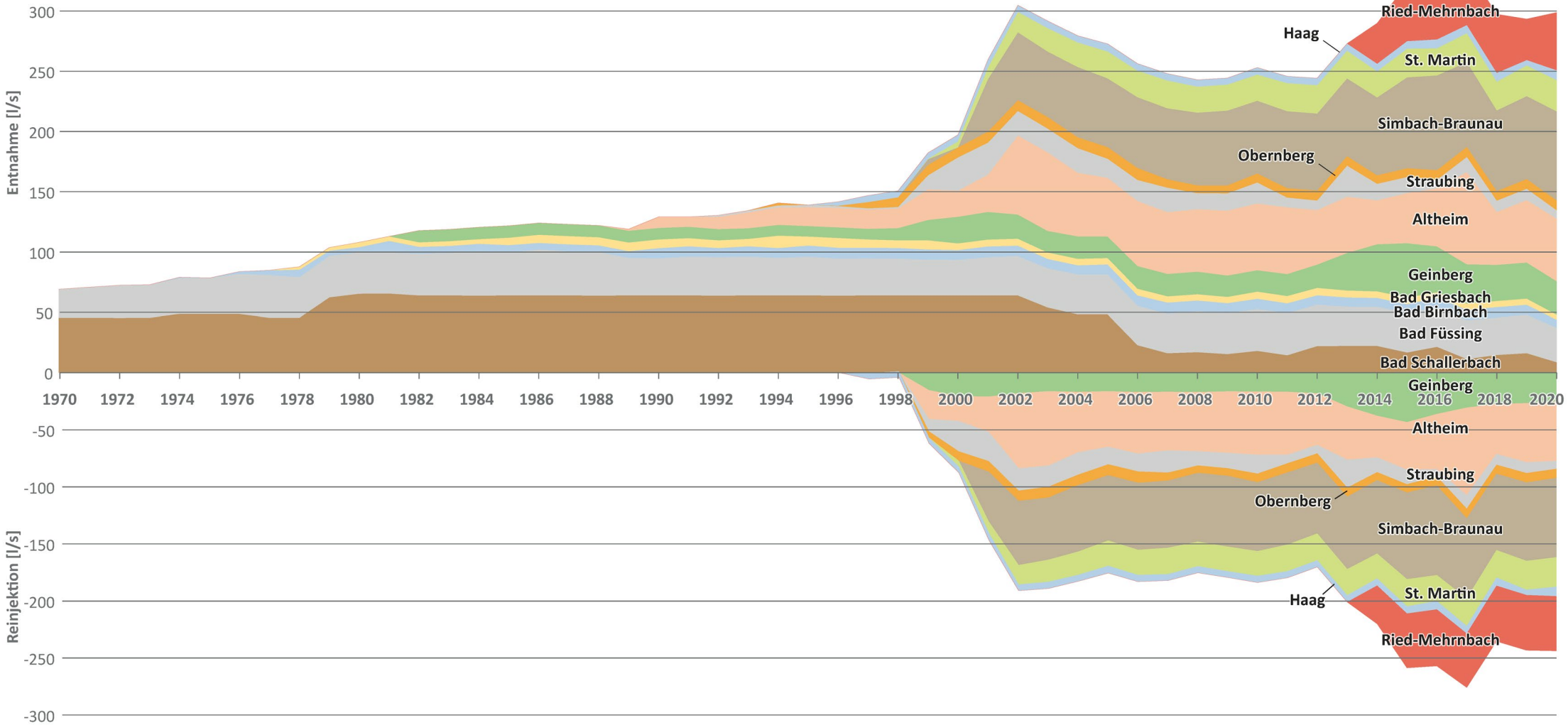
Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 14: Nettoentnahmen der Thermalwassernutzungen,
 Zustand 2016

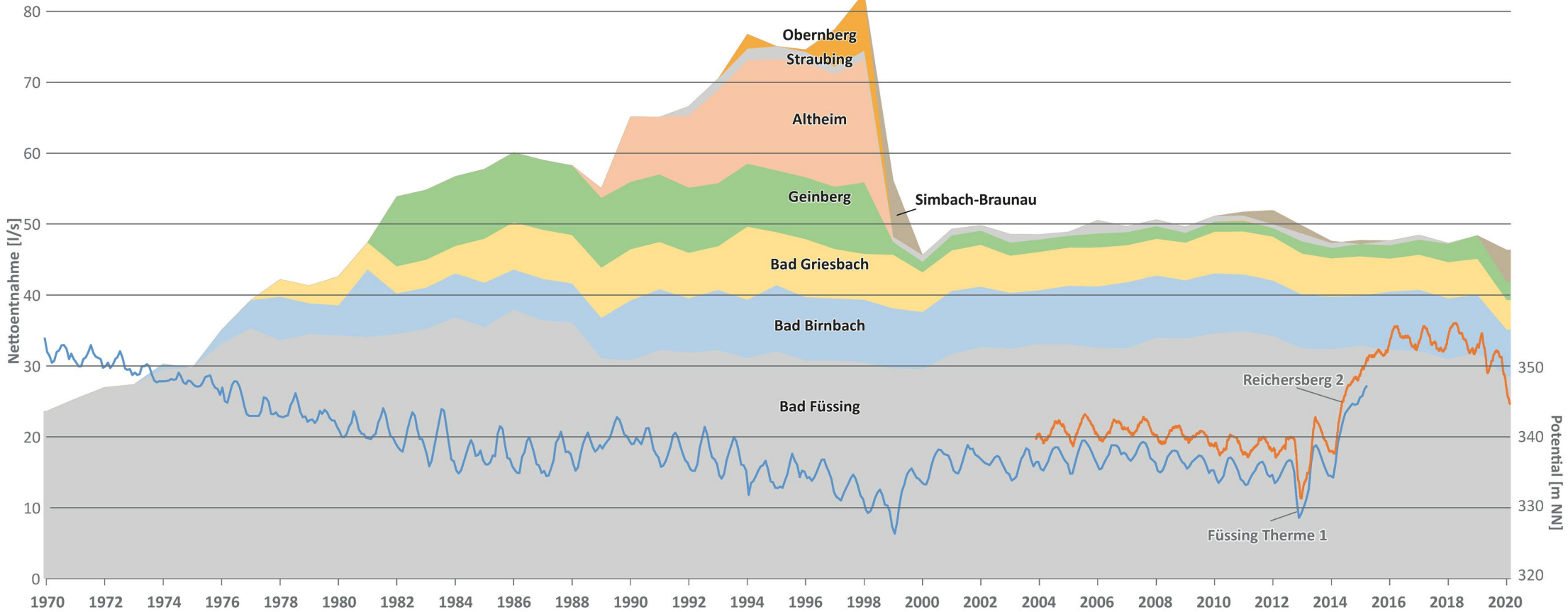
Art der Nutzung (Dublettebetrieb oder reine Entnahme) und Menge der Entnahme/Reinjektion in l/s (nach Jahresdaten der Betreiber für 2016)



„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 15 A: Thermalwasserentnahmen und -reinjektionen
 im gesamten Modellraum
 Daten der Betreiber ab 1970, Entnahmen und Reinjektionen in l/s

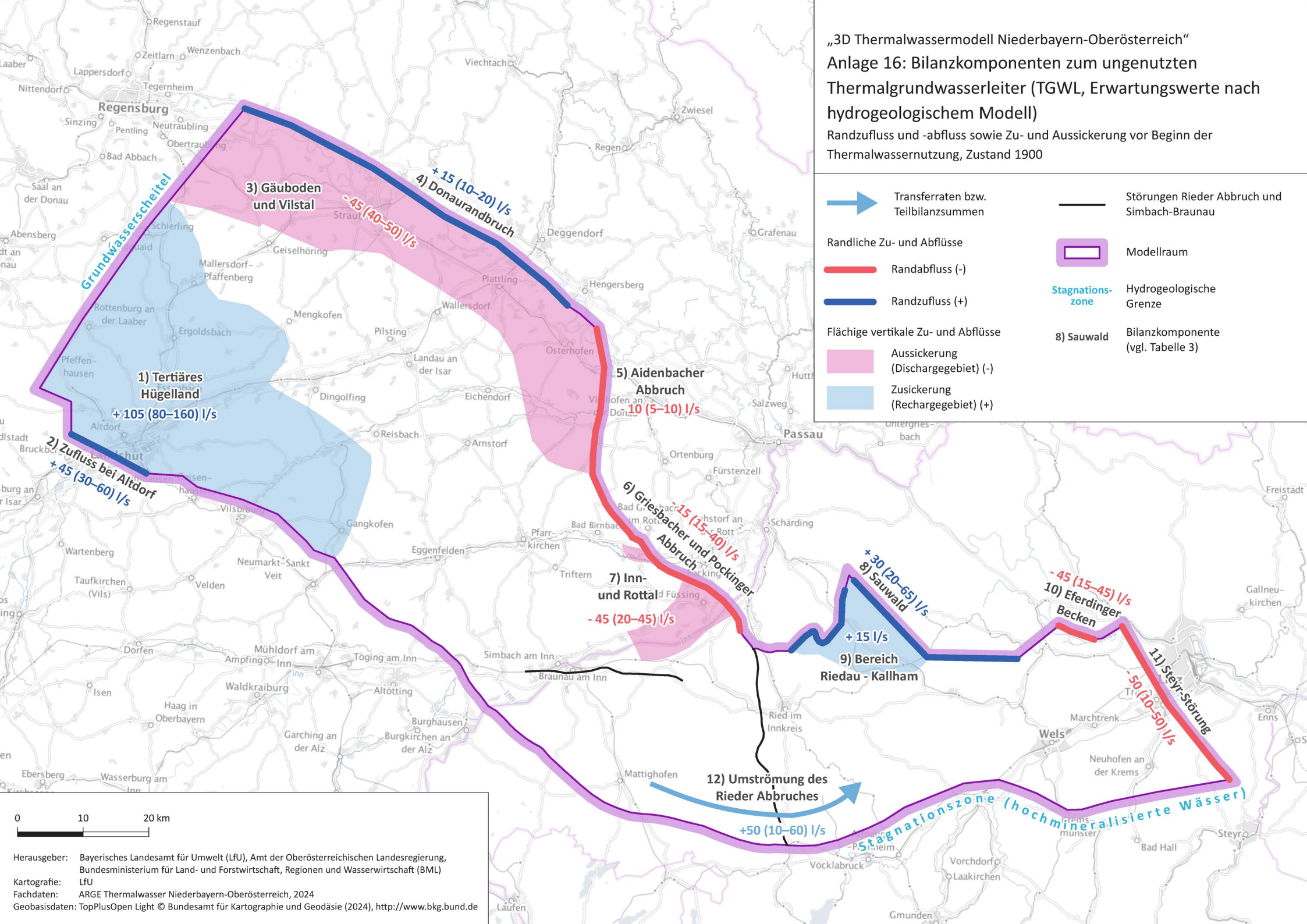
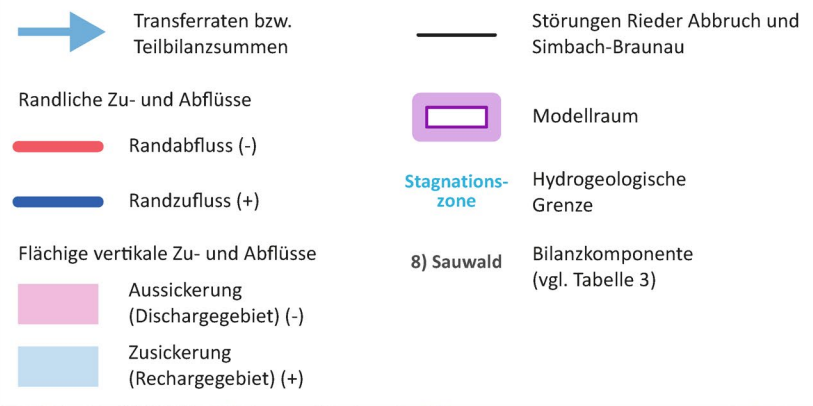


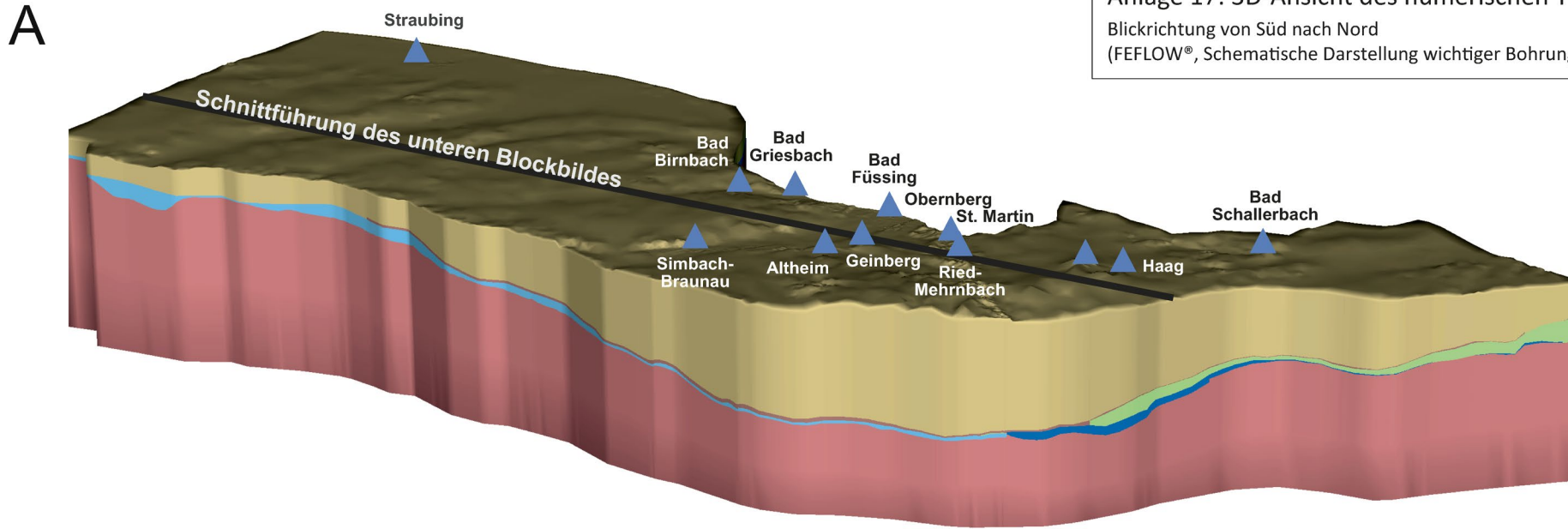
„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 15 B: Entwicklung der Nettoentnahmen und
 Potentialganglinien im Zentralraum
 Daten der Betreiber ab 1970, kumulierte Netto-Entnahmen in l/s



„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 16: Bilanzkomponenten zum ungenutzten
 Thermalgrundwasserleiter (TGWL, Erwartungswerte nach
 hydrogeologischem Modell)

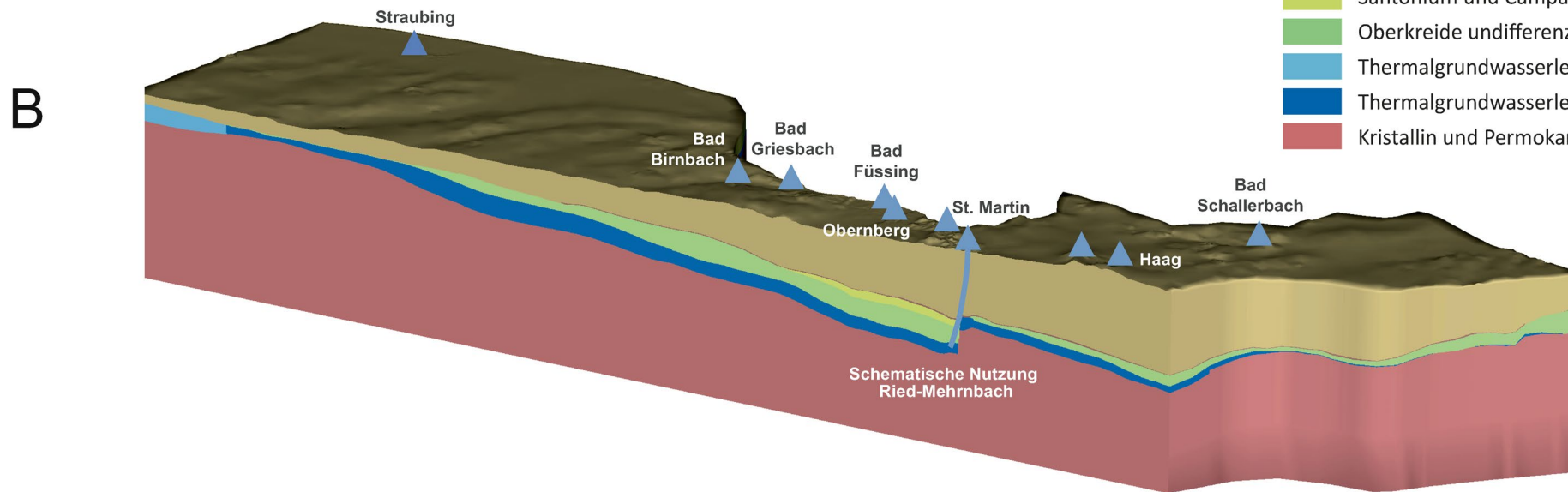
Randzufluss und -abfluss sowie Zu- und Aussickerung vor Beginn der
 Thermalwassernutzung, Zustand 1900





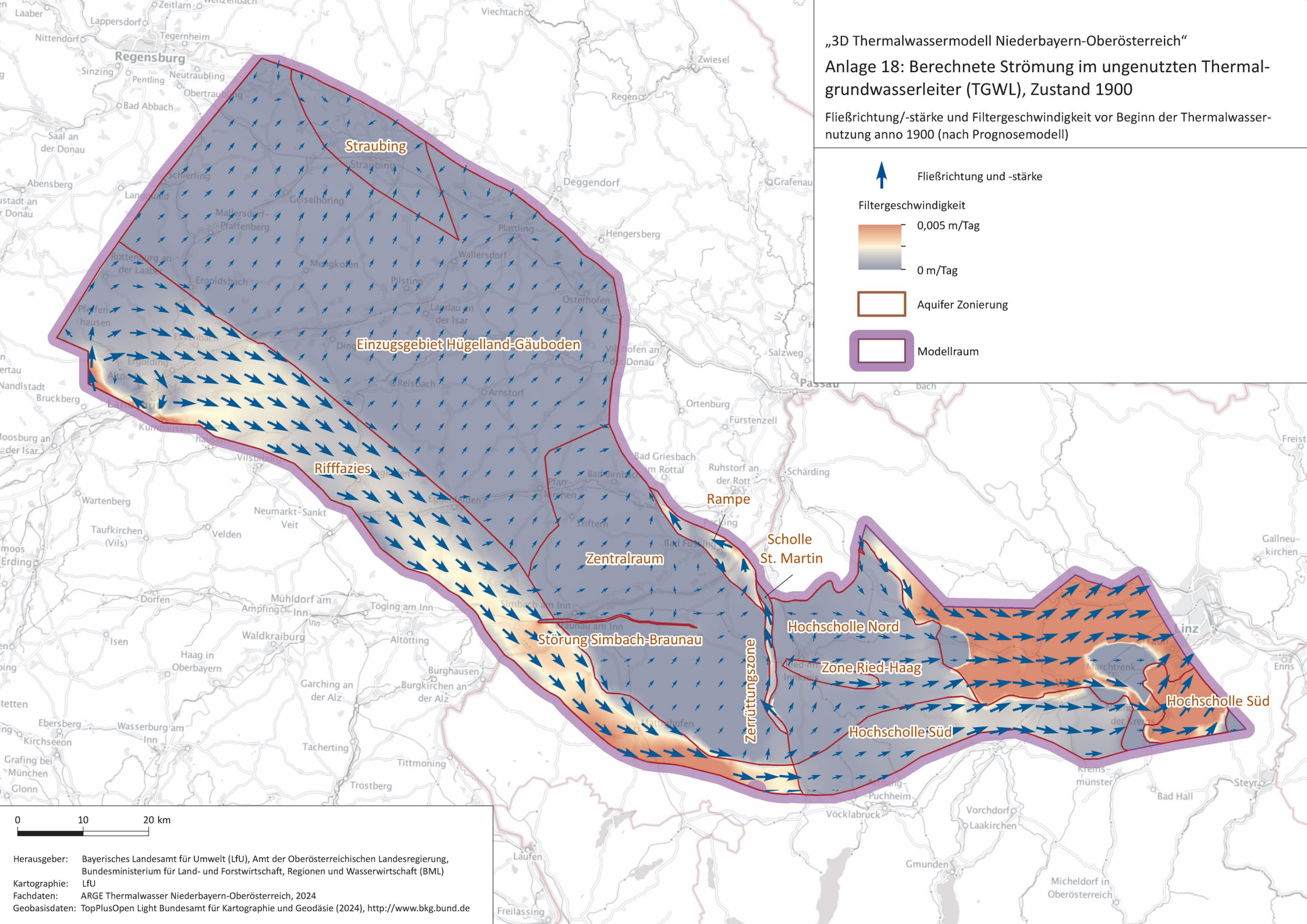
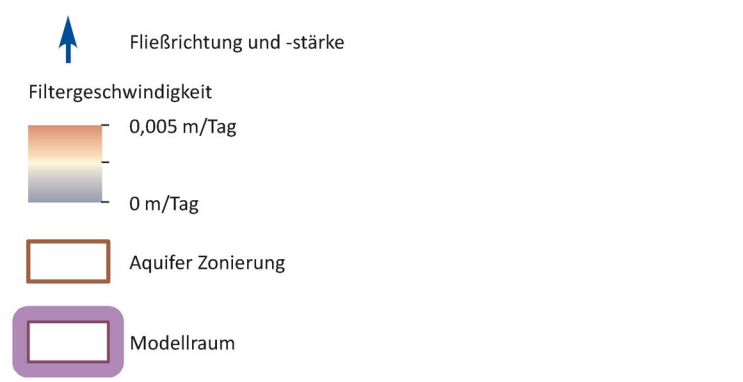
▲ Thermalwasserbohrung

- ▲ Känozoikum undifferenziert
- ▲ Ältere tertiäre Sande
- ▲ Santonium und Campanium
- ▲ Oberkreide undifferenziert
- ▲ Thermalgrundwasserleiter (Rifffazies)
- ▲ Thermalgrundwasserleiter (Lagunenfazies)
- ▲ Kristallin und Permokarbon



Anlage 18: Berechnete Strömung im ungenutzten Thermalgrundwasserleiter (TGWL), Zustand 1900

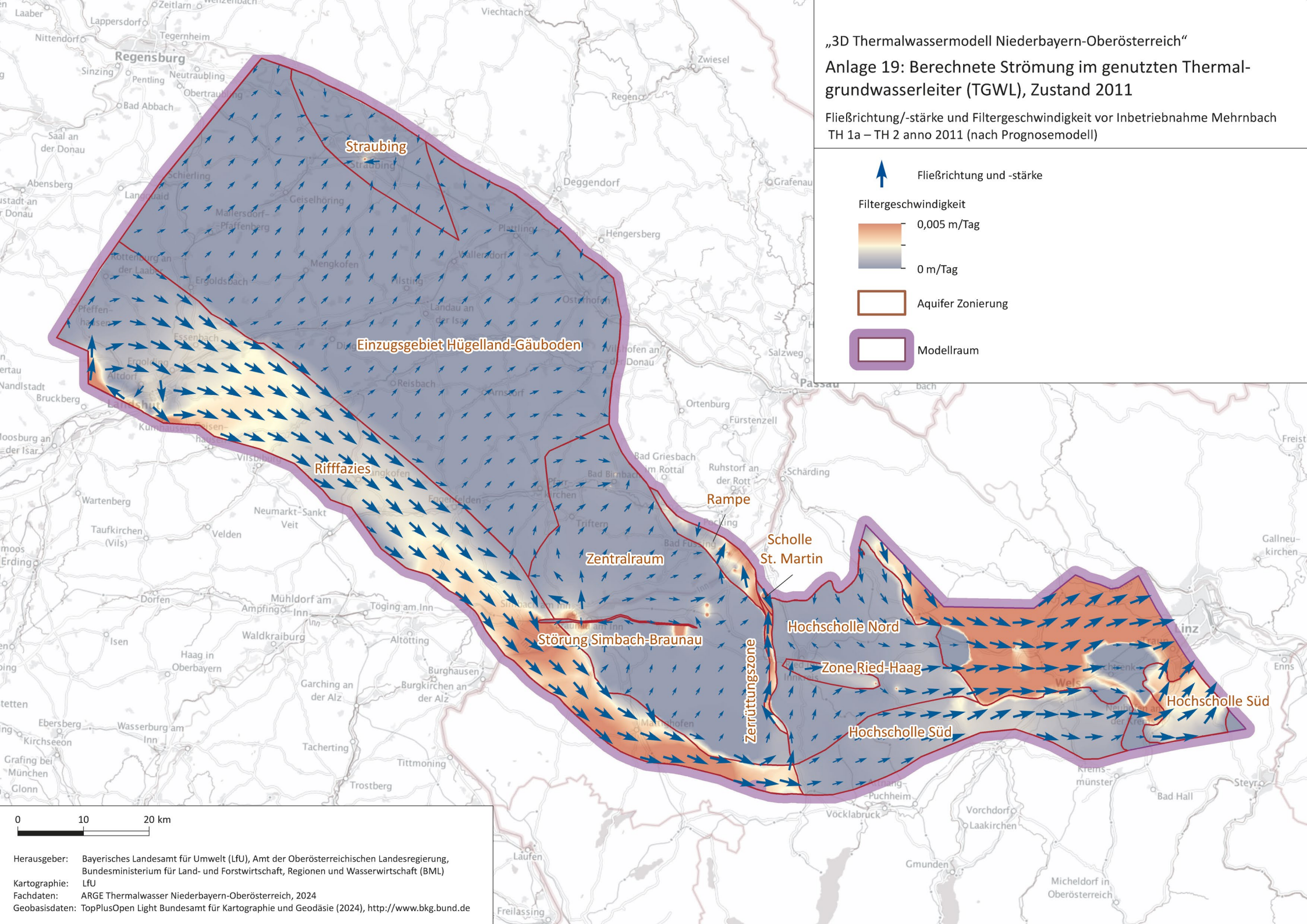
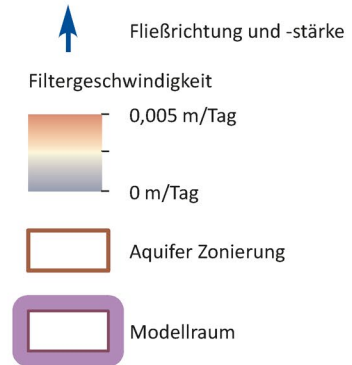
Fließrichtung/-stärke und Filtergeschwindigkeit vor Beginn der Thermalwassernutzung anno 1900 (nach Prognosemodell)



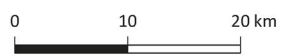
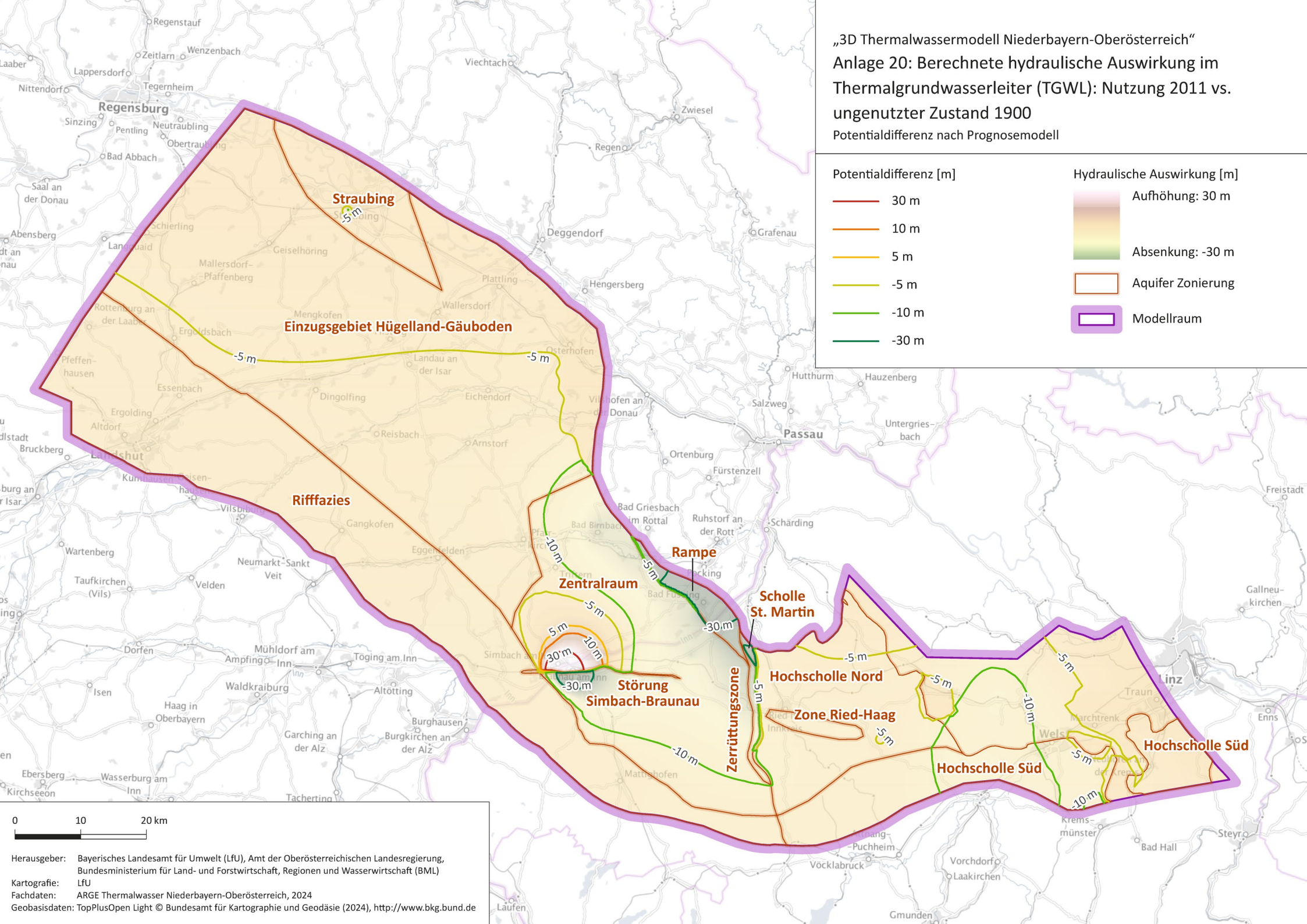
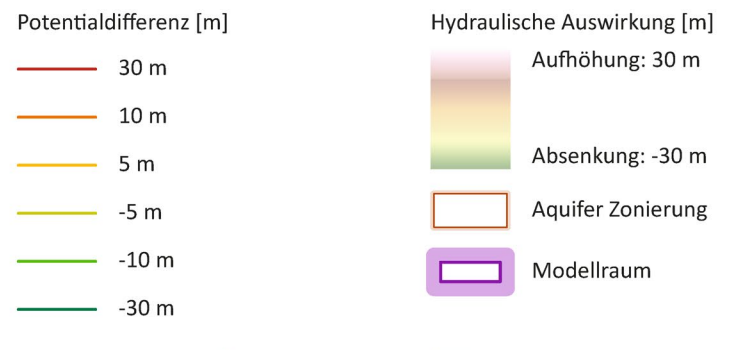
Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
Kartographie: LfU
Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
Geobasisdaten: TopPlusOpen Light Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

Anlage 19: Berechnete Strömung im genutzten Thermalgrundwasserleiter (TGWL), Zustand 2011

Fließrichtung/-stärke und Filtergeschwindigkeit vor Inbetriebnahme Mehrnbach TH 1a – TH 2 anno 2011 (nach Prognosemodell)

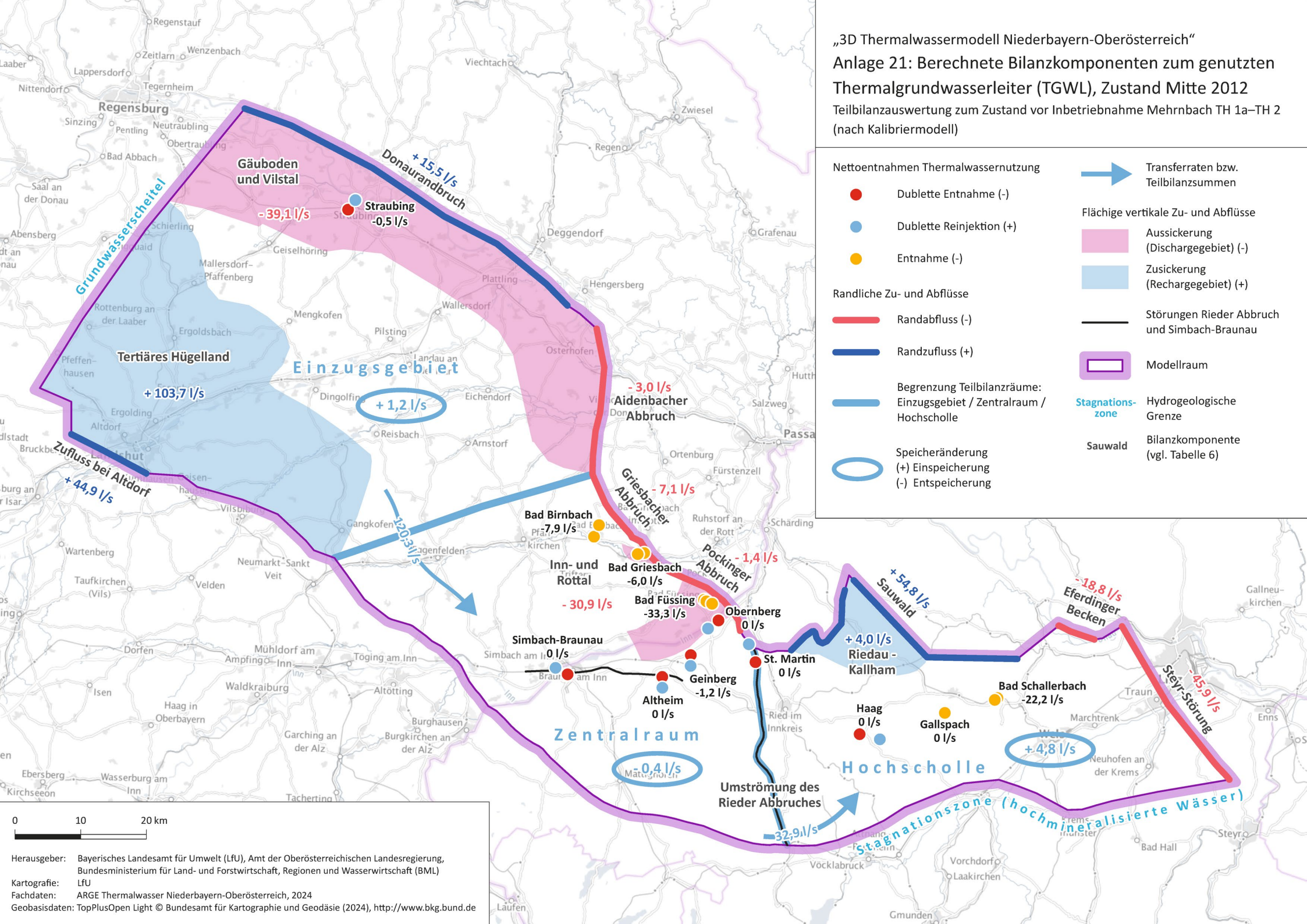


„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 20: Berechnete hydraulische Auswirkung im
 Thermalgrundwasserleiter (TGWL): Nutzung 2011 vs.
 ungenutzter Zustand 1900
 Potentialdifferenz nach Prognosemodell



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 21: Berechnete Bilanzkomponenten zum genutzten Thermalgrundwasserleiter (TGWL), Zustand Mitte 2012
 Teilbilanzauswertung zum Zustand vor Inbetriebnahme Mehrnbach TH 1a–TH 2
 (nach Kalibriermodell)



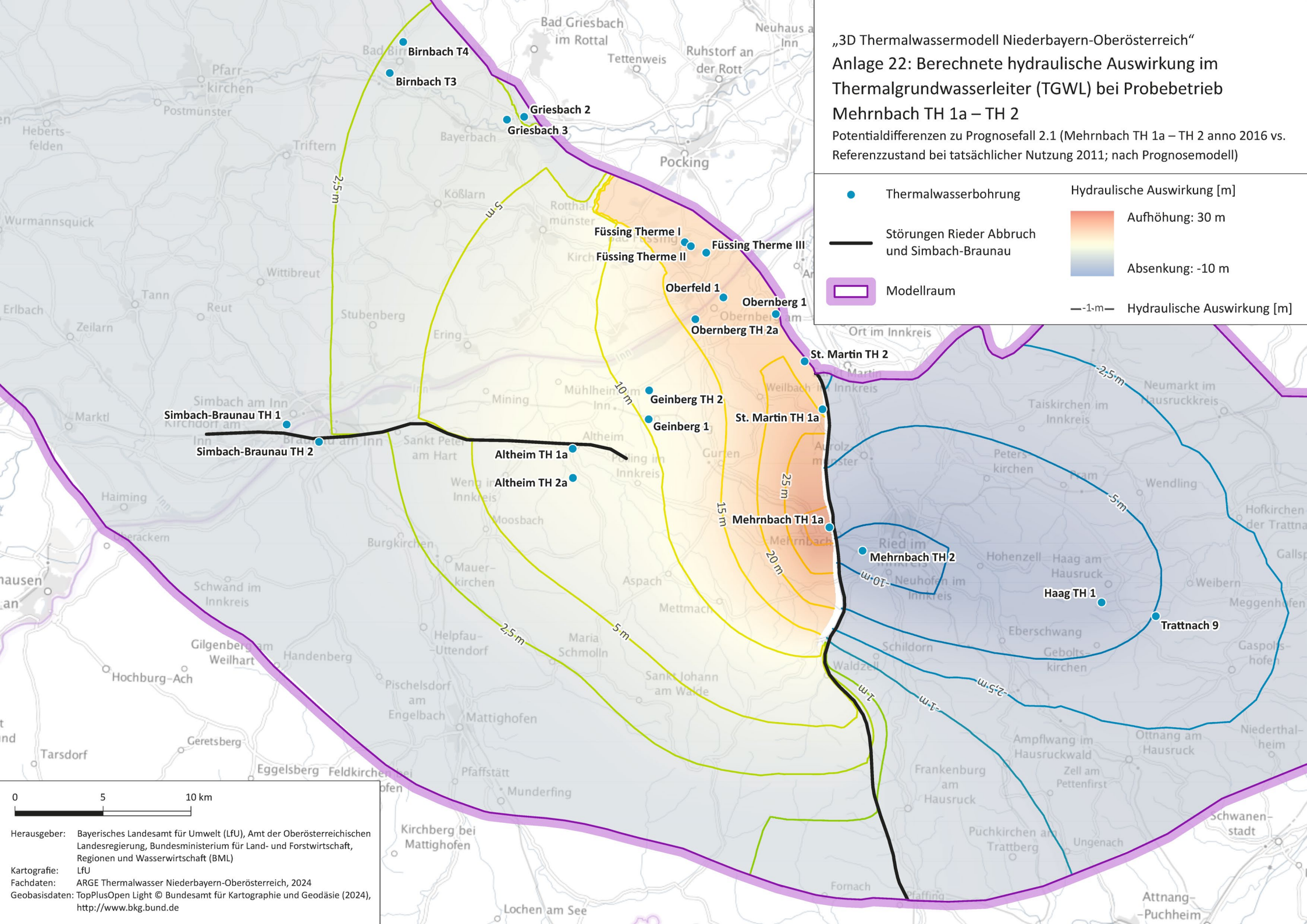
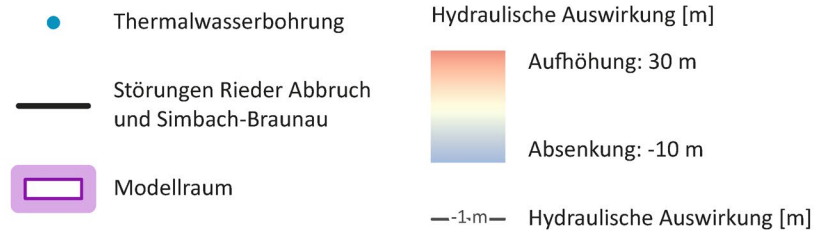
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Dublette Entnahme (-) ● Dublette Reinjektion (+) ● Entnahme (-) | <ul style="list-style-type: none"> → Transferraten bzw. Teilbilanzsummen |
| <p>Randliche Zu- und Abflüsse</p> <ul style="list-style-type: none"> — Randabfluss (-) — Randzufluss (+) | <p>Flächige vertikale Zu- und Abflüsse</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Aussickerung (Dischargegebiet) (-) ■ Zusickerung (Rechargegebiet) (+) |
| <p>Begrenzung Teilbilanzräume:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Einzugsgebiet / Zentralraum / Hochscholle | <ul style="list-style-type: none"> — Störungen Rieder Abbruch und Simbach-Braunau |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Speicheränderung (+) Einspeicherung (-) Entspeicherung | <ul style="list-style-type: none"> □ Modellraum ■ Stagnationszone Hydrogeologische Grenze ■ Sauwald Bilanzkomponente (vgl. Tabelle 6) |



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 22: Berechnete hydraulische Auswirkung im
 Thermalgrundwasserleiter (TGWL) bei Probebetrieb
 Mehrnbach TH 1a – TH 2

Potentialdifferenzen zu Prognosefall 2.1 (Mehrnbach TH 1a – TH 2 anno 2016 vs.
 Referenzzustand bei tatsächlicher Nutzung 2011; nach Prognosemodell)



0 5 10 km

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

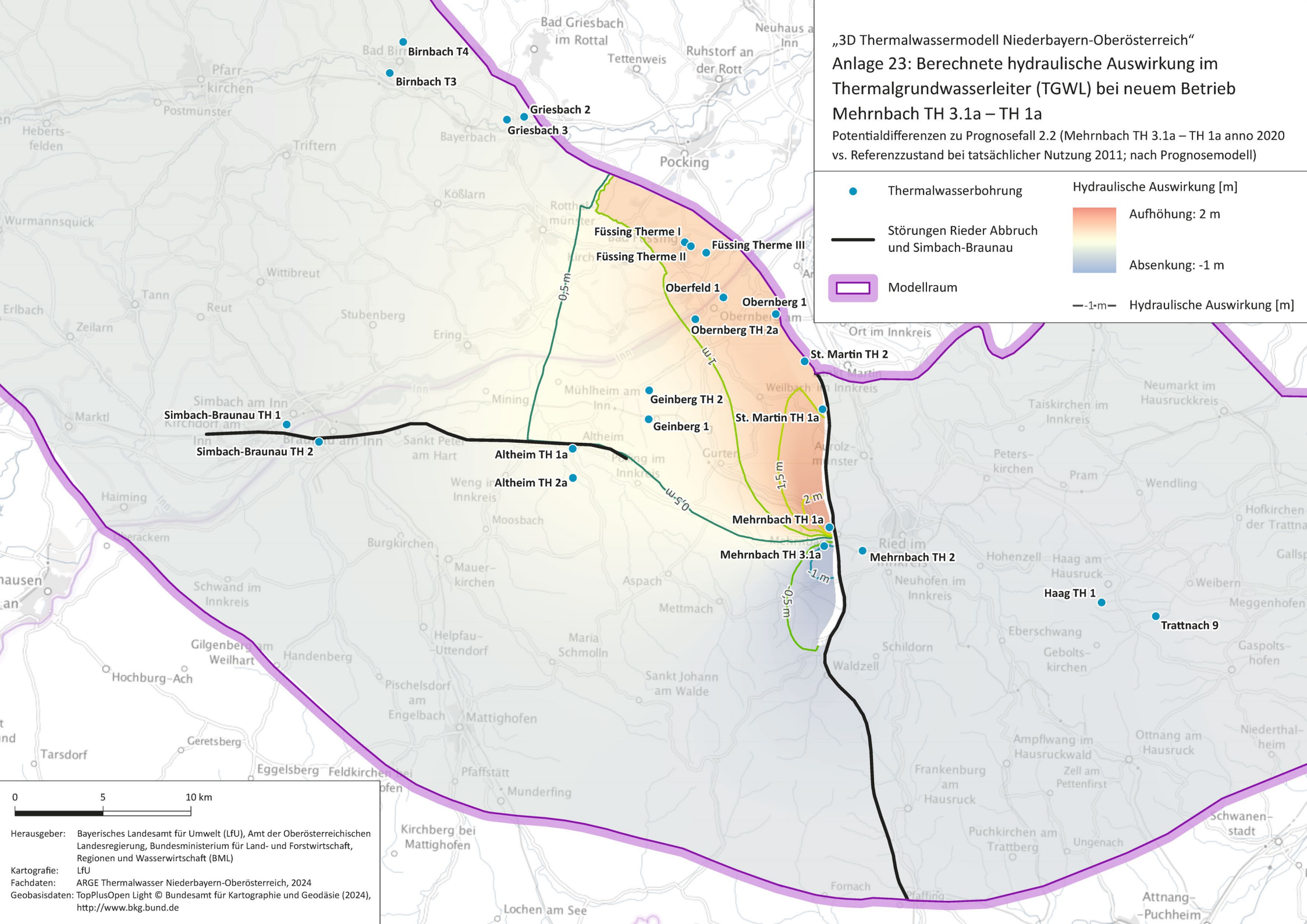
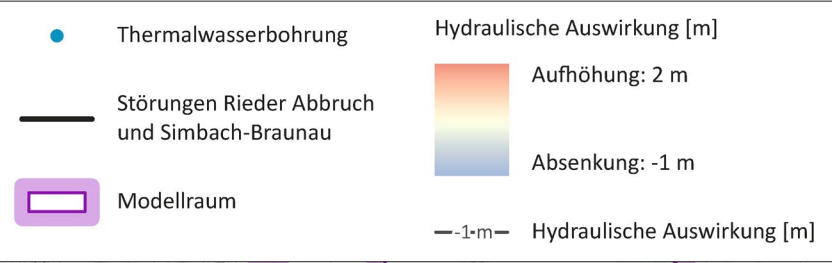
Kartografie: LfU

Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024

Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 23: Berechnete hydraulische Auswirkung im
 Thermalgrundwasserleiter (TGWL) bei neuem Betrieb
 Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a

Potentialdifferenzen zu Prognosefall 2.2 (Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a anno 2020
 vs. Referenzzustand bei tatsächlicher Nutzung 2011; nach Prognosemodell)

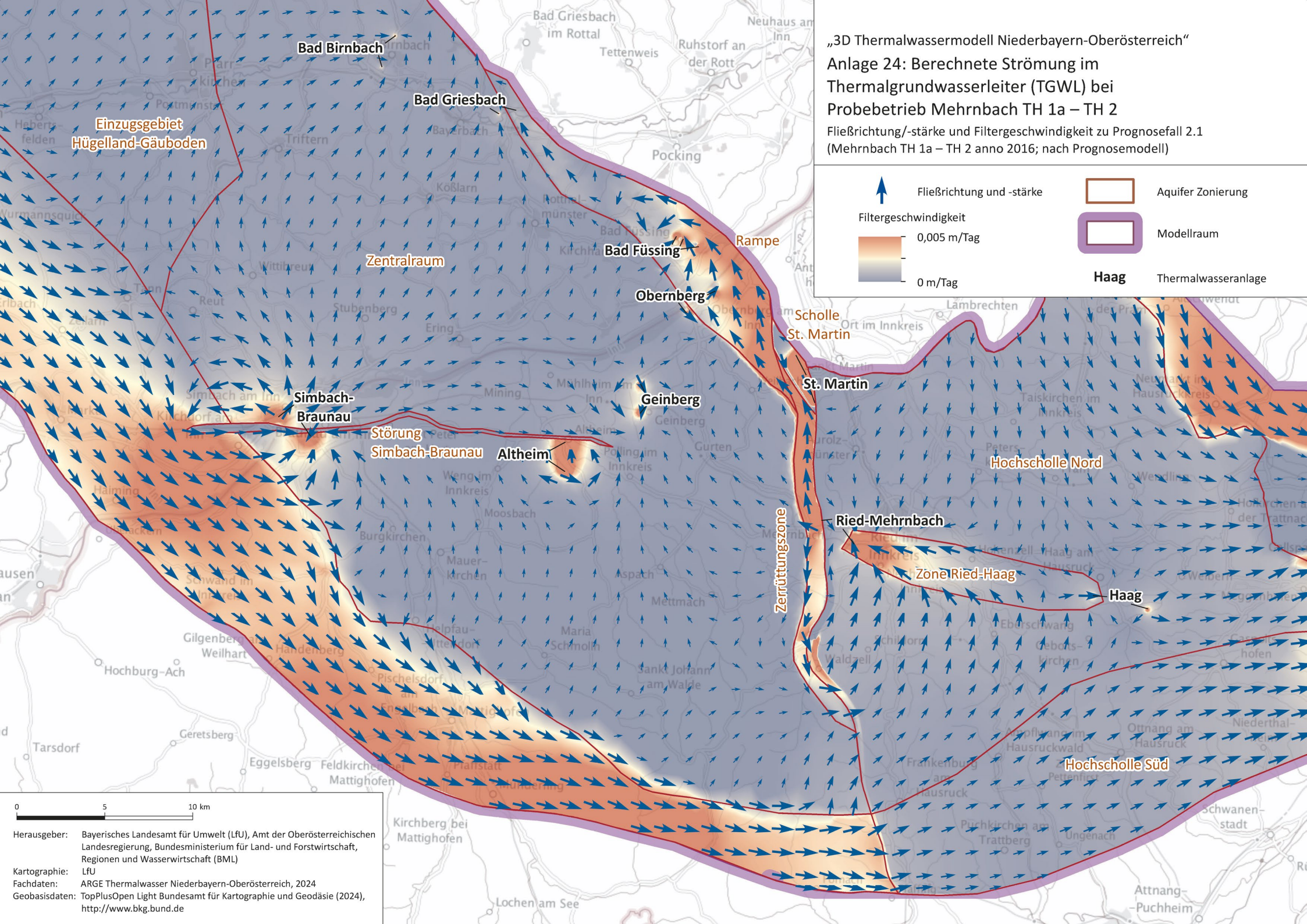
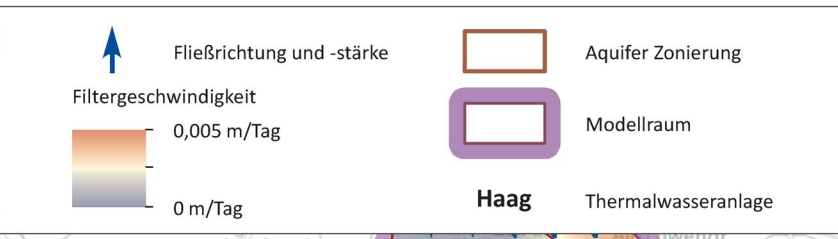


Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
 Kartografie: LfU
 Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
 Geobasisdaten: TopPlusOpen Light © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 24: Berechnete Strömung im Thermalgrundwasserleiter (TGWL) bei Probebetrieb Mehrnbach TH 1a – TH 2

Fließrichtung/-stärke und Filtergeschwindigkeit zu Prognosefall 2.1 (Mehrnbach TH 1a – TH 2 anno 2016; nach Prognosemodell)

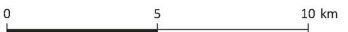
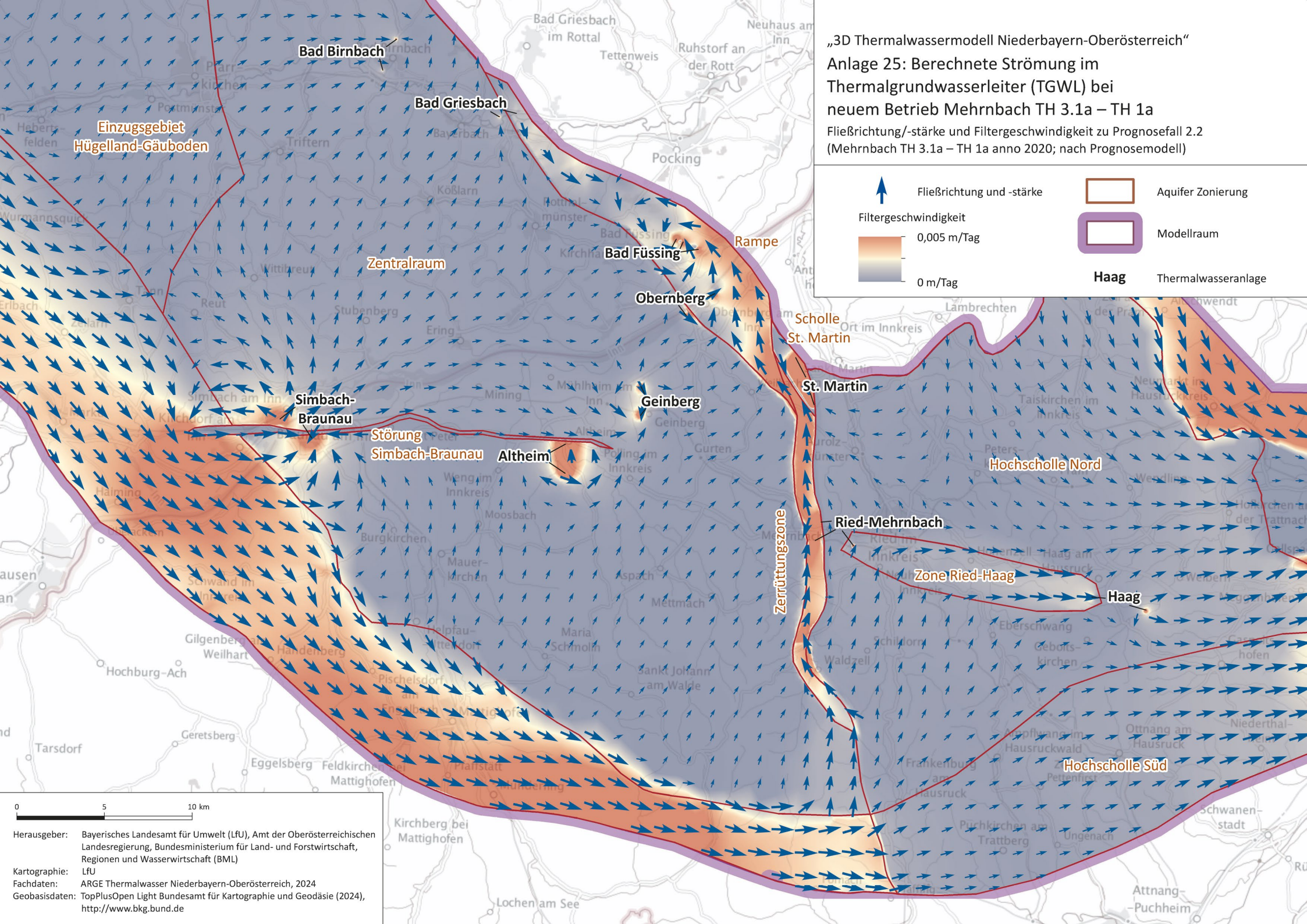
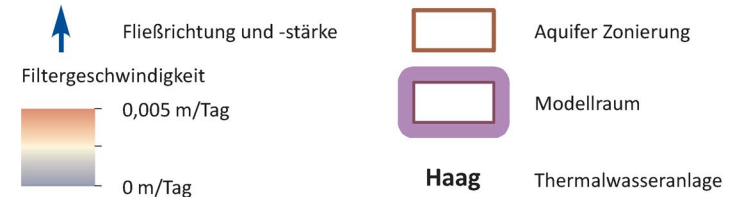


Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)
Kartographie: LfU
Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024
Geobasisdaten: TopPlusOpen Light Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“

Anlage 25: Berechnete Strömung im Thermalgrundwasserleiter (TGWL) bei neuem Betrieb Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a

Fließrichtung/-stärke und Filtergeschwindigkeit zu Prognosefall 2.2 (Mehrnbach TH 3.1a – TH 1a anno 2020; nach Prognosemodell)



Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

Kartographie: LfU

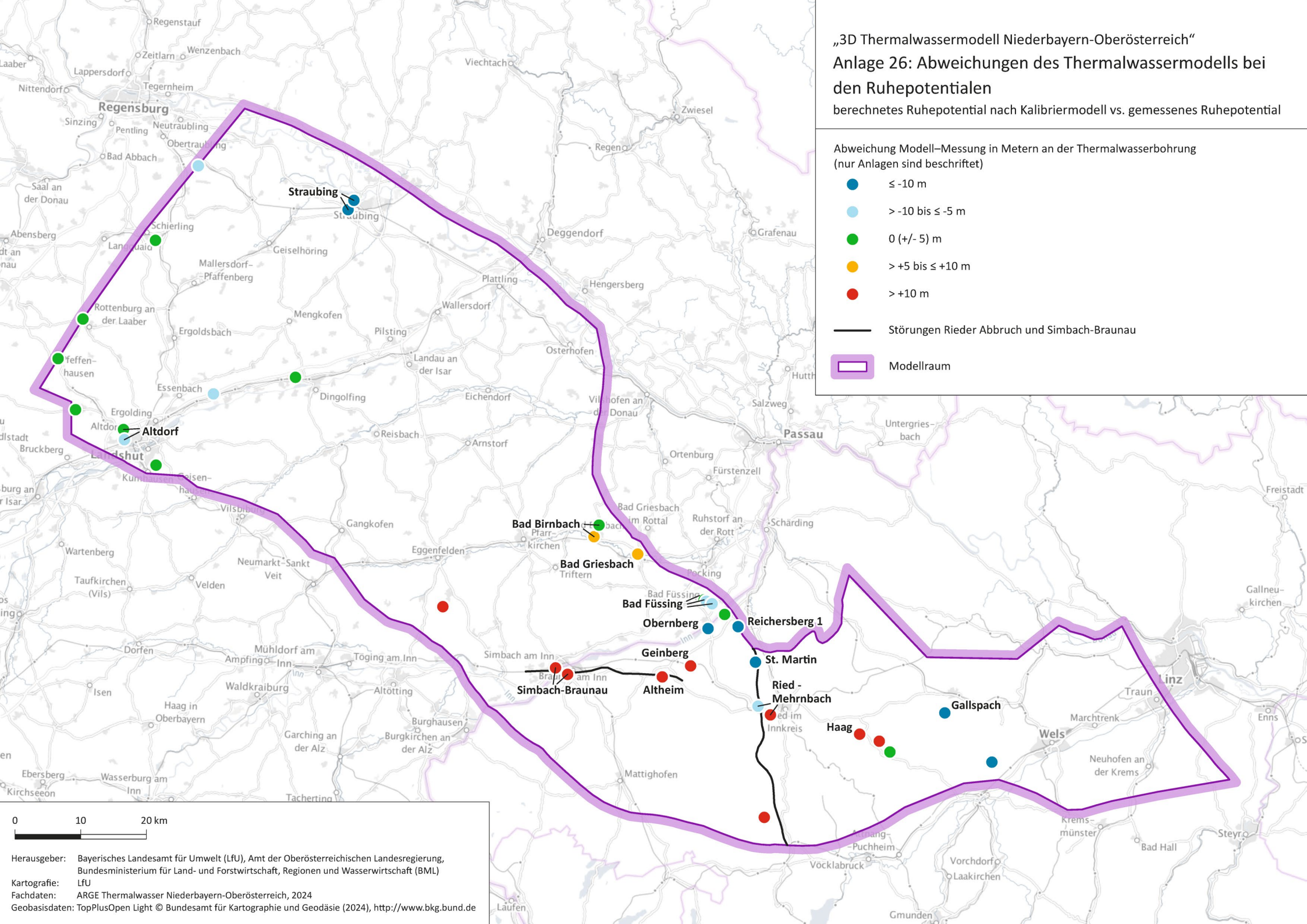
Fachdaten: ARGE Thermalwasser Niederbayern-Oberösterreich, 2024

Geobasisdaten: TopPlusOpen Light Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2024), <http://www.bkg.bund.de>

„3D Thermalwassermodell Niederbayern-Oberösterreich“
 Anlage 26: Abweichungen des Thermalwassermodells bei
 den Ruhepotentialen
 berechnetes Ruhepotential nach Kalibriermodell vs. gemessenes Ruhepotential

Abweichung Modell–Messung in Metern an der Thermalwasserbohrung
 (nur Anlagen sind beschriftet)

- ≤ -10 m
- > -10 bis ≤ -5 m
- 0 (+/- 5) m
- > +5 bis ≤ +10 m
- > +10 m
- Störungen Rieder Abbruch und Simbach-Braunau
- Modellraum



„3D Thermalwassermmodell Niederbayern-Oberösterreich“ Anlage 27: Abweichungen des Thermalwassermmodells bei den Temperaturwerten

berechnete Temperatur nach Kalibriermodell vs. gemessene/ermittelte
Temperatur

Abweichung Modell-Messung in °C an der Thermalwasserbohrung
(nur Anlagen sind beschriftet)

- ≤ -20 °C
- > -20 bis ≤ -10 °C
- > -10 bis ≤ 10 °C
- > 10 bis ≤ 20 °C
- > 20 °C

— Störungen Rieder Abbruch und Simbach-Braunau

▭ Modellraum

