

Geothermie-Erschließungen im Oberösterreichischen Molassebecken

Geothermal Exploitation in the Upper Austrian Molasse Basin

J. E. GOLDBRUNNER¹⁾

Inhalt

	Seite
1. Einleitung.....	187
2. Geologische und thermische Verhältnisse.....	189
3. Regionales Fließsystem im Malm.....	190
4. Durchlässigkeiten und Transmissivitäten.....	196
5. Hydrochemie und Isotope.....	198
Zusammenfassung.....	200
Literatur.....	201
Summary.....	201

1. Einleitung

Das Oberösterreichische Molassebecken als Teil der alpin-karpatischen Vortiefe gehört zu den besten Aufsuchungsgebieten für die Nutzung der Tiefengeothermie in Österreich. Derzeit sind hier sechs Geothermieanlagen mit einer kumulativen installierten Leistung von ca. 43 MW_{th} (=70% der Gesamtleistung der Tiefengeothermie Österreichs) in Betrieb (J. E. GOLDBRUNNER, 2010, siehe Fig. 1 und Tab. 1). Eine Anlage ist derzeit in Ried/Innkreis im Entstehen; sie soll im Endausbau eine Leistung von 25 MW_{th} haben (J. FÜREDER, 2012) und wäre dann die größte geothermische Anlage in Oberösterreich. Alle Anlagen stehen im Malmaquifer, dem wichtigsten Tiefengrundwasserleiter des Süddeutschen und Oberösterreichischen Molassebeckens.

Die Jahresförder- und Reinjektionsmengen der einzelnen Anlagen liegen bei max. 2 Mio. m³. Nunmehr stehen bereits Betriebserfahrungen von über 10 Jahren zur Verfügung, wobei sich bei keiner Dublette Änderungen in den Wasserspiegelabsenkungen oder in den Reinjektionsdrücken zeigten. Bei der Anlage in Geinberg, die derzeit ausschließlich im freien Überlauf produziert, ist durch die Reinjektion eine Steigerung des Volumenstromes von 25 l/s auf max. 33 l/s eingetreten.

¹⁾ Univ.-Prof. Dr. Johann E. GOLDBRUNNER, Geoteam Ges.m.b.H., Bahnhofgürtel 77, A-8010 Graz, Österreich und Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz, Österreich.
E-Mail: goldbrunner@geoteam.at

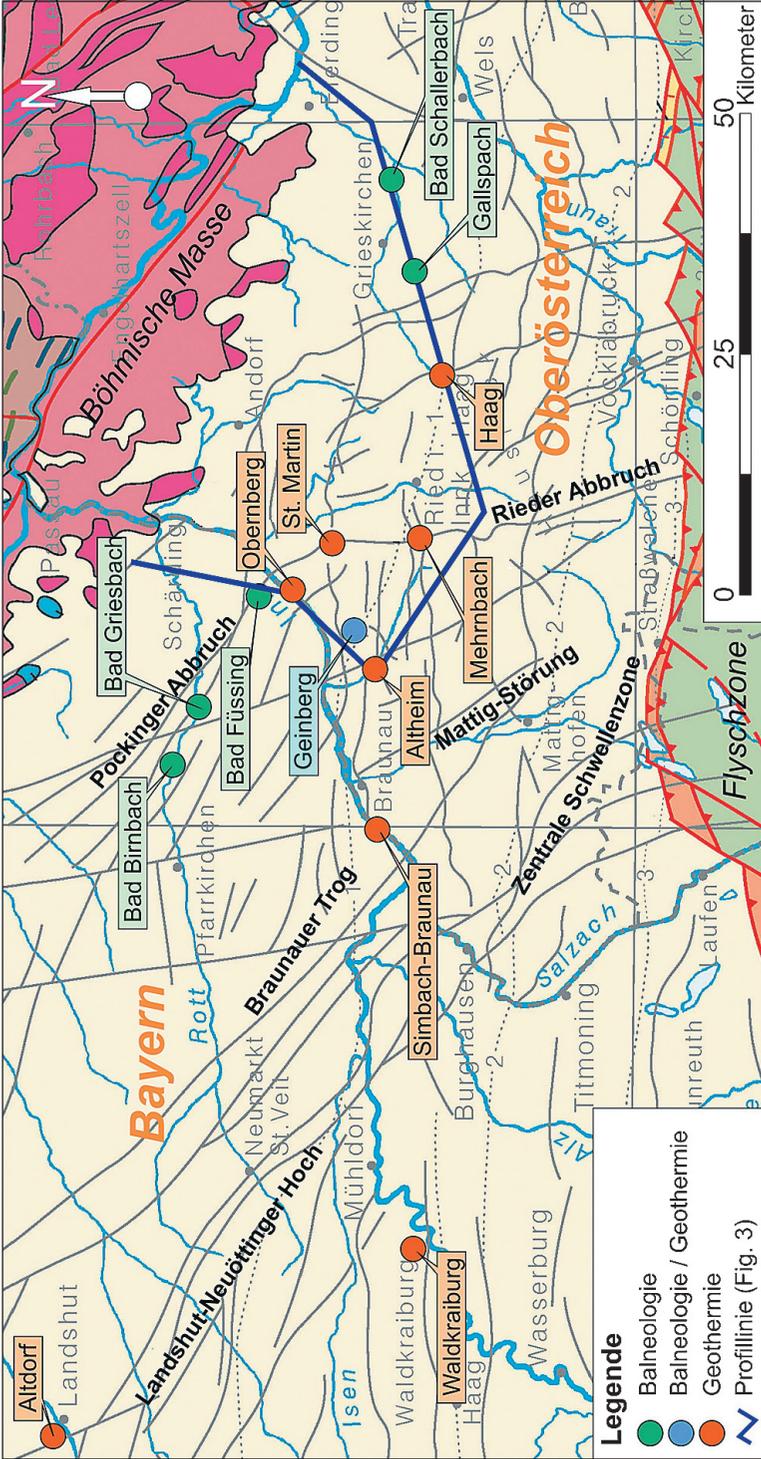


Fig. 1: Lage der Geothermianlagen im Oberösterreichischen Molassebecken (J. E. GOLDBRUNNER, 2010).
 Location map of geothermal installations in the Upper Austrian Molasse Basin (J. E. GOLDBRUNNER, 2010).

Tab. 1: Kennzahlen der oberösterreichischen Geothermieanlagen (J. E. GOLDBRUNNER, 2010, geändert). B – Balneologie, D – Fernwärme, E – Stromerzeugung, G – Gewächshaus, I – gewerbliche Nutzung. Lage siehe Fig. 1.

Geothermal installations in the Upper Austrian Molasse Basin (J. E. GOLDBRUNNER, 2010, modified). B – balneological use, D – district heating, E – electrical power generation, G – glass house, I – industrial use. Location see fig. 1.

Anlage	Altheim	Geinberg	Haag	Obernberg	Simbach-Braunau	St. Martin
Nutzung	D, E	I, D, B, G	D	D, E	D, E	D
Kapazität [MW _{th}]	18,8	7,8	2,2	1,7	9,3	3,3
Volumenstrom [l/s]	80	33	20	20	80	20
Temperatur [°C]	105	105	86	80	80	90
Jahr der Inbetriebnahme	1990 Dublette 1999	1981 Dublette 1998	1995	1996/97	2001	2000
Fernwärmenetz [km]	14,5	6	12	17	40	25

Durch die konsequente Reinjektion bei den oberösterreichischen Anlagen konnte den Druckabsenkungen im Malmaquifer, die insbesondere in den 1990er Jahren bemerkbar waren, entgegengewirkt werden.

2. Geologische und thermische Verhältnisse

Die günstigen Bedingungen für die Nutzung der geothermalen Energie im Oberösterreichischen Molassebecken beruhen einerseits auf der erhöhten terrestrischen Wärmestromdichte (bis 95 mW/m²) und andererseits auf dem Auftreten eines regional verbreiteten, örtlich hoch durchlässigen Aquifers in den Kalken und Dolomiten des/der Oberjura/ Unterkreide (Malm und Purbeck). Die hohen Durchlässigkeiten stehen in Zusammenhang mit Klüftung und Verkarstung, insbesondere im Einflussbereich von Störungen.

Figur. 2 zeigt als gut dokumentiertes Beispiel eine Kamerabefahrung des auf dem Landshut-Neuöttinger Hoch im Bereich eines normal abschiebenden Bruches stehenden Bohrlochs Altdorf Th 1, in dem in der Malmstrecke mehrere verkarstete Hohlräume angefahren wurden. Bei Pumpversuchen wurde bei einem Volumenstrom von 88 l/s eine Absenkung von ca. 1 m gefahren. Die rechte Darstellung zeigt deutlich gerundete Steine aus dem Bohrloch Waldkraiburg Th 1 (Wasserburger Senke), die während eines Mammutpumpversuches aus dem Bohrloch ausgetragen wurden und als Füllung eines verkarsteten Hohlraumes im Malmkörper zu interpretieren sind.

Bei den bisher im Oberösterreichischen Molassebecken durchgeführten Projekten erwiesen sich in erster Linie die extensionalen, ungefähr E-W streichenden oligozänen Brüche als erfolgreiche Ziele (Fig. 3 und 4). Aufgrund des generellen Südfallens steigt die Tiefenlage der Malm-(Purbeck)-Oberfläche gegen S bis zum Alpenrand auf >4000 m an; allerdings sind im S des Molassebeckens aufgrund der schlechteren thermischen Bedingungen keine wesentlich höheren Temperaturen als im oberösterreichischen Innviertel (Braunauer Trog) zu erwarten, wo bereits in knapp >2000 m Tiefe Temperaturen von >100 °C erschlossen werden können (Projekte Altheim und Geinberg mit jeweils 105 °C Fördertemperatur). Die Malmkarbonate werden durch mächtige, überwiegend pelitisch ausgebildete Schichtfolgen der Oberkreide überdeckt, welche die Funktion eines Cap-

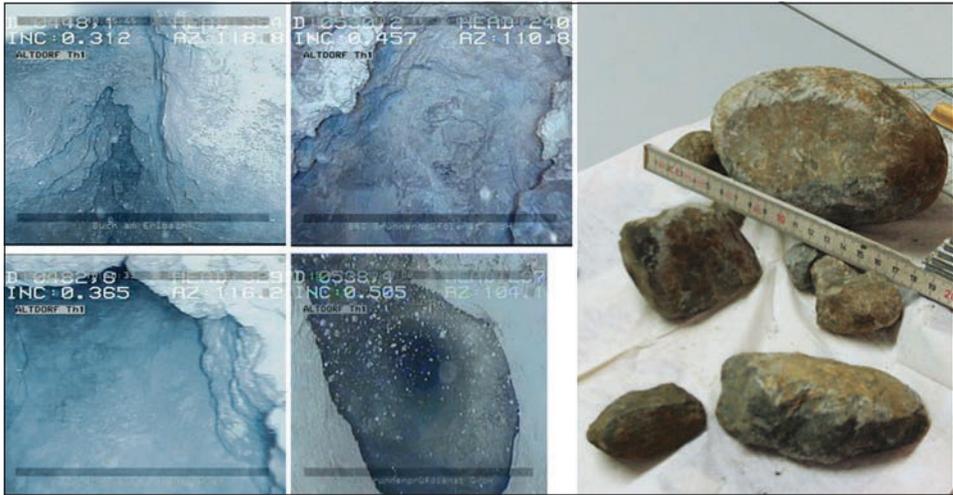


Fig. 2: Kameralog in der Malmsektion des Bohrloches Altdorf Th 1 (links) und während eines Pumpversuches ausgetragene Steine aus dem Bohrloch Waldkraiburg Th 1 (Foto: J. E. GOLDBRUNNER, 2010).
 Cameralog in the Malm section of borehole Altdorf Th 1 (left) and boulders thrown out during an air-lift pumping test in well Waldkraiburg Th 1 (photograph: J. E. GOLDBRUNNER, 2010).

Rocks ausüben. Sie erreichen im Raum Obernberg (östlich von Geinberg) Mächtigkeiten von fast 1000 m.

Die maximalen Mächtigkeiten des Malm betragen 750 m (W. NACHTMANN & L. WAGNER, 1987), diese treten im S des Molassbeckens bereits innerhalb der überschobenen Flyschzone auf. Im Braunauer Trog liegen die größten Mächtigkeiten auf Höhe von Braunau bei >400 m, während im Bereich der Zentralen Schwellenzone der Malm zum Großteil erodiert ist, sodass eine hydraulische Verbindung zwischen dem Malm-Tiefengrundwasserleiter der Wasserburger Senke und dem Braunauer Trog beim jetzigen Erschließungs- und Wissensstand zweifelhaft erscheint. Nach den Erfahrungen bei der Erschließung sind bei größeren Mächtigkeiten des Malmkörpers die obersten 150 bis max. 200 m der Malmfolge als besser durchlässig anzusehen.

3. Regionales Fließsystem im Malm

Figur 5 zeigt die Thermalwasserbilanz des regionalen Fließsystems im Malmkörper bzw. im E in permeablen oligozänen Schichtfolgen (Kiscell und Puchkirchener Serie). Das Entlastungsgebiet des Tiefengrundwassersystems liegt im Raum Schallerbach – Eferding, wo eindeutige thermische, hydrochemische und isotopenhydrologische Indikationen den Aufstieg von Tiefengrundwasser aus tieferen Beckenbereichen belegen (J. E. GOLDBRUNNER, 1984, 1988, A. SCHUBERT, 1996). Die Tiefengrundwässer aus dem regionalen Fließsystem exfiltrieren in die Donau, wobei eine quantitative/qualitative Erfassung der Exfiltrationsvorgänge noch nicht gelungen ist. Als Ergebnis der der Thermalwasserbilanz zugrunde liegenden Modellierung wurde ein Volumenstrom von 490 l/s (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1999) ermittelt. Diese Zahl ist nach Meinung des Autors zu hoch gegriffen; der Volumenstrom dürfte eher in der Größenordnung zwischen 350 und max. 400 l/s liegen.

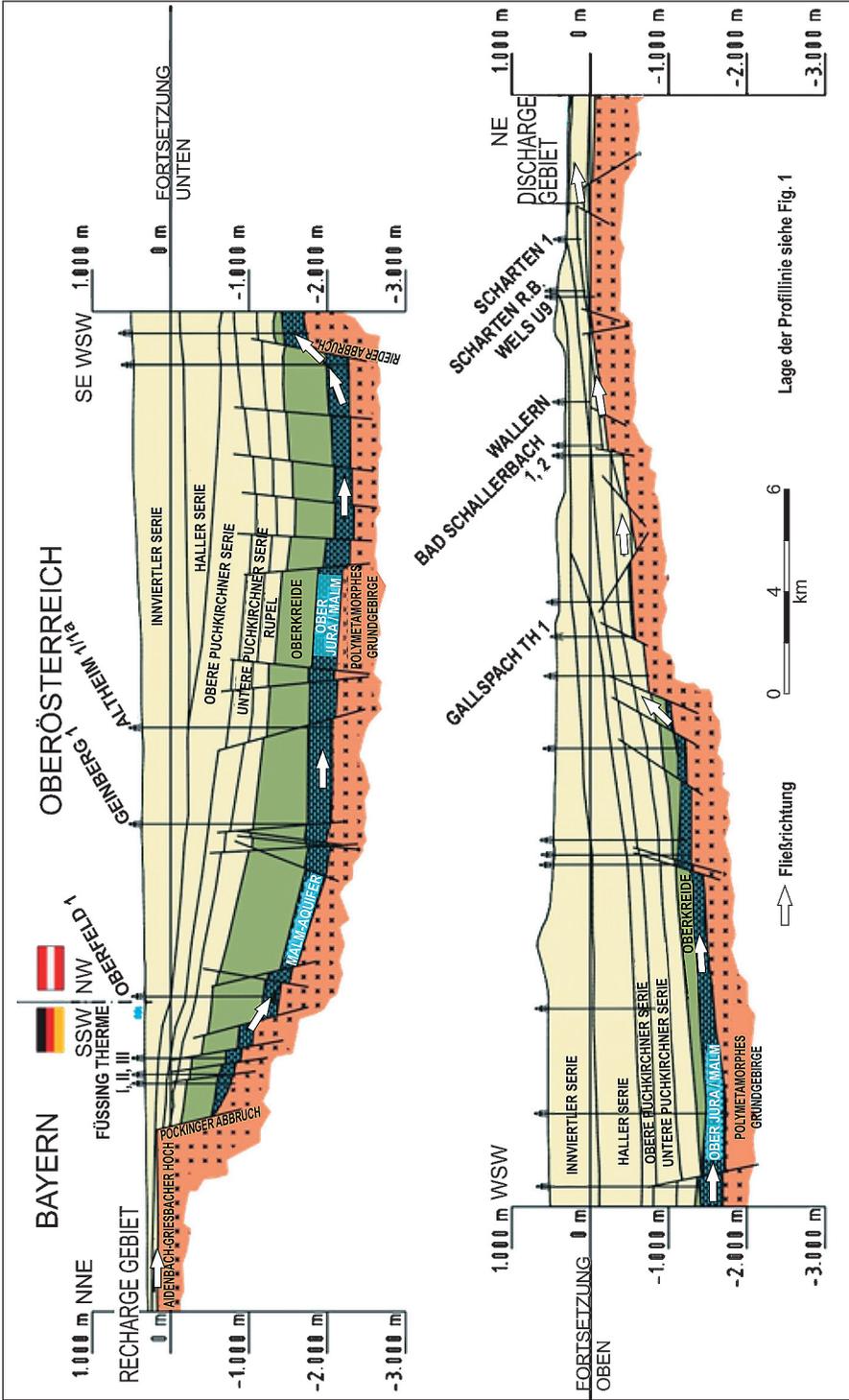


Fig. 3: Geologisches Profil durch das Oberösterreichische Molassebecken (J. E. GOLDBRUNNER, 2000).
 Geological cross section of the Upper Austrian Molasse Basin (J. E. GOLDBRUNNER, 2000).

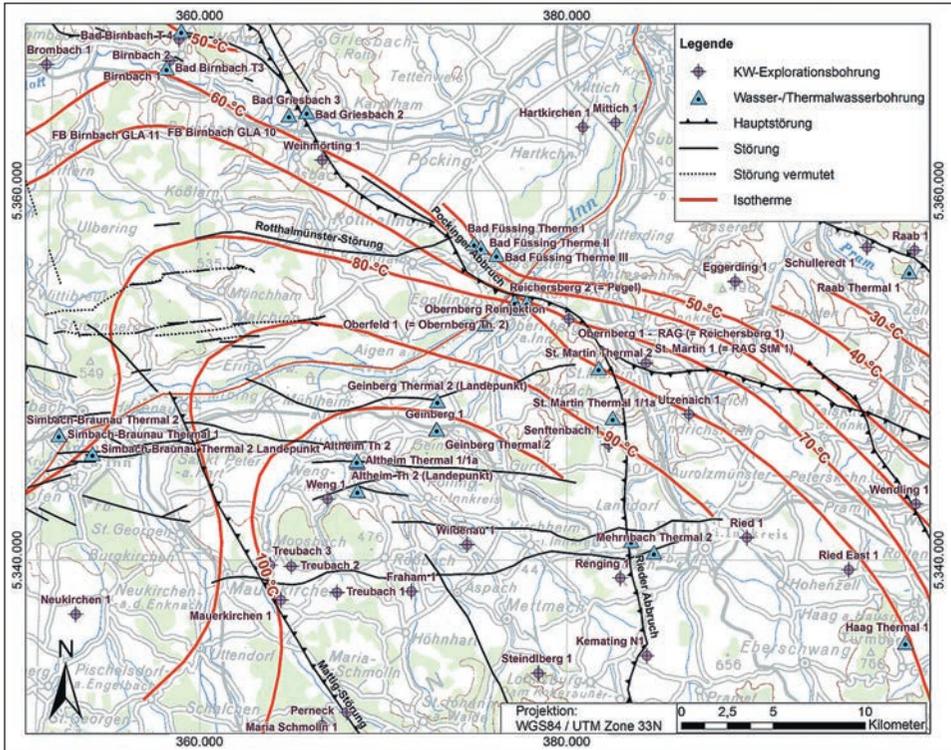


Fig. 4: Isothermen bezogen auf Top Malm im oberösterreichisch-niederbayerischen Grenzgebiet. Beachte die Unterschiede im thermischen Regime zwischen der Hochscholle (westlich) und der Tiefscholle der Mattig-Störung (J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007).

Isotherms on top of Malm aquifer in the border region between Upper Austria and Lower Bavaria. Note the temperature discontinuity affected by the Mattig fault (J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007).

Von besonderem Interesse in Zusammenhang mit dem regionalen Fließsystem im Malm-Tiefengrundwasserleiter ist die Art des Thermalwasserumsatzes im Bereich des Rieder Abbruches. Nach der derzeit gültigen Modellvorstellung (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1999) muss eine hydraulische Verbindung zwischen der Tief- und der Hochscholle des Rieder Abbruches existieren; aufgrund der großen Sprunghöhe am Abbruch, die wesentlich höher ist als die Mächtigkeit der Malmkarbonate, müssen entsprechende Wegigkeiten im kristallinen Grundgebirge vorhanden sein. Erkenntnisse zu dieser Fragestellung sind durch die beiden Bohrungen der Dublette Mehrbach zu erwarten. Die Produktionsbohrung Th 1 war auf die Tiefscholle des Rieder Abbruches angesetzt, landete jedoch auf der Hochscholle und wurde als Bohrung Th 1a in die Tiefscholle abgelenkt, wo sie den Top Malm in erwarteter Position antraf (Fig. 6). Die Reinjektionsbohrung Th 2 wurde auf der Hochscholle angesetzt und abgebohrt. Die Ablenkungsbohrung Th 1a hat gezeigt, dass der Rieder Abbruch eine im W-E-Profil räumlich eng begrenzte Struktur mit einer steil einfallenden Bruchfläche darstellt (J. E. GOLDBRUNNER & M. EISNER, 2011, J. FÜREDER, 2012). Eine deutliche thermische Anomalie in Th 2 (Ch. SCHMID, mündl. Mitt. 2012) zeigt den Einfluss des konvektiven Wärmeflusses. Weitere Aufschlüsse sind durch den mehrmonatigen Pump- und Reinjektionsversuch zu erwarten, der zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Artikels noch in Vorbereitung begriffen war.

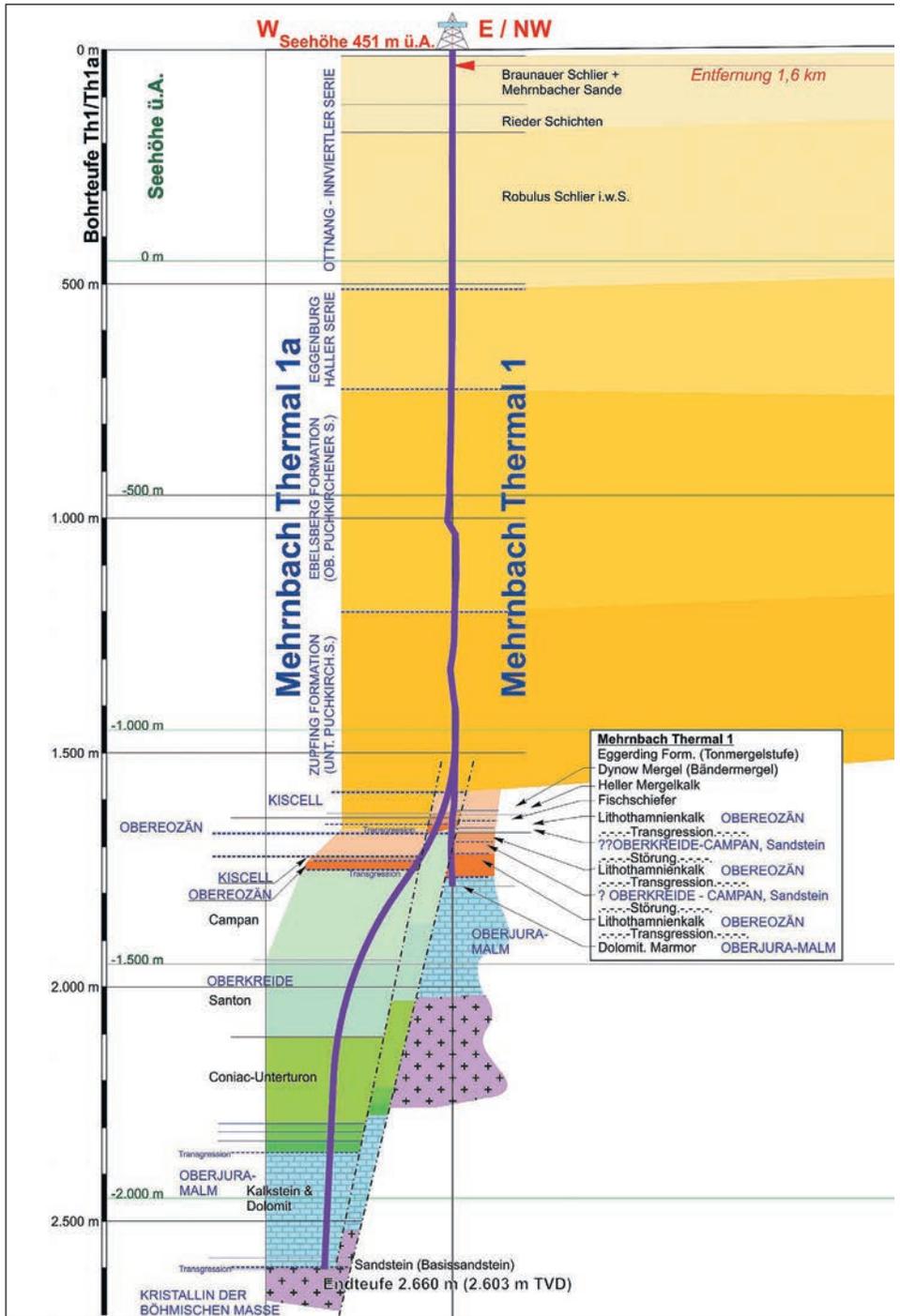
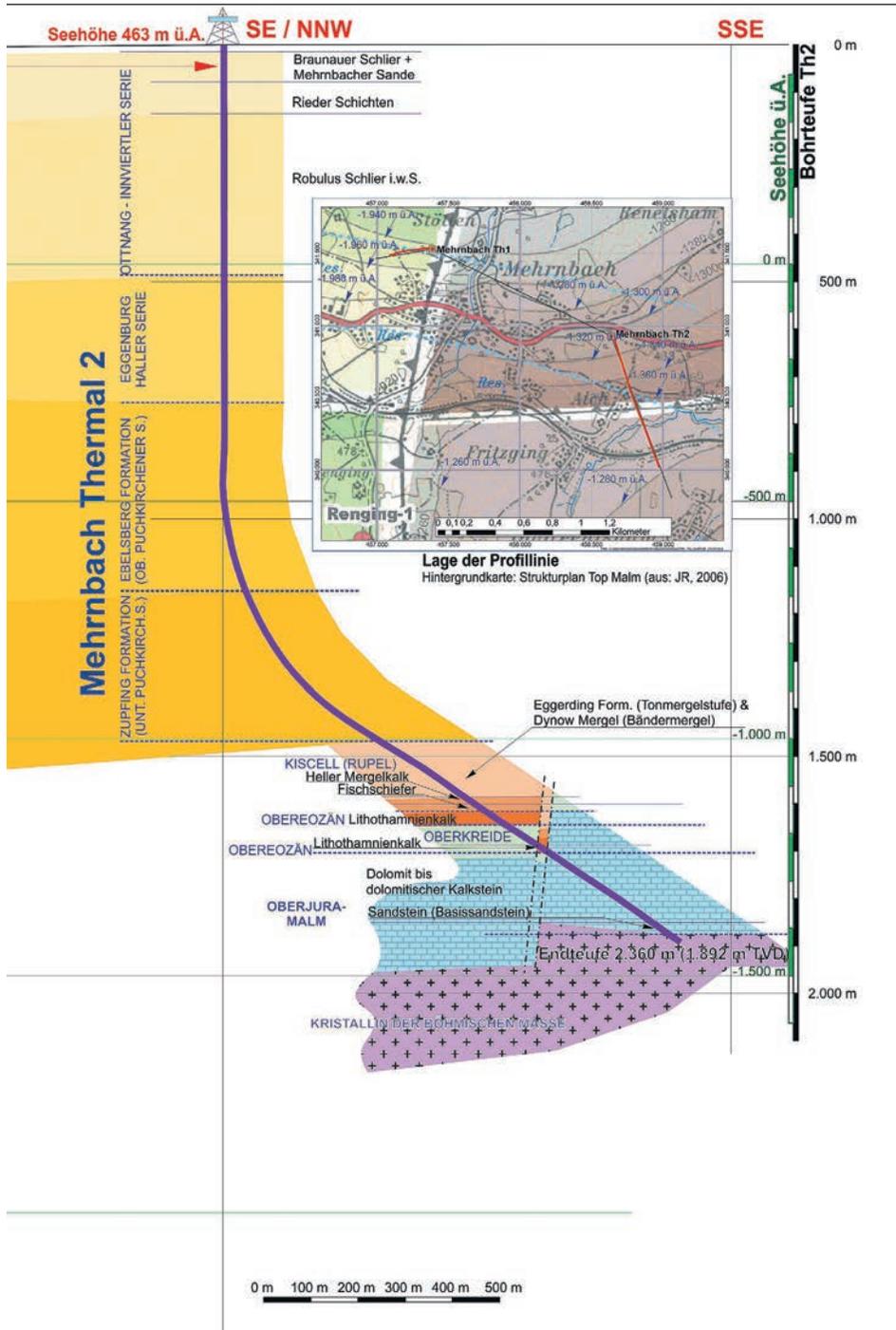


Fig. 6: Profil über den Rieder Abbruch begründet auf die Bohrungen Mehrnbach Th 1/1a und Th 2
 Geological cross section crossing the Ried fault based on the drillings Mehrnbach Th 1/1a and Th 2



(J. E. GOLDBRUNNER & M. EISNER, 2011, J. FÜREDER, 2012).

(J. E. GOLDBRUNNER & M. EISNER, 2011, J. FÜREDER, 2012).

4. Durchlässigkeiten und Transmissivitäten

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die durch Pumpversuche ermittelten Durchlässigkeiten und Transmissivitäten einzelner Malm-Bohrungen. Die höchste Transmissivität wurde an der Bohrung Simbach-Braunau Th 1 mit $2,2\text{--}2,5 \times 10^{-2}$ m²/s festgestellt, die nach Kenntnis des Autors mit Ausnahme des Bohrloches Altdorf Th 1 (siehe Kap. 2) noch von keiner Geothermie-Tiefbohrung im Süddeutschen Molassebecken übertroffen wurde.

Tab. 2: *Transmissivitäten und Durchlässigkeiten von Tiefbohrungen in Oberösterreich und Niederbayern (J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007). AL – Auslaufversuch, PR – Pump- und Reinjektionsversuch, MP – Mammutpumpversuch, I – Interferenztests, T – Transmissivität [m²/s], H – Nettomächtigkeit [m], K – Durchlässigkeitskoeffizient [m/s], S – Speicherkoeffizient [–]. Lage der Bohrungen siehe Fig. 1 und 4. Transmissivity and permeability of wells in Upper Austria and Lower Bavaria (J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007). AL – outflow test, PR – pumping and reinjection test, MP – air lift test, I – interference test, T – transmissivity [m²/s], H – net pay, K – hydraulic conductivity [m/s], S – storage coefficient [–]. Location of boreholes see fig. 1 and 4.*

Bohrung(en)	Versuchszeit	Art	Ermittelte Parameter	Auswerteverfahren
Altheim Th 1/1a	12.04. bis 18.05.1990	AL	T = $1,1 \times 10^{-3}$ H = 31 K = $3,5 \times 10^{-5}$ S = $1,1\text{--}6,1 \times 10^{-5}$	COOPER & JACOB COOPER & JACOB, HANTUSH
Bad Füssing	–	AL, I	T = $1,8 \times 10^{-3}$ S = 6×10^{-5}	COOPER & JACOB, THEIS
Geinberg Th 2	25.09. bis 12.10.1998	AL	T = $2,0\text{--}6,2 \times 10^{-4}$	JACOB (Geradlinien- verfahren) JACOB-LOHMANN, HANTUSH
Oberfeld 1 (= Obernberg Th 2)	31.01. bis 06.02.1995	AL, MP	K = 4×10^{-5}	HÖTLING (Näherungsverfahren)
Simbach-Braunau Th 1	11.08. bis 09.09.1999	AL	T = $2,2\text{--}2,5 \times 10^{-2}$ H = 24 (Log) K = $0,9\text{--}1,0 \times 10^{-3}$ S = $2,6\text{--}3,5 \times 10^{-5}$	THEIS (Aufspiegelung)
Simbach-Braunau Th 2	03.01. bis 18.08.2001	PR	T = $1,0\text{--}3,4 \times 10^{-3}$	THEIS (Aufspiegelung)
St. Martin Th 1a St. Martin Th 2	22.09. bis 22.12.2000	PR	T = $1,6 \times 10^{-4}$ T = $2,3 \times 10^{-3}$	COOPER & JACOB

Durch das Projekt Simbach-Braunau wurde die ungleiche Verteilung der Transmissivitäten im Malmkörper deutlich. Während die beiden, an jeweils E-W streichenden, normal abschiebenden Brüchen stehenden Bohrlocher Simbach-Braunau Th 1 und 2 Transmissivitäten von $2,2\text{--}2,5 \times 10^{-2}$ bzw. $1\text{--}3,4 \times 10^{-3}$ m²/s aufweisen, ist aus den fehlenden Druckzusammenhängen bei den Pumpversuchen und im laufenden Betrieb beider Bohrungen (Reinjektionsbohrung Th 1, Förderbohrung Th 2) zu schließen, dass der zwischen den beiden erfolgreichen Erschließungen liegende Malmblock durch deutlich niedrigere Transmissivitäten gekennzeichnet sein muss. Die Differenz in den initialen Schließdrücken zwischen den Bohrlochern betrug ca. 1 bar bei einer Horizontalentfernung auf Höhe Top Malm von rund 2000 m. Bei der thermisch-hydraulischen Modellierung wurde für die Durchlässigkeit dieses Blockes ein Wert von 1×10^{-7} bzw. 1×10^{-8} m/s angesetzt (B. HUBER et al., 2008). Figur 7 zeigt das Potenzial- und Stromlinienbild für einen Volumenstrom Q = 80 l/s und eine Betriebsdauer von 50 Jahren.

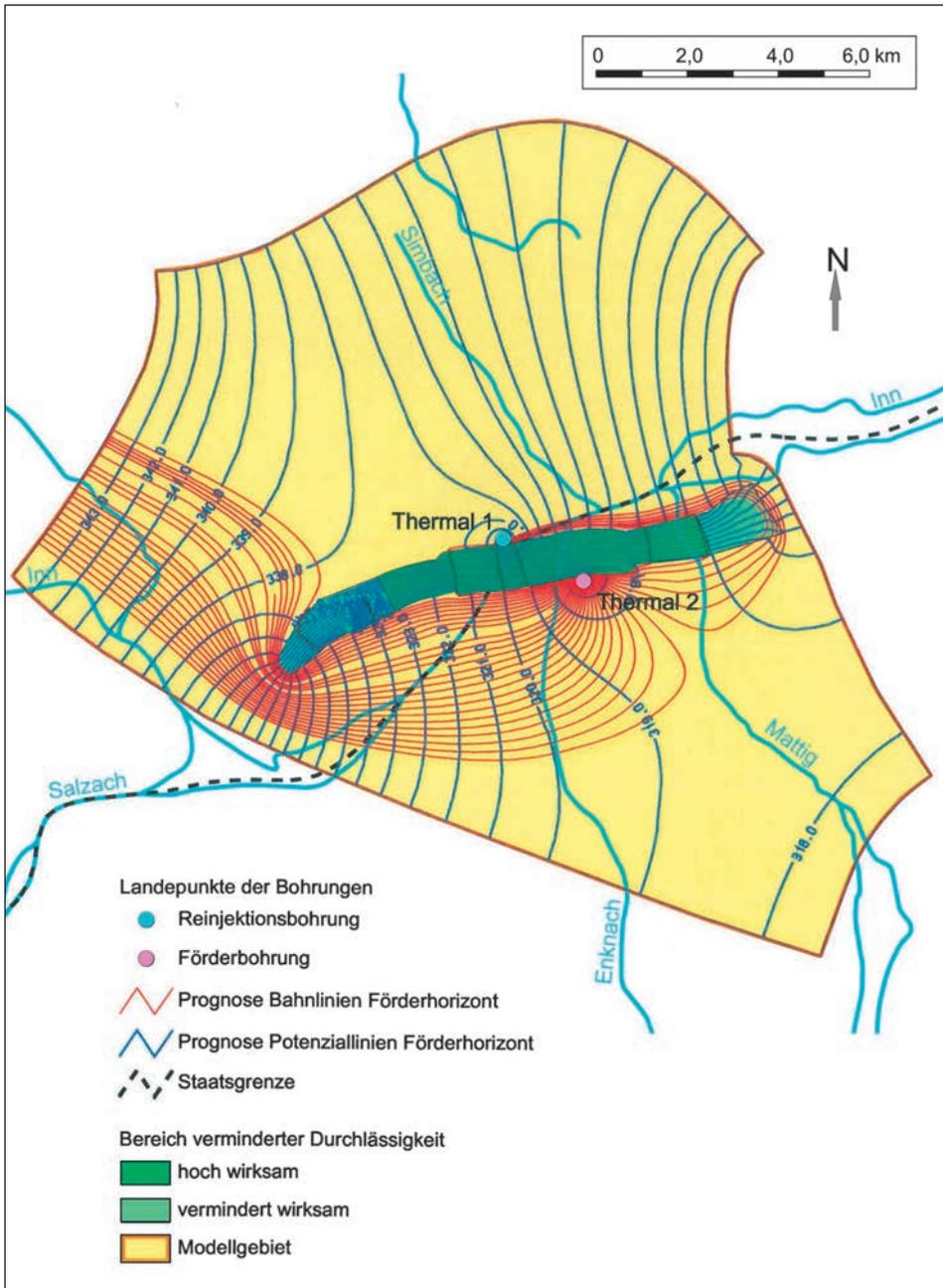


Fig. 7: Potenzialverteilung und Bahnlinien im Malmaquifer für einen Volumenstrom von 80 l/s bei einer Reinjektionstemperatur von 50 °C und einer Betriebszeit von 50 Jahren, nichtstationäre Berechnung (B. HUBER et al., 2008).

Potential line distribution and flow lines in the Malm aquifer, non-steady calculation regarding a flow of 80 l/s, an injection temperature of 50 °C after 50 years of operation of the doublet (B. HUBER et al., 2008).

5. Hydrochemie und Isotope

Die Wässer des Malm-Tiefengrundwasserleiters im niederbayerisch-oberösterreichischen Grenzraum haben eine nur geringe Varianz in den Lösungsinhalten (Tab. 3). Sie gehören dem Natrium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Typus an, ihre Summe an gelösten festen Stoffen liegt zwischen 1,0 und 1,2 g/l, die Chloridgehalte zwischen 157 mg/l und 211 mg/l. Zum Vergleich wurde die Analyse der Geothermie-Tiefbohrung Waldkraiburg Th 1 (ca. 60 km östlich von München) aus der Wasserburger Senke aufgenommen, die dem Typus der im Süddeutschen Molassebecken erschlossenen Wässer aus dem Malm-Tiefengrundwasserleiter entspricht. Sowohl der Gesamtlösungsinhalt als auch der Chloridgehalt sind gegenüber dem Braunauer Trog deutlich erniedrigt; eine Erklärung für dieses Phänomen steht noch aus, zumal im Raum südlich von München dieser gering mineralisierte Wassertypus auch in Tiefen von >4000 m gefunden wurde.

Figur 8 zeigt einen Plot der Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte der Tiefengrundwässer des Oberösterreichischen Molassebeckens nach J. E. GOLDBRUNNER (2000), ergänzt um eine Detaildarstellung für die Malm-Wässer nach J. E. GOLDBRUNNER et al. (2007). Die hoch mineralisierten, nicht mobilen Formationswässer der Haller und der Puchkirchener Serie sind besonders im Sauerstoff-18 durch Austauschvorgänge zwischen der fluiden Phase und der Gesteinsmatrix und durch die Methanogenese geprägt. Dies führt zu einer deutlichen Abweichung von der „Global Meteoric Water Line“ (GMWL), insbesondere infolge der angereicherten Sauerstoff-18-Werte. Die Wässer der Haller Serie, der Puchkirchener Serie, des Obereozän und der Oberkreide liegen auf einer Ausgleichsgeraden, welche die GMWL bei einem Deuterium-Wert von ca. -83‰ schneidet und durch die Gleichung $\delta^2\text{H} = 5,4 \times \delta^{18}\text{O} - 20,2$ charakterisiert

Tab. 3: Die hydrochemische Zusammensetzung [mg/l] von Malm-Wässern aus Niederbayern und Oberösterreich im Vergleich zum Bohrloch Waldkraiburg Th 1 der Wasserburger Senke. Lage der Bohrungen siehe Fig. 1 und Fig. 4.

Hydrochemical composition of wells [mg/l] in the Malm aquifer of Lower Bavaria and Upper Austria in comparison to well Waldkraiburg Th 1 in Upper Bavaria (Wasserburger Senke). Location of boreholes see fig. 1 and 4.

Bezeichnung	Altheim Th 1/1a	Bad Füssing Therme I	Geinberg Th 2	Simbach-Braunau Th 2	St. Martin Th 1	Waldkraiburg Th 1
Probenahme	08.05.1990	12.04.2011	07.11.2008	30.07.2002	13.04.1999	04.10.2011
Analytiker	DEETJEN & JOB-EGGER	NIESSNER	BEGERT	HYDRO-ISOTOP	BEGERT	HYDRO-ISOTOP
Ammonium	1,90	2,12	2,24	1,66	1,43	1,3
Natrium	294,27	289,0	283,0	280,0	312,0	115,0
Kalium	17,20	15,5	17,5	16,2	15,3	18,0
Magnesium	1,70	4,19	1,4	4,3	4,2	5,4
Calcium	8,02	22,0	8,4	14,0	8,1	27,1
Chlorid	168,0	161,0	157,0	163,0	211,0	81,4
Jodid	0,47	0,32	–	0,32	–	0,21
Sulfat	1,90	4,03	4,9	9,8	8,2	4,8
Hydrogencarbonat	516	596	507	580	466	288
Summe gelöste feste Stoffe	1028	1197	991	1076	1053	671

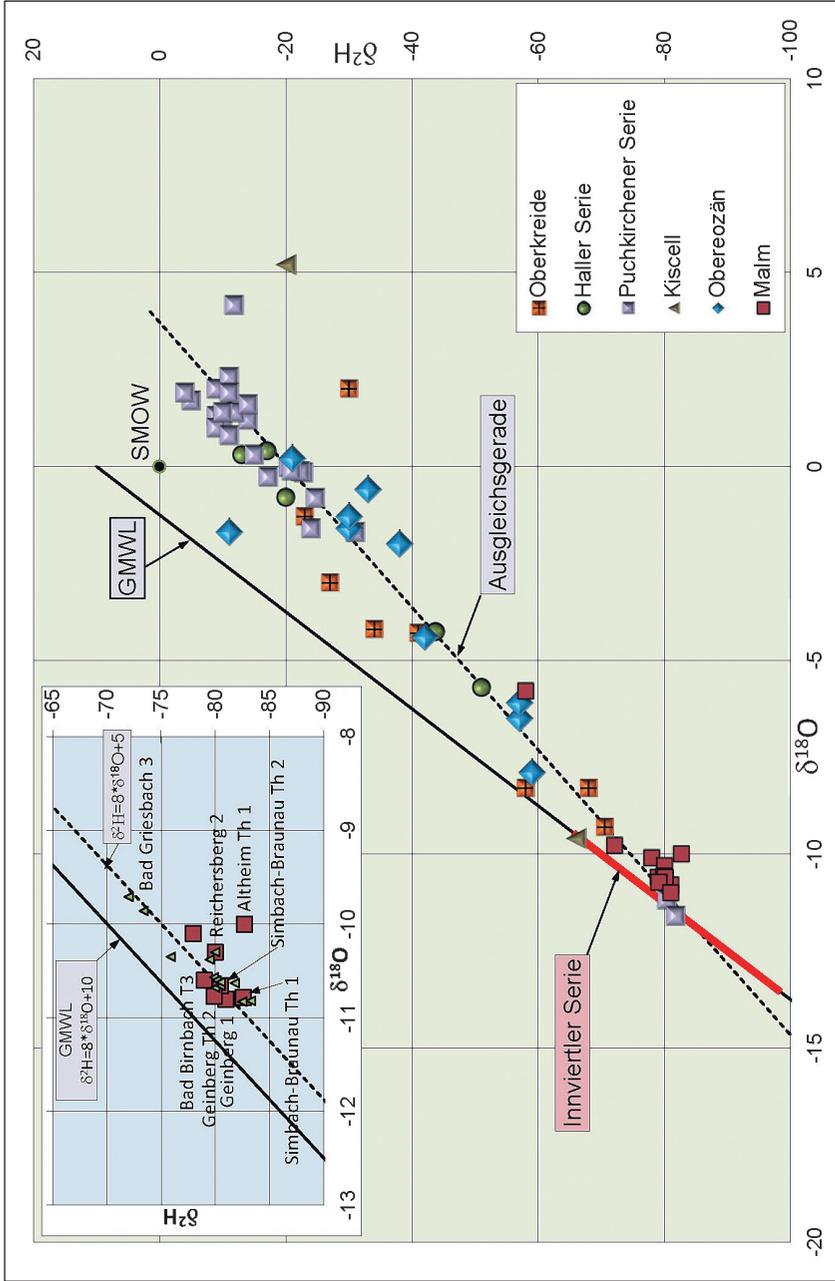


Fig. 8: Darstellung der Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte von Tiefengrundwässern und Formationswässern des Oberösterreichischen Molassebeckens (J. E. GOLDBRUNNER, 2000, J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007).
 Plot of deuterium and oxygen-18 of deep groundwaters and connate waters of the Upper Austrian Molasse Basin (J. E. GOLDBRUNNER, 2000, J. E. GOLDBRUNNER et al., 2007).

ist. Die in Fig. 8 dargestellte Ausgleichsgerade wurde daher von J. E. GOLDBRUNNER (2000) als Mischungslinie interpretiert, aus der größenordnungsmäßig der Anteil der meteorischen Komponente und daher der Grad der Regeneration der Aquifere abgelesen werden kann. Demnach weisen die im geologischen Profil am tiefsten gelegenen Malm-Wässer den höchsten Anteil an regenerativen Wässern und eine Verbindung zu einem Neubildungsgebiet auf.

Die Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte der Malm-Wässer liegen auf einer Ausgleichsgeraden, welche einen Deuterium-Exzess von 5 ‰ anzeigt. Der von der rezenten GMWL ($\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+10$) abweichende Deuterium-Exzess ist auf klimatisch bedingte stärkere Anreicherungen von Sauerstoff-18 in den Ozeanen zurückzuführen. R. S. HARMON & H. P. SCHWARZ (1981) haben für spätglaziale Niederschläge die Beziehung $\delta^2\text{H}=7,9\times\delta^{18}\text{O}$ aufgestellt. Altersbestimmungen mit Hilfe der Kohlenstoff-14-Methode sind für die Malm-Wässer aufgrund der Karbonatlösungs- und -fällungserscheinungen nicht anwendbar.

Auffällig ist, dass die Abreicherung der Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte etwa im Vergleich zu den Tiefengrundwässern der Innviertler Serie des Ottnangiums geringer ist. Bei diesen wurden für die einzugsgebietsfernen Wässer aufgrund der Edelgas-Infiltrationstemperaturen pleistozäne (kaltzeitliche) Grundwasseralter nachgewiesen (J. N. ANDREWS et al., 1987, J. E. GOLDBRUNNER, 1988). Für das am stärksten abgereicherte Wasser von Simbach-Braunau Th 2 ($\delta^2\text{H}=-83,3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}=-10,82\text{‰}$) wurde aufgrund der Edelgasgehalte eine Neubildungstemperatur von 3,4 °C ermittelt (K. OSENBRÜCK & L. EICHINGER, 2002), welche (im Vergleich zu den Wässern der Innviertler Serie) für ein wärmzeitliches Alter spricht. Man wird daher den Malm-Wässern des Braunauer Trogs ein spätpleistozänes bis früh-holozänes Alter zuordnen können.

Zusammenfassung

Das Oberösterreichische Molassebecken gehört zu den besten Gebieten für die Erschließung geothermaler Energie in Österreich. Derzeit sind sechs Anlagen mit einer installierten Leistung von ca. 43 MW_{th} in Betrieb. Durch die Aufschließungstätigkeit sind zahlreiche hydrogeologische Daten und Erkenntnisse gewonnen worden. Für die geothermale Nutzung geeignete Wasserführung tritt in geklüfteten und verkarsteten Karbonatgesteinen des/der Oberjura/Unterkreide auf. Der Aquifer wird als „Malmaquifer“ oder „Malmkarst“ bezeichnet. Im niederbayerisch-oberösterreichischen Grenzraum wurden Transmissivitäten von bis zu $2,5\times 10^{-2}$ m²/s bestimmt, welche zu den höchsten des gesamten Süddeutschen Molassebeckens gehören. Von besonderer Wichtigkeit ist die Erfassung des regionalen Fließsystems, dessen Mechanismen (Lage der Einzugs- und Entlastungsgebiete) in den Grundzügen bekannt sind. Detailfragen, wie z. B. die Grundwasserbewegung im Bereich des Rieder Abbruches mit seiner großen Sprunghöhe, sind jedoch noch offen.

Die Bohrungen Mehrnbach Th 1/1a und Th 2, welche die Hoch- und Tiefscholle des Abbruches erkundet haben, konnten und können wichtige Erkenntnisse liefern. Die Malm-Wässer sind gering mineralisiert (1–1,2 g/l) und vom Natrium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Typ. Die Untersuchungen der Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 brachten Erkenntnisse zu den Regenerationsmechanismen und erlauben zumindest eine Alterseingrenzung.

Literatur

- ANDREWS, J. N., J. E. GOLDBRUNNER, M. G. DARLING, P. J. HOOKER, G. B. WILSON, M. J. YOUNGMAN, L. EICHINGER, W. RAUERT & W. STICHLER (1987): A radiochemical, hydrochemical and dissolved gas study of groundwater in the Molasse basin of Upper Austria.– *Earth and Planet. Sc. Lett.*, **73**, 317–332.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1999): Das Thermalwasservorkommen im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. Hydrogeologisches Modell und Thermalwasser-Strömungsmodell im Auftrag des Freistaates Bayern und der Republik Österreich.– 19 S., 20 Anl., München.
- FÜREDER, J. E. (2012): Geothermieprojekt Ried.– Vortrag, Geothermie Workshop an der Montanuniversität Leoben am 29.2. 2012.
- GOLDBRUNNER, J. E. (1984): Zur Hydrogeologie des oberösterreichischen Molassebeckens.– *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **36**, 83–102, Graz.
- GOLDBRUNNER, J. E. (1988): Tiefengrundwässer im Oberösterreichischen Molassebecken und im Steirischen Becken.– *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **39**, 5–94, Graz.
- GOLDBRUNNER, J. E. (2000): Hydrogeology of deep groundwaters in Austria.– *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **92 (1999)**, 281–294, Wien.
- GOLDBRUNNER, J. E. (2010): Austria – Country Update.– *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia*, 14 S.
- GOLDBRUNNER, J. E. & M. EISNER (2011): Tiefbohrungen Mehrnbach Th 1/1a und Mehrnbach Th 2. Geologischer Abschlussbericht.– Unveröff. Bericht, Geoteam Ges.m.b.H., 12 S., 1 Beil., Graz.
- GOLDBRUNNER, J. E., B. HUBER, T. KOHL, M. GOLD, H. P. HEISS, A. SHIRBAZ & C. BAUJARD (2007): TAT. Thermische Auswirkungen von Thermalwassernutzungen im oberösterreichisch-niederbayerischen Innviertel. Endbericht.– Unveröff. Bericht, Geoteam Ges.m.b.H., Hydroconsult GmbH u. Geowatt AG, 291 S., 15 Beil., 2 Anl., Graz/Augsburg/Zürich.
- HARMON, R. S. & H. P. SCHWARZ (1981): Changes of ^2H and ^{18}O enrichment of meteoric water and Pleistocene Glaciation.– *Nature*, **290**, 125–128.
- HUBER, B., F. WENDEROTH, J. E. GOLDBRUNNER & A. SHIRBAZ (2008): Dublette Simbach-Braunau. Wärmebergbaugutachten.– Unveröff. Bericht, Hydroconsult GmbH, Aquasoil GmbH u. Geoteam Ges.m.b.H., 67 S., 14 Beil., Augsburg/Berlin/Graz.
- NACHTMANN, W. & L. WAGNER (1987): Mesozoic and Early Tertiary Evolution of the Alpine Foreland in Upper Austria and Salzburg, Austria.– *Tectonophysics*, **137**, 61–79.
- OSENBRÜCK, K. & L. EICHINGER (2002): Hydrochemische, isopenhydrologische, gasphysikalische und mikrobiologische Untersuchungen am Tiefengrundwasser der Geothermiebohrung S-B Th 1 und S-B Th 2 in Simbach.– Unveröff. Bericht, Hydroisotop GmbH., 46 S., 8 Abb., Schweitenkirchen.
- SCHUBERT, A. (1996): Tiefengrundwasseruntersuchungen im Molassebecken westlich von Linz.– Diss., TU Berlin, 127 S., Berlin.

Summary

The Upper Austrian Molasse Basin is one of the favourite areas for the exploitation of geothermal energy in Austria. At present six plants with a total installed thermal capacity of 43 MW_{th} are in operation. The exploration activity provided a lot of hydrogeological data which aid in understanding the hydrogeology of the subsurface strata. The main aquifer is located in fractured and karstified carbonate rocks of Upper Jurassic/Lower Cretaceous age. It is generally denoted “Malm aquifer”. In the border region of Lower Bavaria and Upper Austria transmissivities as high as $2,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ are encountered, which are one of the highest ever found in the South German Molasse Basin. The assessment of the regional flow system in the Malm is of major importance. General mechanisms like position of recharge and discharge areas have been clarified, but some features like the groundwater movement at the Ried fault, which has a throw in excess of the thickness of the Malmian rocks are not well understood at

the moment. The Mehrnbach drillings, located at the uplifted fault block and the down-thrown fault block of the Ried fault respectively will help to understand the hydraulic conditions in this section of the aquifer. The groundwater in the Malm aquifer is low mineralized and of the sodium-bicarbonate-chloride type. Measurements of deuterium and oxygen-18 gave important hints for evaluating the recharge mechanisms and to delineate the age of groundwater.

Schlüsselwörter: Molassebecken, geothermale Energie, Malmaquifer, regionales Fließsystem, Hydrochemie und Isotope

Keywords: Molasse Basin, geothermal energy, Malm aquifer, regional flow system, hydrochemistry and isotopes