

Die hydrogeologischen Ergebnisse der Thermalwasserbohrung in den Oberen Muschelkalk für das Merkel'sche Bad in Esslingen am Neckar

Von RUPERT PRESTEL, Stuttgart, und WILHELM SCHLOZ, Esslingen

Mit 6 Tabellen und 10 Abbildungen

ZUSAMMENFASSUNG

In Esslingen am Neckar wurde für den Betrieb des im Jugendstil erbauten, neu renovierten Merkel'schen Bades durch eine Bohrung ein thermales Mineralwasser erschlossen (TB Esslingen Merkel'sches Bad). Der Standort befindet sich in der Talaue des Neckars und damit tektonisch im östlichen Fildergraben, knapp 10 km südöstlich der Heilquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg. In der 203 m tiefen Bohrung wurde in 155,5 m der Unterkeuper und in 175,5 m Tiefe der Obere Muschelkalk erreicht. Bereits im Linguladolomit des Unterkeupers stellte sich artesischer Auslauf ein, der im Trigonodusdolomit des Oberen Muschelkalks nochmals kräftig zunahm. Das erbohrte Grundwasser steht unter hohem artesischem Druck von anfangs 2,3 bar über Gelände. Die Ergiebigkeit des Aquifers ist sehr hoch, mit kurzfristigen Auslaufraten während der Bohrarbeiten von bis zu etwa 150 l/s. Durch einen dreistufigen Auslaufversuch mit bis zu 30 l/s wurde die hohe Transmissivität von $T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt und eine extrem weit reichende Druckreaktion nachgewiesen.

Das 32 °C warme, salz- und gasreiche Wasser ist nach der üblichen Mineralwasser-Nomenklatur als Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃-Mineral-Thermalwasser-Säuerling mit 8,7 g/l gelösten Mineralstoffen charakterisiert und von hervorragender Beschaffenheit. Aufgrund der hoch gespannten, im Neckartal artesischen Druckverhältnisse ist es natürlich gut geschützt.

Die isotopehydrologischen Ergebnisse belegen erwartungsgemäß ein sehr altes Grundwasser ohne junge Komponente. Für die Deuterium- und Sauerstoff-18-Verhältnisse ergibt sich zusammen mit den Daten aus umliegenden Tiefbrunnen und Grundwassermessstellen ein differenziertes aber plausibles Strömungsbild.

Die geohydraulischen, hydrochemischen, isotopehydrologischen und geothermischen Befunde sowie die hohe CO₂-Führung des Thermalwassers der TB Esslingen Merkel'sches Bad erlauben in Verbindung mit den Daten aus der 5 km westsüdwestlich gelegenen Tiefbohrung und Grundwassermessstelle Scharnhausen und den Thermalwasser-Erschließungen im Bereich Albvorland und mittlere nördliche Schwäbische Alb (Bad Urach, Beuren, Bad Boll, Bad Ditzgenbach) eine klare Charakterisierung des tiefen Fließsystems im Oberen Muschelkalk des südlichen bis südöstlichen Fildergrabens. Dabei handelt es sich um den generell südlichen Zustrom zu den Heilquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und Stuttgart-Berg, der – neben dem niedrig konzentrierten und gasarmen, generell westlichen Zustrom – diesen Quellen hauptsächlich die erhöhte Tem-

peratur, die hohe Salzfracht und das gelöste freie CO₂ zuführt. Die geringe Entnahmerate in Esslingen von deutlich unter 2 l/s bzw. 172,8 m³/Tag (zulässige maximal Entnahme gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis) schließt eine Beeinträchtigung der Stuttgarter Heilquellen sicher aus.

Schlüsselwörter: Oberer Muschelkalk, tektonischer Fildergraben, tiefes Fließsystem, Thermal- und Mineralwasser, Salzfracht, CO₂-Führung, Isotopen, Geothermie.

ABSTRACT

In 2005 in Esslingen am Neckar a well for mineral water (TB Esslingen Merkel'sches Bad) was drilled to a depth of 203 m into the upper part of the Upper Muschelkalk aquifer. The encountered thermal and highly mineralized water is used for the Merkel'sches Bad, a newly renovated Jugendstil-baths. The well is located in the Neckar river valley, in the eastern area of the tectonic Fildergraben, in a distance of nearly 10 km southeastward of the Stuttgart mineral springs. The encountered groundwater has a high hydraulic pressure of 2,3 bar above ground level. Because of the high transmissivity of the aquifer ($T = 110^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) the discharge of the mineral water during the drilling reached short-time flow rates of about 150 l/s. A discharge test showed remarkable pressure reactions in distant observation wells in the Upper Muschelkalk aquifer.

The Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃-type mineral and thermal water (32 °C) contains 8,7 g/l dissolved solids.

Isotopic results show, that this deep groundwater is very old, without a young water component.

Together with stable isotope, hydrochemical, hydraulic and geothermal data of wells in the surrounding area (Fildergraben, Swabian Alb and foreland; Scharnhausen, Bad Urach, Beuren, Bad Boll, Bad Ditzgenbach) a differentiated but plausible characterization of the deep flow system in the Upper Muschelkalk aquifer results. The Stuttgart mineral springs are mainly characterized by the southern inflow, that transports heat, high mineral and dissolved carbon dioxide content.

The low discharge rate for the Merkel'sches Bad in Esslingen of less than 2 l/s respectively 172,8 m³/day (water right concession) excludes certainly damage of the Stuttgart mineral springs.

EINLEITUNG

Das 1907 eröffnete Merkel'sche Bad in Esslingen besitzt eine kleine aber sehr schöne, denkmalgeschützte Schwimmhalle im Jugendstil, die in den Jahren 2003 bis 2006 vorbildlich renoviert wurde. Seitens der Stadtwerke Esslingen wurde während der Planungsarbeiten erwogen, das Becken des Bades mit Mineral- oder Mineralthermalwasser zu speisen.

Ein Gutachten des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg vom 22.08.2001 und mit Nachtrag vom 08.04.2004 (Bearbeitung durch den zweitgenannten Autor) bestätigte die günstigen Aussichten, dass am

Standort im Oberen Muschelkalk des Fildergrabens artesisch gespanntes, thermales, CO₂-führendes, salzreiches Mineralwasser ausreichender Ergiebigkeit erschlossen werden kann. Auf die besondere Situation, dass sich der Standort zwar außerhalb des Heilquellenschutzgebiets Stuttgart aber bezüglich des Aquifers im Oberen Muschelkalk im Zustrom zu den Heilquellen von S-Bad Cannstatt und -Berg befindet, wurde nachdrücklich hingewiesen. Daraus ergab sich, dass die Nutzung eines unter Esslingen im Oberen Muschelkalk erschlossenen Vorkommens nur mit geringer Entnahmerate betrieben werden kann, um die Heilquellen im Unterstrom nicht zu schädigen. Thematisiert wurden auch die hohen bohrtechnischen Anforderungen zur Beherrschung der artesischen Druckverhältnisse sowie die möglicherweise erforderliche Enteisung des Mineralwassers vor einer Nutzung für Badezwecke.

Die günstigen Erfolgsaussichten eines Erschließungsversuchs wurden insbesondere durch die Ergebnisse der 2001 durchgeführten, 319 m tiefen Tiefbohrung Scharnhausen (PRESTEL & SCHLOZ 2002, Lage s. Abb.1) untermauert, die ebenfalls den Oberen Muschelkalk als Aufschlussziel und Aquifer erreicht hat und darin mit einem ergiebigen (jedoch nicht genutzten) Mineralthermal-säuerling fündig wurde.

Auftraggeber zur Durchführung des Projekts waren die Stadtwerke Esslingen am Neckar GmbH & Co. KG (Technischer Direktor Dipl. Ing. W. Lotz). Die Ingenieurbetreuung der Erschließung erfolgte durch Dr. W. Bausch – Ingenieure & Geologen, Holzmaden. Ausführende Bohr- und Brunnenbau-Firma war geo-Bohrtechnik GmbH, Blaustein-Bermaringen (Hr. B. Klock). Die bohrlochgeophysikalischen Messungen und Fernsehbefahrungen wurden durch brg-Brunnenprüfdienst, Buch am Erlbach, die Messungen zum Auslaufversuch durch das Ingenieurbüro Karch, Kirchentellinsfurt, in den Messstellen der DB AG durch geon, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Boden mbH, Stuttgart, durchgeführt. Die hydrochemischen Analysen fertigte das Labor des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg (LGRB im RPF), die isotopenhydrologischen Bestimmungen die Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen.

STANDORT, BOHRBLAUF UND BRUNNENAUSBAU

Da eine freie Grünfläche oder dergleichen im nahen Umfeld des Merkel'schen Bades nicht verfügbar war, wurde die Bohrung auf dem befestigten Hof auf der Rückseite des Bades in der hier dicht bebauten Neckar-Talaue der Esslinger Innenstadt angesetzt. Der Standort befindet sich im tektonischen Fildergraben (Abb. 1), etwa 1 km SW der bisher kartierten nordöstlichen Randverwerfungen der Grabenstruktur (GK50 Stuttgart und Umgebung; BRUNNER 1998). Unter etwa 5 m mächtigen quartären Talablagerungen folgen hier die Schichten der Bunte-Mergel-Formation des Mittleren Keupers mit gering mächtigen, möglicherweise umgelagerten Resten der Oberen Bunten Mergel und darunter den Kieselsandsteinschichten.

Die Bohrung wurde in der Zeit vom 19.07. bis 07.09. 2005 bis 8 m als Ramm- und darunter als Drehbohrung mit Rollenmeißel im Lufthebeverfahren nieder-

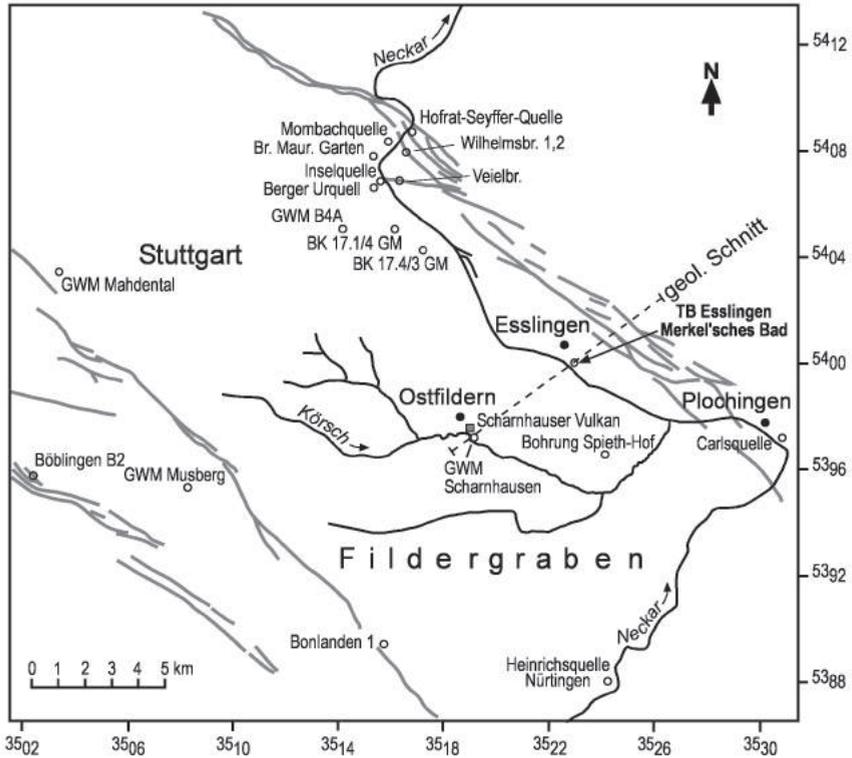


Abb. 1. Übersichtslageplan der TB Esslingen Merkel'sches Bad mit umgebenden Bohrungen, Grundwassermessstellen und Tiefbrunnen, Verlauf des geologischen Schnitts (Abb. 3) und Strukturlinien des Fildergrabens.

gebracht. Dabei wurden folgende Bohrdurchmesser verwandt und Sperrrohre gesetzt (Abb. 2):

- Bis 8,0 m Bohrdurchmesser 580 mm, Standrohr 18 1/2", wieder gezogen,
- bis 44,0 m Bohrdurchmesser 460 mm, API-Rohr 13 3/8", einzementiert,
- bis 157,0 m (Unterkeuper) Bohrdurchmesser 323 mm, Ausbaurohrung GFK 1500, Durchmesser 219 mm, einzementiert,
- bis 203,0 m (Endteufe, Oberer Muschelkalk) Bohrdurchmesser 196 mm, Ausbaurohrung bis 196,0 m GFK 1000, Filterrohr, Durchmesser 4 1/2", freistehend, mittels Packer an das einzementierte GFK-Vollrohr 219 mm angeschlossen.

Hydraulisch erschlossen sind somit grundwasserführende Schichten des Unterkeupers und des Oberen Muschelkalks. Der Brunnenkopf befindet sich inzwischen in einer Brunnenstube unter der Hoffläche.

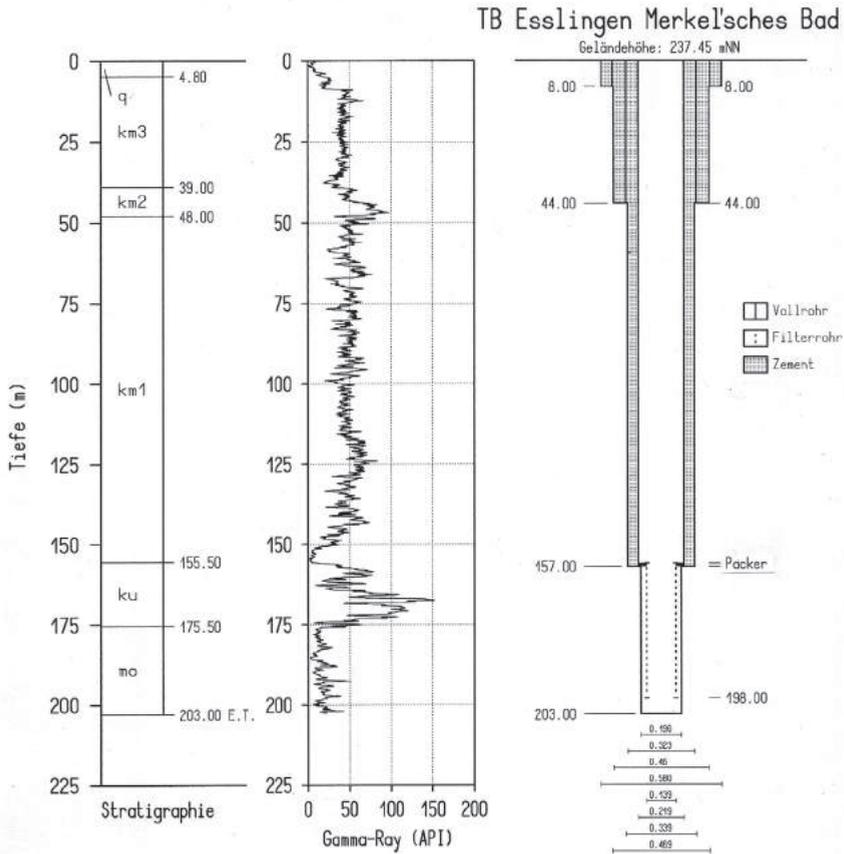


Abb. 2. Stratigraphisches Bohrprofil, Gamma-Ray-Log und Ausbauezeichnung der TB Esslingen Merkel'sches Bad.

GEOLOGISCHE ERGEBNISSE

Das nachfolgende stratigraphische Bohrprofil (s. auch Abb. 2) der Thermalwasserbohrung TB Esslingen Merkel'sches Bad beruht auf der Interpretation der Bohrproben sowie des Gamma-Ray-Logs (GRL; s. Abb. 2) durch die Autoren, Dr. Wolfgang Bausch und Prof. Dr. Theo Simon (LGRB im RPF). Das GRL ist detailliert mit jenem der Tiefbohrung Scharnhausen (LGRB-Nr. BO 7221/05706, PRESTEL & SCHLOZ 2002) parallelisierbar, jedoch ist die Schichtenfolge des Mittelkeupers, Top Kieselsandstein bis Basis Gipskeuper, in Esslingen 5 m geringer mächtig. Die erbohrte Schichtenfolge lag am Standort 15 m (Top Kieselsandstein) bis 20 m (Basis Keuper) höher als erwartet.

LGRB-Nr. BO 7221/07129; R = 35 23 050,73, H = 54 00 037,00, Ansatzhöhe 237,45 m NN

- 0–4,8 m **Quartär, q** (4,8/5,0 m)
 - 2,0 m Auffüllung
 - 4,8 m Kies, sandig und etwas schluffig, hellbraungrau; Neckarkies
- 5,0 m Ton / Tonstein, rotbraun und grüngrau (Quartär, oder Obere Bunte Mergel)
- 39,0 m **Bunte Mergel-Formation, km3** (>34 m)
 - 13,0 m Kieselsandsteinschichten
 - 39,0 m Untere Bunte Mergel, ab 30 m mit Gips
- 48,0 m **Schilfsandstein-Formation, km2** (9 m)
 - 42 m Dunkle Mergel
 - 48 m Schilfsandstein, in Normalfazies
- 155,5 m **Gipskeuper-Formation, km1** (107,5 m)
 - 76 m Obere Bunte, Graue und Untere Bunte Estheriensichten
 - 77 m Acrodus-Corbula-Horizont
 - 116 m Mittlerer Gipshorizont und Bleiglanzbankschichten
 - 133 m Dunkelrote Mergel
 - 139 m Bochinger Horizont
 - 155,5 m Grundgipsschichten
- 175,5 m **Unterkeuper, ku** (20 m)
 - 158,5 m Grenzschichten
 - 160,5 m Lingulaschichten (mit Linguladolomit)
 - 166,6 m Anoplophoraschichten (mit Anthrakonitbank)
 - 169,2 m Albertibankschichten (mit Sandigen Pflanzenschiefern)
 - 174,0 m Hauptsandsteinschichten und Estheriensichten,
 - 175,5 m Basisschichten
- 203,0 m **Oberer Muschelkalk, mo** (>27,5 m)
 - 185,0 m Trigonodusdolomit
 - 203,0 m Künzelsauer Schichten und zuunterst Meißner Schichten
(bei 188 m Tonhorizont 6, bei 192,5 m Tonhorizont 5)

Nach der Geologischen Karte GK50 Stuttgart und Umgebung (BRUNNER 1998, dort Beil. 2) fällt die Schichtfläche Keuper/Muschelkalk am Standort innerhalb des Fildergrabens nach Südosten ein. Tatsächlich wurde diese Grenze knapp 20 m höher angetroffen als bisher in der Schichtlagerungskarte konstruiert. In einer etwa 55 m nordöstlich entfernten Bohrung für eine Erdwärmesonde wurde die Basis Kieselsandsteinschichten bezogen auf NN allerdings 13 m tiefer angetroffen als in der TB Esslingen Merkel'sches Bad. Daraus muss auf eine Störung oder Flexur im Nahbereich des Standorts geschlossen werden. Die Position der Esslinger Thermalwasserbohrung im geologisch-hydrogeologischen Schnitt zeigt Abb. 3.

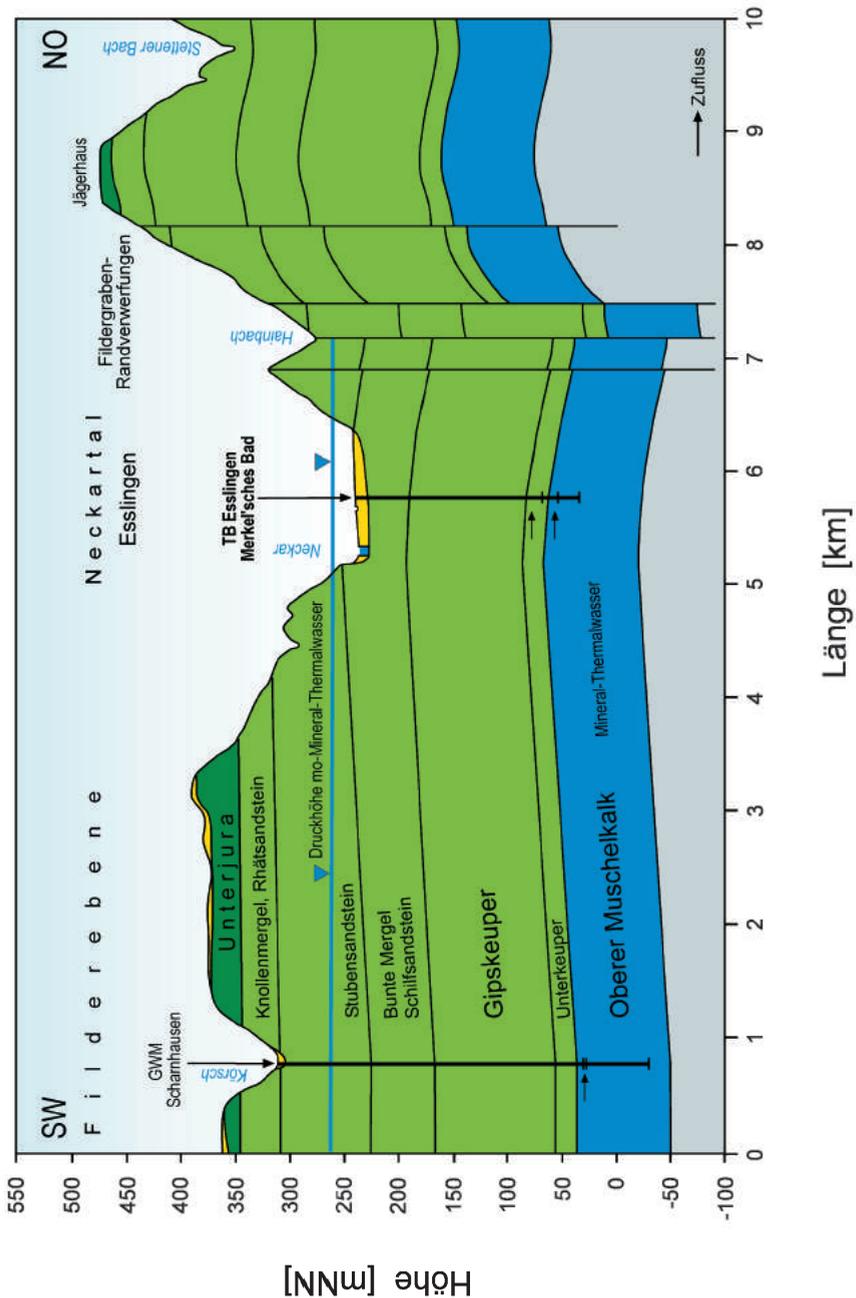


Abb. 3. Geologischer und hydrogeologischer Schnitt SW – NO von der Grundwassermessstelle Scharnhäusen zur TB Esslingen Merkel'sches Bad und zu den nordöstlichen Fildergraben-Randverfaltungen.

HYDROGEOLOGISCHE BOHRBEFUNDE

Die quartären Kiese waren ab 4,15 m, also nur in ihrem untersten Abschnitt, nass bzw. im Grundwasser. Für den Kieselsandstein ist Grundwasserführung anzunehmen, aber für das Bohrloch nicht direkt belegt. In den Schichten des Keupers wurde ab 30 m (Untere Bunte Mergel) wechselnd, aber praktisch durchgehend bis zur Basis Gips, in den Grundgipsschichten nach visueller Ansprache der Bohrproben auch Anhydrit angetroffen.

Am 13.08.2005 erfolgte bereits in 159 m Tiefe unter Ansatz im höheren Unterkeuper, in den Lingulaschichten der „1. Zutritt“ von Grundwasser, der rasch artesisch wurde. Das mit etwa 4 bis 5 l/s auslaufende Wasser war gasreich, schäumend, geruchlich H₂S-führend, nach Handmessgeräten 28,5 °C warm und mit 11 300 µS/cm elektrischer Leitfähigkeit hoch mineralisiert. Eine provisorische Messung des Drucks mittels Manometer ergab in kurzfristig geschlossenem Zustand 2,3 bar über Gelände, entsprechend 260 m NN.

Bohrlochgeophysikalisch und fernsehtechnisch wurde dieser 1. Zutritt im Linguladolomit in 158,7 bis 159,4 m Tiefe aus einer klaffenden Schichtfuge mit Kluftkreuzung identifiziert. Die Temperatur des Zutritts im Bohrloch wurde bei 159,5 m mit 29,7 °C gemessen.

Nach Setzen der GFK-Rohre 219 mm bis 156,0 m Teufe wurden die Arbeiten mit 196 mm Bohrdurchmesser fortgesetzt. Am 07.09.2005 wurden ab 170 m Teufe im Hauptsandstein des Unterkeupers bis 183,5 m Teufe im Trigonodusdolomit weitere, zuunterst sehr starke Zutritte von Grundwasser angefahren. Die Auslaufrate stieg auf geschätzte 150 l/s. Auch nach den Daten des Auslaufversuchs mit bis zu 30 l/s bei einer Absenkung des Drucks von 2,32 auf 1,96 bar über Gelände lässt sich auf eine Auslaufrate auf Geländeniveau, je nach Höhe des Eintrittswiderstands, zwischen 70 und 190 l/s extrapolieren.

Die erneute bohrlochgeophysikalische Aufnahme ergab von 170,0 bis 182,2 m 25 % Zufluss und von 182,2 bis 183,5 m Teufe 75 % Zufluss der Auslaufrate. Nach der Fernsehaufnahme erfolgt dieser Hauptzutritt aus einer markanten horizontalen Kluft bzw. Hohlraumstruktur im Trigonodusdolomit, wiederum mit darüber vertikalen Klüften, die insgesamt im Caliper-Log aber wenig auffällig sind. In diesem Flow-Log bei Endteufe war der „1. Zutritt“ im Linguladolomit durch die hohe Fließrate aus dem Hauptaustritt im Trigonodusdolomit vollständig unterdrückt und nicht mehr zu erkennen. Die elektrische Leitfähigkeit der Zuflüsse wurde im Bohrloch mit 14000 µS/cm (für 25 °C) und deren Temperatur mit 32,3 °C gemessen.

ÖRTLICHE UND REGIONALE GEOHYDRAULISCHE VERHÄLTNISSE

Zur Klärung der geohydraulischen Verhältnisse wurde vom 27.06. bis 09.07.2006 ein dreistufiger Auslaufversuch mit 10, 20 und 30 l/s Fließrate über je 4 Tage durchgeführt. Dabei betrug der gesamte Auslauf 20.749 m³ in 12 Tagen. Die Fließraten wurden, bezogen auf die spätere Nutzung, deshalb so hoch gewählt, um deutlich mess- und auswertbare Druckreaktionen zu erhalten. Die Messungen der Auslaufrate, der Druckhöhe, von Temperatur, elektrischer Leitfähigkeit, pH-

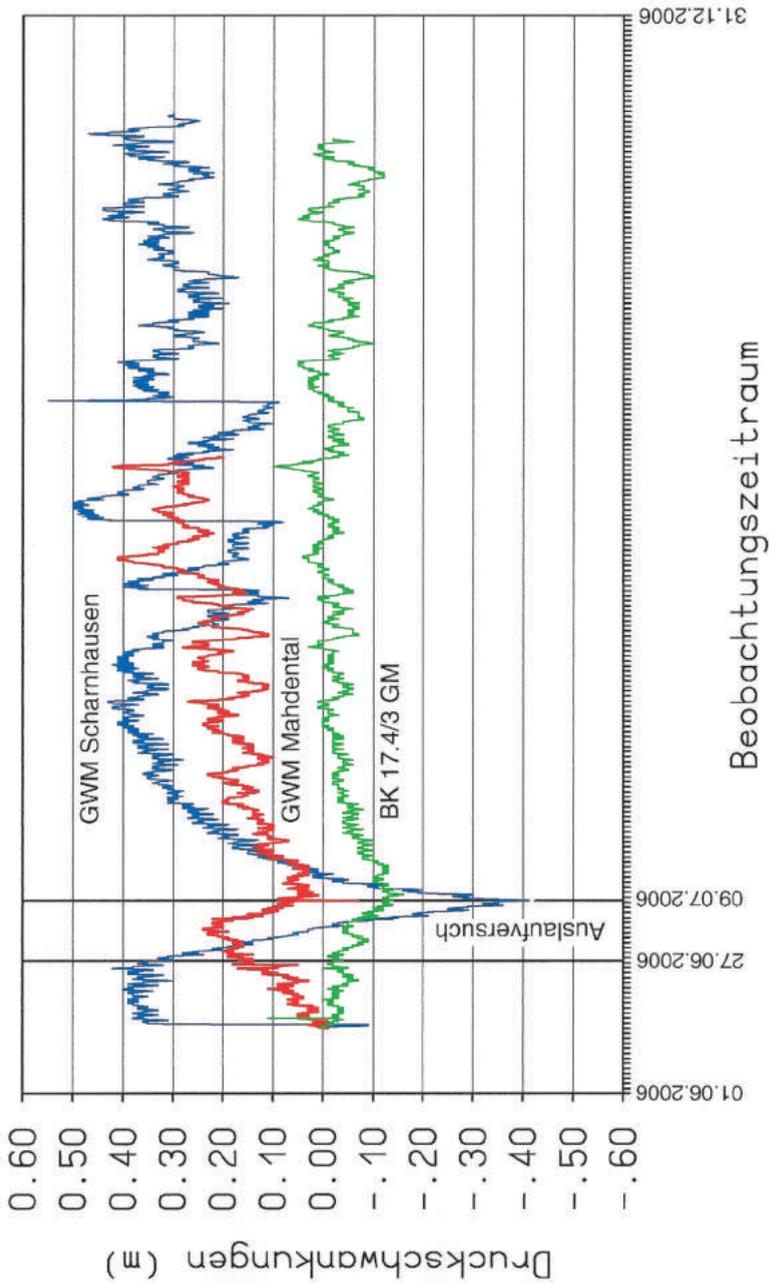


Abb. 4. Wasserstandsganglinien der Grundwassermessstellen Scharnhäusen, BK 17.4/3 und Mahdental (zu deren Lage s. Abb. 1) vor, während und nach dem dreistufigen Auslaufversuch in der TB Esslingen Merkel'sches Bad.

Wert, Redox-Potenzial und Sauerstoffgehalt am Brunnen begannen und endeten je 1 Woche vor und nach der Auslaufphase. In den umliegenden Messstellen wurden die Druckhöhen über den Versuch hinaus langfristig kontinuierlich aufgezeichnet. Am Ende der Auslaufstufen und der Wiederanstiegs-Messung waren in der TB Esslingen Merkel'sches Bad noch keine stationären Verhältnisse erreicht. Der Ruhedruck wurde, geringfügig schwankend, vor Beginn der 1. Auslaufstufe mit 2,33 bar bzw. 236,24 m NN + 23,3 m = 259,54 m NN gemessen (zur generellen Übersicht s. Abb. 3). Damit besteht zur Auslaufhöhe der Inselquelle eine Differenz von rd. 34 m auf 10,11 km Entfernung und folglich ein nahezu gleich hoher hydraulischer Gradient, wie er bereits für die Grundwassermessstelle Scharnhäusen ermittelt wurde. Die Druckabsenkungen in TB Esslingen Merkel'sches Bad sind in Tab. 1.1 aufgelistet.

Tab. 1.1: Druckabsenkung in TB Esslingen Merkel'sches Bad beim dreistufigen Auslaufversuch und beim Wiederanstieg.

Auslaufrate Q (l/s)	Auslaufzeit t (h)	Druckabsenkung s (m)
Q ₁ = 10	t ₁ = 96,92	s ₁ = 0,66
Q ₂ = 20	t ₂ = 95,35	s ₂ = 1,71
Q ₃ = 30	t ₃ = 96,25	s ₃ = 3,63
Q ₄ = 0	t ₄ = 168,65	s' = 0,44

Demnach betrug der Druck am Ende der Auslaufstufe von 30 l/s noch 1,97 bar bzw. rund 19,7 m über Gelände. Aus den Daten ergibt sich $Q/s = 0,0083 \text{ m}^2/\text{s}$ und näherungsweise ermittelt die hohe Transmissivität von $T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, etwas höher als sie in der GWM Scharnhäusen mit $T = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt wurde. Die Wasserstandsganglinien der Grundwassermessstellen im Oberen Muschelkalk BK 17.4/3 GM, Scharnhäusen und Mahdental sind aus Abb. 4 ersichtlich, die wichtigsten Daten, zusätzlich auch für BK 17.1/4 GM, sind in Tab. 1.2 zusammengestellt.

Tab. 1.2: Druckabsenkung (Gesamtbetrag) in umliegenden Grundwassermessstellen beim Auslaufversuch in TB Esslingen Merkel'sches Bad (zur Lage der GWM s. Abb. 1).

Bezeichnung der GWM	Entfernung von TB Esslingen (km)	maximale Absenkung (m)	Reaktionszeit
Scharnhäusen	5,01	0,75	spontan
BK 17.4/3 GM	6,91	0,14	gering verzögert
BK 17.1/4 GM	8,47	0,14	gering verzögert
Mahdental	19,87	0,22	verzögert

Die Druckabsenkung zeigt eine Reichweite von über 20 km. In GWM Mahdental ist der Aquifer nicht oder nur zeitweise schwach, in den übrigen Messstellen dagegen hoch gespannt. Die Absenkungsbeträge sind nicht direkt vom Abstand vom Auslauf-Ort der TB Esslingen abhängig. Die östlichen Fildergraben-Randverwerfungen dürften als hydraulische Barriere wirken, die relative Nähe der BK 17.4/3 GM und BK 17.1/4 GM zu den auslaufenden (Heil-) Quellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg stabilisiert bzw. vermindert in diesen Messstellen die Absenkung. Auf die weiteren Wasserstandsschwankungen (s. Ganglinien in Abb. 4) infolge Gezeiten, hydrologischer Einflüsse und hier nicht erhobener zusätzlicher Grundwasserentnahmen aus dem Aquifer wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen.

HYDROCHEMIE

Die vier hydrochemischen Analysen des LGRB aus dem Zeitraum Juni 2006 bis Juni 2008 stimmen bei den meisten Parametern weitgehend überein (Tab. 2). Die Analysen von 2006 dokumentieren die physikalische und hydrochemische Konstanz der Mineralisation während des Auslaufversuchs. Aufgrund der hohen Auslaufrate von bis zu 30 l/s entspricht die Wassertemperatur am Brunnenkopf

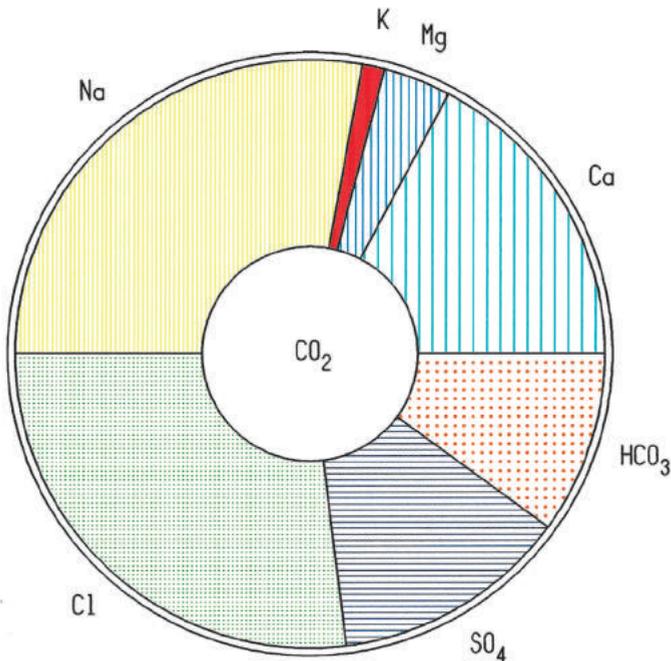


Abb. 5. Kationen- und Anionen-Verteilung (mmol(eq)-%) sowie CO₂-Gehalt im Mineralthermalsäuerling der TB Esslingen Merkel'sches Bad nach der Analyse vom 09.06.2008 (Tab. 2) in der Kreisdarstellung nach UDLUFT.

(31,4 °C) nahezu der Temperatur im Zuflussbereich. Wegen der weit geringeren Auslaufrate bei der Probenahme am 09.06.2008 ist die Wassertemperatur mit 27,3 °C etwas niedriger. Die Konstanz der Mineralisation wurde durch die neue Untersuchung bestätigt.

Die hauptsächlichen gelösten Bestandteile sind ca. 2,3 g/l Calciumsulfat und ca. 4,1 g/l Natriumchlorid. Das erschlossene Wasser ist nahezu sauerstofffrei (Messungen während des Auslaufversuchs gleichbleibend 0,1 mg/l) und nitratfrei, es ist eisenreich, fluoridhaltig und reich an gelöstem Kohlendioxid.

Nach der für Mineralwässer üblichen Klassifikation nach Mol-Äquivalentprozenten (ab 20 mmol(eq)-%) ist das erschlossene Wasser vom Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃-Typ (Abb. 5). Aufgrund des Gehalts an freiem Kohlendioxid von über 1000 mg/l

Tab. 2: Chemische Beschaffenheit des Wassers im Oberen Muschelkalk der TB Esslingen Merkel'sches Bad; Konzentrationsangaben in mg/l.

Datum	29.06.2006	04.07.2006	07.07.2006	09.06.2008
Labor	LGRB	LGRB	LGRB	LGRB
Analysen-Nr.	062043	062054	062056	064112
el. Lf. (µS/cm)	11000	11000	11000	11100
T (°C)	31,4	31,4	31,3	27,3
pH-Wert	6,11	6,18	6,12	5,86
Ca	969	992	910	908
Mg	72,9	72,9	101	118
Na	1620	1630	1660	1680
K	140	130	143	127
Fe	3,22	3,61	3,54	4,38
Mn	0,16	0,16	0,166	0,17
Li	5,85	5,61	6,40	6,62
Sr	8,80	8,59	8,72	9,28
Ba	0,03122	0,02802	0,02880	0,04987
As	0,148	0,153	0,157	0,164
Cl	2450	2450	2460	2530
HCO ₃	1610	1610	1620	1620
SO ₄	1610	1620	1630	1650
NO ₃	-	-	-	0,87
PO ₄	-	0,29	1,15	0,064
F	2,03	2,03	2,05	2,60
U	0,000227	0,000200	0,0002250	0,000270
Th	0,000456	0,000251	-	-
B	1,929	1,887	2,214	2,088
SiO ₂	26,6	25,1	24,1	25,3
freies CO ₂	1936	1892	1936	1540
Sauerstoff	-	-	-	2,8

ist das Wasser außerdem als „Säuerling“ zu bezeichnen. Aufgrund der Wassertemperatur von über 20 °C ist es auch ein Thermalwasser.

Die Beschaffenheit des Wassers der TB Esslingen Merkel'sches Bad ergänzt und bestätigt das bestehende Gesamtbild des Strömungssystems im Oberen Muschelkalk im Bereich der nördlichen Schwäbischen Alb, des Albvorlands und des Fildergrabens einschließlich des Quellgebiets des Muschelkalk-Grundwassers im Cannstatter Becken. Die Wassertypen sind bei den hochkonzentrierten Wässern des Cannstatter Beckens, den Wässern des näheren südlichen Zustrombereichs (Stuttgart-Wangen, Stuttgart-Gaisburg), des weiteren südlichen Zustrombereichs (Esslingen) und des zentralen Fildergrabens (Scharnhausen) übereinstimmend (Tab. 3). Vom zentralen Fildergraben weiter nach Südosten ins Albvorland wird auch in Beuren der gleiche Wassertyp angetroffen. Im Osten des Albvorlands und im Bereich der nördlichen Schwäbischen Alb (Reichenbach/Fils, Bad Boll, Bad Ditzzenbach) sind die erschlossenen Muschelkalkwässer nur aufgrund des geringeren Gehalts an gelöstem Kohlendioxid etwas abweichend, da die Hydrogenkarbonatkonzentration unter die nomenklatorisch definierte 20 mmol(eq)-%-Grenze fällt. Noch etwas weiter östlich (Göppingen, Bad Überkingen) fällt die Chloridkonzentration ab und die Sulfatkonzentration steigt, so

Tab. 3: Wassertypen von Muschelkalk-Wässern im Bereich der nördlichen Schwäbischen Alb, des Albvorlands und des Fildergrabens.

Bohrung	Datum der Analyse	Labor	Wassertyp
TB Esslingen Merkel'sches Bad	09.06.2008	LGRB, Freiburg	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
Inselquelle Stuttgart-Berg	21.03.2000	LGRB, Freiburg	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
GWM Scharnhausen BK 17.4/3 GM	17.12.2001	LGRB, Freiburg	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
Stuttgart-Wangen BK 17.1/4 GM	20.03.2000	LGRB, Freiburg	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
Stuttgart-Gaisburg	20.03.2000	LGRB, Freiburg	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
Beuren 1	14.11.2002	Institut Fresenius	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃
VB Seyffert Reichenbach/Fils	26.10.1966	CLUA Stuttgart	Na-Ca-Cl-SO ₄
Boll 1	31.07.1997	IFAC, Stuttgart	Na-Ca-Cl-SO ₄
Bad Ditzzenbach Canisius 2	21.01.2003	IFAC, Stuttgart	Na-Ca-Cl-SO ₄
Göppingen Stauerquelle	24.09.2003	IFAC, Stuttgart	Na-Ca-SO ₄ -Cl
Bad Überkingen Otto 2	28.06.2000	IFAC, Stuttgart	Na-Ca-SO ₄ -Cl
Urach 2	11.03.2002	IFAC, Stuttgart	Ca-Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃

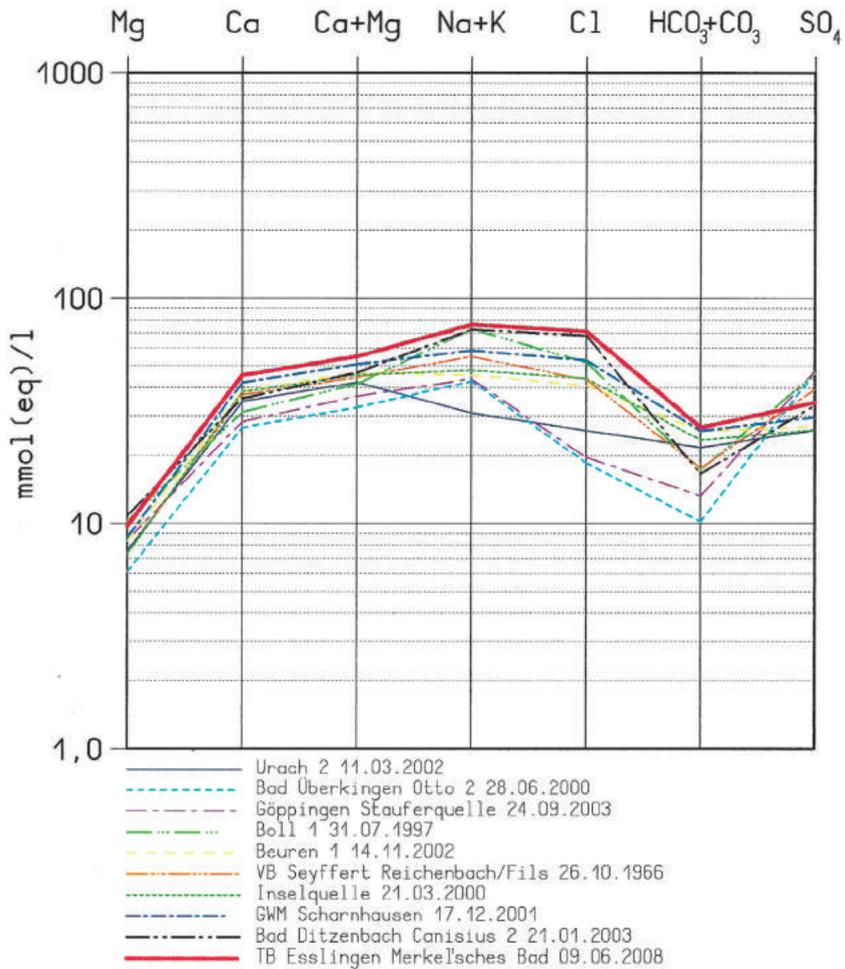


Abb. 6. SCHOELLER-Diagramm von Mineralthermalwässern aus dem Oberen Muschelkalk der TB Esslingen Merkel'sches Bad und aus Grundwassermessstellen und Tiefbrunnen im Bereich Fildergraben, Albvorland und nördliche Schwäbische Alb.

dass diese Ionen bei der Typisierung die Plätze tauschen. Die südlichste Bohrung des Betrachtungsgebiets (Urach 2) weist im Vergleich die geringste Natriumkonzentration auf, so dass das Calcium bei der Typisierung dort an erster Stelle steht. Hier im Bereich der mittleren Schwäbischen Alb (Kirchheim-Uracher Vulkangebiet) ist die Konzentration an gelöstem CO₂ höher als weiter östlich (Bad Überkingen) und die Konzentration an Hydrogenkarbonat ist mitbestimmend für den hydrochemischen Typ.

Die hohe Mineralisation des in der TB Esslingen Merkel'sches Bad erschlossenen Muschelkalk-Grundwassers ist nahezu einzigartig im betrachteten Strömungssystem, wie es auch das SCHOELLER-Diagramm (Abb. 6) zeigt. Ein sehr naher Verwandter ist allerdings das Bad Ditzenbacher Grundwasser im Oberen Muschelkalk (Canisiusquellen 1 und 2). Die Chloridkonzentration ist dort vergleichbar hoch und weist auf die Herkunft des hoch mineralisierten Muschelkalk-Grundwassers im östlichen Fildergraben hin. In Übereinstimmung mit den hydraulischen Verhältnissen bewegt sich im Betrachtungsgebiet ein Grundwasserstrom mit hoher Chloridfracht aus dem Bereich der mittleren Schwäbischen Alb, westlich von Bad Ditzenbach, nach Nordwesten in Richtung Esslingen und Stuttgart (Abb. 7). In den Randbereichen dieses Grundwasserstroms sinkt die Chloridkonzentration allmählich ab. Im Westen bei Bad Urach sind noch ca. 1000 mg/l und im Osten bei Bad Überkingen nur noch ca. 600–700 mg/l Chlorid im Grundwasser des Oberen Muschelkalks vorhanden.

Weiter im Westen des Strömungssystems (z.B. Rommelsbach, Bonlanden) weist das Muschelkalk-Grundwasser nur noch geringe Chloridkonzentrationen auf, da der Zustrom hier aus westlicher Richtung erfolgt. Im westlich gelegenen Grundwasserneubildungsgebiet steht der Muschelkalk zutage an.

Zusammen mit der Fracht an gelöstem Steinsalz, Calciumsulfat, Calcit und Dolomit wird auch das gelöste Kohlendioxid aus dem Bereich der mittleren Schwäbischen Alb nach Nordwesten in Richtung Esslingen und zum Aufstiegsgebiet des thermalen Muschelkalk-Grundwassers im Cannstatter Becken transportiert. Der laterale Transport des gelösten Kohlendioxids aus südlicher Richtung zum Cannstatter Becken hin ist durch mehrere Muschelkalk-Grundwasseraufschlüsse (BK 17.4/3 GM, BK 17.1/4 GM, GWM Scharnhäuser) im südlichen Zustrombereich zum Cannstatter Becken nachgewiesen (PRESTEL & SCHLOZ 2002). Die TB Esslingen Merkel'sches Bad bestätigt nochmals diese Verhältnisse. Die Modellvorstellung zur Genese der Stuttgarter Mineralwässer, die im Cannstatter Becken durch die Zumischung von aufsteigender Sole aus tieferen Stockwerken (Mittlerer Muschelkalk, Buntsandstein und Kristallin) entstehen sollen, ist damit nicht mehr haltbar.

ISOTOPENHYDROLOGIE

Isotopenhydrologische Untersuchungen können zum Verständnis des Fließsystems eines Grundwasservorkommens beitragen. Das in der TB Esslingen Merkel'sches Bad erschlossene Muschelkalk-Grundwasser ist aufgrund seiner starken Kohlendioxidführung nicht für eine Altersbestimmung mit der ^{14}C -Methode geeignet. Durch die Lösung von geogenem, ^{14}C -freiem Kohlendioxidgas im Wasser wirkt dieses gegenüber den Karbonatmineralen (Calcit und Dolomit) des durchströmten Karbonatgesteins-Grundwasserleiters aggressiv bzw. lösend. Da die in Lösung gehenden Minerale Calcit bzw. Dolomit ^{14}C -frei sind, nimmt der im Wasser vorhandene ^{14}C -Anteil am gesamten gelösten Kohlenstoffgehalt ab. Eine Altersbestimmung würde in diesem Fall zu hohe Wasseralter vortäuschen.

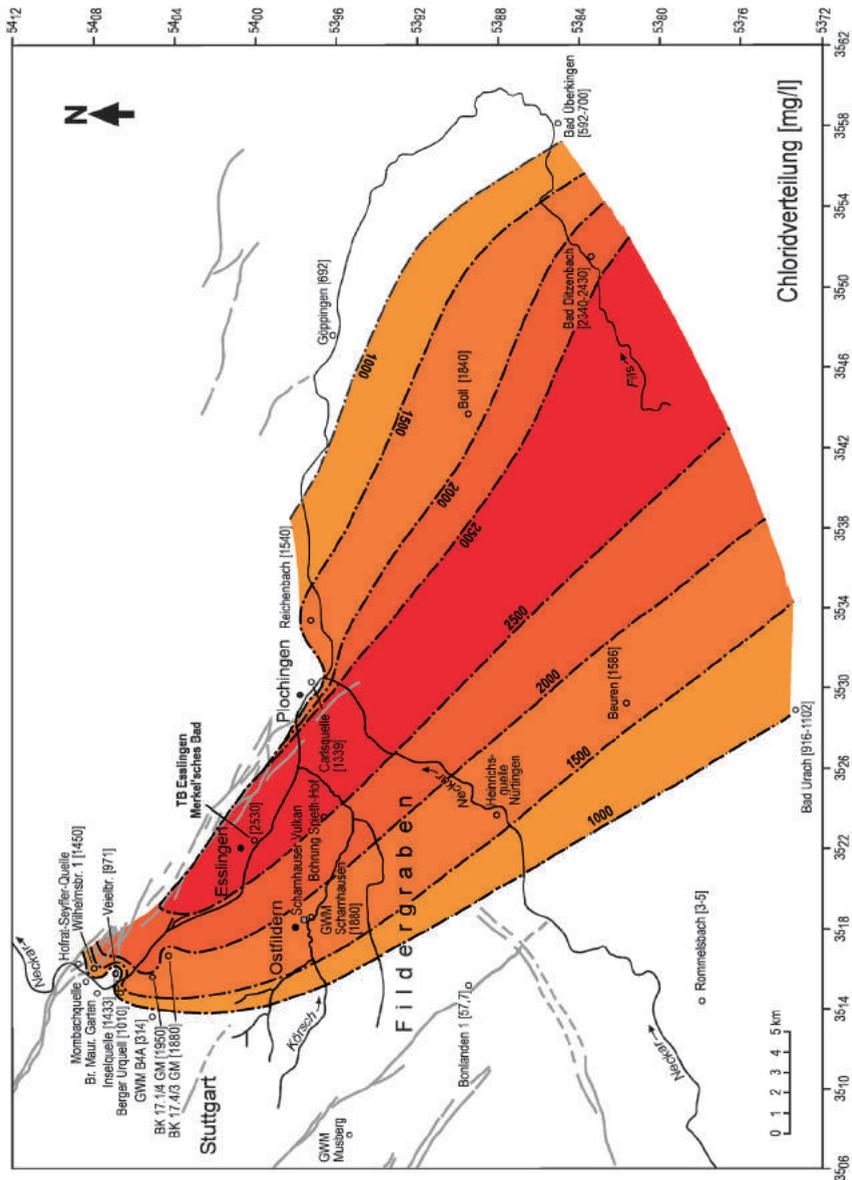


Abb. 7. Chlorid-Verteilung im Mineralthermalwasser des Oberen Muschelkalks im Bereich Fildergraben, Albvorland und nördliche Schwäbische Alb.

Junge Wasseranteile sind über die Bestimmung des Tritiumgehalts (^3H) erkennbar. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit von 12,3 Jahren ist Tritium in alten Wässern nicht mehr vorhanden.

Die Sauerstoff-18- und Deuterium-Signatur der Wassermoleküle bleibt im Grundwasserleiter in der Regel erhalten. Wässer meteorischen Ursprungs, die also in den Wasserkreislauf einbezogen sind, liegen mit dem Sauerstoff-18/Deuterium-Wertepaar auf oder nahe an der Niederschlagsgeraden ($\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$). Kaltzeitlich neugebildete Grundwässer sind isotopisch leicht, ebenso Wässer, die in topographisch höheren Regionen neugebildet wurden. Warmzeitlich neugebildete Wässer sind isotopisch schwer.

Tab. 4: Isotopengehalte des Muschelkalk-Grundwassers der TB Esslingen Merkel'sches Bad und weiterer Entnahmestellen (alle Messungen Fa. Hydroisotop, Schweitenkirchen).

Entnahmestelle	Datum	Tritium (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)
TB Esslingen Merkel'sches Bad	07.09.2005	-	-10,36	-73,4
TB Esslingen Merkel'sches Bad	27.01.2009	< 0,4	-10,61	-76,3
Wilhelmsbrunnen 1	21.03.2000	6,3 ± 0,9	-9,5	-65,5
Inselquelle	21.03.2000	3,7 ± 0,8	-9,77	-69,1
Berger Urquell	21.03.2000	4,2 ± 0,7	-9,51	-66,4
Veielbrunnen	21.03.2000	10,2 ± 1,1	-9,53	-67,1
BK 17.4/3 GM	21.03.2000	0,5 ± 1,0	-10,06	-71,3
BK 17.1/4 GM	21.03.2000	0,6 ± 1,1	-10,08	-69,8
GWM B4A	21.03.2000	4,8 ± 1,3	-9,27	-64,3
Brunnen Maurischer Garten	21.03.2000	10,7 ± 1,4	-9,31	-63,8
Mombachquelle	21.03.2000	20,9 ± 1,5	-8,74	-61,5
GWM Scharnhausen	06.12.2001	-	-10,01	-71,6
GWM Scharnhausen	09.12.2001	-	-10,02	-71,1
GWM Scharnhausen	12.12.2001	-	-10,03	-71,4
GWM Scharnhausen	19.02.2002	-	-10,07	-71,6
Göppingen Stauferquelle	19.12.1990	≤ 1,0	-10,48	-75,1
Urach 2	19.12.1990	≤ 1,5	-9,66	-68,1
Beuren 1	19.12.1990	≤ 1,0	-9,93	-70,2
Beuren 1	09.10.2002	< 0,6	-9,89	-71,1
Boll 1	19.12.1990	≤ 1,5	-10,63	-76,4
Bad Ditzenbach Canisius 1	18.12.1990	≤ 1,0	-10,69	-76,1
Bad Ditzenbach Canisius 1	04.10.1995	< 1,0	-10,62	-73,0
Bad Ditzenbach Canisius 1	23.05.1996	-	-10,65	-75,5
Bad Ditzenbach Canisius 2	30.10.2000	< 0,9	-10,83	-77,4
Bad Überkingen Otto 1	22.02.1988	1,0	-10,52	-74,6
Bad Überkingen Otto 1	18.12.1990	≤ 1,0	-10,51	-76,4
Bad Überkingen Otto 1	17.07.1996	< 0,5	-10,46	-76,5
Bad Überkingen Otto 2	22.02.1988		-10,57	-74,4
Bad Überkingen Otto 2	18.12.1990	≤ 1,5	-10,68	-76,3

Erwartungsgemäß ist das Wasser der TB Esslingen Merkel'sches Bad tritiumfrei. Es enthält somit kein Grundwasser, das in den letzten 50 Jahren neugebildet wurde.

Die gemessenen Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte des Esslinger Muschelkalk-Grundwassers sind relativ leicht und haben sich seit der ersten Bestimmung (2006) etwas zur leichteren Seite hin entwickelt (2009). In der Zusammenschau mit den Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalten von Muschelkalk-Grundwässern der näheren und weiteren Umgebung zeigt sich folgendes Bild (Abb. 8): Alle Wertepaare sind entlang der Niederschlagsgeraden verteilt, sie sind also alle in den meteorischen Kreislauf einbezogen. Bei näherer Betrachtung zeichnen sich 4 Wertegruppen ab, wobei zur Vereinfachung nur die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte genannt werden.

Gruppe 1: isotopisch leichte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ca. $-10,3$ bis -11 ‰ SMOW.

In diese Gruppe fallen die Muschelkalk-Wässer von TB Esslingen Merkel'sches Bad, Göppingen Stauferquelle, Boll Thermalquelle (Boll 1), Bad Überkingen Otto 1 und Otto 2, Bad Ditzenbach Canisius 1 und Canisius 2. Es handelt sich dabei um regional zusammengehörige Wässer des östlichen Betrachtungsraums: den Nordbereich der Schwäbischen Alb, das östliche Albvorland und den östlichen Fildergrabenbereich.

Gruppe 2: isotopisch relativ leichte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ca. $-9,7$ bis $-10,2$ ‰ SMOW.

In diese Gruppe fallen die Muschelkalk-Wässer von Urach 2, Beuren 1, GWM Scharnhäuser, BK 17.4/3 GM und BK 17.1/4 GM. Diese Wässer reihen sich regional auf entlang eines langgestreckten, relativ schmalen Bereichs von der nördlichen Schwäbischen Alb (Bad Urach) über das Albvorland (Beuren) in den zentralen Fildergraben (Scharnhäuser) bis in den südlichen Randbereich des Cannstatter Beckens (Stuttgart-Wangen und -Gaisburg). Das Muschelkalk-Grundwasser von Bad Urach hatte ursprünglich – in den 1970er Jahren – einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $-10,0$ ‰ (KOLLER & FRIEDRICHSEN 1982), nach der neueren Isotopengehaltsmessung von 1990 einen etwas schwereren Wert ($-9,66$ ‰). Hier zeichnet sich vermutlich inzwischen ein stärkerer Zustrom von tiefem Grundwasser des westlichen Zustrombereichs ab.

Gruppe 3: isotopisch schwerere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ca. $-9,4$ bis $-9,8$ ‰ SMOW.

Es handelt sich dabei um die Stuttgarter Mineralwässer im Cannstatter Becken: z. B. Inselquelle, Berger Urquell, Veielbrunnen und Wilhelmsbrunnen 1. Je stärker die Vermischung mit niederkonzentrierten Wässern ist, desto stärker ist die Tendenz zu schwereren Isotopenwerten.

Gruppe 4: isotopisch schwere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ca. $> -9,0$ bis $-9,3$ ‰ SMOW.

Dabei handelt es sich um die niederkonzentrierten Stuttgarter Mineralwässer, die nur noch geringe Anteile des aus Süden zuströmenden, hochkonzentrierten Wassers (z. B. GWM B4A) oder keine solchen Anteile führen (Auquelle,

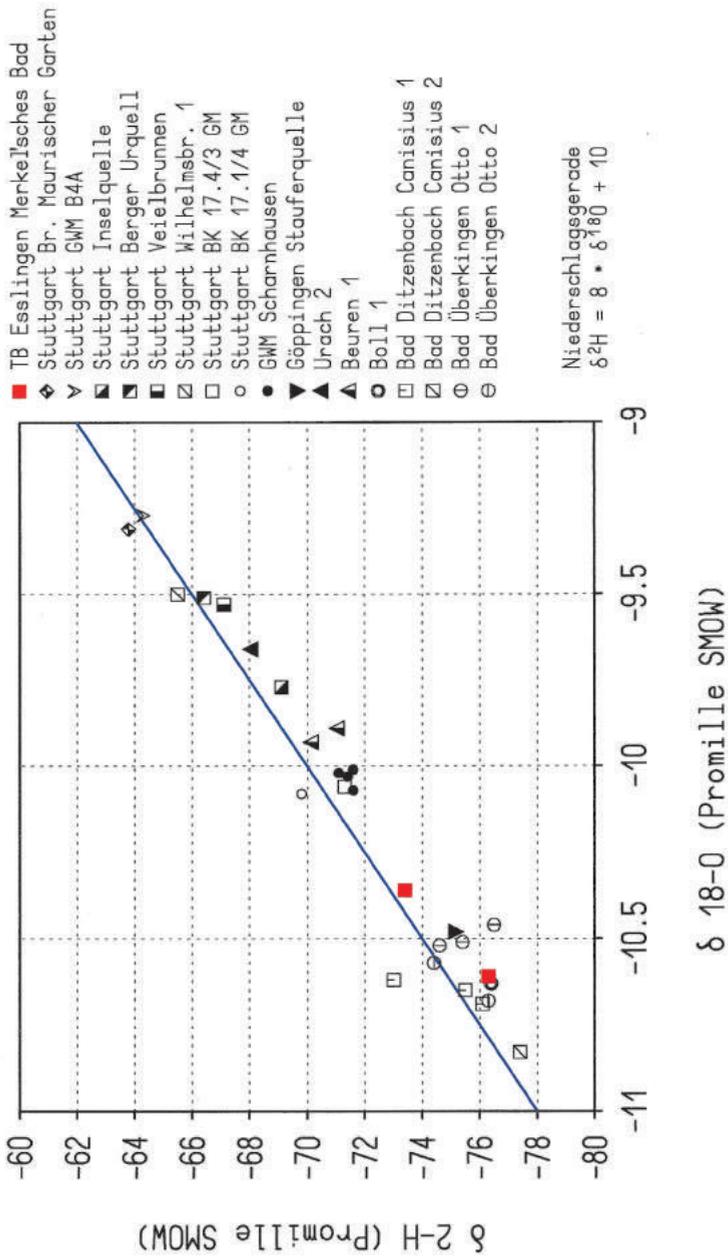


Abb. 8. Diagramm der Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalte von Mineralthermalwässern aus dem Oberen Muschelkalk der TB Esslingen Merkel'sches Bad und aus Grundwassermessstellen und Tiefbrunnen im Bereich Fildergraben, Albvorland und nördliche Schwäbische Alb.

Mombachquelle). Es handelt sich dabei um jüngere Grundwässer mit meist höheren Tritiumgehalten (PRESTEL 1987).

Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen so deuten, dass der Muschelkalk-Grundwasserleiter im östlichen Bereich des Betrachtungsraums von isotopisch leichten Grundwässern erfüllt ist. Wahrscheinlich wurden diese Wässer während einer kälteren Klimaperiode neugebildet. Die TB Esslingen Merkel'sches Bad hat den nördlichsten Verbreitungsbereich dieses sehr alten Wassers im Fildergraben erschlossen. Von Bad Urach über den zentralen Fildergraben bis in den Süden von Stuttgart zieht sich ein Band mit noch relativ leichten Sauerstoff-18- und Deuterium-Werten (ca. $\delta^{18}\text{O} -10 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H} -70 \text{ ‰}$). Es handelt sich dabei wahrscheinlich um Mischwässer mit Anteilen von kalt- und warmzeitlich neugebildeten Wässern. Die im Cannstatter Becken artesisch aufsteigenden Muschelkalk-Grundwässer sind u. a. aufgrund ihrer Tritium-Markierung ohne Ausnahme Mischwässer. Als die hauptsächlichen Komponenten sind zu nennen: hochkonzentriertes Muschelkalk-Grundwasser des südlichen Zustrombereichs, niederkonzentriertes Muschelkalk-Grundwasser aus dem westlichen bis südwestlichen Zustrombereich und ferner hydrochemisch durch Zuflüsse aus dem Gipskeuper geprägte, calciumsulfatreiche Grundwässer. Je nach Mischungsverhältnis variieren die Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte deutlich. Die niederkonzentrierten Stuttgarter Mineralwässer sind charakterisiert durch ihre vergleichsweise schwere isotopische Signatur. Die Verteilung der stabilen Isotope der Muschelkalk-Grundwässer fügt sich im betrachteten Gebiet zwanglos in das Fließsystem im Oberen Muschelkalk ein.

GEOTHERMIE

Die hohen Temperaturen des Grundwassers im Oberen Muschelkalk im Fildergraben, im Albvorland und der mittleren Schwäbischen Alb sind seit langem bekannt und wurden mit der TB Esslingen Merkel'sches Bad bestätigt. Der geothermische Gradient ist im Folgenden definiert als $\Delta T/\Delta z$ ((Temperatur auf Bohrlochsohle – Mittlere Jahrestemperatur) / Bohrlochtiefe).

Die Temperatur auf Bohrlochsohle im Oberen Muschelkalk in 203 m Tiefe beträgt 32,5 °C.

Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 9 °C für das betrachtete Gebiet, die auch für alle in Tab. 5 aufgeführten Bohrungen verwendet wurde, beträgt der mittlere geothermische Gradient bis in den Oberen Muschelkalk im Bereich der TB Esslingen Merkel'sches Bad 11,57 K/100 m.

Der Vergleich mit den geothermischen Gradienten von benachbarten und weiter entfernten Bohrungen (Tab. 5) verdeutlicht, dass nur das Gebiet weiter nordwestlich (z. B. BK 17.1/4 GM, Inselquelle) noch höhere geothermische Gradienten zeigt. Bei der ebenfalls artesischen Inselquelle in Stuttgart-Berg, mitten im Aufstiegsbereich der Stuttgarter Mineralwässer, beträgt der geothermische Gradient 25 K/100 m (Abb. 9).

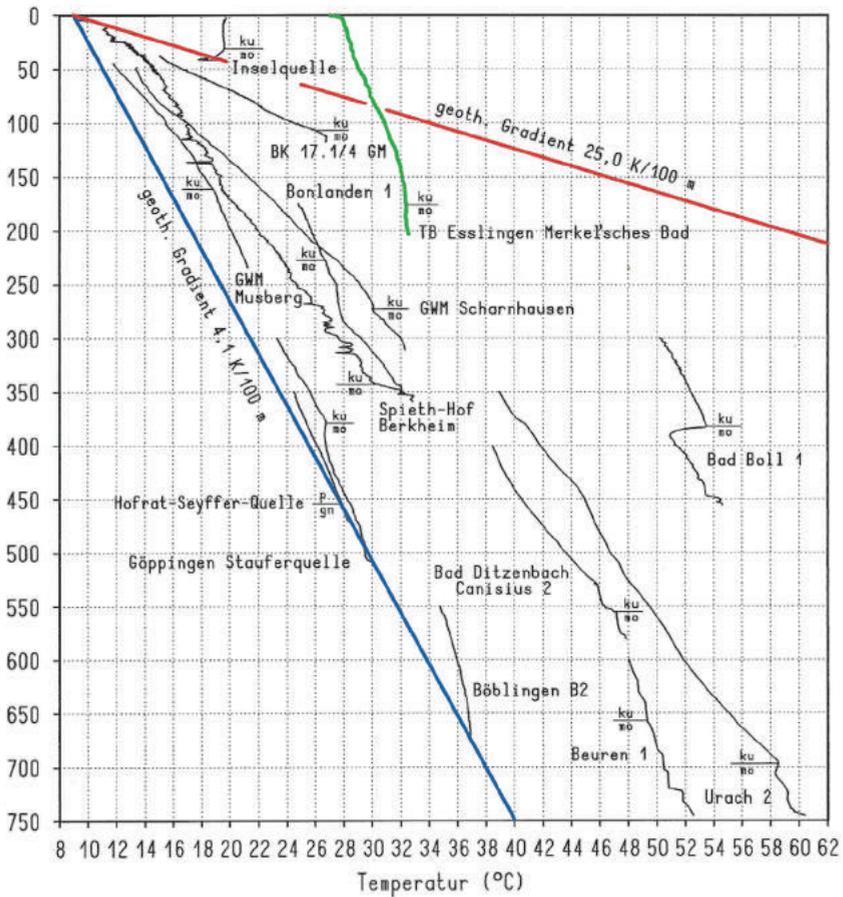


Abb. 9. Temperatur-Logs (Tiefe in m) aus der TB Esslingen Merkel'sches Bad und aus Bohrungen, Grundwassermessstellen und Tiefbrunnen im Bereich Fildergraben, Albvorland und nördliche Schwäbische Alb.

In den Randbereichen des Betrachtungsraums ist nach Temperaturlogs ein leicht erhöhter geothermischer Gradient von 4,1 K/100 m festzustellen. Als Beispiele sind zu nennen die Bohrung Böblingen B2, westlich außerhalb des Fildergrabens, die Stauferquelle in Göppingen, östlich außerhalb des Fildergrabens, und die Hofrat-Seyffer-Quelle, nördlich des Cannstatter Beckens und des Aufstiegsgebiets der Stuttgarter Mineralwässer, im Bereich der östlichen Grabenrandverwerfungen (Abb. 9).

Die südwestlich, außerhalb des Fildergrabens, aber näher an der Uracher geothermischen Anomalie gelegene Bohrung Rommelsbach B16 zeigt mit 5 K/100 m einen etwas erhöhten geothermischen Gradienten.

Tab. 5: Geothermische Daten der TB Esslingen Merkel'sches Bad und von weiteren Bohrungen in der Umgebung.

Bohrung	Datum der Temperaturmessung	Messinstitut	Temp. Bohrlochsohle (°C)	Tiefe (m)	Geologie (Kürzel)*	mittlerer geotherm. Gradient (K/100 m)
TB Esslingen Merkel'sches Bad	09.09.2005	BRG	32,5	203	mo	11,57
BK 17.1/4 GM	21.03.2001	GGA	26,77	118	mo	15,12
Inselquelle	13.06.1988	Dr. Wieck	19,76	43	mo	25,02
GWM Scharnhausen	19.02.2002	Dr. Wieck	32,33	310	mo	7,53
Versuchsbohrung Spieth-Hof, Berkheim	16.01.1967	Schlumberger	32,83	359	mo	6,64
Bonlanden 1	11.07.1973	Schlumberger	32,17	352	s	6,58
Bad Boll 1	12.05.1972	Schlumberger	54,64	455	mm	10,03
Bad Ditzenbach Canisius 2	17.01.2002	GGA	47,85	580,2	mo	6,70
Beuren 1	14.04.1971	Schlumberger	53,30	755	mo	5,87
Urach 2	16.04.1974	Schlumberger	60,40	745	mo	6,90
GWM Musberg	26.11.1991	Dr. Wieck	23,31	234	mo	6,11
Rommelsbach B16	12.09.1994	Dr. Wieck	29,44	404,5	mm	5,05
Böblingen B2	11.07.1983	Dr. Wieck	36,92	675	GP	4,14
Hofrat-Seyffer-Quelle	28.02.1994	Dr. Wieck	28,25	470	gn	4,10
Göppingen Stauerquelle	30.03.1978	Tegtmeyer	30,08	510	mo	4,13

*Geologie-Kürzel: mo: Oberer Muschelkalk, mm: Mittlerer Muschelkalk, s: Buntsandstein, gn: Gneis, GP: Granit

Im Bereich der Uracher geothermischen Anomalie liegt der geothermische Gradient bis zum Oberen Muschelkalk lediglich bei 6,9 K/100 m (Urach 2), also deutlich unter dem Gradienten von Esslingen. Dieser Gradient bleibt nach Norden zu, in Richtung des zentralen Fildergrabens ungefähr gleich hoch. In der Grundwassermessstelle Scharnhausen beträgt der Gradient 7,5 K/100 m und in

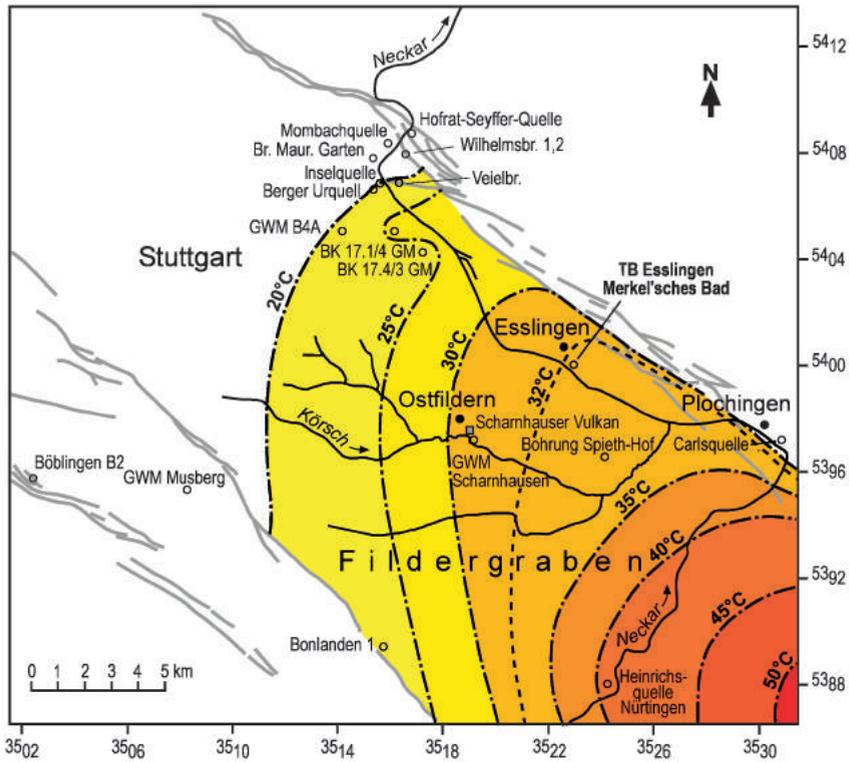


Abb. 10. Temperatur-Verteilung im Mineralthermalwasser des Oberen Muschelkalks im südlichen Fildergraben (zu den Temperatur-Daten s. Tab. 4).

der Versuchsbohrung Spieth-Hof in Esslingen-Berkheim 6,6 K/100 m (hier möglicherweise noch vom Bohrvorgang vermindert).

Auch im Bereich des südwestlichen Fildergrabenrands ist der geothermische Gradient erhöht (Tab. 5, Bonlanden 1), erreicht jedoch nicht die Gradienten des zentralen oder östlichen Fildergrabens.

Die Temperaturverteilung im Grundwasserstockwerk Oberer Muschelkalk im südlichen Fildergraben (Abb. 10) verdeutlicht, dass Wärme aus dem Bereich der mittleren Schwäbischen Alb zugeführt wird. Die geothermische Energie gelangt hauptsächlich mit dem Transportmedium Wasser im verkarsteten und geklüfteten Oberen Muschelkalk in den Fildergraben und nach langem Fließweg bis ins Cannstatter Becken. Trotz Abkühlung auf den Fließwegen werden hier noch Wassertemperaturen von ca. 20 °C und etwas darüber gemessen. Strömungsbedingt wird eine vollständige Temperaturangleichung an normale geothermische Verhältnisse nicht erreicht. Die geothermischen Gradienten nehmen daher immer weiter zu, je näher das Muschelkalk-Grundwasser in dem

nach Norden ansteigenden Oberen Muschelkalk an das Aufstiegs- und Quellgebiet in Stuttgart-Berg und Bad Cannstatt herankommt.

Der deutlich höhere geothermische Gradient im Bereich Esslingen im Vergleich mit dem zentralen Fildergraben (GWM Scharnhausen) ist auf die geringere Mächtigkeit der überlagernden Schichten im Neckartal zurückzuführen. Die Temperaturen des Grundwassers im Oberen Muschelkalk sind in beiden Bohrungen nahezu gleich.

Während sich im Stuttgarter Quellgebiet verschiedene oberflächennahe Grundwässer mit dem aus Süden zuströmenden Thermal- und Mineralwasser mischen und auch dessen Temperatur deutlich senken, ist das in der TB Esslingen Merkel'sches Bad erschlossene Grundwasser unvermischt und mit ca. 32 °C deutlich wärmer als die unterstromig gelegenen Quellen im Cannstatter Becken.

DEUTUNG UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Die Tiefbohrung beim Merkel'schen Bad in Esslingen hat im Unterkeuper und im Trigonodusdolomit des Oberen Muschelkalks einen hochkonzentrierten Mineralthermalsäuerling erschlossen. Das Fließsystem ist hoch ergiebig und steht trotz der relativ geringen Tiefenlage von 159 m (1. Zutritt, Linguladolomit, ku) und 183 m unter Gelände (Hauptzutritt, Trigonodusdolomit, mo) unter hohem artesischem Druck von etwa 20 bis 23 m über der Geländehöhe des Standorts sowie des umgebenden Neckartals.

Die relativ geringe hydrochemische und (so weit untersucht) geringe isotopenhydrologische Differenz zwischen dem in der TB Esslingen und in den Grundwassermessstellen TB Scharnhausen (5 km südwestlich), BK 17.4/3 GM und BK 17.1/4 GM (6,9 und 8,5 km nordwestlich) erschlossenen Grundwasser sowie die beim Auslaufversuch erfolgte ausgedehnte hydraulische Reaktion mit über 20 km Reichweite belegen ein kommunizierendes Fließsystem im Oberen Muschelkalk des mittleren und östlichen Fildergrabens, südsüdöstlich bis südöstlich der Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg.

Bemerkenswert ist, dass trotz der hohen Potenzialdifferenz von über 2 bar zwischen den relativ oberflächennahen Grundwässern in den Keuper-Sandsteinen und im Quartär und des Mineralthermalwassers im Oberen Muschelkalk im Neckartal etwa zwischen Stuttgart-Wangen/-Untertürkheim und Plochingen bisher keine Aufstiegsareale von Mineralwasser und damit keine Leckagen in der Überdeckung des Muschelkalk- und Unterkeuper-Aquifers bekannt geworden sind. Nur im Bereich der östlichen Fildergraben-Randbrüche in Plochingen hat UFRICHT (1988) für den Oberen Muschelkalk typisches Mineralthermalwasser in der Stubensandstein-Formation in einem Tiefbrunnen erkannt und damit einen örtlichen Teilaufstieg in ein höheres Grundwasser-Stockwerk nachgewiesen.

Insgesamt kann damit der von CARLÉ (1982) und VILLINGER (1982) hydraulisch konstruierte südliche bis südöstliche Zustrom im überdeckten Aquifer des Oberen Muschelkalks im Fildergraben zu den Mineral- und Heilquellen von

Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg erneut bestätigt, nun aber durch geohydraulische Kennwerte in guter Näherung quantifiziert werden.

Hydrogeologische Modellvorstellungen und numerische Grundwasserströmungsmodelle, die die vorliegenden (PRESTEL & SCHLOZ 2002) und die hiermit vorgelegten Daten für das Fließsystem im Oberen Muschelkalk des Fildergrabens südlich der Mineral- und Heilquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg nicht korrekt berücksichtigen bzw. wiedergeben, beruhen offensichtlich auf eher hypothetischen Annahmen. Gegenüber den direkt verfügbaren geohydraulischen Daten (hydraulischer Gradient und Transmissivität) und den Befunden zur Hydrochemie, CO₂-Führung und Temperatur des Fließsystems im Oberen Muschelkalk des Fildergrabens als südlicher Zustrom zu den hochkonzentrierten Heilquellen, wurde die Annahme eines Aufstiegs von Sole und CO₂ aus tieferen Aquiferen durch „tiefreichende Verwerfungszonen“ im Quellgebiet bzw. Stadtgebiet Stuttgart selbst (UFRECHT 2008) bisher nicht durch Aufschlüsse und Daten belegt.

Zwischen TB Esslingen Merkel'sches Bad sowie GWM Scharnhausen und den Mineralthermalsäuerlingen des Albvorlands und der mittleren nördlichen Schwäbischen Alb (Bad Urach, Beuren, Bad Boll, Bad Ditzenbach; Übersichtsdarstellung in SCHLOZ & STOBER 2006) besteht für den tief liegenden Aquifer des Oberen Muschelkalks über mehr als 20 km Strecke eine Lücke von Aufschlüssen und Daten. Gegebenfalls muss ein Teilzustrom weit von Süden entsprechend den Potenzialverhältnissen (STOBER & VILLINGER, 1997, UFRECHT 2006) das tektonische Störungssystem des Schwäbische Lineaments mit Versatzbeträgen bis zu einigen zehner Metern im weiteren Bereich des Neckartales, etwa zwischen Nürtingen und Plochingen, durchqueren. Eine weitgehende Verwandtschaft dieser Mineralthermalwässer im Oberen Muschelkalk südlich des Lineaments bezüglich Hydrochemie, CO₂-Führung und Isotopenhydrologie zu jenen im Fildergraben, nördlich des Lineaments, ist gegeben. Grundsätzlich sind aber Fragen zur Herkunft und Erneuerung des Mineralthermalwassers sowie zu auf- oder absteigenden Grundwasser-Zuflüssen bzw. cross-formation-Flow und zum CO₂-Aufstieg unter der Schwäbischen Alb und im Molassebecken noch nicht hinreichend geklärt. Als Eckpunkte zwischen denen sich dieser Teilzustrom aus dem Molassebecken im Oberen Muschelkalk bewegt, können die neueren TB Tuttlingen (GRIMM et al. 2005) und TB Neu-Ulm (FRANZ et al. 2001; Archivunterlagen) beurteilt werden.

Durch den hohen, auch bei Nutzung des Tiefbrunnens TB Esslingen Merkel'sches Bad bestehenden artesischen Druck von etwa 2 bar über Gelände ist das Mineralthermalwasser gegen das Eindringen von Fremdstoffen natürlich geschützt. Bohrungen tiefer als Oberkante Grundgipsschichten des Gipskeupers müssen allerdings im Umfeld von etwa 5 km Radius und insbesondere im Neckartal mit artesischen Druckverhältnissen vollständig vermieden oder aufgrund entsprechender bohrtechnischer Auflagen konsequent überwacht werden.

LITERATUR UND UNTERLAGEN

- BAUSCH, W.** (2006): Bericht über die Erschließung von Mineral- und Thermalwasser beim Merkel'schen Bad in Esslingen/Neckar; Bohrarbeiten 2005 und Auslaufversuch 2006. – Unveröffentlichtes Gutachten für die Stadtwerke Esslingen mit zahlr. Abb., 25 Anl. u. 12 Fotos; Holzmaden.
- BRUNNER, H.** (1998): Erläuterungen zu Bl. Stuttgart und Umgebung. – 6., völlig neu bearb. Aufl. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1: 50 000: 298 S., 14 Tab., 4 Beil.; Freiburg i. Br. (Geol. L.-Amt Baden-Württemberg).
- CARLÉ, W.** (1975): Geologie und Hydrogeologie der Thermalwässer von Bonlanden, Stadt Filderstadt, Landkreis Esslingen, Baden-Württemberg. – Jber. u. Mitt. oberrh. Geol. Ver. N.F., 57: 21–41; Stuttgart.
- CARLÉ, W.** (1982): Geologie und Hydrogeologie der Mineral- und Thermalwässer von Bad Überkingen, Landkreis Göppingen, Baden-Württemberg (II). – Geol. Jb. C 31: 3–72, 13 Abb., 3 Taf., 10 Anal.; Hannover.
- FRANZ, M., SIMON, T., MEYER, R. & DOPPLER, G.** (2001): Die Thermalwasserbohrung „Donautherme“, Neu-Ulm. – *Geologica Bavarica*, 106: 81–106; München.
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H. R.** (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. – *Int. Assoc. Hydrogeol., Mem.*, 7: 89–96, 5 Abb.; Hannover.
- GRIMM, B., FRANZ, M., KILGER, B. M., LORENZ, G. & SCHMIDT-WITTE, H.** (2005): Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen. – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.*; 95/1: 189–212; Freiburg.
- KOLLER, B. & FRIEDRICHSEN, H.** (1982): The Thermal Water of the Urach-Kirchheim Heat Anomaly, Germany: An Isotopic and Geochemical Study. – In Haenel, R. (Hrsg.): *The Urach Geothermal Project (Swabian Alb · Germany)*: 187–196, 6 Abb., 3 Tab.; Schweizerbart, Stuttgart.
- PRESTEL, R.** (1987): Mittlere Verweilzeiten von Stuttgarter Mineralwässern. – *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 37: 193–214, 11 Abb., 3 Tab.; Freiburg im Breisgau.
- PRESTEL, R. & SCHLOZ, W.** (2002): Ergebnisse der Bohrung und Grundwassermessstelle Scharnhausen. – *Abh. L.-Amt f. Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg*, 15: 303–330, 6 Abb., 7 Tab.; Freiburg im Breisgau.
- SCHLOZ, W. & STOBER, I.** (2006): Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Sauerlinge in Baden-Württemberg; kurze Erläuterung zur Karte. – *LGRB-Fachbericht 1* (überarbeitete Fassung): 1–20, 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.; Freiburg i. Br.
- STOBER, I. & VILLINGER, E.** (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken. – *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 37: 77–96; Freiburg i. Br.
- UDLUFT, H.** (1953): Über eine neue Darstellungsweise von Mineralwasseranalysen II. – *Notizbl. Hess. Landesamtes Bodenforsch.*, 8: 308–313, 1 Taf.; Wiesbaden.
- UFRECHT, W.** (1988): Das Tiefengrundwasser im Sandsteinkeuper des Albvorlandes. – *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 330: 511–541, 13 Abb., 6 Tab.; Freiburg im Breisgau.
- UFRECHT, W.** (2006): Zur Hydrogeologie der Aquifersysteme Buntsandstein und Muschelkalk zwischen Neckar und Donau. – *Schriftenreihe des Amts für Umweltschutz, Heft 3/2006*: 19–48, 12 Abb.; Stuttgart.

UFRECHT, W. (2008): Bad Cannstatt und Berg. – In Deutsches Bäderbuch; 2., vollständig neue Auflage; Hrsg. Werner und Hanna Käß, Vereinigung für Bäder- und Klimakunde e.V.; 1230 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
VILLINGER, E. (1982): Hydrogeologische Aspekte zur geothermischen Anomalie im Gebiet Urach-Boll am Nordrand der Schwäbischen Alb (SW-Deutschland). – Geol. Jb. C, 32: 3–41, 9 Abb., 9 Tab.; Hannover.

Anschriften der Verfasser:

DR. RUPERT PRESTEL
Regierungspräsidium Freiburg
Dienststelle Stuttgart
Ruppmannstr. 21
70565 Stuttgart
E-mail: rupert.prestel@rpf.bwl.de

DR. WILHELM SCHLOZ
Flandernstr. 9
73732 Esslingen
E-mail: schloz.esslingen@web.de