

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

Bruno Bertleff, Michael Bauer, Fritz Cammerer & Werner Michel

Stichwörter

Molassebecken, Thermalwassererschließung, Obere Meeresmolasse, Isotopen, Geohydrologik

Zusammenfassung

Auf der Grundlage eines Gutachtens des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau wurden im Jahr 2000 die Thermalwasserbohrung TB 1 und die Mineralwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen erstellt und als Förderbrunnen ausgebaut. Tiefbrunnen TB 1 erschließt mit einer Tiefe von 710,30 m zwei voneinander unabhängige Grundwasserstockwerke innerhalb der Oberen Meeresmolasse, der TB 2 mit einer Tiefe von 124,5 m die Obere Süßwassermolasse.

Alle angetroffenen und erschlossenen tiefen Grundwässer sind artesisch gespannt (OMM: ca. 8,5 bar Kopfdruck; OSM ca. 2,2 bar Kopfdruck) und laufen daher frei aus (OMM gesamt: 1,4 l/s). Durch Abpumpen sind vorübergehend deutlich höhere Entnahmen möglich, mit einer max. Auslauftemperatur von 32 – 34 ° C. Aus dem TB 2 können ca. 1,5 l/s mit einer Auslauftemperatur von 15–16 ° C gefördert werden.

Sowohl in der OSM als auch in der OMM wurden ursprünglich reine charakteristische fluoridhaltige Natrium-Hydrogencarbonat-(Chlorid)-Ionenaustauschwässer angetroffen, die sowohl als Mineral- als auch Heilwasser anerkennungsfähig wären.

Anschrift d. Verf.:

Bruno Bertleff & Michael Bauer

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.

Fritz Cammerer, HYDRO-DATA, Bad Urach

Werner Michel, HYDRO-DATA, Ebringen

Die Ergebnisse isotonhydrologischer Untersuchungen weisen für die tiefen Grundwässer eiszeitliche Neubildungsbedingungen aus, wobei in den Basissandsteinen noch Anteile an tertiären Formationswässern enthalten sein können.

Alle drei tiefen Grundwasservorkommen werden durch aktuelle Neubildungsprozesse nicht erneuert und haben daher Lagerstättencharakter. Um einer Überbewirtschaftung dieser im gesamten Bodenseeraum vorkommenden tiefen Grundwässer entgegenzuwirken müssen sie nachhaltig bewirtschaftet und langfristig überwacht werden. Hierzu sind Langzeitbeobachtungen während des Betriebes zusammen mit den Messungen in anderen Tiefbrunnen und die Erstellung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells notwendig, das den Grundwasserhaushalt der tiefen Grundwässer Oberschwabens und des Bodenseeraums beschreibt.

The mineral water and hydrogeothermal exploitation wells of Friedrichshafen

Key words

Molasse basin, hydrogeothermal exploitation, Upper Marine Molasse, isotopes, pumping tests

Abstract

Based on an expertise of the Baden-Württemberg geological survey (LGRB) the two deep wells TB 1 (depth 710,3 m) und TB 2 (depth 124,5 m) Friedrichshafen were drilled in 2000 to tap deep thermal groundwater in the Tertiary Upper Marine Molasse (OMM) and mineral water in the Upper Freshwater Molasse (OSM).

Both confined deep aquifers are under artesian pressure (OMM: 8,5 bar; OSM: 2,2 bar; measured at the wellhead). The artesian discharge from the OMM is about 1,5 l/s and can be increased to several liters per second by pumping. The runout temperature is 32-34°C. From the OSM 1,5 l/s can be extracted with a runout temperature of 15-16°C.

This deep sources can be characterised as native fluoride containing Sodium-Hydrogen-carbonate-(Chloride) ion-exchange groundwaters. They could be accepted as Natural Mineral Water as well as curative water.

Results of isotope analysis allow the conclusion that the deep groundwater was mainly recharged during the Pleistocene glaciations in the Lake Constance Area. In the basal section of the OMM relicts of stagnant waters from the tertiary sediments are assumed to play an additional minor role.

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

By TB 1 and TB 2 Friedrichshafen caught deep groundwater resources are not currently recharged and have to be regarded as exhaustible deposits. To avoid over-exploitation a sustainable usage of the resources is necessary. In order to meet these requirements a long term groundwater monitoring must be installed. Furthermore, a numerical groundwater model must be set up to quantify the budget of the deep groundwater resources in Oberschwaben and the Lake Constance area.

1. Einleitung

Im Jahre 1995 beauftragte die Stadtverwaltung Friedrichshafen beim ehemaligen Geologischen Landesamt Baden-Württemberg (GLA) ein hydrogeologisches Gutachten über die Möglichkeit der Erschließung von Thermal-Mineralwasser zum Betrieb eines Thermal- und Mineralbades im Stadtgebiet Friedrichshafen (LGRB 1996). Das Anfang 1996 vorgelegte Gutachten beruht auf den geologischen, hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Erkenntnissen, die aus anderen Thermal- und Mineralwassererschließungen in Oberschwaben gewonnen wurden sowie auf den damaligen allgemeinen Erfahrungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg. Mitberücksichtigt wurden die geologischen Ergebnisse der Kohlenwasserstoffprospektion und die Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarsts im Süddeutschen Molassebecken“ im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) durchgeführt wurden.

2. Bohransatzpunkt und Erschließungshorizonte

Aus städteplanerischen und wirtschaftlichen Gründen gab die Stadt Friedrichshafen die drei alternativen Standorte Wellenbad Ailingen, Hallenbad Friedrichshafen und See- und Freibad Fischbach für die Abteufung der Bohrung an. Auf der Grundlage des o.g. Gutachtens, dass aus geologischer und hydrogeologischer Sicht sowie aus der Sicht des damals abschätzbaren Bohrrisikos alle drei vorgegebenen Standorte praktisch gleichwertig eingeschätzt werden müssen, entschieden die Stadtverwaltung und der Gemeinderat der Stadt Friedrichshafen, den Bohransatzpunkt für die Thermal- und Mineralwassererschließung auf dem Gelände des See- und Freibads Fischbach mit Hilfe von detaillierten geophysikalischen Messungen festzulegen.

Im Gutachten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB, ehem. GLA) wurden die drei im oberschwäbischen Teil des süddeutschen Molassebeckens entwickelten Grundwasserstockwerke in der Oberen Meeresmolasse (tOM), im Oberjura (jo) und im Oberen Muschelkalk (mo), deren Erschließung in der Regel einige Aussicht auf Erfolg bieten, beschrieben und bewertet.

Die Erkenntnisse aus anderen Thermalwassererschließungen aus dem Oberjura in Oberschwaben und die Untersuchungsergebnisse, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarsts im Süddeutschen Molassebecken“ erzielt wurden, führen dazu, dass die südliche Grenze des

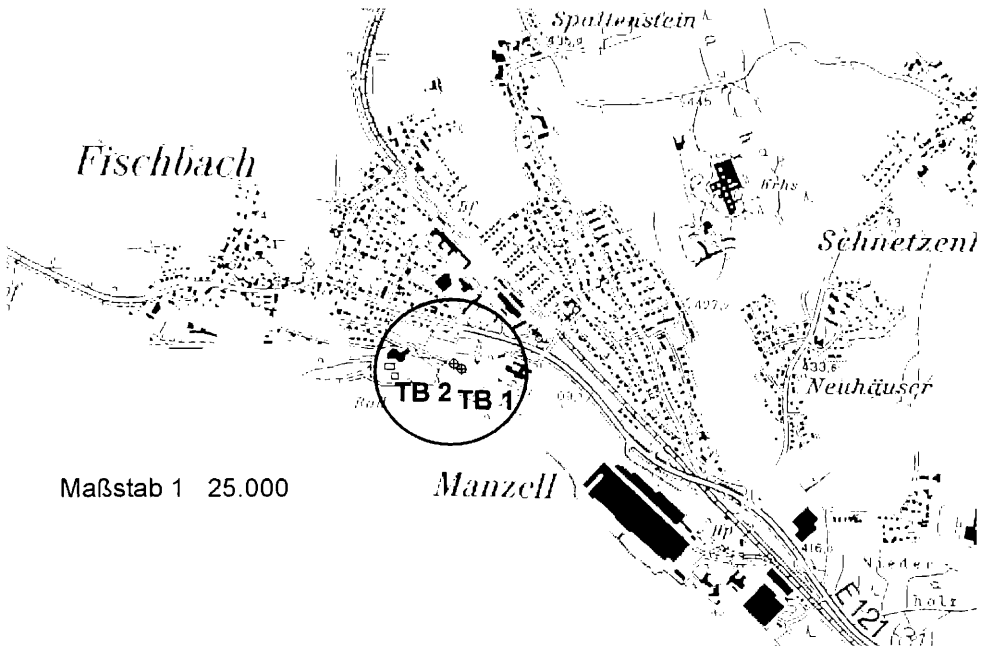


Abb. 1: Lage der Thermal- und Mineralwasserbohrungen Friedrichshafen.

Grundwasserstockwerks im Oberjura des süddeutschen Molassebeckens als der nördliche Rand der helvetischen Fazies des Oberjuras (Quintner-Kalke) angenommen wird (vgl. auch: Abb. 6).

Da das Stadtgebiet und das nähere Umfeld von Friedrichshafen höchstwahrscheinlich bereits im Bereich der nur gering durchlässigen Quintner-Kalke liegen, wurde von einem Erschließungsversuch des Oberjuras aufgrund des sehr hohen Bohrrisikos abgeraten.

Der negativ verlaufene Erschließungsversuch von Bad Waldsee im tiefsten Stockwerk, dem Muschelkalk, und vor allem die wegen der hohen Salzfracht des Muschelkalk-Thermalwassers notwendige Versenkbohrung (Dublette) waren maßgebend bei der Überlegung, einen solchen Versuch ebenfalls nicht zu empfehlen.

Mehrere Thermal- und Mineralwassererschließungen im Bereich von Oberschwaben und im Bodenseeraum (vgl. Abb. 5) führen zu dem Schluss, dass die zuverlässigsten Grundwasserstockwerke zur Erschließung von Thermal- und Mineralwasser, wie im gesamten Raum Oberschwaben auch im Gebiet Friedrichshafen, die Grundwasserleiter der Oberen Meeresmolasse darstellen, so dass ein solcher Erschließungsversuch empfohlen wurde.

3. Ablauf der Bohrarbeiten, Bohr- und Ausbaudaten

3.1 Bohrablauf

Die Stadt Friedrichshafen hat zur Erschließung von Thermalwasser und Mineralwasser die Abteufung von 2 Tiefbohrungen in Auftrag gegeben. In der Zeit 09.02.2000 – 19.12.2000

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

wurde die 710,30 m tiefe Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen (LGRB-Nr.: 8322/560) von der Fa. H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH, 37235 Hessesch Lichtenau abgeteuft und ausgebaut. Im Tiefenbereich zwischen rd. 90 und 125 m u. GOK wurden während der Bohrarbeiten an der TB 1 artesisch gespannte Grundwässer angetroffen. Erste hydrochemische Analysen wiesen auf ein hochwertiges naturbelassenes Mineralwasser hin, so dass eine gesonderte Erschließung dieser Grundwässer mit der TB 2 vorgenommen wurde. Die 124,5 m tiefe Bohrung für die TB 2 Friedrichshafen wurde von der gleichen Bohrfirma zwischen dem 02.11.2000 und 20.12.2000 niedergebracht (LGRB-Nr. 8322/561). Während die TB 1 die beiden Grundwasserstockwerke im Baltringer Sandstein und im Basissandstein der Oberen Meeresmolasse (OMM; tOM) erschließt, erreicht die TB 2 bis zu ihrer Endteufe bei rd. 125 m nur das obere Viertel der rd. 445 m mächtigen Schichtenfolge aus Sandstein und Ton-Mergelstein der Oberen Süßwassermolasse (OSM; tOS).

3.2 Bohr- und Ausbaudaten der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen

Die TB 1 liegt auf einem befestigten Platz östlich der Parkplätze für das See- und Freibad Friedrichshafen-Fischbach, rd. 150 m südlich der B 31 und rd. 130 m vom Bodenseeufer entfernt. Die Koordinaten und Einmesshöhen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Bohr- und Ausbaudaten der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen können der Tabelle 2 entnommen werden (vgl. Abb. 2).

Tab. 1 Koordinaten und Einmessdaten TB 1 und TB 2 Friedrichshafen.

	TB 1	TB 2
Flurstück-Nr.	148	148
Rechtswert	35 31 450,390	35 31 448,530
Hochwert	52 81 147,790	52 81 152,650
Bohransatzpunkt	399,760 m NN	399,790 m NN
Endteufe	710,30 m unter GOK	124,50 m unter GOK

Tab. 2 Bohr- und Verrohrungsschema TB 1.

Teufe (m u. GOK) und Bohrdurchmesser (Zoll)		Verrohrung (S=Sperr-, F=Filterrohre) Teufe (m u. GOK) und Durchmesser (Zoll)		Zementation Teufe (m u. GOK)	
0 – 33,8	21	0 – 33,8 S	18 5/8	0 – 33,8	bis zu Tage
33,8 – 150,5	17	2,5 – 150,5 S	13 3/8	2,5 – 150,5	bis zu Tage
150,5 – 536,5	12 ¼	116,0 – 452,5 S	9 5/8	116,0 – 452,5	Stufenzementation
536,5 – 710,3	8 ½	434,0 – 651,0 S	7	550,0 – 651,0	Stufenzementation
		638,6 – 710,3 F	5 ½		

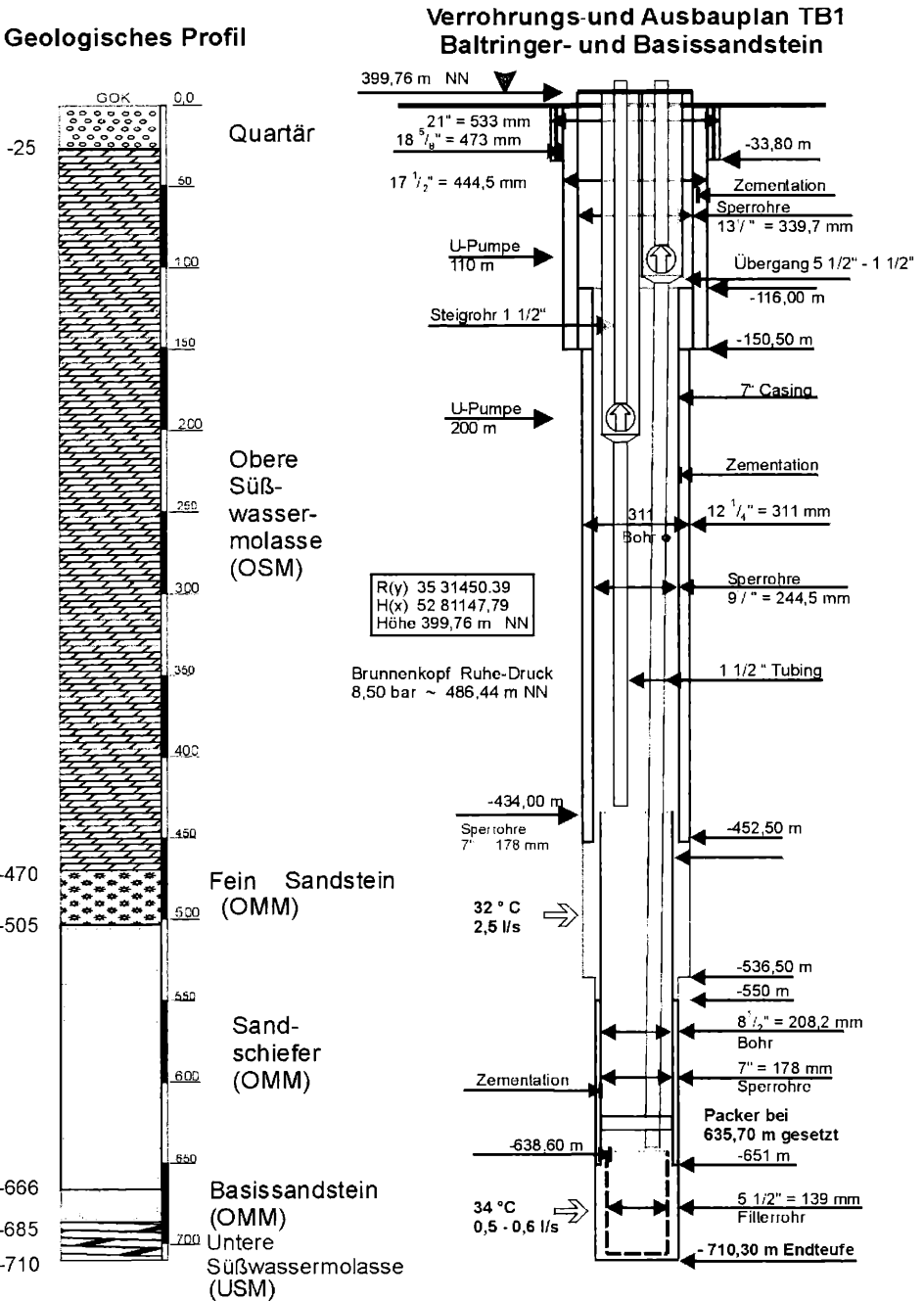


Abb. 2: Geologisches Kurzprofil, Bohr- und Ausbauplan der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen.

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

Endgültiger Ausbau der Thermalwasserbohrung TB 1:

Während der Basissandstein (Teufe von 666 bis 685 m u. GOK) über das 71,70 m lange 139 mm-Filterrohr erschlossen ist, erfolgt der Zutritt des Grundwassers aus dem Baltringer Sandstein (Teufe von 470 – 505 m u. GOK) in das Bohrloch über den offenen Ringraum zwischen dem 178 mm Liner-Vollrohr und der 311 mm Bohrlochwand von 452,50 m u. GOK bis 550,00 m u. GOK. Der mit einem Manometer am Brunnenkopf gemessene Ruhe-Druck in der Bohrung liegt bei rd. 8,5 bar und entspricht einer Druckhöhe von rd. 486,50 m NN.

3.3 Bohr- und Ausbaudaten der Thermalwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen

Die Mineralwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen liegt ebenfalls auf dem städtischen Grundstück Nr. 148, nur 5 m entfernt von der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen und hat folgende technische Daten:

Tab. 3 Bohr und Verrohrungsschema TB 2.

Teufe (m u. GOK) und Bohrdurchmesser (Zoll)		Verrohrung (S=Sperr-, F=Filterrohre) Teufe (m u. GOK) und Durchmesser (Zoll)		Zementation (Z) Filtermaterial (F) Teufe (m u. GOK)	
0 – 33,30	24 ½	0,00 - 33,30 S	20	0,00 - 33,30	Z bis zu Tage
33,30 - 90,10	17 ½	0,00 – 90,10 S	14	2,00 – 90,10	Z bis zu Tage
90,10 - 124,50	12 ¼	0 – 87,40 S	8	2,00 - 82,5	Z bis zu Tage
		87,40 – 123,70 F	8	82,5 – 83,0	F Quarzsand
				83,0 – 124,5	F Quarzfilterkies

4. Geologischer Schichtaufbau

Das Kurzprofil der in der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen angetroffenen Schichtenfolge lautet (Endteufe 710,3 m u. GOK):

0,0- 25 m:	Quartär (q)
470 m:	Obere Süßwassermolasse (OSM; tOS)
685 m:	Obere Meeresmolasse (OMM; tOM)
- 505 m:	Baltringer Schichten (BS)
- 666 m:	Sandschiefer (SF)
- 685 m:	Basissandstein (Heidenlöcherschichten HE)
710,3 m:	Untere Süßwassermolasse (USM; tUS)

Die in der TB 1 erbohrte Schichtenfolge weicht von dem anhand von Referenzbohrungen der Erdöl / Erdgasprospektion erwarteten Schichtenprofil bezüglich Höhenlage, Mächtigkeit

keit und z. T. geologischer Beschaffenheit teilweise deutlich ab. So wurde die Quartärbasis bereits bei 25 m u. GOK und nicht wie anfangs erwartet bei 120 m u. GOK angetroffen. Aufgrund der höheren Lage der Oberfläche (um rd. 50 m bei 470 m u. GOK) und der Basis (um 85 m bei 685 m u. GOK) der Oberen Meeresmolasse muss hier von einer Hochlage (möglicherweise antiklinale Aufwölbung) gegenüber den relativ nahe nördlich gelegenen Erdöl / Erdgasaufschlussbohrungen ausgegangen werden. Die Mächtigkeit der OMM ist um 35 m geringer als erwartet. Ob dies auf einen tektonisch bedingten Schichtausfall zurückzuführen ist, kann aufgrund fehlender entsprechender Hinweise in den Bohrproben nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

Die Schichtenfolge der TB 1 Friedrichshafen unterscheidet sich von den nördlich gelegenen Referenzbohrungen auch darin, dass z. B. die Baltringer Schichten hier nur aus Feinsandstein mit geringen mittelsandigen Anteilen ausgebildet sind. Während der Basissandstein in den Referenzbohrungen Mächtigkeiten bis 100 m aufweist und aus mittel- bis grobsandigen Ablagerungen besteht, ist er in der TB 1 Friedrichshafen nur 19 m mächtig und aus Feinsand mit Mittelsand als Nebengemengteilen aufgebaut.

Erwartungsgemäß weist die nur rd. 5 m von der TB 1 Friedrichshafen entfernt gelegene Mineralwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen bis zur Endteufe bei 124,5 m praktisch den gleichen geologischen Aufbau wie die TB 1 auf.

5. Hydrogeologische Verhältnisse

5.1 Räumliche Verbreitung, Lithologie und Mächtigkeit der tiefen Grundwasserleiter

Obere Meeresmolasse (OMM, tOM)

Die in Oberschwaben (vgl. Abb. 3) flächenhaft abgelagerte und bis über 350 m mächtige Obere Meeresmolasse wird aus zwei Sedimentationszyklen aufgebaut, die aus einer Wechselfolge von Mergelsteinen, mergeligen Feinsanden und mürben Fein- bis Grobsandsteinen gebildet werden. An der Basis der beiden Sedimentationszyklen werden in der Regel klüftige Sandsteine angetroffen. Diese inhomogene Wechselfolge bewirkt die Ausbildung von zwei Grundwasserstockwerken in der OMM, der **Basissandsteine** und der **Baltringer Schichten**. Der dazwischen liegende Sandschiefer – Horizont ist vergleichsweise geringer durchlässig und trennt die beiden Stockwerke.

Der zum ersten Sedimentationszyklus gehörende, mittel- bis feinkörnige, oft tonige und bis 100 m mächtige **Basissandstein** wurde in der TB 1 Friedrichshafen überwiegend als Feinsand in einer geringen Mächtigkeit von nur 19 m erbohrt. Die an der Basis verbreitet vorkommenden, z. T. grobkörnigen bis konglomeratischen Sandsteine wurden nicht angetroffen.

Die im Hangenden folgenden **Sandschiefer** enthalten ebenfalls mehrere Meter mächtige grundwasserführende Fein- bis Mittelsandbänke, die aber nicht über größere Entfernungen korreliert werden können, so dass sie keine großen Grundwasservorkommen beinhalten. Die Sandschiefer bilden den oberen Abschnitt des ersten Zyklus und erreichen in der TB 1 Friedrichshafen eine Mächtigkeit von 161 m.

Die Basis des zweiten Sedimentationszyklus bilden die **Baltringer Schichten**, bestehend aus Sandsteinen mit einer relativ gleichmäßigen Mächtigkeit von rd. 20 – 40 m. Fein-

kiesige Mittel- bis Grobsandsteine nehmen in der Regel etwa ein Drittel bis die Hälfte des zweiten Zyklus ein und bilden einen zuverlässigen, großräumig ausgebildeten Grundwasserleiter. In der TB 1 Friedrichshafen wurden die Baltringer Schichten hingegen nur als überwiegend feinkörniger Sandstein in einer Mächtigkeit von 35 m angetroffen.

Obere Süßwassermolasse (OMS, tOS)

Die mit der Mineralwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen erschlossenen glimmerreichen, gelblich grauen, meist feinkörnigen Sande und Sandsteine in einer Wechselfolge mit geschichteten Tonmergeln gehören den tertiären Bildungen der **Oberen Süßwassermolasse** an. Diese Süßwasser-Ablagerungen nehmen flächenmäßig ebenfalls das gesamte voralpine Molassebecken ein, weisen jedoch aufgrund unterschiedlicher Schüttungsräume einen starken Wechsel in der Ausbildung gleichaltriger Schichten auf. In der TB 2 wurden von 450 m Gesamtmächtigkeit lediglich die obersten rd. 100 m erbohrt.

5.2 Grundwasserfließverhältnisse

Unter Berücksichtigung der bisherigen Daten zur Druckverteilung und schließlich zu den Grundwasserfließverhältnissen in den Grundwasserstockwerken der OMM im baden-württembergischen Teil des süddeutschen Molassebeckens gehören die mit der **TB 1 Friedrichshafen** in den beiden Stockwerken der **Oberen Meeresmolasse** erschlossenen Grundwässer zu einem Vorkommen mit überregionaler Ausdehnung (vgl. Abb. 3).

Die regionalen Grundwasserfließverhältnisse werden geprägt von einer etwa entlang der Linie Bad Buchau – Memmingen verlaufenden Grundwasserscheide, südlich derer sich in Richtung Bodensee zunächst ein schwaches, in Bodenseenähe ein steileres Potenzialgefälle andeutet. Während im Osten das OMM-Strömungssystem bei Bregenz und bei Rohrschach höchstwahrscheinlich mit dem Bodensee direkt Kontakt hat, ist es im Westen auf Überlingen a. B. gerichtet, wo die OMM an beiden Seeufern breitflächig im See ausstreicht. Es wird angenommen, dass zwischen diesen beiden potenziellen Exfiltrationsbereichen der Grundwasserabstrom in den beiden OMM-Stockwerken unter dem Bodensee hindurch bis ins schweizerische Mittelland geht, wo im Raum Winterthur in den Tälern der Thur und Töss die OMM ansteht (vgl. BERTLEFF et al. 1988). Nördlich der o. g. Grundwasserscheide wird ein Gefälle in nordöstliche Richtung angenommen.

Wie bereits oben angegeben, sind die beiden OMM-Grundwasserstockwerke der TB 1 Friedrichshafen artesisch gespannt. Wie auch in andern OMM-Thermal- und Mineralwasserbohrungen beobachtet wurde, ist das Ruhe-Druckpotenzial in den Baltringer Schichten (8,58 bar bzw. 487,25 m NN) höher als im Basissandstein (8,53 bar bzw. 486,74 m NN). Diese in der TB 1 Friedrichshafen nur geringe Druckdifferenz entspricht der Messgenauigkeit der Druckaufnahmegерäte, so dass sie nicht überbewertet werden darf.

Das mit der **TB 2 Friedrichshafen** in grundwasserleitenden Schichten der **Oberen Süßwassermolasse** erschlossene Grundwasser gehört ebenfalls einem weiträumig anzutreffenden Vorkommen an, über dessen Strömungsverhältnisse im baden-württembergischen Teil des süddeutschen Molassebeckens noch relativ wenig bekannt ist. Vielerorts bilden Taleinschnitte die Vorflut für die OSM-Grundwässer, wobei flache (seichte) Einschnitte generell die lokale Vorflut der oberflächennahen und tiefe Taleinschnitte oder der Bodensee die Vorflut tiefer OSM-Grundwässer mit regionaler Ausbreitung darstellen. Generell sind die Grundwässer in den tieferen Stockwerken gespannt, je nach Höhenlage des Bohransatz-

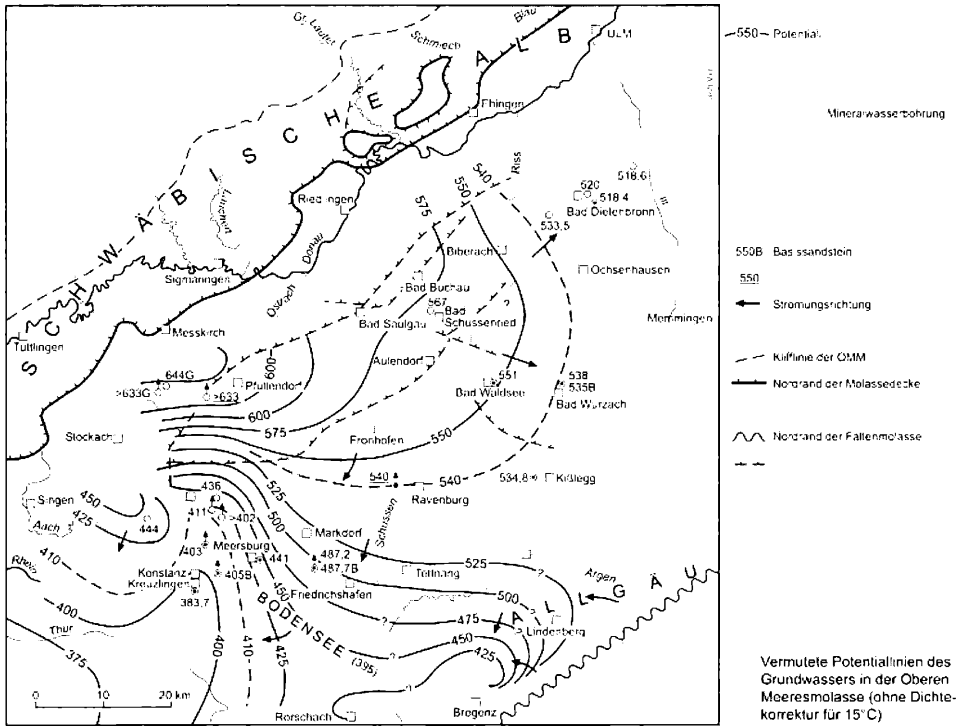


Abb. 3: Vermutete Potenziallinien des Grundwassers in der Oberen Meeresmolasse.

punktes artesisch gespannt. Mit einem Ruhe-Druckpotenzial von rd. 2,2 bar (= 422,22 m NN) ist die TB 2 Friedrichshafen ebenfalls artesisch gespannt.

5.3 Aquiferparameter aus Pumpversuchen

TB 1 Friedrichshafen

Nachdem die beiden OMM-Grundwasserstockwerke mit Hilfe eines eingebauten Packers eindeutig hydraulisch voneinander getrennt wurden, konnten aus Pump- und Auslaufversuchen (Stufen- und Aquifertests) die brunnenspezifischen Kennwerte und Transmissivitäten für beide mit der Thermalwasserbohrung TB 1 Friedrichshafen erschlossenen Stockwerke ermittelt werden (vgl. HYDRO-DATA, 2001a).

Anhand eines Stufenauslaufversuches der **Baltringer Schichten** wurde für einen freien Auslauf von $Q = 1.08 \text{ l/s}$ und eine Druckabsenkung um 83,82 m ein Brunnenverlust von rd. 14% ermittelt.

Die Auswertung eines 4-wöchigen Aquifertests ergab für die erschlossenen Baltringer Schichten eine Transmissivität von $T = 3,1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bei $Q = 2,5 \text{ l/s}$.

Hydraulische Grenzen sind nicht erkennbar (vgl. Abb. 4).

Für die **Basissandsteine** ergab die Auswertung des Aquifertests einen Transmissivitätswert von $T = 4,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bei $Q = 0,54 \text{ l/s}$.

Hydraulische Ränder sind aufgrund der geringen Fördermenge nicht erkennbar.

TB 2 Friedrichshafen

Zur Bestimmung der brunnenspezifischen Kennwerte, der Aquiferparameter für die **OSM** und der möglichen Dauerentnahmemenge wurden in der Mineralwasserbohrung TB 2 Friedrichshafen ebenfalls ein Stufenpumpversuch und ein 3-wöchiger Aquifertest durchgeführt. Die Auswertungen ergaben einen Brunnenverlust von rd. 34% und eine Transmissivität von $T = 4,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bei $Q = 1,7 \text{ l/s}$ (vgl. HYDRO-DATA, 2001b).

Auch hier sind keine hydraulischen Randeinflüsse erkennbar.

5.4 Brunnenergiebigkeiten, Absenkungsbeträge und voraussichtliche Auslauftemperaturen

Anhand der durchgeführten hydraulischen Tests wurde versucht, die maximalen Förderraten, die Absenkungsbeträge und die dabei zu erwartenden Auslauftemperaturen zu ermitteln bzw. abzuschätzen.

Aus den artesisch gespannten **Baltringer Schichten** können über die **TB 1 Friedrichshafen** 1,08 l/s mit einer Auslauftemperatur von rd. 26°C frei auslaufen. Bei Pumpbetrieb sind max. Förderraten von $Q_{24} = 2,5 \text{ l/s}$ bei einer Reduzierung des Aquiferdruckes um ca. 22,5 Bar (\cong Druckspiegelabsenkung von ca. 230 m) und einer Auslauftemperatur von 32°C möglich. Der Wasserspiegel lag während des Aquifertestes mit $Q = 2,5 \text{ l/s}$ bei ca. 145 m u. GOK.

Aus dem ebenfalls artesisch gespannten Grundwasserstockwerk im **Basissandstein** können 0,3 l/s mit einer Auslauftemperatur von rd. 21 °C frei auslaufen. Die maximale Förderrate aus dem Basissandstein lag während des Aquifertestes bei ca. 0,9 l/s. Die Wasserspiegelhöhe wurde auf 165 m u. GOK abgesenkt, dies entspricht einer Reduzierung des Aquiferdruckes um ca. 24 Bar. Die max. Dauerentnahme liegt bei 0,5 – 0,6 l/s bei einer Absenkung des Wasserspiegels auf ca. 83 m u. GOK (~ 16 Bar Reduzierung Aquiferdruck). Die Auslauftemperatur kann mit dem GFK-Ausbau der Steigrohre ca. 34°C erreichen (Ausbau: Glasfaserverstärkte Kunststoffrohre, GFK).

Da jeweils am Ende der Aquifertests aus beiden Grundwasserstockwerken keine stationären Verhältnisse erreicht wurden, muss längerfristig wahrscheinlich mit einer Zunahme der Druckspiegelabsenkung bzw. mit einer Abnahme der Ergiebigkeit gerechnet werden.

In der Mineralwasserbohrung **TB 2 Friedrichshafen** tritt das in den Sand- und Sandsteinlagen der **OSM** erschlossene Grundwasser artesisch mit 0,3 l/s aus. Die maximale Förderrate kann durch Abpumpen kurzfristig (über 20 – 30 Stunden) bis auf 1,7 l/s gesteigert werden. Die Dauerentnahmerate sollte jedoch 1,5 l/s (130 m³/Tag) nicht überschreiten, damit gewährleistet bleibt, dass die Druckspiegelabsenkung die Filteroberkante bei 82 m u. GOK nicht erreicht.

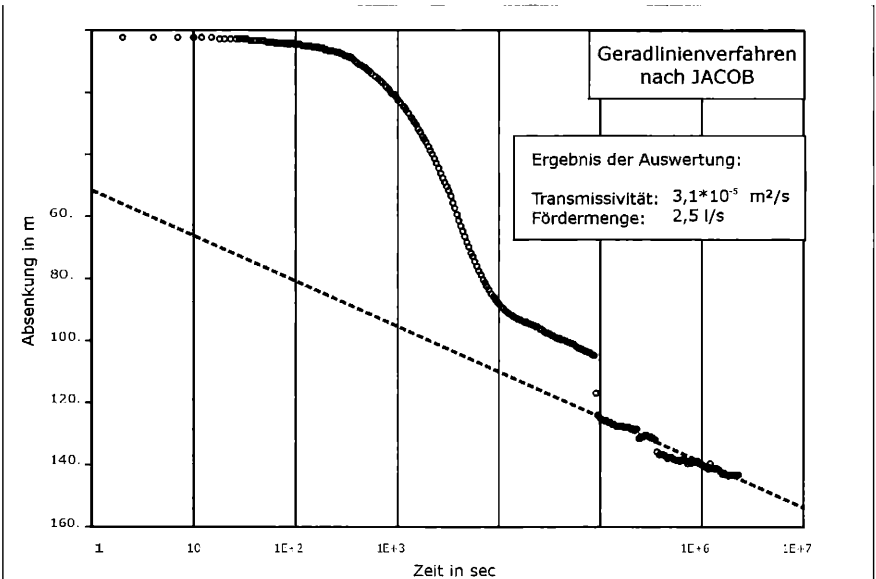
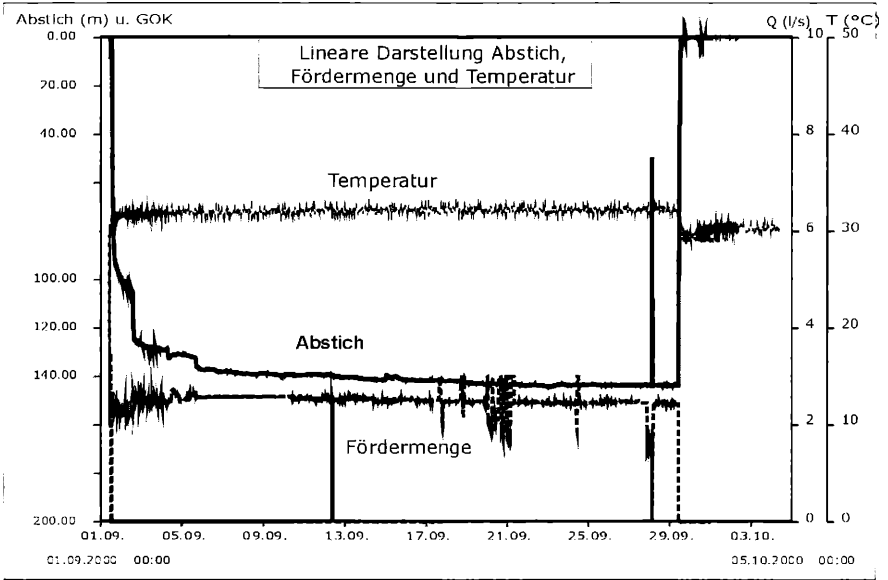


Abb. 4: Aquifertest „Baltringer Schichten“ vom 01.09.-04.10.2000; Verlauf von Druckspiegel, Temperatur und Fördermenge.

6. Hydrochemische und hygienische Beschaffenheit der erschlossenen tiefen Grundwässer

Überregionale Auswertungen der Beschaffenheitsdaten zu tiefen Grundwässern zeigen, dass die drei in Friedrichshafen erschlossenen tiefen Grundwasservorkommen jeweils charakteristisch für die Obere Meeresmolasse bzw. die Obere Süßwassermolasse sind (BERTLEFF et al. 1986; BERTLEFF 1986; WEISE et al. 1989; PRESTEL 1990, WEISE & STICHLER 1997; SCHLOZ et. al. 2002).

Aufgrund der Ergebnisse der bislang durchgeführten hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen können die mit den beiden Bohrungen TB 1 und TB 2 Friedrichshafen in drei Grundwasserstockwerken erschlossenen Tiefenwässer wie folgt charakterisiert und beurteilt werden:

Basissandstein

Bei einer Förderrate von $Q = 0,6$ l/s und einer Auslauftemperatur von $32,0^{\circ}\text{C}$ hatte das am 09.05.2000 aus dem Basissandstein geförderte Grundwasser einen gelösten Feststoffgehalt von $1\,540$ mg/l und eine elektrische Leitfähigkeit von $1\,940$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mit diesem hohen Gehalt an gelösten Feststoffen kann das erschlossene Grundwasser nach Ziffer 2005a, 2003 und 2004 der Begriffsbestimmungen - Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen – 11. Auflage – 13.10.1998 den „natürlichen ortsgebundenen Heilwässern“ zugeordnet werden. In der Mineralstoffzusammensetzung bilden bei den Kationen Natrium ($97,39$ mmol (eq)%) und bei den Anionen Hydrogencarbonat ($55,83$ mmol(eq)%) und Chlorid ($20,10$ mmol(eq)%) die Hauptbestandteile. Mit Ausnahme des Sulfats ($18,67$ mmol(eq)%) sind die übrigen Inhaltsstoffe als untergeordnet anzusehen. Aufgrund der nachgewiesenen Konzentration von $6,8$ mg/l ist Fluorid ebenfalls ein wertbestimmender Bestandteil. Die aus den Calcium- und Magnesium-Gehalten errechnete deutsche Härte liegt bei $1,15^{\circ}\text{dH}$. Anthropogene Belastungen, Schwermetalle und andere Spurenstoffe konnten nicht nachgewiesen werden oder wurden in Konzentrationen vorgefunden, die als sehr niedrig zu bewerten sind. Die im Wasser gemessene natürliche Radioaktivität von Radon- 222 bzw. die Aktivitätskonzentrationen der Radiumisotope sind als normal bzw. als extrem niedrig anzusehen. Ebenfalls niedrig sind die im Wasser bestimmten Gesamtgasgehalte. Den Ergebnissen der bisherigen hydrochemischen Untersuchungen zu Folge ist das aus dem Basissandstein geförderte Grundwasser zu bezeichnen als

„fluoridhaltige Natrium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Therme“

Baltringer Schichten

Das mit der TB 1 Friedrichshafen aus den Baltringer Schichten erschlossene Grundwasser hatte bei einer Förderrate von $Q = 3,1$ l/s und einer Auslauftemperatur von $29,8^{\circ}\text{C}$ einen gelösten Feststoffinhalt von 870 mg/l und eine elektrische Leitfähigkeit von 988 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In der Mineralstoffzusammensetzung bilden bei den Kationen Natrium ($97,75$ mmol(eq)%) und bei den Anionen Hydrogencarbonat ($75,94$ mmol(eq)%) Hauptbestandteile. Aus den Calcium- und Magnesium-Gehalten errechnet sich eine deutsche Härte von $0,57^{\circ}\text{dH}$. Fluorid als wertbestimmender Parameter lag mit $6,6$ mg/l deutlich über dem in den Begriffsbestimmungen geforderten Mindestgehalt von 1 mg/l. Wie auch bei den

erschlossenen Grundwässern aus dem Basissandstein konnten auch in den tiefen Grundwässern aus den Baltringer Schichten keine anthropogene Belastungen, Schwermetalle und andere Spurenstoffe nachgewiesen werden oder wurden in Konzentrationen vorgefunden, die als sehr niedrig zu bezeichnen sind. Auch hier sind die im Wasser gemessene natürliche Radioaktivität von Radon- 222 bzw. die Aktivitätskonzentrationen der Radiumisotope als normal bzw. als sehr niedrig anzusehen. Ebenfalls als niedrig zu bewerten sind die im Wasser bestimmten Gesamtgasgehalte. Den Ergebnissen der bisherigen hydrochemischen Untersuchungen zu Folge ist das aus dem Basissandstein geförderte Grundwasser zu bezeichnen als

„fluoridhaltige Natrium-Hydrogencarbonat-Akrato-Therme“

Obere Süßwassermolasse

Das während des Aquifertests am 20.02.2001 aus der Tiefbohrung TB 2 Friedrichshafen aus den Sand- und Sandsteinlagen der Oberen Süßwassermolasse mit 1,82 l/s geförderte tiefe Grundwasser hatte eine Auslauftemperatur von 15,5°C und wies einen gelösten Feststoffinhalt von 610 mg/l sowie eine elektrische Leitfähigkeit von 668 µS/cm auf. Auch bei diesem tiefen Grundwasser bilden in der Mineralstoffzusammensetzung bei den Kationen Natrium (97,8 mmol(eq)%) und bei den Anionen Hydrogencarbonat (83,1 mmol(eq)%) die Hauptbestandteile. Der Fluorid-Gehalt von 1,4 mg/l überschreitet den in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) für eine Deklaration geforderten Mindestgehalt von 1 mg/l. Bei den untersuchten Spurenelementen wurden die zulässigen Grenzwerte für natürliches Mineralwasser gemäß Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO) nie erreicht bzw. waren mit Ausnahme von Arsen nicht nachweisbar. Stoffe, die als Hinweis auf eine mögliche anthropogene Beeinflussung des hier geförderten OSM-Tiefengrundwassers untersucht wurden, konnten nicht nachgewiesen werden. Hydrochemisch ist das in der TB 2 Friedrichshafen erschlossene tiefe Grundwasser zu bezeichnen als

„fluoridhaltiges Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser“

Die Förderwässer aller drei Tiefbrunnen gaben in hygienischer Sicht keinen Grund zur Beanstandung.

7. Auswertung der isotopenhydrologischen Befunde

Grundwasser aus den Baltringer Schichten der OMM und Sanden/Sandsteinen der OSM

Auf der Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen kann zusammengefasst werden, dass die tiefen Grundwässer sowohl aus den Baltringer Schichten als auch aus den Sand- und Sandsteinlagen der Oberen Süßwassermolasse unter den kälteren klimatischen Bedingungen während einer Vergletscherung des Bodenseeraums neu gebildet wurden (vgl. Bericht HYDROISOTOP vom 05.06.2001).

Entsprechend sind diese Wässer frei von Tritium (^3H) sowie Kohlenstoff-14 (^{14}C) und weisen niedrige Deuterium (^2H)- und Sauerstoff-18 (^{18}O)-Gehalte auf (vgl. Abb. 5). Der relativ hohe Kohlenstoff-13 -Gehalt lässt annehmen, dass in den Grundwasserleitern intensive Isotopenaustauschprozesse stattgefunden haben. Aus den gemessenen Isotopengehalten des Kohlenstoffs in Verbindung mit dem Kationenaustauschcharakter dieser tiefen

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

Grundwasser kann ebenfalls ein hohes Grundwasseralter abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Isotopengehaltmessungen am Schwefel und Sauerstoff des im tiefen Grundwasser der Baltringer Schichten gelösten Sulfats weisen auf eine marine Herkunft des Sulfats hin. Die aus den Edelgasgehalten des aus den Baltringer Schichten geförderten Tiefenwassers berechneten Grundwasserneubildungstemperaturen von 2,3°C weisen, so wie auch die gemessenen Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalte, auf eine kaltzeitliche Grundwasserneubildung hin.

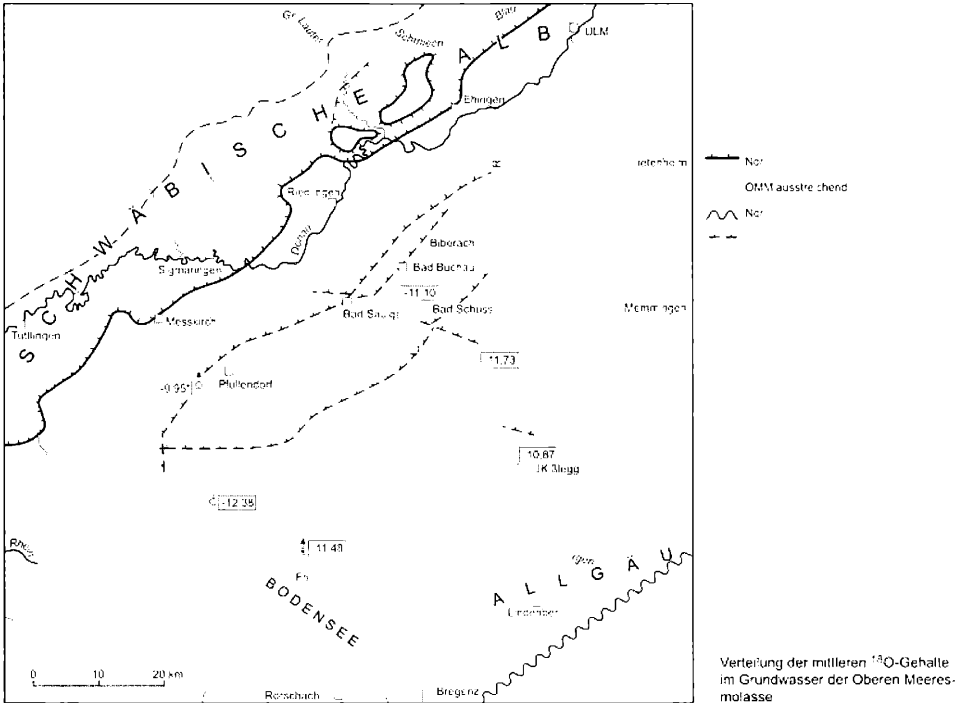


Abb. 5: Verteilung der mittleren $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Grundwässer in den Aquiferen der Molasse im baden-württembergischen Teil des süddeutschen Molassebeckens.

Grundwasser aus dem Basissandstein der OMM

Im Unterschied zu den tiefen Grundwässern in den Baltringer Schichten und der OSM, für die übereinstimmende Hinweise auf eine kaltzeitliche Grundwasserneubildung vorliegen, können die Neubildungsbedingungen des tiefen Grundwassers in den Basissandsteinen der OMM noch nicht abschließend beschrieben werden.

Die vergleichsweise schweren Isotopensignaturen am Wasser (vgl. Tab. 4) und die aus den Edelgasgehalten abgeleiteten höheren Grundwasserneubildungstemperaturen weisen in Verbindung mit erhöhten Chlorid- und Sulfatgehalten auf eine Mischung verschiedener Grundwasserkomponenten hin.

Es ist wahrscheinlich, dass die Grundwasserneubildung unter eiszeitlichen Klimaverhältnissen auch die Basissandsteine mit erfasst hat, so dass ein Teil der einen Grundwasserkomponente eiszeitlicher Herkunft ist.

Bei der zweiten Komponente kann es sich noch um Grundwasser handeln, das während des Tertiärs neu gebildet wurde und für das ein äußerst komplizierter Entwicklungspfad anzunehmen ist. Es ist vorstellbar, dass hier noch Rückstände mariner Sedimentationswässer vorliegen (aus der Zeit der Oberen Meeresmolasse), die sich während der Ablagerung der Oberen Süßwassermolasse mit süßem Grundwasser vermischt haben.

Eine nähere Klärung dieser Detailfrage wird nur unter Berücksichtigung von Grundwasserbeschaffheitsdaten aus dem gesamten Molassebecken möglich sein, wobei insbesondere früher dokumentierte Erdölwässer wichtige Erkenntnisbeiträge liefern können. Sofern den Basissandsteinen tatsächlich Grundwasser entnommen wird, kommt hier der Grundwasserüberwachung besondere Bedeutung zu, wobei dann festzustellen ist, ob eine der beteiligten tiefen Grundwasserkomponenten verstärkt abgewirtschaftet und durch anderes Grundwasser ergänzt wird.

Wie die andern beiden oben beschriebenen tiefen Grundwässer sind die aus dem Basissandstein der OMM in der TB 1 Friedrichshafen geförderten tiefen Grundwässer auch tritium- und kohlenstoff-14-frei, haben einen relativ hohen Kohlenstoff-13-Gehalt und lassen somit ebenfalls auf intensive Isotopenaustauschprozesse mit dem Grundwasserleitergestein und auf hohe Grundwasseralter schließen.

Die Isotopensignatur des Sulfats im Wasser des Basissandsteins deutet auf eine Herkunft des Sulfats aus sekundären Sulfaten, wobei das Sulfat teilweise wieder reduziert wurde und es dabei zu einer Anreicherung der schweren Isotope im verbleibenden gelösten Sulfat gekommen ist. Die aus den Edelgasgehalten im Wasser des Basissandsteins berechnete mittlere Bodentemperatur während der Grundwasserneubildung beträgt $5,1^{\circ}\text{C}$ und untermauert die Annahme, dass hier ein Mischwassersystem vorliegt, bestehend aus kaltzeitlich und warmzeitlich neu gebildeten Komponenten.

8. Grundwasserneubildung und Genese der tiefen Grundwässer

Die Ergebnisse der umfangreichen isotopehydrologischen Untersuchungen zeigen, dass es sich bei den tiefen Grundwässern aus den Baltringer Schichten und der Oberen Süßwassermolasse nicht um in diesen tertiären Ablagerungen gespeicherte Formationswässer sondern um sehr langsam zirkulierende Grundwässer mit Verweilzeiten von einigen 10 000 Jahren handelt. Das aus den Basissandsteinen geförderte tiefe Grundwasser scheint dagegen noch Anteile tertiärer mariner und fluviatiler Formationswässer zu enthalten.

Über die Prozesse der Grundwasserneubildung sowie über die Neubildungsrate in den Schichten der Oberen Meeresmolasse und Oberen Süßwassermolasse liegen derzeit noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Nach BERTLEFF et al. (1988) erfolgte die Neubildung sowohl durch Einsickerung in den Ausstrichbereichen der OMM und OSM als auch durch allmähliche Zusickerung aus den überlagernden Schichten der Oberen Süßwassermolasse bzw. dem Quartär. Die Neubildungsrate wurde auf $0,1 - 0,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ geschätzt, wobei auf den noch unsicheren Kenntnisstand hingewiesen wurde.

Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen

Tab. 4 Chemische und isopenhydrologische Analysewerte TB 1 und TB 2 Friedrichshafen.

	TB 1 26.05.2000 Baltringer Horizont	TB 1 09.05.2000 Basissandstein	TB 2 20.02.2001 OSM
Kationen, Werte in mg/l			
Natrium	247	462	167
Kalium	1,4	3	0,4
Ammonium	0,3	0,2	0,27
Magnesium	0,8	2	1,7
Calcium	2,4	4,6	< 2
Strontium	0,23	0,92	0,11
Barium	0,012	0,056	
Mangan	0,008	0,018	< 0,01
Eisen	0,19	0,54	0,02
Summe	252,3	473,3	169,5
Anionen, Werte in mg/l			
Fluorid	6,6	6,8	1,4
Chlorid	18,4	147	0,6
Bromid	0,08	0,5	<0,001
Sulfat	46,2	185	55
Hydrogencarbonat	526,4	703	373
Carbonat	27,1	22,7	
Summe	624,8	1065	430
Chem.-physikalische Parameter			
pH-Wert	8,53	8,31	9,15
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	988	1940	688
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	29,8	32,0	15,5
Isotope			
Tritium TU	<0,6		<0,6
$\delta^2\text{H}$ ‰-VSMOW	-81,9	-73,1	-97,5
$\delta^{18}\text{O}$ ‰-VSMOW	-11,48	-10,33	-13,4

Neueren Modellvorstellungen zufolge (BERTLEFF et al. 1993; BERTLEFF & WATZEL 2002) muss zwischen einer rezenten, holozänen Grundwasserneubildung und einer pleistozänen Neubildung unterschieden werden. Die rezente Grundwasserneubildung folgt danach dem oben beschriebenen Mechanismus, wobei jedoch die flächenhafte Grundwas-

erneubildung im Falle der OMM durch Leakage aus der überlagernden OSM mengenmäßig noch unbedeutender sein dürfte als die Zusicke- rung aus dem die OMM unmittelbar überlagernden Quartär und aus den randlichen Ausstrichbereichen der OMM bzw. der OSM. Diese jüngeren Grundwässer bilden am Beckenrand flache, oberflächennahe Zirkulationssysteme, deren Druckpotenziale auf lokale Vorfluter eingestellt sind.

Aufgrund der oben beschriebenen Ergebnisse von Isotopen- und Edelgasgehaltsmes- sungen wird angenommen, dass im Beckeninnern allgemein das Grundwasser der tieferlie- genden, flächig von quartären Bildungen überlagerten OSM- bzw. OMM-Schichten über- wiegend in einer Kaltzeit des Pleistozäns vor mehr als 10 000 Jahren neugebildet worden ist, als weite Teile des Alpenvorlandes von einem dicken Eisschild bedeckt waren. Unter solchen Bedingungen war eine Grundwassererneubildung in den außerhalb vom Gletscher (periglazial) gelegenen Ausstrichgebieten der OMM- bzw. OSM-Schichten infolge des Per- mafrostes unmöglich. Da unter dem Gletscher (subglazial) der Untergrund großräumig nicht gefroren war, konnte das an der Basis des Gletschers fließende Schmelzwasser nur hier in den Untergrund einsickern und zur Grundwassererneubildung beitragen. Dieser hypo- thetischen Modellvorstellung zur pleistozänen Grundwassererneubildung zufolge fand im Bereich des Rheingletschers die Neubildung des OSM- und OMM-Grundwassers vorwie- gend im Bodenseeraum statt.

Hauptsächlich im Bereich besser durchlässiger Zonen (z.B. angenommener Störungs- zonen wie der Schussenzone) konnten die OSM- und OMM-Grundwässer aufgrund ihres höheren Druckpotenzials durch die Schichten der Unteren Süßwassermolasse (USM) schließlich auch in den Kluft- und Karstaquifer des Oberjuras infiltrieren (vgl. Abb. 6). Diese Abwärtsbewegung des Grundwassers aus den tertiären Grundwasserstockwerken in den Oberjura konnte jedoch nur stattfinden, wenn aufgrund des höher temperierten, aus dem Beckentiefsten stammenden Karstwassers, die natürlichen Austrittsgebiete bei Regensburg und vielleicht auch bei Ulm frei von Permafrost waren, so dass der Aquifer im Oberjura die einzige Drainage dieses gesamten komplexen eiszeitlichen Zirkulationssystems darstellte (BERTLEFF et al. 1993).

Dieses unter kälteren klimatischen Bedingungen als heute neugebildete Grundwasser wird auch in den Baltringer Schichten bzw. den OSM-Sand- und Sandsteinlagen der Thermo- bzw. Mineralwasserbohrungen TB 1 bzw. TB 2 Friedrichshafen erschlossen. Es wird angenommen, dass diese tiefen Grundwässer während der Vergletscherung des Bodensee- raums sowohl in die OSM als auch in die OMM gepresst wurden und sich auch entgegen des Schichtfallens ausgebreitet haben. Nach Zerfall des letzten Gletschers haben sich im Zeitraum der letzten ca. 10.000 Jahre allmählich die heute zu beobachteten Fließverhält- nisse eingestellt, mit einem Grundwasserabstrom, der großräumig zum Bodensee ausgerich- tet ist. Das ehemalige Grundwasserbildungsgebiet für die OMM hat sich demnach heute zu einem Exfiltrationsgebiet gewandelt.

Das tiefer liegende Oberjura – Zirkulationssystem zeigt aufgrund „fossiler“ Druckver- hältnisse immer noch eine Ausrichtung zu den eiszeitlichen Exfiltrationsgebieten bei Ulm und Regensburg.

Wie für Gletscherwässer charakteristisch, hatte das ursprüngliche daraus neugebildete Grundwasser einen geringen Lösungsinhalt, der im Verlauf der folgenden Jahrtausende durch Ionenaustauschvorgänge zwischen dem tiefen Grundwasser und in den Grundwasser-

leitern enthaltenen Tonmineralien sowie durch andere komplizierte chemische Reaktionen erhöht wurde.

Neben der genannten eiszeitlich neu gebildeten Grundwasserkomponente spielen für das Grundwasser der Basissandsteine der OMM in Friedrichshafen noch höher mineralisierte Formationswässer eine Rolle. Ähnliche Komponenten wurden auch in einer Tiefbohrung bei Kisslegg angetroffen (WEISE et al. 1989; SCHLOZ et al. 2002). Ihr Auftreten ist wahrscheinlich mit den standortabhängigen Möglichkeiten der weiter oben beschriebenen pleistozänen Grundwasserneubildung in Verbindung zu sehen. Anhand der bislang vorliegenden überregionalen Kenntnisse wird angenommen, dass der Anteil an Formationswässern in der OMM im Vergleich zur kaltzeitlich neu gebildeten Grundwasserkomponente nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Aus der Modellvorstellung zur Neubildung des Grundwassers in der Oberen Meeresmolasse und Oberen Süßwassermolasse des zentralen Beckenbereichs folgt, dass das Grundwasserdargebot in diesen Grundwasserstockwerken mit der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Beschaffenheit, wie sie in den Bohrungen TB 1 und TB 2 Friedrichshafen angetroffen wurde, mengenmäßig begrenzt ist. Diese tiefen Grundwässer gehören Fließsystemen an, deren Druckpotenziale infolge heute praktisch fehlender Neubildung abgebaut werden. Somit sollten dieses Grundwasservorkommen wie Lagerstätten betrachtet und entsprechend nachhaltig bewirtschaftet werden.

Auch für die in den Basissandsteinen nachgewiesenen Anteile an Formationswässern gilt, dass sie keiner aktuellen Neubildung unterliegen und mit der Zeit durch andere Grundwasserkomponenten ersetzt werden.

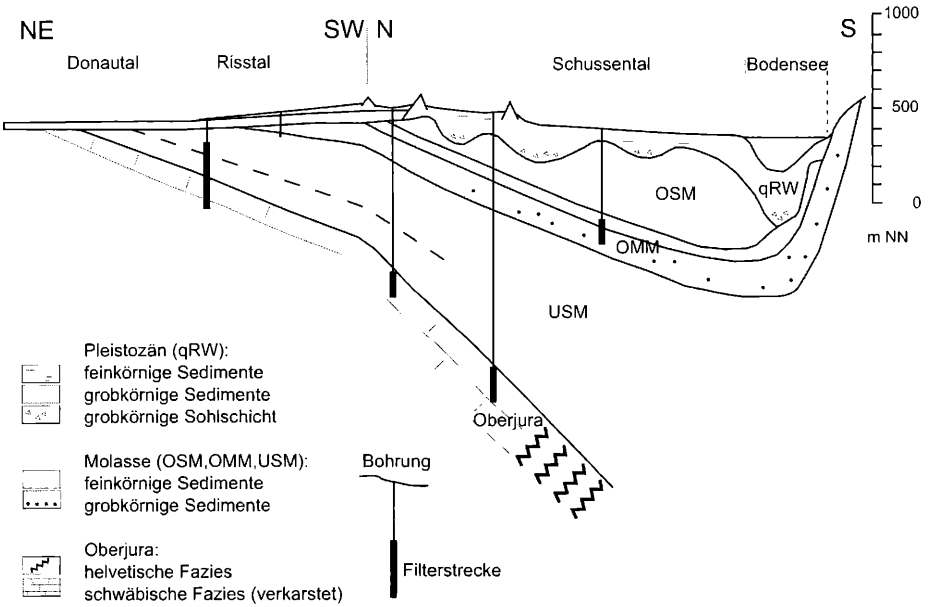
9. Abschätzung möglicher Auswirkungen der Förderung auf benachbarte Tiefbrunnen

Zur Abschätzung von Auswirkungen der Entnahme durch eine Förderanlage auf benachbarte Nutzer desselben Grundwasservorkommens wird allgemein die Reichweite des Absenkungstrichters bei verschiedenen Entnahmeraten aus dem Förderbrunnen ermittelt.

Die Reichweite des Absenkungstrichters und der entnahmebedingte Absenkungsbetrag hängt von mehreren Parametern ab. Neben den aquiferspezifischen Kenngrößen Transmissivität, Speicherkoeffizient und Aquifermächtigkeit, die aus den Bohrergebnissen bzw. den hydraulischen Untersuchungen ermittelt werden können, hat bei vorgegebener Entnahmerate die Grundwasserneubildungsrate einen wesentlichen Einfluss auf die Geometrie des Absenkungstrichters.

Die Grundwasserneubildungsrate spezifisch für ein tiefes, von mächtigen Deckschichten überlagertes Grundwasserstockwerk kann nicht direkt ermittelt werden. Eine Abschätzung dieses Parameters ist unter Berücksichtigung des geologischen Untergrundaufbaus, der verschiedenen hydraulischen Potenziale und der horizontalen und vertikalen Durchlässigkeiten der Schichtenfolge sowie durch Rückschlüsse aufgrund der hydrochemischen und isotopischen Zusammensetzung der tiefen Grundwässer durch die Bilanzierung des Grundwasserumsatzes mit einem numerischen Grundwassermodell möglich. Diese Betrachtung muss sich auf das gesamte Verbreitungsgebiet des Aquifers, mindestens jedoch über den gesamten baden-württembergischen Teil des süddeutschen Molassebeckens erstrecken.

Rezente Situation



Situation während der Glaziale des Pleistozäns

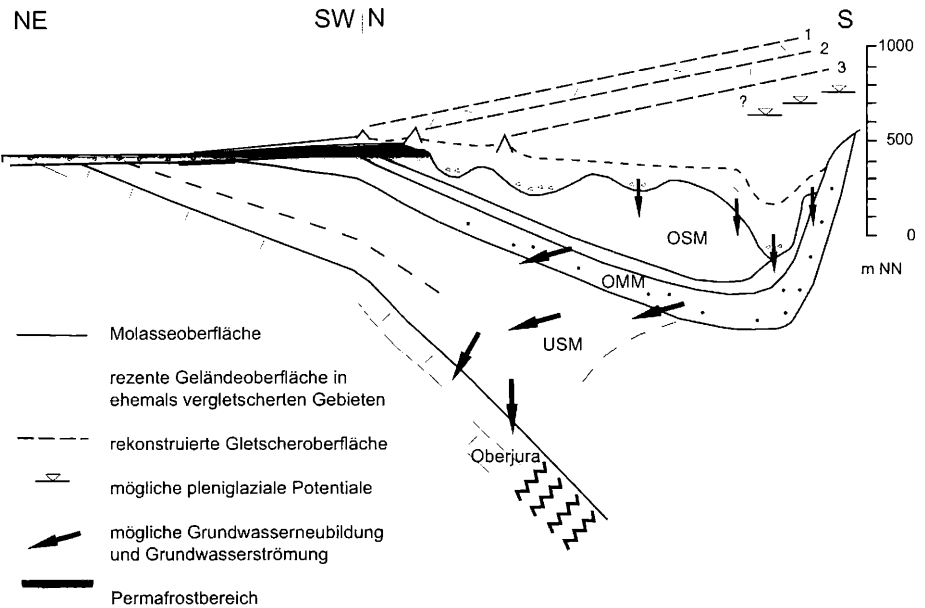


Abb. 6: Hypothetische Modellvorstellung der pleistozänen Grundwasserneubildung in den Aquiferen der Molasse und des Oberjuras.

Dazu müssen auch die Entnahmen sämtlicher Betreiber im Untersuchungsgebiet einbezogen werden. Erst mit Hilfe eines solchen Modells kann ein Bewirtschaftungskonzept für diese Thermalwasservorkommen Baden-Württembergs mit Festlegung der möglichen Dauerentnahmeraten für die einzelnen Förderanlagen entwickelt werden und als langfristige Planungsgrundlage dienen.

Aufgrund der Ergebnisse durchgeführter Pumpversuche und theoretischer Berechnungen kann abgeschätzt werden, dass bei den stark gespannten Verhältnissen erst bei mehrjähriger Dauerentnahme aus mehreren Thermalwasserbohrungen von einer gegenseitigen Beeinflussung ausgegangen werden muss. Dies führt zu einer zusätzlichen Absenkung im Entnahmebrunnen, die bei über 10 m liegt (vgl. MÉGEL et al. 1996).

10. Nutzung der erschlossenen tiefen Grundwässer

Die Stadt Friedrichshafen plant am Standort des jetzigen See- und Freibades im Ortsteil Fischbach den Bau eines modernen Thermal- und Erlebnisbades mit integriertem Gesundheitszentrum. Bis zur Realisierung des Neubaus ist geplant, das Wasser der Thermalwasserbohrung TB 1 und der Mineralwasserbohrung TB 2 in die Becken bzw. die Versorgungszentrale des jetzigen See- und Freibades als Badewasser bzw. dem Zweck „Baden und Trinken“ einzuspeisen.

Aufgrund der bis jetzt vorliegenden Kenntnisse kann das Prinzip und die Funktionsweise des Strömungssystems sowohl in den beiden OMM-Grundwasserleitern als auch in denen der OSM noch nicht endgültig geklärt werden. Es steht jedoch fest, dass der gesamte Grundwasserdurchfluss in diesen Grundwasserleitern nicht hoch ist und dass demzufolge ihre Bewirtschaftung nicht nur lokal sondern auch den regionalen hydrodynamischen Verhältnissen angepasst werden muss. Damit der aufgrund der Einzelentnahmen verursachte lokale Druckabbau sich in den entsprechenden Grundwasserleitern nicht zu schnell regional auswirkt und der Wasserhaushalt in quantitativer und qualitativer Sicht möglichst lang stabil bleibt, müssen diese tiefen Grundwässer sparsam bewirtschaftet werden.

Die entsprechend gering ansetzbare Dauerentnahmerate von max. 3-4 l/s und der relativ geringe Wärmeinhalt dieser Wässer macht eine ausschließlich geothermische Nutzung uninteressant bzw. unwirtschaftlich. Daher wurde auch eine Nutzung als Heil- und Mineralwasser für Trinkzwecke beantragt.

Bei einem zu starken entnahmebedingten Abbau des hydrostatischen Druckes dürfte sich einerseits der Zufluss zur Entnahmestelle mittel- bis langfristig verringern, andererseits kann sich langfristig der Grundwasserchemismus und die Temperatur durch den Beizug von Grundwasser, das in einer beckenrandnäheren Position neugebildet wurde bzw. wird, verändern. Bei einer Überbeanspruchung der Aquifere können sich die instationären Verhältnisse noch verstärken und sich in einem stetig sinkenden Druckwasserspiegel äußern. Deshalb sollte im Interesse einer langfristigen Nutzbarkeit dieser Grundwasservorräte der erforderliche Wasserbedarf durch technische Optimierung der Nutzungseinrichtungen so weit wie möglich minimiert werden.

Danksagung und Widmung

Die Verfasser dieses Beitrags danken Herrn Dr. WILHELM SCHLOZ für die kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit bei einer Vielzahl von Projekten. Seine hydrogeologische Kompetenz und die fachgerechte Umsetzung seiner Ideen und Ziele hat die Thermal-Mineralwassersituation Baden Württembergs wesentlich beeinflusst. Herrn Dr. SCHLOZ Engagement für den sorgsamsten Umgang mit den natürlichen Grundwässern brachte ihm bei den Brunnenbetreibern und Fachkollegen hohes Ansehen.

Der Stadt Friedrichshafen wird für die Zustimmung gedankt, die Projektdaten für die hier vorgelegte wissenschaftliche Auswertung zu verwenden.

Eingang des Manuskripts: 31.07.2004

Angeführte Schriften

- BERTLEFF, B., HEDIN, K., STOBBER, I., STRAYLE, G., WERNER, J., EICHINGER, L., MOSER, H., RAUERT, W. & STICHLER, W. (1986): Flow System Investigations in the Karstified Thermal Malm Aquifer in the Western Part of the South German Molasse Basin. In: Proceedings of the 5th International Symposium on Underground Water Tracing, Institut of Geology and Mineral Exploration, Athens
- BERTLEFF, B. (1986): Das Strömungssystem der Grundwässer im Malm-Karst des West-Teils des süddeutschen Molassebeckens. - Abh. geol. Landesamt B.-W., 12, S: 1-271, 64 Abb., 15 Tab., 8 Anl.; Freiburg i. Br.
- BERTLEFF, B., JOACHIM, H., KOZIOROWSKI, G., LEIBER, J., OHMERT, W., PRESTEL, R., STOBBER, I., STRAYLE, G., VILLINGER, E & J. WERNER (1988): Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg, Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 30, S: 27-116, 30 Abb., 6 Tab., 1 Taf., 2 Beil., Freiburg i. Br.
- BERTLEFF, B., EICHINGER, L., ELLWANGER, D., SZENKLER, C., TRIMBORN, P. & WOLFENDALE, N. (1993): Interpretation of Hydrochemical and Hydroisotopical Measurements on Paleogroundwaters in Oberschwaben, South German Alpine Foreland, with Focus on Quaternary Geology. - In: IAEA (Eds.), Isotope techniques in the study of past and current environmental changes in the hydrosphere and the atmosphere, Proc. Symp. Vienna 1993, S: 337-357
- BERTLEFF, B. & WATZEL, R. (2002): Tiefe Aquifersysteme im südwestdeutschen Molassebecken. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Abh., 15; S: 73-88, 6 Abb.; Freiburg i. Br.
- HYDRO-DATA (2001a): Thermalbohrung Friedrichshafen-Fischbach Pumpversuchsbericht TB 1, Bericht vom 27.04.2001 (unveröffentlicht)

- HYDRO-DATA (2001b): Thermalbohrung Friedrichshafen-Fischbach Pumpversuchsbericht TB 2, Bericht vom 27.04.2001 (unveröffentlicht)
- HYDROISOTOP (2001): Thermalwasserbohrung Friedrichshafen; Ergebnisse hydrochemischer, isotopenhydrologischer und gasphysikalischer Untersuchungen, Bericht vom 05.06.2001 (unveröffentlicht)
- LGRB, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (ehemals: GLA) (1996): Hydrogeologisches Gutachten über die Möglichkeit der Erschließung von Thermalwasser zum Betrieb eines Thermal- und Mineralbades im Stadtgebiet Friedrichshafen, Az.: 2398.01/95-4763 vom 14.03.1996 (nicht veröffentlicht)
- MÉGEL, T., WYSS, R., GREBER, E., LEU, W. (1996): Hydraulische Modellierungen der Geothermiebohrungen Kreuzlingen und Konstanz. - In: Proc. Geothermische Fachtagung GtV/SVG Konstanz, 18.-20. September 1996
- PRESTEL, R. (1990) Untersuchungen zur Diagenese von Malm-Karbonatgesteinen und Entwicklung des Malm-Grundwassers im süddeutschen Molassebecken. Diss. Univ. Stuttgart
- SCHLOZ, W. & STOBBER, I. (2002): Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg. - LGRB-Fachberichte 1, 15 S., 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt., Freiburg im Breisgau
- WEISE, S.M., WOLF, M., FRITZ, P., RAUERT, W., STICHLER, W., PRESTEL, R., BERTLEFF, B. & STUTE, M. (1989) Isotopenhydrologische Untersuchungen im süddeutschen Molassebecken (in Vorbereitung)
- WEISE, S.M. & STICHLER W. (1997) Edelgasisotopen-Methoden als Werkzeug zur Untersuchung tieferreichender Grundwasser-Fließsysteme am Beispiel des süddeutschen Molassebeckens. - Beiträge zur Hydrogeologie, 48/I, S: 69-80, Graz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [95](#)

Autor(en)/Author(s): Bertleff Bruno, Bauer Michael, Cammerer Fritz, Michel Werner

Artikel/Article: [Die Thermal- und Mineralwassererschließung von Friedrichshafen 213-235](#)