

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

B. Grimm, M. Franz, B.-M. Kilger, G. Lorenz, & H. Schmidt-Witte

Stichwörter

Muschelkalk, Stratigraphie, Thermalwassererschließung, Thermalwassernutzung, Mineralwasser, Anerkennung als Heilquelle, Wellness, Oberer Muschelkalk-Kluftaquifer, Grundwasserpotential, Transmissivität, Temperaturanomalie, Hydrochemie, Isotopenhydrologie, Geohydraulik, Hegau-Vulkanismus, Landkreis Tuttlingen, Baden-Württemberg, TK 25: 8018 Tuttlingen

Zusammenfassung

Die in den Jahren 1997 und 1998 niedergebrachte 644 m tiefe Geothermiebohrung Tuttlingen erschließt 48,4 °C warmes Mineralwasser aus dem Oberen Muschelkalk und der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalkes. Die Hauptwasserzutritte in der Bohrung liegen zwischen 632 und 644 m unter Gelände. Der Druckwasserspiegel stellt sich bei 318 m unter Gelände ein. Die Ergiebigkeit der Bohrung ist relativ hoch. Der abgesenkte Wasserspiegel lag während des fast fünfmonatigen Langzeitpumpversuches (3,4 l/s) 8,7 m unter dem Ruhewasserspiegel. Die Transmissivität beträgt $4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Die durchgeführten Pumpversuche zeigen, dass die geforderte Versorgung des Thermalbades Tuttlingen mit etwa 3,5 l/s sicher gestellt wird.

Die Geothermiebohrung Tuttlingen liegt im Bereich einer geothermischen Anomalie. Ein Zusammenhang mit dem tertiären Hegau-Vulkanismus ist zu vermuten.

Den chemischen Untersuchungen zufolge kann das Wasser als fluoridhaltiges Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogenkarbonat-Mineral-Thermalwasser mit einem Gesamtlösungs-

Anschriften der Verf.:

Dr. Matthias Franz, Dr. Bernhard Grimm und Dr. Bernd-Michael Kilger
Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.
Dr. Gesine Lorenz, Hydroisotop GmbH, Woelkestraße 9, 85301 Schweitenkirchen,
Dr. Helmut Schmidt-Witte, Rauhenwiesen 27, 72336 Balingen

inhalt von ca. 1100 mg/l bezeichnet werden. Seine Neubildung erfolgte nach den isoto-
hydrologischen Untersuchungen unter pleistozänen Klimabedingungen.

Exploration of thermal water in the Muschelkalk in Tuttlingen

Key words

*Muschelkalk, exploration of thermal water, mineral water, geothermal anomaly, hegau vol-
canism, isotope hydrology, wellness, pumping tests, groundwater recharge*

Abstract

In 1997 and 1998 the thermal water borehole was drilled into the Upper and Middle Muschelkalk to a depth of 644 m from surface. The water temperature is 48,4 °C. The main water supply is between 632 and 644 m under surface. The water level decreased to 318 m under surface. The pumping tests show, that the supply of the thermal water is guaranteed with 3,5 l/s. The water productivity of the borehole is relatively high. The transmissivity amounts to $4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

The Tuttlingen borehole is situated in an geothermal anomaly. The context with the nearby Hegau volcanism is presumed.

Based on the analysis the water can be specified as fluorid calcium-magnesium-sulfate-hydrogencarbonate thermal water with the suspended solid content of approximately 1100 mg/l. The groundwater recharge occurred indicated by hydroisotopic investigations during Pleistocene climatic conditions.

1. Einleitung

In Tuttlingen bestand Mitte der 1990er Jahre die Notwendigkeit, das Städtische Hallenbad zu renovieren bzw. neu zu konzipieren. Die Stadt Tuttlingen hat im Dezember 1994 beim damaligen Geologischen Landesamt Baden-Württemberg (GLA) angefragt, ob aus geologischer Sicht Erkenntnisse über Vorkommen von Thermalwasser im Untergrund des Stadtbereiches Tuttlingen bestehen. Dabei wurden auch Überlegungen zur Nutzung von Erdwärme angestellt. Das GLA hat mit dem hydrogeologischen Gutachten zur Thermal- und Mineralwassererschließung vom 26.06.1996 eine etwa 700 m tiefe Bohrung vorgeschlagen.

Das Ingenieurbüro FRITZ Planung GmbH, Bad Urach, wurde im Februar 1997 von den Stadtwerken Tuttlingen mit der Planung, Abwicklung und Betreuung des Geothermieprojektes beauftragt. Seismische Vorerkundungen des tiefen Untergrundes hat die Firma THOR, Kiel, vom 21. bis 24.04.1997, die keine nennenswerten neuen Erkenntnisse erbrachten, durchgeführt. Verwerfungen im Untergrund wurden dabei nicht kartiert.

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

Die Geothermiebohrung Tuttlingen befindet sich im nördlichen Stadtgebiet von Tuttlingen.

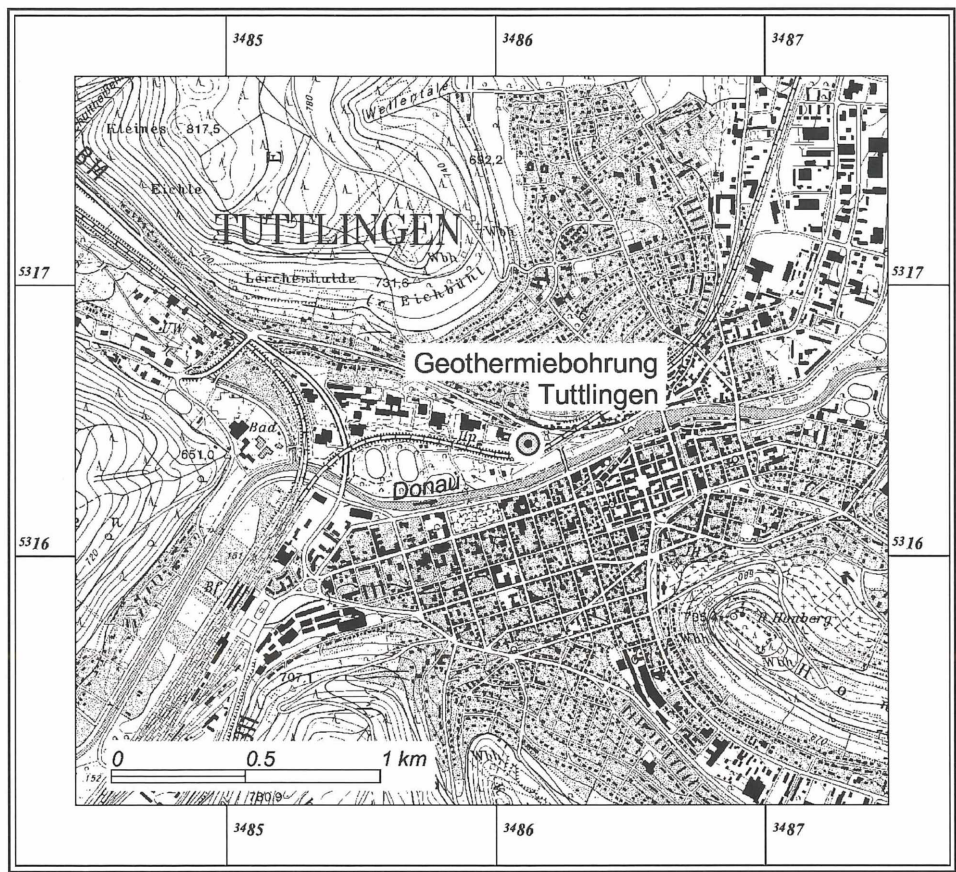


Abb. 1: Lage der Geothermiebohrung Tuttlingen.

Die Daten der Geothermiebohrung Tuttlingen können wie folgt zusammengefasst werden (vgl. Tab. 1):

Tab. 1 Stammdaten sowie Bohr- und Ausbaudaten der Geothermiebohrung Tuttlingen.

Standort	Freizeit- und Thermalbad TuWass, Tuttlingen, Mühleweg 1-5, Flurstück-Nr.: 5450/1
Rechtswert	34 86 117,02
Hochwert	53 16 419,44
Höhe	642,795 m NN (OK Flansch 13 3/4"-Verrohrung)
Endteufe	644,25 m
LGRB-Nummer	Bo 8018/321
TK 25	8018 Tuttlingen
Bohrlochdurchmesser	0,00 bis 7,50 m u. GOK: > 800 mm (Greifer) 7,50 bis 22,40 m u. GOK: 660 mm = 26" 22,40 bis 578,00 m u. GOK: 444 mm = 17 1/2" 578,00 bis 588,50 m u. GOK: 311 mm = 12 1/4" (Fa. BOHR-KNECHT) 503,80 m Ablenkteufe (Fa. ETSCHEL+MEYER) 510,00 bis 572,00 m u. GOK: 311 mm = 12 1/4" 572,00 bis 644,25 m u. GOK: 195 mm = 7 5/8"
Rohrdurchmesser/Zementationen	0,00 bis 7,50 m u. GOK: 800 mm (Standrohr) 0,00 bis 22,40 m u. GOK: 580 mm (zementiert bis zu Tage) 22,40 bis 578,00 m u. GOK (Fa. BOHR-KNECHT): bis 564,46 m u. GOK: 351 mm = 13 3/4" bis 578,00 m u. GOK: 340 mm = 13 3/8" (zementiert bis zu Tage) 510,00 bis 572,00 m u. GOK (Fa. ETSCHEL+MEYER): 245 mm = 9 5/8", bis ca. 400 m u. GOK zementiert
Bohrlochausbau	0,00 bis 572,00 m u. GOK: 245 mm = 9 5/8" GFK-Ausbaurohr 552,50 bis 580,66 m u. GOK: 140 mm = 5 1/2" GFK-Ausbaurohr 580,66 bis 644,25 m u. GOK: 140 mm = 5 1/2" GFK-Filterrohr

2. Ablauf der Bohrarbeiten, Bohr- und Ausbaudaten

Mit den Bohrarbeiten hat die Firma BOHR-KNECHT Crailsheim am 08.07.1997 begonnen. Die Bohrung wurde als Rotary-Bohrung ausgeführt. Nach langwierigen Bohrarbeiten und einem schlechten Bohrfortschritt seit November 1997 war im Januar 1998 der Obere Muschelkalk ab einer Teufe von 571 m erreicht. Beim Bohren mit 12 1/4 " (311 mm) kam es am 20.01.1998 bei 588,5 m zu einem Bohrstillstand. Das Bohrwerkzeug saß im Bohrloch fest. Da alle Bergungsversuche erfolglos blieben, wurden die Bohrarbeiten eingestellt.

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

Die Bohrarbeiten wurden am 27.07.1998 von der Firma ETSCHEL + MEYER, Hof, fortgeführt. Die Bohrung wurde im Schadensbereich mit Zement verfüllt und ab 503,8 m Teufe ein Fenster in die vorhandene 13 3/4" (351 mm) Rohrtour gefräst (Ablenkteufe). Die Bohrung wurde im Lufthebeverfahren bis 572,0 m bis in den Oberen Muschelkalk vertieft und eine 9 5/8" (245 mm)-Rohrtour aus Glasfaserkunststoff (GFK) in das Bohrloch eingebaut. Der letzte Bohrabschnitt mit 7 5/8" (195 mm) Durchmesser reicht bis zur Endteufe von 644,25 m. In die 5 1/2" (140 mm)-GFK-Verrohrung (ab 552,5 m) ist von 580,66 bis 644,25 m (Endteufe) eine 63,59 m lange Filterstrecke, die sich im Oberen Muschelkalk sowie in der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks befindet, eingebaut. Die Bohrarbeiten wurden am 24.09.1998 abgeschlossen. Die Bohrlochabweichung beträgt nach Azimut 4,2° 11,82 m, was einem Teufenverlust von 1,1 m entspricht.

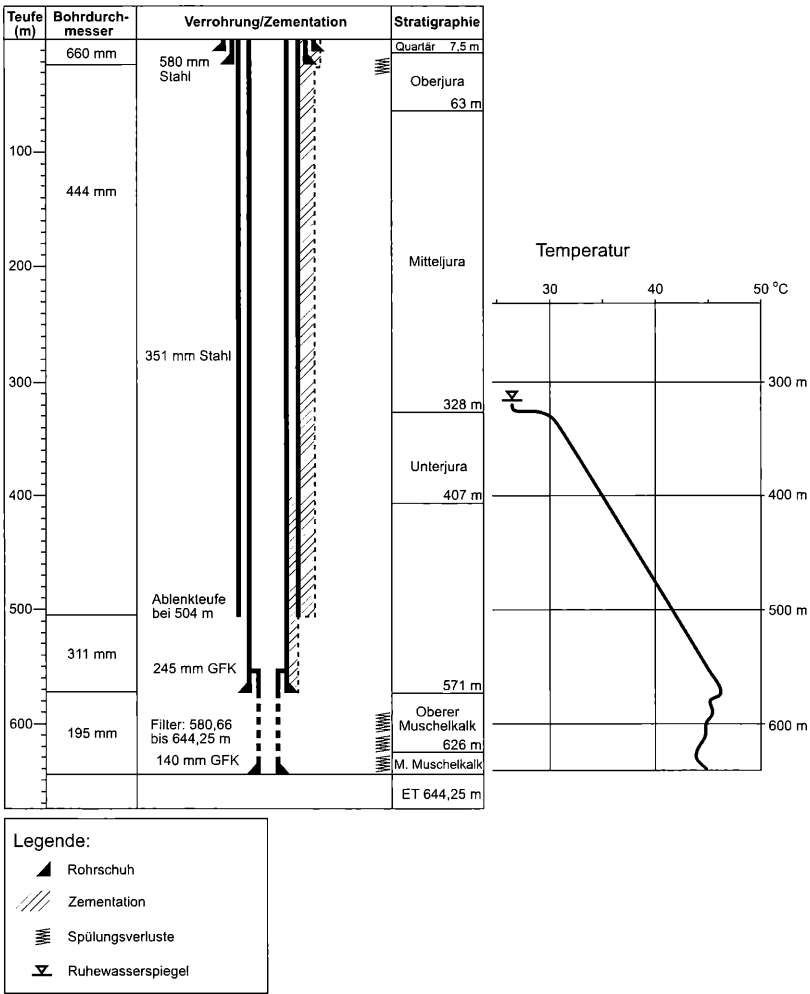


Abb. 2: Bohrlochausbau, Stratigraphie und Temperaturprofil der Geothermiebohrung Tuttlingen.

Die Bohrung ist bis zur Teufe 503,8 m (Ablenkteufe) mit einer bis auf Geländehöhe zementierten 13 ³/₄" (351 mm)-Rohrtour verrohrt. Die eingestellte 9 ⁵/₈" (245 mm) GFK-Verrohrung ist vom Rohrschuh bis etwa 400 m Teufe zementiert. Dadurch besitzt der Aquifer keinen Kontakt zur Erdoberfläche. Die Bohrung ist am Bohrlochkopf verflanscht und schließt mit einem Brunnenkopf ab, in dem die Steigrohre abgehängt sind.

Beim Bohrvorgang traten ab 590 m Teufe im Plattenkalk der Oberen Hauptmuschelkalk-Formation Spülungsverluste von 0,8 l/s auf. In der Unteren Hauptmuschelkalk-Formation bei 614 m Teufe steigerten sich diese auf 2,5 l/s, in der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks bis 633 m auf 8 l/s, bis 640 m auf 14 l/s und erreichten bei 642 m 23 l/s. Der Druckwasserspiegel des wenige Meter über der Endteufe erbohrten Thermalwassers stellte sich bei etwa 318 m unter Messpunkt (etwa 324,4 m NN) ein. Der Hauptzuflussbereich in der Geothermiebohrung liegt zwischen 620 und 644 m u. GOK (ET).

Das Trennflächengefüge im Muschelkalk wurde durch das akustische Bohrlochfernsehen (ABF) im Bohrabschnitt 575 bis 643 m u. GOK detailliert dokumentiert. Kluftmaxima kommen in den Bereichen 599-607 m, 616 m, 621 m, 632-635 m und bei 642 m u. GOK vor. Diese Maxima lassen sich grob mit den Maxima der beobachteten Spülungsverluste korrelieren.

3. Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

3.1 Stratigraphisches Profil

Die Geothermiebohrung Tuttlingen zeigt nach Spülproben und Gamma-Ray-Log das folgende geologische Kurzprofil (vgl. FRANZ 2002):

Aufnahme: M. FRANZ & T. SIMON, 1999

0	7,5 m	Quartär (q)	
	63 m	Oberjura (jo)	
		26 m	Wohlgeschichtete Kalk-Formation (ox2)
		63 m	Impressamergel-Formation (ox1)
		61-63 m	Glaukonitsandmergel
	328 m		Mitteljura (jm)
		76 m	Ornatenton-Formation (cl)
		67-69 m	Ancepsoolith (Ac)
		75-76 m	Macrocephalenoolith (Mc)
		113 m	Dentalienton-Formation (bt)
		85-87 m	Kalk- bzw. Eisenoolith
		126 m	Hamitenton-Formation (bj3)
		113-115 m	Parkinsoni-Oolith (Pa)
		123-126 m	Subfurcaten-Oolith (Sf)
	130,5 m		Ostreenkalk-Formation (bj2)
		126-130 m	Humphriesi-Oolith (Huq)
		170 m	Wedelsandstein-Formation (bj1)
		168,5-170 m	Sowerbyi-Oolith (Sy)
	193,5 m		Ludwigienton-Formation (al2)
		179-182 m	Staufensis-Bänke (St)

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

407 m	328 m	Opalinuston-Formation, (al1)	[nach (γ-log 327 m)]
	193,5-194,5 m	Comptumbank	
		Unterjura (ju)	
	331 m	Jurensismergel-Formation (tc2)	[nach (γ-log 330 m)]
	343,5 m	Posidonienschiefer-Formation (tc1)	
	359 m	Amaltheenton-Formation (pb2)	[nach (γ-log 358,5 m)]
	364 m	Numismalismergel-Formation (pb1)	
	391 m	Obtususton-Formation (si2)	
	364-365 m ?	Obliquabank (Oq)	
	367,5-368,5 m ?	β-Bank (Be)	
	390,5-391 m	Muscheltrümmerbank	
	395 m	Arietenkalk-Formation (si1)	
	394,5-395 m	Kupferfelsbank (Kf)	
	401 m	Angulatenton-Formation (he2)	
558 m	396,5 m	Angulatensandstein (AS)	[nach γ-log]
	400-401 m	Oolithenbank (Oo)	
	407 m	Psilonotenton-Formation (he1)	
	406-407 m	Psilonotenbank (P)	
	Mittelkeuper (km)		
	443 m	Knollenmergel-Formation (km5)	
	452 m	Stubensandstein-Formation (km4)	
	468 m	Bunte Mergel-Formation (km3)	
	455 m	Kieselsandstein ?	
	- 475,5 m	Schilfsandstein-Formation (km2)	
	468-470 m	Hauptsteinmergel	
	472-475,5 m	Schilfsandstein (km2s)	
	558 m	Gipskeuper-Formation (km1)	
	- 490 m	Graue Estheriensichten (GES)	
570,7 m	- 503,5 m	Untere Bunte Estheriensichten (UBE)	
	502,5-503,5 m	Acrodus-Corbula-Horizont	[nach γ-log]
	- 533 m	Mittlerer Gipshorizont (MGH)	
	- 535,5 m	Bleiglanzbankschichten (BLS)	[nach γ-log]
	533-534,5 m	Bleiglanzbank	
	- 542 m	Dunkelrote Mergel (DRM)	
	- 546 m	Bochinger Horizont (BH)	[nach γ-log]
	544 m	Bochinger Bank	
	- 558 m	Grundgipsschichten (GI)	
	556,5 m	Dolomitische Bank	
	Unterkeuper (Lettenkeuper) (ku)		[nach γ-log]
	- 567 m	Oberer Unterkeuper (ku2)	
	558-558,5 m	Grenzdolomit	
	558,5-560,5 m	Grüne Mergel (GRM)	
	560,5-563 m	Gipshorizont des Unterkeupers	

		563-564,5 m	Linguladolomit (LD)
		565-566 m	Anoplophoradolomit (Ad) u. -sandstein (ADS)
		566,5-567 m	Anthrakonitbank (HAR)
	- 570,6 m	Unterer Unterkeuper (ku1)	
		567-568,5 m	Sandige Pflanzenschiefer (SPS)
		568,5 m	Albertibank (Ab)
		569-570 m	Estherienton (ES)
		570-570,6 m	Untere Dolomite (uDo)
626 m	Oberer Muschelkalk (mo)		
	- 604 m	Obere Hauptmuschelkalk-Formation (mo)	
		- 586 m	Trigonodusdolomit (mo2D) 582-588 m Dögginger Oolith (Doo), ab 586 m überwiegend kalkig
		- 604 m	Plattenkalk (mo2P)
	- 626 m	Untere Hauptmuschelkalk-Formation (mo1)	
		624-626 m	Liegendoolith (Loo)
644 m	Mittlerer Muschelkalk (mm), Obere Dolomit-Formation (mmDo)		

3.2 **Großräumiges Strömungssystem**

Die regionale Verteilung der Grundwasserdruckhöhen im Oberen Muschelkalk zeigt Abbildung 4. Danach befindet sich der Bereich Tuttlingen in einer westlichen Ausbuchtung der lang gestreckten, vom Raum Konstanz bis in den Raum Stuttgart, quer zu allen oberirdischen und unterirdischen Entwässerungssystemen verlaufenden Potentialdepression (VILLINGER 1988, STÖBER & VILLINGER 1997). Die Vorflutverhältnisse für das auffallend niedrige hydraulische Potential von 324,4 m NN in der Geothermiebohrung Tuttlingen sind bislang nicht untersucht. Als Neubildungsgebiete des Tuttlinger Thermalwassers kommen der Ausstrichbereich der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalkes, der Obere Muschelkalk und der Unterkeuper im Albvorland etwa 30 km nordwestlich bis westsüdwestlich von Tuttlingen und der von Jura- und Molasseablagerungen überdeckte Bereich südwestlich und südlich von Tuttlingen in Frage (vgl. Abbildungen 3 und 4). Eine Zugehörigkeit zum Einzugsgebiet der Thermal- und Mineralbrunnen von Stuttgart-Bad Cannstatt über diese Potentialdepression ist zu vermuten.

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

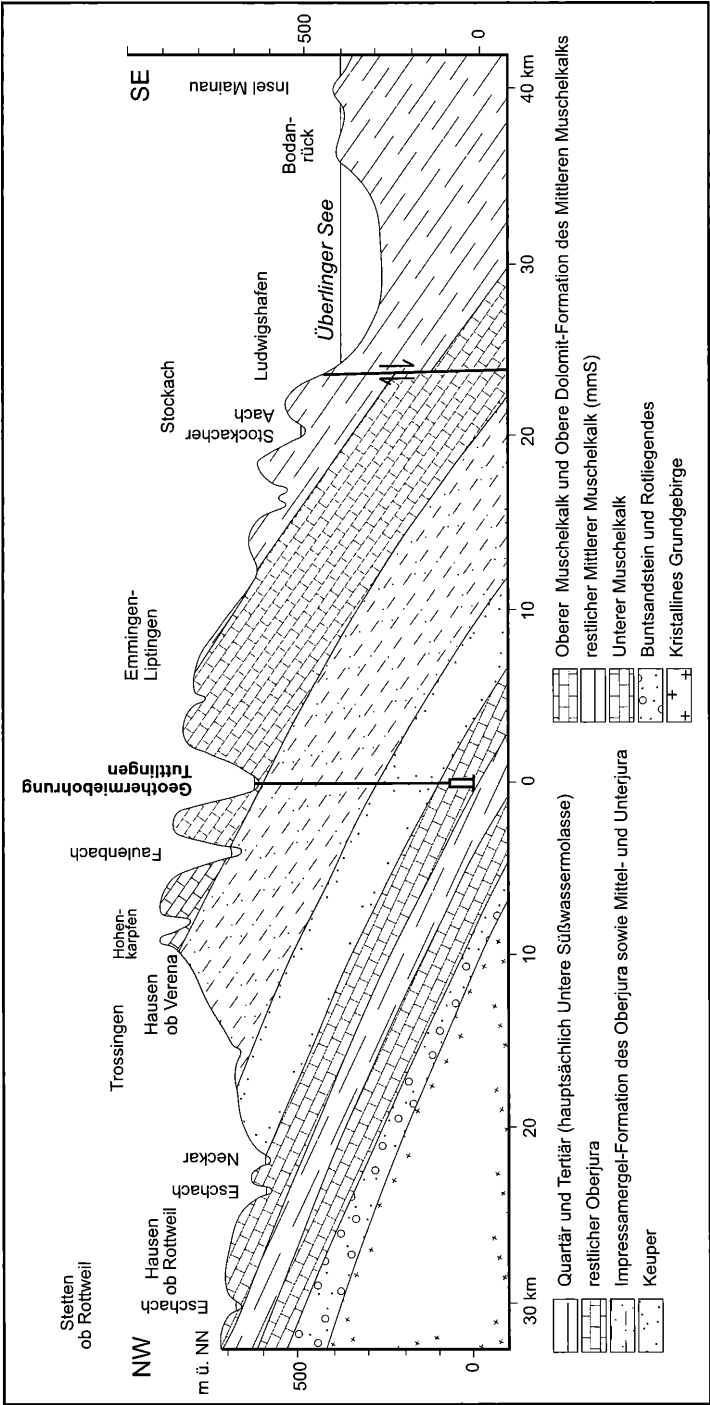


Abb. 3: Schematischer hydrogeologischer Schnitt von Rottweil zum Bodensee.

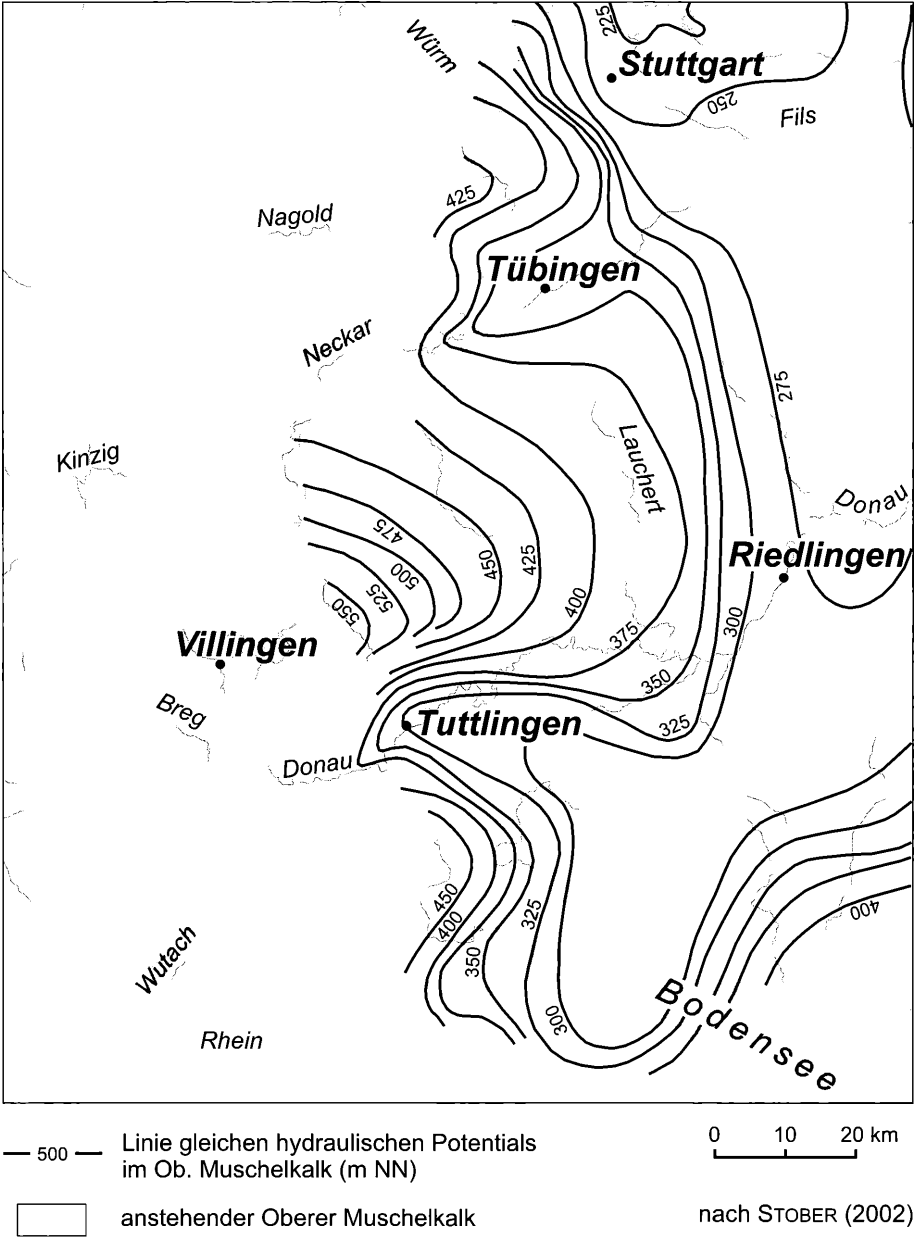


Abb. 4: Potentiallinien der Grundwasserdruckhöhen im Oberen Muschelkalk.

3.3 Pumpversuche

3.3.1 Pumpversuch 23.10.-18.11.1998

Ein erster Pumpversuch wurde, untergliedert in einen Stufenpumpversuch mit Wiederanstieg und einen Leistungs-Pumpversuch mit Wiederanstieg, nach Abschluss der Ausbauarbeiten vom 23.10. bis zum 18.11.1998 vom Büro für Geotechnik GÖRITZ, Filderstadt, durchgeführt. Der Wasserstand in der Bohrung stellte sich beim Wiederanstieg nach dem Stufenpumpversuch 0,39 m höher ein als vor Pumpbeginn. Dieser Wasserstand stellte sich auch nach dem Leistungspumpversuch ein.

Tab. 2 Betriebsplan des Stufen- und Leistungspumpversuches 23.10.-18.11.1998.

	Datum, Uhrzeit	Dauer (Std:Min)	Wasser- stand (m u. MP)	Absenkung (m u. RWSP)	Tempe- ratur (° C)	elektrische Leitfähigkeit (µS/cm, 25 °C)
Ruhewasser- spiegel	23.10.1998, 5:25		318,66	0,00		
Stufenpump- versuch 0,75 l/s	bis 24.10.1998, 5:30	24:05	319,30	0,64	42,7	1378
1,39 l/s	bis 25.10.1998, 5:30	24:00	319,90	1,24	44,1	1353
1,99 l/s	bis 26.10.1998, 5:30	24:00	320,74	2,08	45,0	1311
2,80 l/s	bis 28.10.1998, 13:15	55:45	321,71	3,05	46,0	1310
Wiederanstieg	bis 30.10.1998, 12:34	47:19	318,27	-0,39		
Ruhewasser- spiegel	30.10.1998, 12:34		318,27	0,00		
Leistungs- pumpversuch 2,71 l/s	bis 13.11.1998, 13:00	336:26	322,16	3,89	47,2	1300
Wiederanstieg	bis 18.11.1998, 12:45	119:45	318,27	0,00		

3.3.2 Langzeitpumpversuch 17.12.1998-13.05.1999

Da die Ergiebigkeit und die Temperatur des Thermalwassers beim ersten Pumpversuch wesentlich höher waren als erwartet, wurde ein für die wasserrechtliche Erlaubnis vom 30.08.2000 maßgebender Langzeitpumpversuch (Aquifertest) durchgeführt.

Tab. 3 Betriebsplan des Langzeitpumpversuches 17.12.1998-13.05.1999, Pumpversuch LGRB-Nr. 01491.

Pumpzeitraum	17.12.1998, 17:15 Uhr - 23.03.1999, 10:55 Uhr
Pumpdauer	95 Tage, 17 Stunden, 40 Minuten
Wiederanstiegmessung	23.03.1999, 10:55 Uhr - 13.05.1999, 23:30 Uhr
Dauer der Wiederanstiegmessung	51 Tage, 12 Stunden, 35 Minuten
Ruhewasserspiegel (m unter Messpunkt, MP)	318,40
Wasserspiegel bei Pumpende (m unter MP)	327,10
Wasserspiegel nach Wiederanstieg (m unter MP)	320,13
maximale Absenkung (m)	8,70
Fördermenge Q (l/s)	3,4

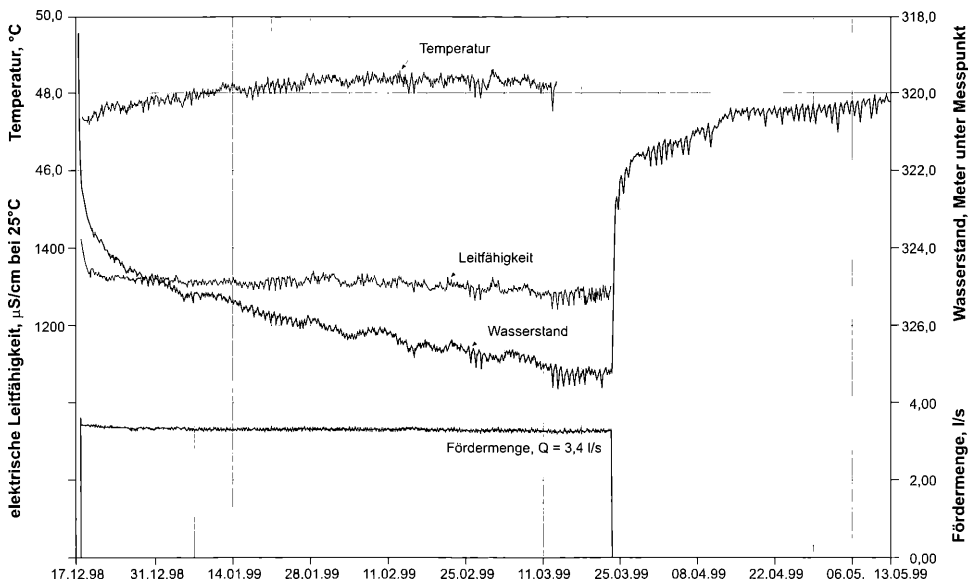


Abb. 5: Betriebsplan des Langzeitpumpversuches Geothermiebohrung Tuttlingen, 17.12.1998-13.05.1999 mit Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur.

Während des Abpumpens stellte sich eine relativ kontinuierliche Absenkung des Druckwasserspiegels in der Geothermiebohrung ein (Abb. 5). Mit der konstanten Förderung von 3,4 l/s wurde eine im Vergleich zur 326 m hohen Wassersäule geringe Absenkung von 8,7 m erzeugt. Ein stationärer Zustand stellte sich jedoch nur annähernd ein (Bericht Firma GÖRITZ). Bei der halblogarithmischen Darstellung des Absenkungsverlaufes deutet sich nach einer Pumpzeit von etwa 2 Monaten eine hydraulische Grenze an (Abb. 6). Der Pumpversuch zeigt, dass eine kontinuierliche und langfristige Entnahme von 3 – 4 l/s den oberen Grenzwert für die Dauerergiebigkeit des Aquifers darstellt.

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

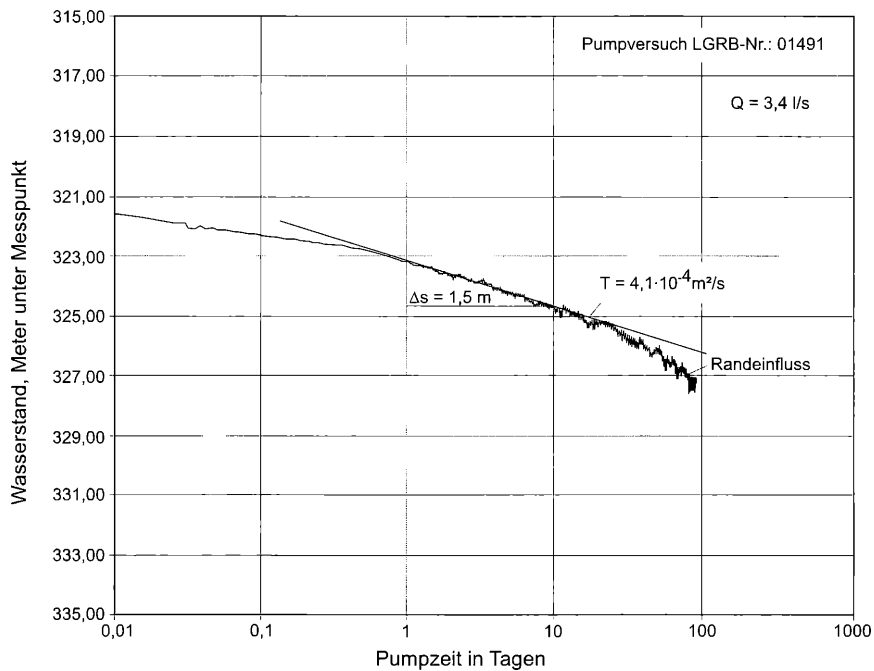


Abb. 6: Langzeitpumpversuch Geothermiebohrung Tuttlingen, 17.12.1998-13.05.1999, halblogarithmische zeitliche Darstellung der Absenkung.

Nach der halblogarithmischen zeitlichen Auswertung des Pumpversuches nach COOPER & JACOB (1946) beträgt die Transmissivität $T = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Abb. 6). Diese relativ hohe Transmissivität des Kluft- bzw. Karstaquifers im Oberen und Mittleren Muschelkalk deutete sich bereits beim Abteufen der Bohrung an, als Spülverluste bis 23 l/s auftraten (siehe Abschnitt 2).

Die ermittelte Transmissivität ist etwas geringer als im Oberen Muschelkalk der Geothermiebohrungen von Bad Urach ($T = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, STÖBER 2005, VILLINGER 1982), aber deutlich höher als in den Muschelkalk-Erdöl/Erdgasbohrungen in Oberschwaben ($T = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, STÖBER & VILLINGER 1997).

Die Reaktionen des Druckwasserspiegels auf die Gezeiten betragen, wie Datenloggeraufzeichnungen während der Pumpversuche belegen, etwa 0,3 bis 0,6 m, auf den Luftdruck bei starken Luftdruckschwankungen in der Größenordnung von etwa 0,2 m.

3.4 Temperatur

Die **Temperatur** des geförderten Grundwassers wurde während des Pumpversuches kontinuierlich mit Datenlogger gemessen. Der Temperaturverlauf während des Langzeitpumpversuches (Pumpversuch LGRB-Nr.: 01491) ist in Abb. 5 aufgetragen. Von Pumpbeginn bis Ende Januar 1999 stieg die Wassertemperatur, bedingt durch die fortlaufende Erwärmung der Steigrohre und der Verrohrung, von 47,3 °C auf etwa 48,4 °C an und verblieb bis

Pumpende relativ unverändert bei etwa 48,4 °C. Die ebenfalls durchgehend mit Datenloggern erfasste **spezifische elektrische Leitfähigkeit** stellte sich bereits 2 Tage nach Pumpbeginn mit relativ konstanten Werten im Bereich 1300 bis 1320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ein.

Ein Temperaturlog in der Wassersäule der Geothermiebohrung (ohne Pumpbetrieb) hat die Firma BLM, Gotha, am 12.10.1998 gefahren (vgl. Abb. 2). Dabei haben die Temperaturwerte vom Ruhewasserstand bei 318 m u. MP kontinuierlich von 26,2 °C auf 46,2 °C in 571,8 m Teufe zugenommen. Bis zur Endteufe wurden Temperaturschwankungen zwischen 44 und 45 °C verzeichnet. Die Frage, warum die Werte des Temperaturlogs in der Wassersäule um etwa 2 °C niedriger als während des Langzeitpumpversuches sind, bleibt offen, da keine Eichmessungen vorliegen. Möglicherweise sind diese Temperaturdifferenzen messtechnisch bedingt.

Das Grundwasser in der Geothermiebohrung Tuttlingen zeichnet sich durch eine hohe Temperatur von 48,4 °C aus. Bei Annahme eines durchschnittlichen geothermischen Gradienten von 3,0 °C pro 100 m wären bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C in Tuttlingen Wassertemperaturen von etwa 27 °C, höchstens etwa 30 °C, zu erwarten.

Die Geothermiebohrung liegt somit im Bereich einer geothermischen Anomalie. Ursache ist vermutlich ein erhöhter geothermischer Gradient im Zusammenhang mit dem tertiären Hegauvulkanismus. Die nächstgelegenen Hegauvulkane, wie der Hewenegg, liegen in nur etwa 10 Kilometer Entfernung von der Geothermiebohrung. Die Thermalwassertemperatur von über 60 °C im Oberen Muschelkalk der Temperaturanomalie von Bad Urach wird ebenso auf einen erhöhten geothermischen Gradienten im Kontext mit dem tertiären Vulkanismus im Raum Bad Urach–Kirchheim zurückgeführt (VILLINGER 1982).

Unwahrscheinlich ist, dass die Bohrung eine Störungszone durchfahren hat, an der das Thermalwasser aus größeren Tiefen aufsteigt. Dagegen spricht einmal, dass im Untersuchungsbereich keine bedeutenden Störungen bekannt sind und auch mit geophysikalischen Methoden nicht lokalisiert werden konnten (siehe Abschnitt 1). Auch die chemische Beschaffenheit und die relativ geringe Mineralisierung sind typisch für Grundwässer aus den Mineralwasserstockwerken des Oberen Muschelkalks und des Unterkeupers (siehe Abschnitt 3.5).

3.5 Hydrochemische Untersuchungen

Chemische Analysen des Tuttlinger Thermalwassers liegen aus der Zeit des Pumpversuches 23.10. bis 18.11.1998 und des Langzeitpumpversuches 17.12.1998 bis 13.05.1999 vor, darunter eine Heilwasser-Anerkennungsanalyse vom 09.11.1998. Alle chemischen Analysen führte das Institut Prof. Dr. Jäger, Tübingen durch.

Die in der **Mineral- und Tafelwasserverordnung** angegebenen Grenzwerte des genutzten Wassers der Geothermiebohrung Tuttlingen werden nicht erreicht bzw. nicht überschritten. Gemäß den Begriffsbestimmungen – Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen – des Deutschen Heilbäderverbandes e.V. und des Deutschen Tourismusverbandes e.V. vom 13.10.1998 sind für die Charakterisierung als Heilwässer die dominierenden Hauptionen (vgl. Tab. 4), welche mit mindestens 20 % an der Äquivalentkonzentration beteiligt sind, namenswirksam. Hauptbestandteile sind bei den Kationen somit Calcium (70,5 mmol (eq) %) und Magnesium (26,4 %), bei den Anionen Sulfat (77,1 %) und Hydrogenkarbonat (20,7 %). Der Natriumgehalt von 5,7 mg/l (1,6 %) und der Chloridgehalt von 5,9 mg/l (1,0 %) sind gering. Der in den Begriffsbestimmungen für fluoridhaltige Heilwässer genannte Mindestwert von 1,0 mg/l (1,1 %) wird mit

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

3,4 mg/l deutlich überschritten. Aufgrund der 20 °C deutlich übersteigenden Temperatur von 48,4 °C am Auslauf handelt es sich um eine Therme bzw. um ein Thermalwasser. Das Wasser kann im Sinne der Begriffsbestimmungen als

fluoridhaltiges Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogenkarbonat-Mineral-Thermalwasser bezeichnet werden.

Tab. 4 Chemische und physikalische Parameter des Wassers der Geothermiebohrung Tuttlingen. Quelle: Institut Prof. Dr. Jäger, Tübingen

	Mittelwert von 6 Analysen, entnommen vom 03.11.1998 bis 18.03.1999	Analyse vom 09.11.1998
Temperatur (°C)	47,1	46,9
Trübung (TE/F)		0,56
spezif. elektr. LF ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 °C)	1300	1301
Summe der gelösten Mineralstoffe (mg/l), mit SiO_2	1102	1100
pH-Wert	7,0	6,9
Karbonathärte (°dH)	9,2	9,2
Gesamthärte (°dH)	42,4	41,9
Oxidierbarkeit (KMnO_4 , mg/l O_2)		1,2
O_2 (mg/l)	1,5	1,1
freie CO_2 (mg/l)		24,8 (26.10.1998)
Ca^{2+} (mg/l)	222	218
Mg^{2+} (mg/l)	49,1	49,6
Na^+ (mg/l)	5,8	5,7
K^+ (mg/l)	8,4	8,5
Eisen (mg/l)	0,15	0,16
Mn (mg/l)		0,01
NH_4^+ (mg/l)	0,07	0,07
Al^{3+} (mg/l)		0,015
Cl^- (mg/l)	5,9	5,9
SO_4^{2-} (mg/l)	589	591
NO_3^- (mg/l)	< 0,5	< 0,5
HCO_3^- (mg/l)	201	201
SiO_2 (mg/l)		17,2 (26.10.1998)
PO_4^{3-} (mg/l)		0,01
As (mg/l)	0,14	0,14
F^- (mg/l)	3,5	3,4
Al^{3+} (mg/l)		0,015
H_2S (mg/m ³)		88

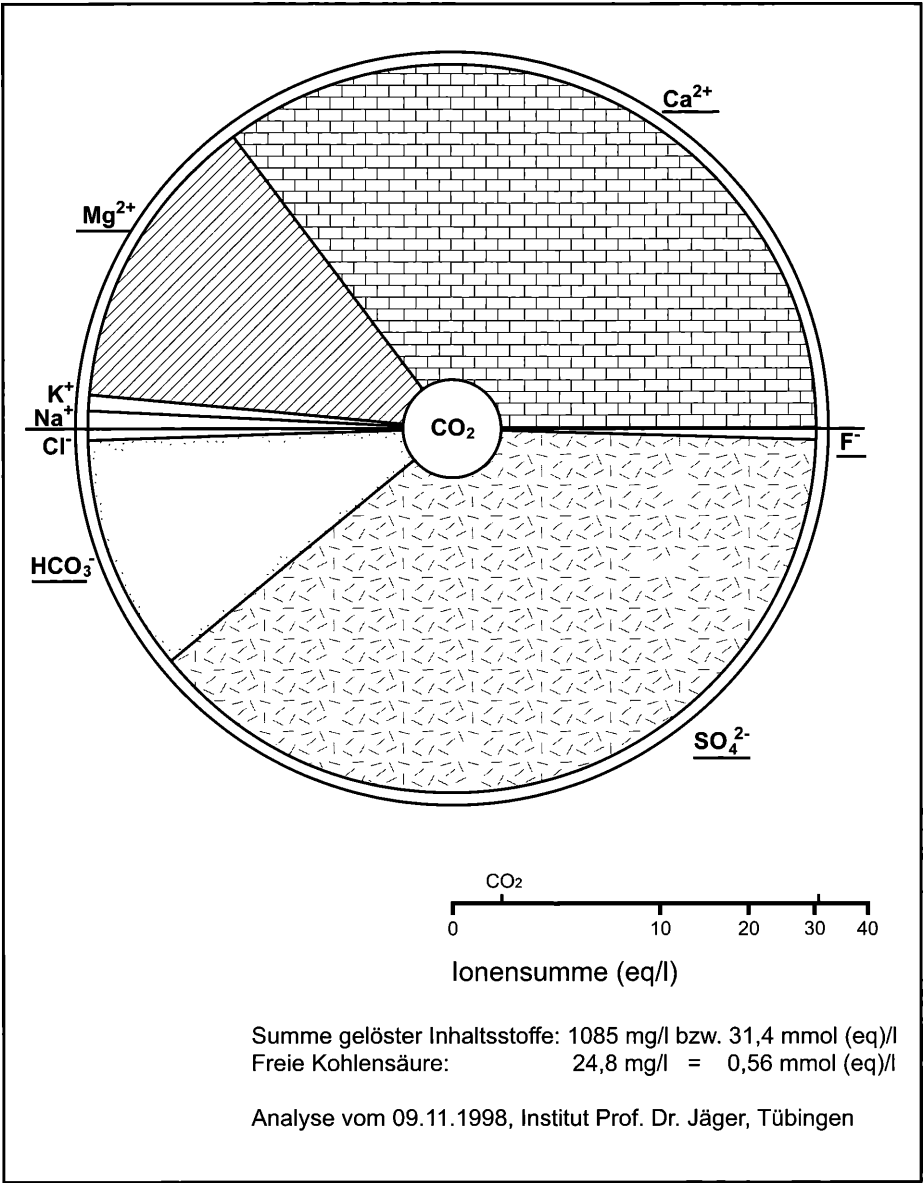


Abb. 7: Kreisdiagramm der Grundwasserbeschaffenheit nach UDLUFT, Geothermiebohrung Tuttlingen.

Das Wasser der Geothermiebohrung Tuttlingen weist in den Proben aus den Jahren 1998 und 1999 eine Konstanz der Mineralisation und auch der Isotopengehalte (vgl.

Abschnitt 3.6) auf. Gehalte an organischen und anorganischen anthropogenen und geogenen Schadstoffen sind mit Ausnahme der erhöhten Arsenwerte nicht nachweisbar. Die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers ist einwandfrei. Im untersuchten Thermalwasser sind außer Spuren von Antimon, Barium, Nickel, Zinn und Aluminium keine weiteren Spurenelemente nachweisbar.

Der Parameter Arsen lag bei Beginn des Pumpversuches Oktober/November 1998 bei 0,31 mg/l deutlich über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 0,01 mg/l) und auch über dem der Mineral- und Tafelwasserverordnung (MinTafwV, 0,05 mg/l). Im Verlauf der Wasserentnahme sank der Gehalt innerhalb von etwa 8 Tagen auf 0,17 mg/l. Der Arsenwert stabilisierte sich im weiteren Verlauf des Pumpversuches auf etwa 0,15 mg/l (siehe Bericht FRITZ Planung GmbH 1999). Die Arsen-Konzentrationen haben nach Inbetriebnahme der Geothermiebohrung weiter abgenommen und liegen heute bei etwa 0,02 mg/l.

Das Thermalwasser der Geothermiebohrung wird vor der Badewassernutzung durch Eisenflockung und Entarsenierung aufbereitet.

Das Wasser ist aus korrosionstechnischer Sicht unproblematisch. Günstig für die Nutzung als Thermalwasser ist auch der sehr niedrige Methangehalt von 0,015 bis 0,022 Nml/l. Der Kohlendioxidgehalt liegt bei 19,9 bis 20,0 Nml/l, der Stickstoffgehalt bei 22,9 bis 26,5 Nml/l.

Die Nachweise der im geförderten Grundwasser gelösten Gase Methan (CH_4) und Schwefelwasserstoff (H_2S) sind ein Hinweis auf stark reduzierende geochemische Verhältnisse im Grundwasserleiter. Im Widerspruch dazu stehen das vor Ort gemessene Redoxpotential (E_H -Wert von 250 bis 270 mV) sowie deutliche Spuren von Sauerstoff (0,3 bis 1,8 mg/l) im Grundwasser. Der Sauerstoff sowie der E_H -Wert werden daher für das erschlossene Thermalwasser als nicht repräsentativ angesehen. Als Ursache wird ein während der Probenahmen auftretender Zutritt atmosphärischer Luft durch den Pumpbetrieb vermutet. Im Falle einer Zumischung einer jungen, oberflächennahen und damit tritium- und sauerstoffhaltigen Grundwasserkomponente müsste ein Tritiumgehalt von etwa 2 bis 3 TU gemessen werden. Dies kann aber weitgehend ausgeschlossen werden, da Tritium praktisch nicht nachgewiesen werden konnte (siehe Abschnitt. 3.6).

3.6 Isotopenhydrologische Untersuchungen

3.6.1 Zeitliche Konstanz der Isotopenwerte

Die gemessenen Isotopenwerte zeigen ebenso wie die chemischen und physikalischen Parameter eine zeitliche Konstanz während der oben genannten Pumpversuche (vgl. Tab. 5). Eine Veränderung des Grundwasserkörpers durch Zustrom unterschiedlicher (z.B. oberflächennaher) Grundwasserkomponenten im Verlauf der Pumpversuche ist nicht feststellbar. Durch den Förderbetrieb an der Geothermiebohrung und die damit verbundenen hydraulischen Veränderungen im Grundwasserleiter werden keine neuen Fließwege, wie z.B. inaktive Kluftsysteme aktiviert.

3.6.2 Grundwasseraltersstruktur

Das im Verlauf der Pumpversuche beprobte Thermalwasser ist bis auf eine Probe zu Beginn des Aquifertestes (einstufiger 14-tägiger Pumpversuch) praktisch tritiumfrei und

weist dementsprechend ein Alter von mehr als 50 Jahren auf. Danach ist das Tuttlinger Thermalwasser gut gegen Beeinflussungen durch Oberflächenwasser oder junge oberflächennahe Grundwässer geschützt.

Tab. 5 Isotopenhydrologische Parameter des Wassers der Geothermiebohrung Tuttlingen, Quelle: Firma Hydroisotop, Schweitenkirchen

	Probenahme						
	03.11.1998	06.11.1998	09.11.1998	29.01.1999	01.03.1999	22.03.1999	07.11.2002
Tritium (TU)		0,9 ± 0,7	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 2,0
δ ¹⁸ O (‰ VSMOW)	-10,28	-10,23	-10,27	-10,27	-10,21	-10,20	
δ ² H (‰ VSMOW)	-72,4	-72,1	-71,8	-72,9	-71,7	-72,3	
δ ¹³ C-DIC (‰ VPDB)			-8,3	-8,6	-9,3	-9,6	
¹⁴ C-DIC (%-mod.)			1,8 ± 0,6	1,6 ± 1,2	< 1,0	< 1,0	
²²² Rn (Bq/kg)			37,6 ± 2,6	39,3 ± 2,2	40,8 ± 2,6	42,0 ± 2,5	42,8 ± 3,8
²²⁶ Ra (Bq/kg)			0,27 ± 0,0	0,25 ± 0,0	0,26 ± 0,0	0,26 ± 0,0	0,19 ± 0,03
²²³ Ra (Bq/kg)			0,076±0,006	0,072±0,005	0,074±0,005	0,074±0,005	< 0,04
Q *)			6,1	6,3	6,2	6,2	

*) [$Q = (^{223}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}) / 0,046$]

Anhand der Auswertung der Edelgasgehalte von Neon (Ne), Argon (Ar), Krypton (Kr) und Xenon (Xe) durch HYDROISOTOP kann die mittlere Jahrestemperatur (Bodentemperatur) zur Zeit der Grundwasserneubildung (Edelgastemperatur) berechnet werden. Im erschlossenen Thermalwasser wurde für eine Höhenlage von etwa 800 m NN eine Edelgastemperatur von 2,7±1,0 °C ermittelt, die deutlich unter der heutigen mittleren Jahrestemperatur bei Tuttlingen von etwa 7,5 °C liegt. Anhand der aus anderen Edelgastemperaturen für Mitteleuropa bekannten Erniedrigung der Edelgastemperatur um 5,5 °C am Ende des Pleistozäns, kann der Anteil der pleistozänen Komponente im Tuttlinger Thermalwasser auf deutlich über 70 Prozent geschätzt werden.

Auch die Interpretation der Kohlenstoffisotopie (δ¹³C und ¹⁴C) kann diese Alterszusammensetzung des Thermalwassers bestätigen. Zwar weisen die geringen bis nicht nachweisbaren Kohlenstoff-14-Gehalte auf ein noch höheres Alter hin, aber die relativ „schweren“ δ¹³C-DIC-Werte zeigen zusammen mit den erhöhten Gehalten von Hydrogenkarbonat und Kohlenstoffdioxid eine Wasser-Gesteins-Wechselwirkung mit karbonathaltigen Sedimenten des Aquifers an. Dadurch kommt es zur Aufhärtung des Grundwassers und zu Isotopen-Austauschprozessen. Durch eine derartige „Verdünnung“ des ¹⁴C-Gehaltes wird ein höheres, z.B. rein pleistozänes Grundwasserbildungsalter, vorgetäuscht.

3.6.3 Herkunft des Thermalwassers

Das Tuttlinger Thermalwasser der Geothermiebohrung zeigt mit einem mittleren Sauerstoff-18 (δ¹⁸O)-Wert von -10,24 ‰ und einem Deuterium (δ²H)-Wert von -72,2 ‰ eine Isotopensignatur, die entsprechend der Lage auf der Niederschlagsgeraden auf eine meteo-

Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen

rische Bildung des Grundwassers hinweist (Abb. 8). Der Einfluss von Austauschprozessen mit dem Sauerstoff-18 der Gesteinsminerale, die bei hohen Temperaturen auftreten können, ist nicht zu erkennen.

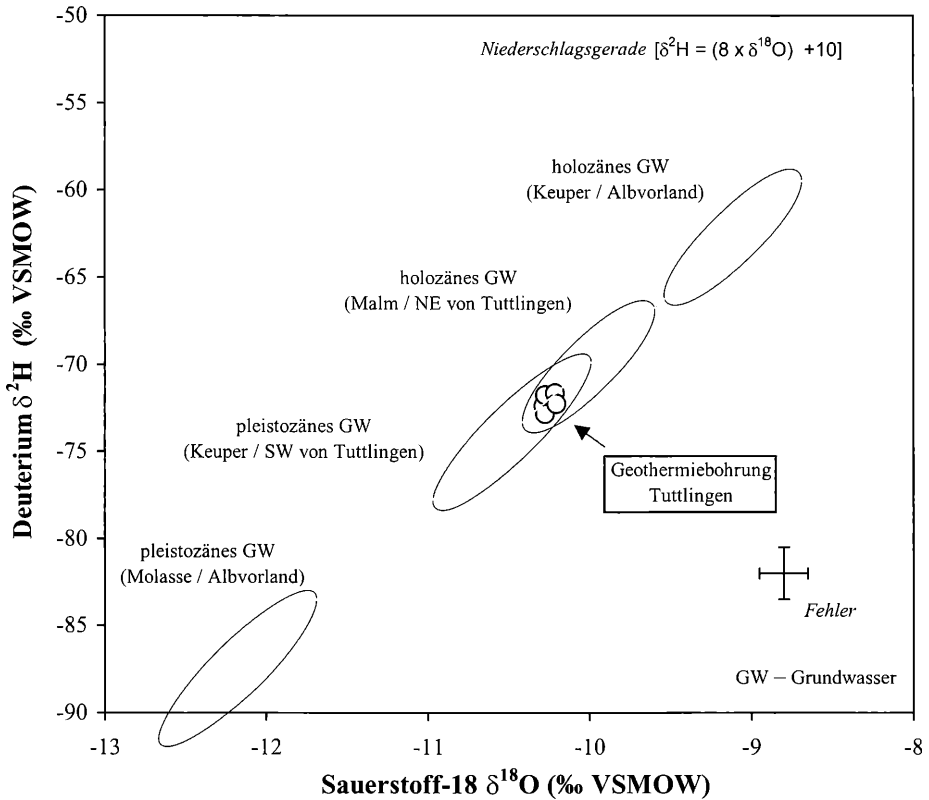


Abb. 8: Sauerstoff-18/Deuterium-Diagramm. Mit eingezeichnet sind die Bereiche typischer Grundwassersignaturen der Region.

Mit dem untersuchten Thermalwasser vergleichbare $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte finden sich in holozänen Grundwasserproben des Oberjura-Aquifers nahe Tuttlingen sowie in pleistozänen Grundwässern in größerer Entfernung westlich Tuttlingen, wo die Sedimente des Muschelkalks und des Keupers austreichen. Der geringe Unterschied im Wertebereich der altersmäßig unterschiedlichen Vergleichswässer resultiert vor allem aus der höheren topographischen Lage des Oberjuras bei Tuttlingen von 800 bis über 900 m NN. Eine lokale Thermalwasserbildung aus Wässern des Oberjuras infolge Durchsickerung der mächtigen und praktisch undurchlässigen Mittel- und Unterjuragesteine kann ausgeschlossen werden.

Aus Abbildung 8 geht weiter hervor, dass sich die $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte des Thermalwassers deutlich gegenüber Isotopenwerten holozäner Keuper-Grundwässer der Region

unterscheiden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Edelgastemperaturen ist daher davon auszugehen, dass das in der Geothermiebohrung Tuttlingen geförderte Grundwasser überwiegend unter kalten klimatischen Bedingungen im Pleistozän neugebildet wurde.

Das Thermalwasser weist einen hohen Gehalt an Sulfat auf. Für die im Grundwasser vorkommenden Sulfatgehalte und daraus resultierende unterschiedliche Isotopensignaturen (Schwefel-34, Sauerstoff-18) sind folgende Ursprünge möglich:

sedimentär-evaporitisches Aquifermaterial (Gips- und Anhydritvorkommen)

Oxidation von sedimentären Sulfiden (Pyrit)

mehrfach ablaufende Redox-Vorgänge (Reduktion von Sulfaten, Reoxidation von Sulfiden und Schwefelwasserstoff)

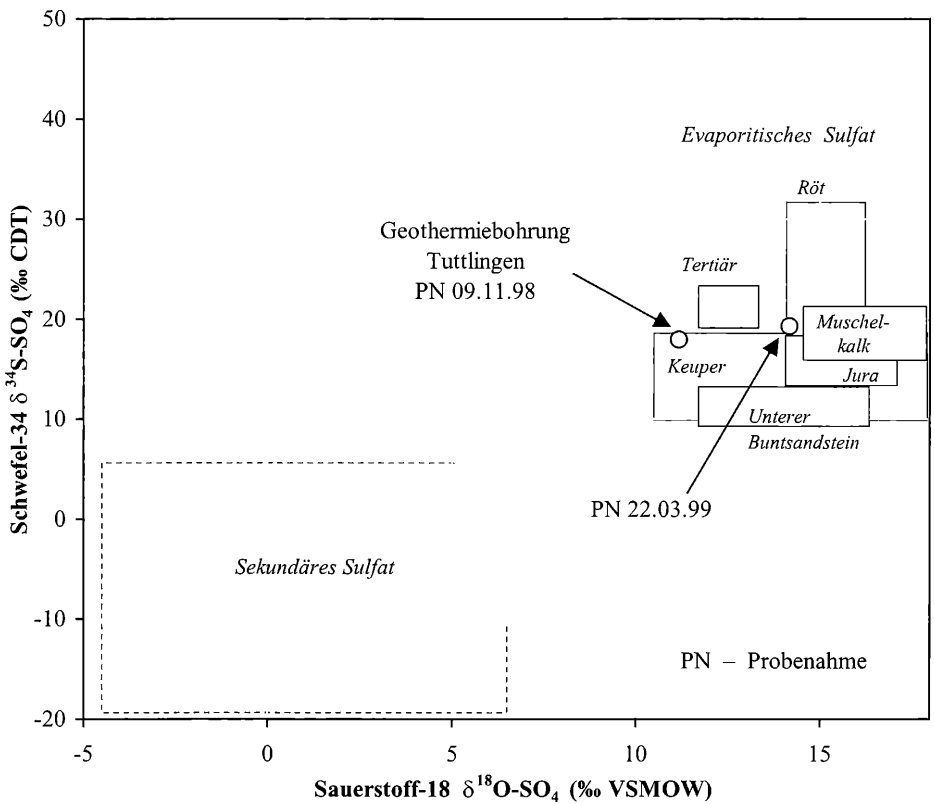


Abb. 9: Korrelationsdiagramm Schwefel-34 in Abhängigkeit vom Sauerstoff-18-Gehalt des gelösten Sulfates. Mit eingezeichnet sind die Bereiche typischer Sulfate mit Herkunftsbezeichnung.

Die Ergebnisse der $\delta^{18}\text{O-SO}_4$ und $\delta^{34}\text{S-SO}_4$ Isotopenuntersuchungen zeigen, dass das im Thermalwasser gelöste Sulfat hauptsächlich aus der Ablaugung von Evaporitsulfaten stammt. Hier kommen vor allem die Evaporite des Mittleren Muschelkalk oder des Gipskeupers in Frage, wobei die Isotopensignaturen eine bessere Übereinstimmung mit den Keuperals mit den Muschelkalk-Evaporiten zeigen (Abb. 9).

Die im Thermalwasser gemessenen ^{222}Rn -Aktivitätskonzentrationen (^{222}Rn) von bis zu 43 Bq/kg und die ^{226}Ra -Aktivitätskonzentrationen (^{226}Ra) von im Mittel 0,26 Bq/kg (vgl. Tab. 5) sind für das vergleichsweise gering mineralisierte Thermalwasser als hoch zu bezeichnen, sind aber aus Sicht der Strahlenhygiene als unbedenklich einzustufen. Die erhöhten Radon- und Radiumaktivitätskonzentrationen im Tuttlinger Thermalwasser lassen sich auf eine infolge der hohen Wassertemperatur erhöhte Wasser-Gesteins-Wechselwirkung sowie für das Aquifermaterial spezifisch hohe Uran- und Thoriumgehalte zurückführen. Beachtet man zusätzlich das Aktivitätsverhältnis $^{223}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$, so kann insbesondere auf erhöhte Gehalte von Thorium im Aquifergestein geschlossen werden. ^{223}Ra und ^{226}Ra sind Zerfallsprodukte von ^{235}U bzw. ^{238}U . Die Zerfallsreihe von ^{238}U enthält u.a. das langlebige Isotop ^{230}Th , während die Zerfallsreihe von ^{235}U nur kurzlebige Thoriumisotope aufweist. Ist nun das $^{223}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ -Verhältnis stark erhöht gegenüber dem natürlichen konstanten Wert des Mutterisotopverhältnisses $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 0,046$, d.h. ist $Q \gg 1$, so zeigt dies hohe Thoriumgehalte an. Im Thermalwasser werden Q-Werte von im Mittel 6,2 gemessen (Tab. 5). Derart hohe Q-Werte werden in „Muschelkalk-Wässern“ aufgrund der geringen Gehalte von Uran und Thorium in Muschelkalksedimenten nicht beobachtet, dagegen sind sie typisch für Grundwässer aus Keupersedimenten oder auch aus kristallinen Gesteinen.

Auf eine überwiegende Herkunft des Grundwassers aus den Keupersedimenten dürften außer den Sulfat- und Radiumisotopen auch die in Kap. 3.5 angesprochenen erhöhten Arsenkonzentrationen deuten.

4. Thermalwassernutzung als Freizeit- und Erlebnisbad

Die Landesbergdirektion des LGRB hat am 30.08.2000 den Stadtwerken Tuttlingen die wasserrechtliche Erlaubnis zur Dauerentnahme von Thermalwasser aus der Geothermiebohrung Tuttlingen erteilt. Die maximalen Fördermengen betragen:

- 3,5 l/s = 110.376 m³/Jahr
- 5,0 l/s = 12.960 m³/Monat
- 7,0 l/s = 4234 m³/Woche
- 7,0 l/s = 605 m³/Tag im Regelbetrieb
- 10,0 l/s = 864 m³/Tag, ausschließlich zum Befüllen des Thermalbades „TuWass“

Das am 17. Juni 2001 eröffnete Freizeit- und Thermalbad „TuWass“ firmiert unter Tuttlinger Bäder GmbH. Alleingesellschafter der Tuttlinger Bäder GmbH ist die Stadt Tuttlingen. Die Fördermenge betrug im Jahr 2002 67 793 m³ (entspricht 1,99 l/s), im Jahr 2003 68 095 m³ (entspricht 2,16 l/s), im Jahr 2004 76 718 m³ (entspricht 2,42 l/s).

Das Verfahren zur Anerkennung einer Heilquelle als „Staatlich anerkannte Heilquelle“ ist im Wassergesetz von Baden-Württemberg festgelegt und ruht auf drei Säulen:

Chemisches Gutachten zur Feststellung der Zusammensetzung des Wassers,
Balneologisches Gutachten zur Feststellung der medizinisch-therapeutischen Effizienz des Wassers,
Hydrogeologisches Gutachten zur Feststellung der natürlichen Reinheit und des Schutzes des Wassers.

Für die therapeutische Anwendung ergaben sich folgende Heilanzeigen:

Chronische Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems („Rheumatischer Formenkreis“),
Gelenkerkrankungen generell, speziell der unteren Extremitäten, Hüfte, Knie, Sprunggelenk sowie der Wirbelsäule
Postoperativ und nach Muskel-Skelett-Verletzungen,
Metabolisches Syndrom,
Übergewicht, Fettsucht,
Arterielle Durchblutungsstörungen (arterielle Verschlusskrankheit),
leichte bis mittelschwere Herzerkrankungen.

Kontraindikationen sind:

schwerer Bluthochdruck,
schwere Herzrhythmusstörungen,
mittelschwere und schwere Herzschwäche,
akute Infekte,
akute Thrombophlebitis.

Nach Vorlage der interdisziplinären Gutachten und der Heilwasseranalyse des Institutes Prof. Dr. Jäger (Probenahme 07.11.2002) wurde das Wasser der Geothermiebohrung Tuttlingen am 05. Mai 2003 vom Landratsamt Tuttlingen als Heilquelle staatlich anerkannt.

Die Wasserförderung erfolgt mit der in 467 m Tiefe an den GFK-Steigrohren installierten 3,26 m langen 6 " Unterwasserpumpe Typ Grundfos SP 17-36. Der Ruhewasserspiegel von 318 m unter Gelände liegt somit 149 m höher als die Pumpe. Die frequenzgesteuerte Unterwasserpumpe (Förderung etwa 3 l/s) erlaubt eine genaue Anpassung der Fördermenge an die Verbrauchsanforderung durch die Badewasseraufbereitung.

Aufgrund der relativ niedrigen Mineralisation des Thermalwassers und der problemlosen Handhabung hinsichtlich Korrosion und Geruchsbildung kann das Thermalwasser, entsprechend abgekühlt, für alle Thermalwasserbecken verwendet werden. Das Thermalwasser wird vor der Aufbereitung nacheinander in den Whirlpool mit Quelltopf mit 37 °C und in verschiedene Innen- und Außen-Thermalwasserbecken zur Entwärmung auf 33 °C geleitet. Es wird mittels folgender Stufen aufbereitet:

Eisenausflockung durch Druckbelüftung mit Luftsauerstoff,
Arsenadsorption an granuliertem Eisenhydroxid,
Chlor- und AOX-Entfernung durch Aktivkohlefilter.

Vor Ableitung des genutzten Thermalbadewassers in die Donau wird die noch vorhandene Wärme für Heiz- und Warmwasserbereitungszwecke über Wärmetauscher verwendet.

Danksagung

Ein ganz herzlicher Dank gilt Herrn Dr. W. Schloz (LGRB), der die Ergebnisse der Tuttlinger Geothermiebohrung anlässlich der im Sommer 2003 in Tuttlingen weilenden Stein-Reich-Geoausstellung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg in einem Vortrag einem interessierten Publikum präsentierte. Die Stadtwerke Tuttlingen (Ansprechpartner: Herr N. Gühr) haben wesentliche Daten zur Geothermiebohrung Tuttlingen zur Verfügung gestellt. Herrn A. Ziller und Herrn J. Crocoll (LGRB) sei für das Anfertigen der Abbildungen gedankt.

Eingang des Manuskripts: 04.10.2004

Angeführte Schriften

COOPER, H. H. & JACOB, C. E. (1946): A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Trans. amer. geophys. Union, 24 (4): 526-534; Washington D. C.

FRANZ, M. (2002): Geologie und Landschaft. - In: Landkreis Tuttlingen (Hrsg.): Kreis Tuttlingen. Geschichte, Gegenwart, Chancen: 56-74; Tübingen (Silberburg).

FRITZ Planung GmbH (1999): Geothermiebohrung Tuttlingen GB1, Bericht über die Bohrarbeiten und Testarbeiten, Bericht 63 Seiten, 13 Abb., 17 Tab., 17 Anl.; Bad Urach, 15.02.1999, Bearb.: Dipl.-Geol. I. RICKMANN. – [unveröff.]

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, GLA (1996): Hydrogeologisches Gutachten zur Thermal- oder Mineralwassererschließung, zur Nutzung von Erdwärme sowie zur möglichen Solung von Salzlagerstätten im Stadtbereich von Tuttlingen, Az.: 1173.01/96-4763 vom 26.06.1996, 13 S., 1 Anl., Bearb.: B.-M. KILGER. – [unveröff.]

GÖRITZ BÜRO für Geotechnik (1999): Geothermiebohrung Tuttlingen, Langzeitpumpversuch, Bericht vom 21.05.1999, 4 Seiten, 9 Anlagen.; Filderstadt, Bericht vom 21.05.1999, Bearb.: Dipl.-Geol. R. HAUSER. – [unveröff.]

HYDROISOTOP GmbH (1999): Isotopenhydrologische und gasphysikalische Untersuchungen am Grundwasser der Geothermiebohrung Tuttlingen, 16 S., 6 Abb., 7 Tab; Schweitenkirchen, Bericht vom 20.09.1999, Bearb.: Dr. K. OSENBRÜCK. – [unveröff.]

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG, LGRB (2000): Hydrogeologische Stellungnahme zum Antrag der Stadtwerke Tuttlinger auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis zur Entnahme und Nutzung von Thermalwasser aus der Geothermiebohrung Tuttlingen, Az.: 2143.01/00-4763 vom 25.06.2000, 12 S., 1 Anl., Bearb.: B.-M. KILGER. – [unveröff.]

- (2003): Hydrogeologische Stellungnahme zum Antrag der Tuttlinger Bäder GmbH auf staatliche Anerkennung des Thermalbrunnens „Tuttlingen 1“ als Heilquelle, Az.: 8914 // 02 7375 vom 15.01.2003, 4 S., Bearb.: B.-M. KILGER. – [unveröff.]
- STADTWERKE TUTTLINGEN GmbH: TuWass, Freizeit- und Thermalbad, Mühlenweg 1-5, 78532 Tuttlingen, <http://www.tuwass.de>
- STOBER, I. (2005): Die Geothermie-Tiefbohrung Urach 3. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 85, Stuttgart. – [in Druck]
- STOBER, I. & SCHLOZ, W. (2002): Hydrogeologie der tiefen thermalen Grundwasserleiter in Baden-Württemberg – Darstellung eines laufenden Projektes. – PPT-Vortrag an der 7. Geothermischen Fachtagung: 20 Jahre Tiefe Geothermie in Deutschland, Waren/Müritz.
- & VILLINGER, E. (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken. - Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., 37: 77-96, 5 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.
- UDLUFT, H. (1953): Über eine neue Darstellungsweise von Mineralwasseranalysen II. - Notizbl. Hess. Landesamtes Bodenforsch., 81: 53-63, 1 Taf.; Wiesbaden.
- VILLINGER, E. (1988): Oberer Muschelkalk. In BERTLEFF, B., JOACHIM, H., KOZIOROWSKI, G., LEIBER, J., OHMERT, W., PRESTEL, R., STOBER, I., STRAYLE, G., VILLINGER, E. & WERNER, J. (1988): Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg. - Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., 30: 59-64, 3 Abb.; Freiburg i. Br.
- (1982): Hydrogeologische Aspekte zur geothermischen Anomalie im Gebiet Urach-Boll am Nordrand der Schwäbischen Alb (SW-Deutschland). - Geol. Jb., Reihe C, 32: 3-41, 9 Abb., 9 Tab.; Hannover.

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): Grimm Bernhard, Franz Matthias, Kilger Bernd-Michel, Lorenz Gesine, Schmidt-Witte Helmut

Artikel/Article: [Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen 189-212](#)