

Geol. Bl. NO-Bayern	59 (2009)	Heft 1-4	Seite 197-214	Erlangen Dezember 2009
------------------------	--------------	----------	---------------	---------------------------

Tektonische Kontrolle des Einzugsgebietes der Bayreuther Thermalbohrungen (sowie der Brunnenfelder Lehen und Osterbrunnen)

von Klaus E. Helmkamp¹
mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen.

Zusammenfassung

Die bis maximal 1122 m abgeteufte Bayreuther Thermalbrunnen beziehen ihr Wasser überwiegend aus dem Mittleren Buntsandstein in rund 800 m Tiefe. Die Hydraulik (> 4 bar artesischer Überdruck), die Hydrochemie (typisches Buntsandstein-Wasser), die Fließrichtung (SE-NW), das Alter des Wassers (> 20 000 Jahre), sowie insbesondere die geologisch-tektonische Situation (»Bayreuther Trichter« mit begrenzenden Störungen und nordwestlichem Einfallen) bilden Vorgaben, die nur das ca. 30 km südöstlich gelegene Buntsandstein-Areal bei Eschenbach-Gräfenwöhr-Kaltenbrunn als Einzugsgebiet in Frage kommen lassen. Parallel dazu beziehen die im Benker Sandstein produktiven Brunnenfelder von Lehen und Osterbrunnen (beide mit artesischem Überlauf) ihr Wasser aus den ca. 12 km südöstlich gelegenen Ausstrichgebieten im Speinsharter Forst und bei Schlammersdorf.

Abstract

Groundwater production in the Bayreuth thermal wells, drilled to a maximum depth of 1122 m, derives mainly from the Middle Buntsandstein aquifer at about 800 m depth. Hydraulics (> 4 bar artesian pressure), hydrochemistry (typical for Buntsandstein waters) flow direction (SE-NW), the age of the water (> 20 000 years) as well as the structural geologic situation (»Bayreuth Funnel« with confining/converging faults and NW dipping strata) are the main hydrogeological constraints. They all point to an area of outcropping Buntsandstein beds near Gräfenwöhr, about 30 km to the SE, as the main catchment area. As a parallel case at a higher stratigraphic level (Keuper Beds), the artesian groundwater wells at Osterbrunnen and Lehen (SE of Bayreuth) derive their water from the outcropping Benker Sandstein aquifer about 12 km SE of the wells near Speinshart and Schlammersdorf.

¹Im Gehaig 22, D-95463 Bindlach — helmkampf@t-online.de

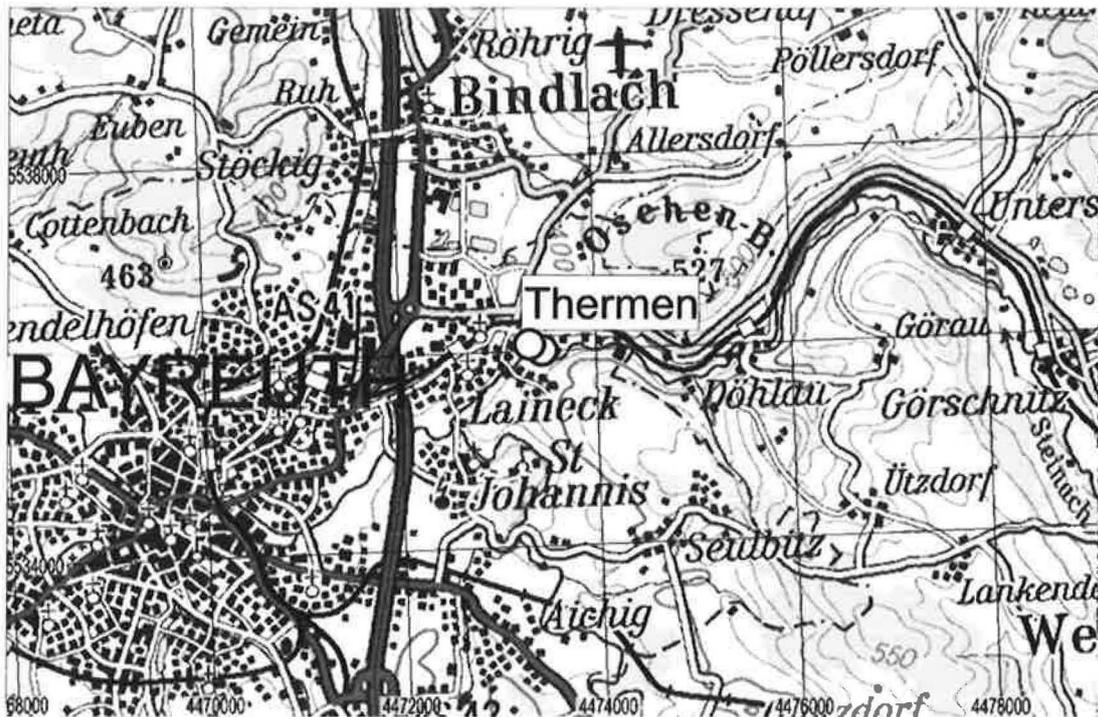


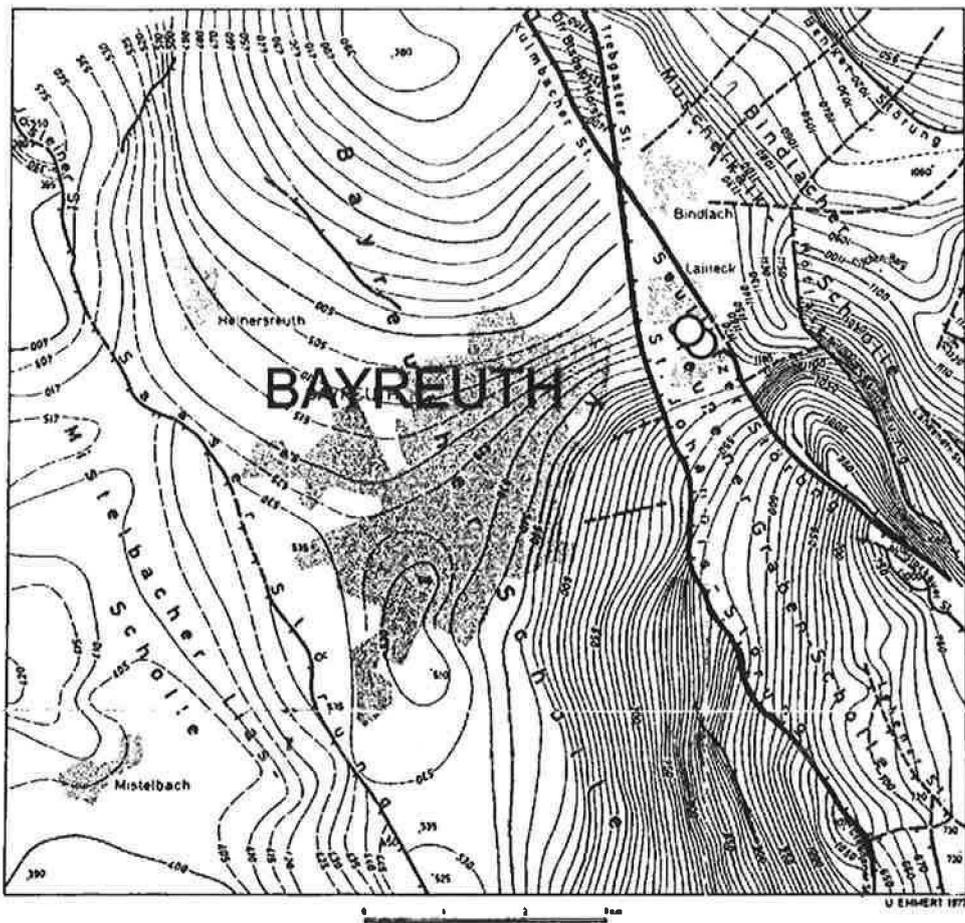
Abb. 1. Lage der Bayreuther Thermen.

1. Vorbemerkungen

Ziel der hier zugrunde liegenden Untersuchungen war es, aus bekannten und in vorausgehenden Projekten erarbeiteten Daten ein schlüssiges hydrogeologisches Konzept für die Bayreuther Thermalbohrungen Friedrichstherme und Wilhelminentherme (Abb. 1) abzuleiten, d.h. insbesondere Herkunft und Fließwege des geförderten Grundwassers der Akratotherme zu klären. (Untersuchung in 2004 durch den Verfasser im Namen der Piewak & Partner GmbH und im Auftrag der BEW, Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs-GmbH).

2. Geologischer Rahmen und Schichtenfolge

Die beiden nur ca. 15 m von einander entfernten Thermalbohrungen liegen im Bereich einer schmalen, NW streichenden Tiefscholle (»Creußener Grabenscholle«) des Obermainischen Bruchschollenlandes, die im NO und SW von markanten Störungen begrenzt wird (Abb. 2). Die Bohrungen setzen im Oberen Burgsandstein des Mittleren Keuper (Sandsteinkeuper) auf ca 351 m üNN an. Die Bohrung Friedrichstherme erreicht mit 1122 m Endteufe das Rotliegende. Die Bohrung Wilhelminentherme endet bei 661 m im Oberen Buntsandstein.



- 200 — Linien gleicher Höhenlage über NN
- 625 — Bezogen auf die Basis des Antriebssteins (zr I)
- 720 Konstruierter Höhenpunkt des Antriebssteins über NN
- — — — — Bruchlinie nachweisbar
- — — — — Bruchlinienverlauf vermutet
- — — — — Mischscholle
- — — — — Tafelscholle

BLOCKBILD ZUR TEKTONISCHEN KARTE

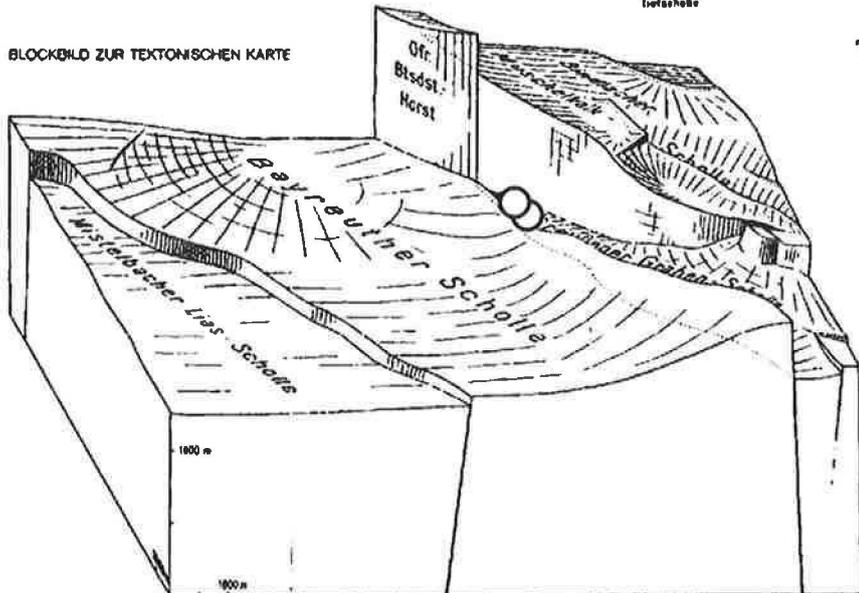


Abb. 2. Geologisch-/ tektonische Position der Bayreuther Thermen. Lagerungskarte und Blockbild aus Emmert 1977.

Das Profil der Thermalbohrung Friedrichstherme (FTh) war anhand der vorliegenden Schichtenverzeichnisse (Watec 1992) und Gamma-Ray-Logs bereits in einer früheren Arbeit (Helmkamp 2006) mit den Ergebnissen der Forschungsbohrungen Spitzeichen/Lindau und Obernsees verglichen, aktualisiert und teilweise revidiert worden. Die erarbeiteten stratigraphischen Grenzen sind aus Tabelle 1 zu ersehen. Das kürzere benachbarte Profil Wilhelminentherme (WTh) zeigt ± identische Grenzen.

Stratigr. Einheit	Friedrichstherme (Teufe Basis, m unter GOK)	Wilhelminentherme (Teufe Basis, m unter GOK)
Burgsandstein	91	89
Blasensandstein	175	175
Lehrbergschichten	236	234
Schilfsandstein	241	241
Estheriensschichten	289	289
Benker Sandstein	374	374
Unterer Keuper	406	406
Ob. Muschelkalk	475	475
Mittl. Muschelkalk	528	527
Unt. Muschelkalk	583	583
Ob. Buntsandstein	684	(661 E.T.)
Mittl. Buntsandstein	873	
Unt. Buntsandstein	968	
Zechstein	1077	
Ober-Rotliegendes	(1122 E.T.)	

Tab.1. Stratigraphische Grenzen in den Bohrprofilen der Bayreuther Thermen.

In enger Nachbarschaft zu den beiden Thermalbohrungen liegen auf der selben Scholle die derzeit nicht mehr betriebenen Tiefbrunnen Laineck I, III und V (Ansatz im Burg- bzw. Blasensandstein, Endteufe max. 355 m im Benker Sandstein).

Auf der stark herausgehobenen Nachbarscholle im Nordosten (Bindlacher Scholle) stehen an der Oberfläche Buntsandstein und Muschelkalk an. Hier liegt der Tiefbrunnen Laineck IV (Ansatz Oberer/Mittlerer Buntsandstein, Endteufe 253 m im Unteren Buntsandstein). Noch weiter östlich liegt auf einer weiteren Scholle die im Oberen Buntsandstein ansetzende Versuchsbohrung Döhlau, die mit 320 m Endteufe den Unteren Buntsandstein erreichte.

Auf der weniger stark herausgehobenen Scholle im Südwesten (Bayreuther Scholle) stehen Gips- und Sandsteinkeuper an. Hier liegt die Brunnenbohrung Laineck II (Ansatz im Blasensandstein, Endteufe 305 m im Oberen Muschelkalk).

Abbildung 3 zeigt einen schematischen Schnitt.

3. Grundwasserleiter und Fließrichtung

In der Friedrichstherme wurde der Hauptgrundwasserleiter zwischen 765 m und 844 m erschlossen. Dieses Intervall, das etwa 90% der Gesamtleistung erbringt, entspricht einem unteren Abschnitt des Mittleren Buntsandstein, im Wesentlichen aus der Detfurth- und Volpriehausen-Folge. Eine geringe Menge entstammt laut Flowmeter-Messung einem tieferen Produktionshorizont im Bereich Unterer Buntsandstein / Zechstein.

Die deutlich geringere Leistung der Wilhelminetherme stammt zu 85 % aus dem Oberen Buntsandstein, ein kleinerer Teil aus dem Übergangsbereich Muschelkalk/Buntsandstein.

Die wesentlichen und wirksamsten Deckschichten sind die mächtigen Tonsteinpakete des Unteren- und Gips-Keuper (Estheriensichten, Lehrbergsschichten), die insgesamt mehr als 150 m ausmachen. Dazwischen und darüber liegen separate Grundwasser-Stockwerke wie Benker Sandstein (Brunnenfelder Lehen und Osterbrunnen) und Burgsandstein (Tiefbrunnen im Stadtgebiet Bayreuth).

In mehreren unveröffentlichten Gutachten (Dischner 1998, GeoTeam 2001) wurde auf Basis umfangreicher Pumpversuche für die drei Grundwasserstockwerke Burgsandstein, Benker Sandstein und Mittlerer Buntsandstein eine generelle Fließrichtung des Grundwassers festgestellt, die dem Schichteinfallen von Südost nach Nordwest folgt.

4. Grundwasser-Neubildung

Die Grundwasserneubildung im Raum Bayreuth wird mit einer Spanne von ca. 100 – 125 mm/a angegeben (Bay.LA f. Wasserwirtschaft 1996). Aus den Pegeln im Rotmain-Ölschnitz-Gebiet südöstlich von Bayreuth (Bayreuth, Gampelmühle, Birk) errechnet sich im modifizierten Wundt-Verfahren im Durchschnitt eine Neubildungsrate von ca. 110 mm/a.

Für das noch weiter südöstlich anschließende Einzugsgebiet der Haidenaab werden geringere Werte in der Spanne 75 – 100 mm/a angegeben.

Grundsätzlich ist mit zwei unterschiedlichen Komponenten der Neubildung zu rechnen: a) der direkten Neubildung in Ausbissbereichen des Aquifers und b) der »Leaky Neubildung« durch die überlagernden Deckschichten hindurch.

Der »leaky«-Anteil läßt sich angesichts der heterogenen Schichtfolge und fehlender Durchlässigkeits-Daten nur schwer berechnen. Legt man allerdings überschlägig die von GAY (1986) für den Feuerletten angewendete Berechnungsweise zugrunde, so ergäbe sich eine leaky Neubildung in der Größenordnung von nicht mehr als 10 mm/a - wenn auch auf großer Fläche.

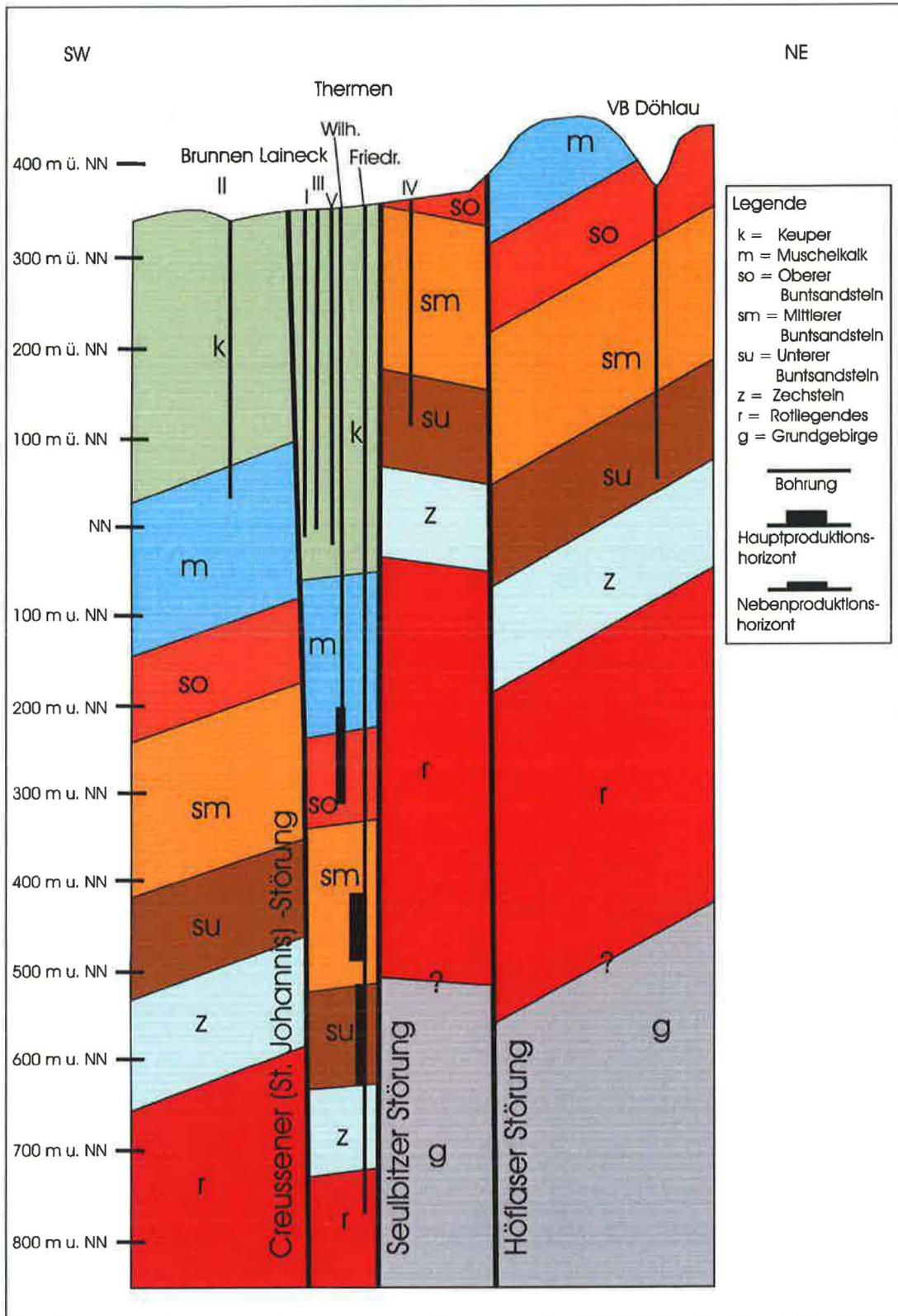


Abb. 3. Profilschnitt mit Thermalbrunnen und benachbarten Tiefbohrungen. Schichtgrenzen nach Helmkamp 2006 (Friedrichstherme). Überhöhung ca. 1 : 10.

5. Hydraulische Charakteristik der Thermalbrunnen

Einige wesentliche hydraulische und technische Kenndaten der beiden Thermalbrunnen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Parameter	Friedrichstherme	Wilhelminetherme
GOK	350,5 m üNN	350,5 m üNN
Brunnentiefe	1122 m	661 m
Ruhewasserspiegel	Artes. Überlauf - 4,8 bar	Artes. Überlauf - 3,8 bar
max. Förderleistg.	17 l/s	1,5 l/s
Dauerleistung	16,2 l/s	1,0 l/s
bei Absenk. (Quasi-Beharrung)	89,2 m uGOK	17,5 m uGOK
spez. Ergiebigkeit	0,124 l/s m	0,026 l/s m
k_f -Wert (je nach Berechns.-Methode)	$3,4 \cdot 10^{-5}$ bis $1,2 \cdot 10^{-6}$ m/s	$1,1 \cdot 10^{-7}$ bis $8,8 \cdot 10^{-8}$
GW-Gefälle	ca. 2 %	ca. 2 %
GW-Temperatur	31,5 °C	22,5 °C
Erschließungs-Intervall	765–844 m 880–1119 m	552–660 m

Tab.2. Brunnenkenndaten

Für den unteren Produktionshorizont der Friedrichstherme wurde abweichend von obigen k_f -Werten (produktiver Gesamtbereich) eine wesentlich niedrigere Gebirgsdurchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-7}$ m/s bestimmt (Watec 1992).

Während der Langzeitpumpversuche von 1990/91 und 1995 in der Friedrichstherme wurde auch die hydraulische Reaktion in den Nachbarbrunnen beobachtet (Watec 1992, terrawat 1998). Das Ergebnis zeigt Tabelle 3.

Brunnen	Aquifer	Scholle	Hydraul. Reaktion
Wilhelminetherme	Buntsandst.	Grabenscholle (Tief-)	Druckabfall (1,4 bar)
TB Laineck I	Benker Sandst.	Grabenscholle (Tief-)	keine
TB Laineck III	Benker Sandst.	Grabenscholle (Tief-)	keine
TB Laineck V	Benker Sandst.	Grabenscholle (Tief-)	keine
TB Laineck IV	Buntsandst.	Bindlacher- (Hoch-)	keine

Tab.3. Hydraulische Reaktion in Nachbarbrunnen

Eine hydraulische Reaktion auf Pumpfähigkeit erfolgt demnach nur auf engste Distanz im selben Aquiferbereich und auf der selben tektonischen Scholle. Die begrenzenden Störungen ebenso wie die trennenden Zwischenschichten erwiesen sich als hydraulisch dicht.

6. Hydrochemie und Isotopenchemie des Thermalwassers

6.1. Hydrochemie

Der Chemismus der Wässer aus Friedrichs- und Wilhelminen-Therme wird durch die Werte in Tabelle 4 charakterisiert.

Parameter	Friedrichstherme unterer-Prod.-Horiz.	Friedrichstherme Gesamtwasser	Wilhelminetherme
Grundcharakter, -Typ	$\text{Na}^+ \text{Ca}^+ \text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$	$\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Ca}^+ \text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^+ \text{Mg}^+ \text{K}^+ \text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-}$
Leitfähigkeit	917 $\mu\text{S}/\text{cm}$	295 $\mu\text{S}/\text{cm}$	440 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH-Wert	8,6	7,1	7,6
O ₂ -Sättigung	0 %	38 %	10 %
°dH	7,6	3,6	12
Ca/Mg : Na/K	ca. 0,3 : 1	ca. 0,5 : 1	ca. 5 : 1
HCO ₃ : SO ₄	1 : 1	5,7 : 1	1,3 : 1
NO ₃	< 0,04	<0,04	0,7

Tab.4. Hydrochemische Kennwerte

Der Chemismus des Wassers aus dem **unteren Produktionshorizont der Friedrichstherme** ist typisch für die regionalen Wässer aus dem Unteren Buntsandstein/Zechstein und entspricht in etwa demjenigen im selben Intervall der Forschungsbohrung Lindau (Büttner et al. 2006):

- hohe Mineralisierung
- alkalische Reaktion
- Übergewicht an Alkalien
- hoher Sulfat-Wert
- ± Sauerstoff-frei

Das **Gesamtwasser der Friedrichstherme** kommt dem regionalen Typus des Wassers aus dem Mittleren-Buntsandstein-Aquifer nahe. Dieses zeichnet sich aus durch:

- geringe Mineralisierung
- schwach saure Reaktion
- Übergewicht an Erdalkalien
- hydrogenkarbonatische Typisierung
- geringe Härte

Diesem Typus dürfte das Wasser des Hauptproduktionshorizonts entsprechen. Das analysierte Gesamtwasser weicht etwas ab in Richtung auf die Merkmale des unteren

ren Produktionshorizonts (insbesondere bezügl. des Erdalkali/Alkali-Verhältnisses), zweifellos als Folge der Beimischung aus diesem.

Auffällig ist darüber hinaus der relativ hohe Sauerstoff-Gehalt im Gesamtwasser. Er wurde nach Spurengasen als primär eingestuft (Hydroisotop 1997).

Im Chemismus des Wassers der **Wilhelminetherme** spiegelt sich der Übergangsbereich Oberer Buntsandstein-Muschelkalk. Er ist charakterisiert durch:

- mäßige Mineralisierung
- schwach alkalische Reaktion
- starkes Übergewicht der Erdalkalien

Insgesamt zeigt sich, dass die Produktionszonen der beiden Thermalbrunnen die typischen hydrochemischen Merkmale der betreffenden Grundwasserleiter repräsentieren und keine Ankoppelung von Wässern aus anderen stratigraphischen Niveaus erkennen lassen.

6.2. Isotopenchemie / Altersdatierung

Zusätzlich wurde eine **isotopenchemische** Untersuchung des Wassers der Friedrichstherme durchgeführt, die zu folgenden Aussagen gelangte (Hydroisotop 1997):

- das Grundwasser enthält keine jungen Komponenten von < 40 Jahren (Tritium-Analyse)
- der Großteil des Wassers ist älter als 20 000 Jahre (^{14}C -Analyse)
- das Grundwasser wurde aus Niederschlägen gebildet und ist z.T. kaltzeitlichen Ursprungs ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ -Analyse)
- die Sulfate sind geogen (Evaporite), ebenso Nitrat ($\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Analyse) und Sauerstoff (s.o.).

7. Strukturelemente

Da die beiden Thermen innerhalb eines komplexen Schollenmosaiks zwischen ausgeprägten Bruchstrukturen mit großer Sprunghöhe und offensichtlicher hydraulischer Relevanz liegen (s.o.), bilden diese auch den Schlüssel zur Hydrogeologie der Brunnen. Die Strukturelemente wurden daher eingehend untersucht.

7.1. Schollen und Bruchlinien

Wie schon vermerkt, liegen die beiden Thermalbohrungen auf einer schmalen herzynisch NW-streichenden Tiefscholle, der »Creussener Grabenscholle« (s. Abb. 2). Die begrenzenden Störungen sind im direkten Umfeld die **St. Johannis-Störung**

im Westen und die **Seulbitzer Störung** im Osten. Ihr Abstand beträgt im Bereich der Thermalbohrungen ca. 1 km. Nach Nordwesten laufen diese beiden Bruchzonen spitzwinklig aufeinander zu und kreuzen sich in der sog. »Bindlacher Sprungkreuzung« (Emmert 1977). Nördlich dieses Punktes laufen sie als Trebgaster - bzw. Kulmbacher Störung weiter.

Nach Südosten öffnet sich der Winkel zwischen beiden Störungssystemen, so daß auf Höhe Kirchenlaibach ein Abstand von ca. 7 km zwischen der nun als »**Creussener Störung**« bezeichneten Bruchzone im Westen (= St. Johannis-St.) und der nun als »**Stockauer Störung**« bezeichneten Bruchzone im Osten (= Seulbitzer Störung mit leichtem West-Versatz) besteht.

Während die Creussener Störung sich als markantes Strukturelement weiter nach Südosten bis zur Luhe-Linie im Raum Hirschau fortsetzt, endet die Seulbitz-/Stockauer Störungszone etwa bei Brüderes westlich Kirchenlaibach. Dafür setzt jedoch in der Mitte der Scholle, beginnend bei Neunkirchen a.M., die ebenfalls herzynisch (NW-SE) streichende »**Birker Störung**« ein (auch »Lehener St.«), die nun in Längsrichtung die eigentliche »Creussener Grabenscholle« im Westen von der »Seybothenreuther Scholle« im Osten trennt. Aus der Birker Störung entwickelt sich noch weiter im Südosten die bedeutende Haidenaab-Störung.

Diese herzynischen Großstörungen haben überwiegend Aufschiebungscharakter und sind Ausdruck einer Einengungstektonik, die im wesentlichen unterkretazischen Alters ist.

Die umfangreiche Auswertung von Luftbildern (Helmkampff 1998) ergab innerhalb der Grabenscholle ein internes Muster, in dem ebenfalls Elemente der herzynischen Richtung neben einigen Querelementen dominieren. Sie sind im Norden länger, markanter und dichter, im Süden schwächer und spärlicher (dort oft flacherzynisch WNW). In den Bereichen Neunkirchen/Lehen und Birk/Nairitz finden sich Cluster von Elementen der rheinischen Richtung (N-S), während die zentrale Kirchenlaibacher Mulde von einer Schar Ost-West gerichteter Elemente durchzogen wird, die aber die Grabenscholle nicht erreichen. Diese rheinischen Elemente sind generell Ausdruck einer jüngeren, tertiären bis rezenten Zerrungstektonik (Spannungsfeld unter 165°). Sie sind vermutlich gute Wasserleiter.

Die nach Norden konvergierenden Schollenstreifen sind bis zur Creußener / St. Johannis-Störung nach Westen abgetreppelt, d. h. die jeweils westlichere Scholle liegt tiefer.

7.2. Lagerung

Die Schichtlagerung auf der Grabenscholle (süd-) östlich Bayreuth ist aus den Streichlinien in Abb. 2 (Emmert 1977) abzulesen. Das Einfallen der Schichten schwenkt dabei von West über Nordwest nach Nord. Entsprechend werden die Schichtausbisse auf der Geologischen Karte sowohl nach Westen als auch nach Norden zunehmend jünger.

Für das südöstlich anschließende Gebiet auf den Kartenblättern Kirchenlaibach, Weidenberg und Creußen wurde vom Verfasser auf Basis der Korrelierung von ca. 30 bestehenden Bohrungen mit 5 neueren Kernbohrungen eine Streichlinienkarte erstellt (Helmkamp 1998, Ausschnitt in Helmkamp 2009).

In diesem Bereich erfolgt das Einfallen zunächst mit etwa 2-3° nach WSW gegen die jeweils begrenzenden Störungen. Etwa südlich einer Linie Seidwitz – Brüderes indizieren die Streichlinien ein zuerst flaches, dann immer steileres Einfallen nach Nordwesten. Im Speinsharter Forst und westlich von Schlammersdorf kulminiert dieser südöstliche Anstieg der Schichten in markanten Aufwölbungen des Benker Sandsteins (dazu auch s.w.u.).

In der weiteren südöstlichen Fortsetzung auf den Kartenblättern Kirchenlaibach, Eschenbach (Hohlmann 1992; Neupert 1959; Krisl 1969; Scheele 1992) Grafenwöhr (Haunschild & Schröder 1960) und Kaltenbrunn (Tillmann 1958) dokumentiert das sukzessive Ausstreichen von Muschelkalk (Raum Eschenbach), Buntsandstein (Stegenthumbach / Grafenwöhr) und schließlich Rotliegendem (Kaltenbrunn) den weiteren Anstieg der Schichten in dieser Richtung.

7.3. Versatzhöhen

Aus den Lagerungsdaten lassen sich die Sprunghöhen der begrenzenden Störungen berechnen.

Am **St. Johannis / Creußener** Bruchsystem beträgt der Versatz bei Laineck ca. 120 m (kmL gegen kmBm), erreicht weiter südlich (Emtmannsberg) aber schnell die Größenordnung von 300 – 350 m.

Die **Seulbitz / Stockauer** Störung hat im Bereich der Thermalquellen eine Sprunghöhe von nahezu 700 m (sie versetzt Oberen Burgsandstein gegen Oberen/Mittleren Buntsandstein). In südöstlicher Fortsetzung liegt die Tiefscholle bei Gebhardts-hof nur noch etwa 90 m tiefer als die östliche Hochscholle und nach Süden nimmt die Sprunghöhe dieser Störung weiter kontinuierlich ab (bei den Osterbrunnen noch ca. 30 m, bei Brüderes gegen Null).

Sie wird als östliche Begrenzung der Grabenscholle ersetzt durch die bei Neunkirchen einsetzende **Birker** Störung. Diese hat bei den Lehener Tiefbrunnen erst eine Sprunghöhe von 5 – 10 m; nahe Birk liegt die Tiefscholle (West) schon um ca. 60 m, bei Frankenberg um ca. 180 m und bei Vorbach um ca. 210 m tiefer.

Diese Sprunghöhen bewirken, daß der Hauptaquifer Mittlerer Buntsandstein an den Außenkanten der Grabenscholle meist von den kaum durchlässigen Schichten des Rotliegenden oder Grundgebirges, ganz partiell von wenig durchlässigem (und nach Westen abkippendem) Unterem Buntsandstein abgeschnitten wird. Lediglich über ein kurzes »Fenster« am Südende der Stockauer Störung (Brüderes) wäre eine sehr lokale Ankoppelung des Mittleren Buntsandstein-Aquifers im Untergrund der Kirchenlaibacher Mulde theoretisch denkbar.

8. Zusammenfassende hydrogeologische Schlussfolgerungen

Eine plausible Modellvorstellung bezüglich der spezifischen Hydrogeologie, insbesondere des Einzugsgebietes, der Friedrichs- und Wilhelminetherme hat somit die folgenden Fakten und Aussagen zu berücksichtigen:

1. Hauptaquifer ist der **Mittlere Buntsandstein** (k_f -Wert um 10^{-5}), Nebenaquifere sind der Obere Buntsandstein / Muschelkalk sowie der Untere Buntsandstein / Zechstein (k_f -Werte um 10^{-7}).
2. Der Einzugs- und Zustrombereich ist durch die drei nach Nordwesten aufeinander zu laufenden **Bruchzonen** der Seulbitz-Stockauer-, Birker- und St. Johannis-Creussener Störungszone **seitlich begrenzt**. Abgesehen vom möglichen »Fenster« bei Brüderes sind diese Begrenzungen als hydraulisch dicht oder kaum durchlässig anzusehen, was auch durch die fehlenden hydraulischen Reaktionen in den Nachbarbrunnen belegt wird.
3. Das **Einfallen** der Schichten, einschließlich der Aquifere, innerhalb der so begrenzten Tiefscholle ist nach Nordwesten gerichtet, wobei großräumig ein mittlerer Einfallswinkel von ca. $1,3^\circ$ entsteht..
4. Die **Fließrichtung** des Grundwassers ist in allen untersuchten Aquiferen im wesentlichen von Südost nach Nordwest gerichtet. Da diese dem Schichteinfallen in einen durch konvergierende Bruchzonen verengten Raum folgt, könnte von einem »**Bayreuther Trichter**« gesprochen werden.
5. Beide Thermen fördern Wasser mit **artesischem Überlauf**, wobei in der Friedrichstherme 4,8 bar, in der Wilhelminetherme 3,8 bar Überdruck erreicht werden. Für das Einzugsgebiet setzt dies einen GW-Spiegel **oberhalb von 400 m ü NN** und entsprechende Geländehöhen voraus.
6. Das Grundwasser der Friedrichstherme enthält keine Anteile, die jünger sind als 40 Jahre, der Großteil des Wassers ist **älter als 20 000 Jahre**. Daraus ist der Schluß zu ziehen, dass keine im direkten Umfeld der Thermen stattfindende GW-Neubildung den Buntsandstein-Aquifer in 800 m Tiefe unmittelbar erreicht.
7. Die geförderten Wässer zeigen den für den jeweiligen Buntsandstein-Teil-Aquifer **typischen Chemismus**, ohne offensichtliche Anteile aus höheren Niveaus.

9. Einzugsgebiet

Mit diesen Vorgaben hat das Grundwasser-Einzugsgebiet der beiden Thermen die folgenden **Anforderungen** zu erfüllen:

- flächig verbreiteter ausbeißender Buntsandstein,
- NN-Höhen über 400 m,
- Lage in südöstlicher Richtung bei ansteigenden Schichten

- Lage innerhalb der Begrenzungen der Grabenscholle
- lange Fließzeit bzw. weite Fließwege (Alter!).

Diese Bedingungen erfüllt ausschließlich und vollständig der frei **ausstreichende Buntsandstein im Bereich Eschenbach/Grafenwöhr/Kaltenbrunn**, wie in Abbildung 4 dargestellt und in Abb. 5 schematisch skizziert. Zusammen mit dem hier rein sandig ausgebildeten und daher hydraulisch wohl nicht getrennten Muschelkalk der Beckenrandfazies, bildet der Buntsandstein dort ein Areal von grob 110 km². Die Geländehöhen liegen meist zwischen 420 m und 500 m, im Schnitt um 450 m ü NN. Die Grundwasserhöhen liegen, nach SE ansteigend, zwischen 415 m und 435 m.

Bei Annahme einer moderaten Neubildungsrate in diesem Raum von 75-100 mm/a* km² (s. Kap 4) und einer potentiellen Einzugsgebiets-Fläche von 110 km², errechnet sich hier eine Neubildungsmenge von 265-350 l/s. Auch nach Abzug der lokalen Abflüsse und Entnahmen reicht dies zur Bilanzdeckung der Thermalbohrungen problemlos aus.

Am Großen Russweiher bei Eschenbach beginnt das Abtauchen nach Nordwesten unter die Keuper-Schichten. Gegen Laineck verengt sich die Grabenscholle unter weiterem Einfallen der Schichten zu dem beschriebenen »Bayreuther Trichter«, in dem der Buntsandstein-Hauptaquifer bis auf 500 m unter NN abfällt.

Die artesisch gespannte Wassersäule in den Thermalbrunnen erreicht die Höhe des Grundwasserspiegels im Einzugsgebiet weitgehend, aber nicht vollständig. Dabei spielt u.a. die Rück-Infiltration in höhere GW-Stockwerke eine Rolle, wie dies für die Lainecker Trinkwasserbrunnen nachgewiesen ist.

Ein den Bayreuther Thermen deutlich näher gelegenes Buntsandstein-Areal, nämlich das östlich gelegene von **Weidenberg-Immenreuth**, erfüllt die obigen Kriterien dagegen nicht und wird deshalb als Einzugsgebiet **ausgeschlossen**. Der Buntsandstein-Aquifer dieses Bereichs wird nicht nur durch den 700 m – Sprung der Seulbitzer Störung, sondern bereits weiter östlich durch mehrere Parallelstörungen (Weidenberger-, Sandhof-, Lankendorfer-) in seiner Kontinuität unterbrochen und gegen Zechstein/Rotliegendes versetzt. Das Fehlen einer Verbindung bzw. einer Durchlässigkeit zur Grabenscholle hin wird durch die Hydraulik belegt (s.o.). Soweit ein nach W oder SW gerichteter Abfluss aus dem Weidenberg-Immenreuther Buntsandstein-Areal stattfindet, gelangt dieser vielmehr in die nach SE abkippende Kirchenlaibacher Mulde und entwässert mit dieser nach Südosten.

Da die Kirchenlaibacher Mulde ebenso tief ist wie die Grabenscholle, ist auch ein »Überfließen« des Grundwassers über das oben erwähnte »Fenster« bei Brüderes unwahrscheinlich bzw. unerheblich.

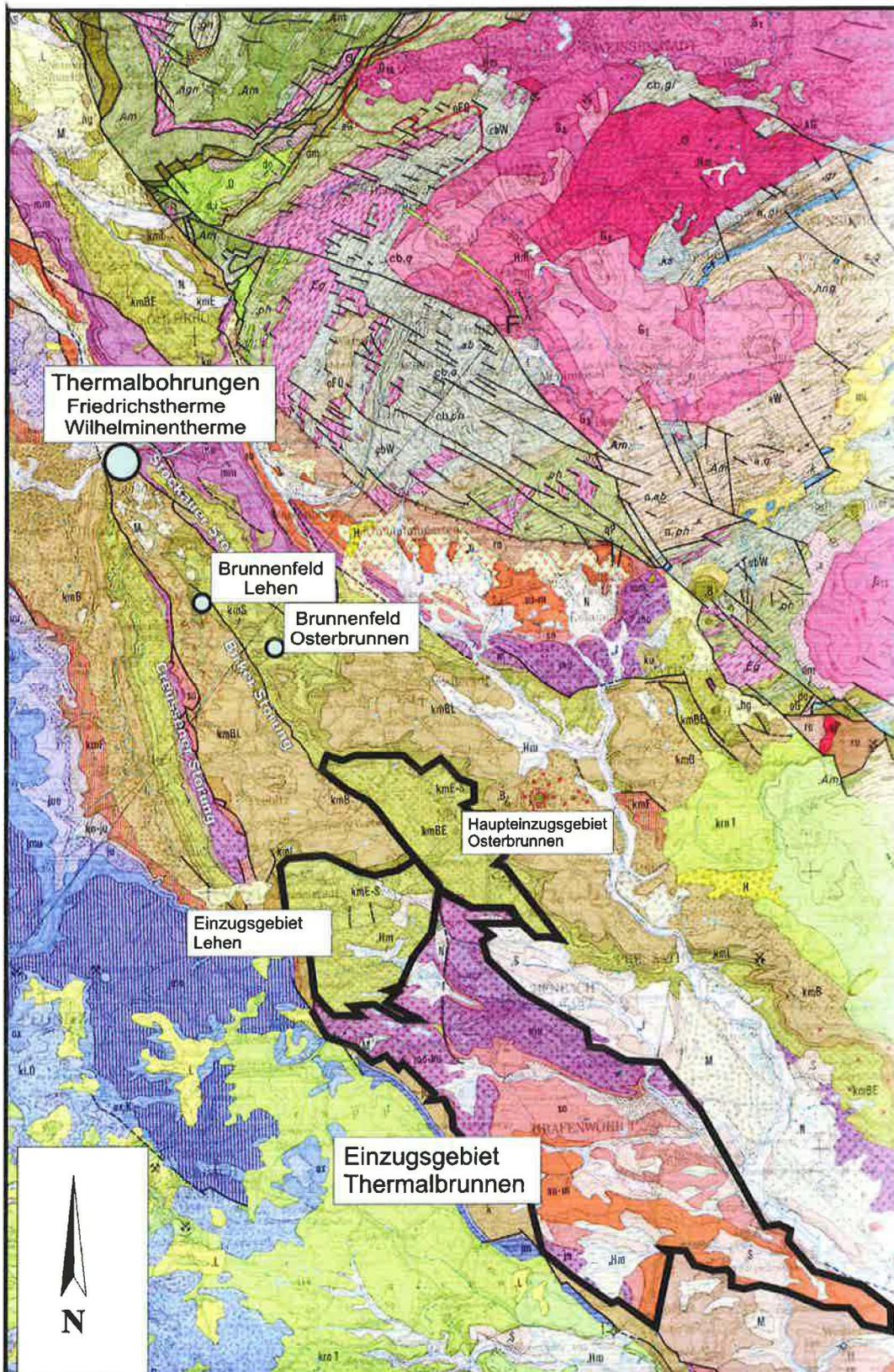


Abb. 4. Geologische Karte (Ausschnitt aus Blatt Bayreuth 1 : 200 000) mit Einzugsgebieten der Bayreuther Thermen, sowie der Brunnenfelder Lehen und Osterbrunnen.

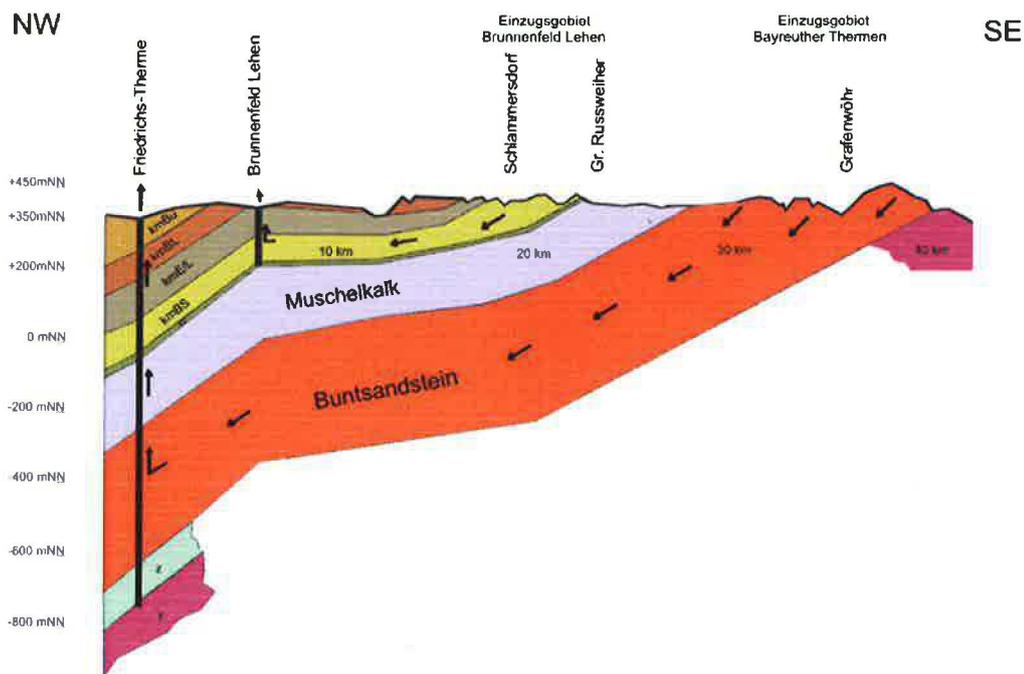


Abb. 5. Schematischer Längsschnitt von den Bayreuther Thermen zum Einzugsgebiet bei Grafenwöhr

10. Brunnenfelder Lehen und Osterbrunnen

Die etwa 7 – 10 km südöstlich der Bayreuther Thermalbohrungen gelegenen Brunnenfelder Lehen und Osterbrunnen versorgen große Teile der Stadt Bayreuth mit Trinkwasser. Sie bestehen im Feld Lehen aus 4 Tiefbrunnen bis maximal 178 m Tiefe und im Feld Osterbrunnen aus 3 betriebenen Tiefbrunnen bis 80 m Tiefe. Hauptgrundwasserleiter ist in allen Tiefbrunnen der Benker Sandstein, basales Schichtglied des Mittleren Keuper. Die Ansatzhöhen liegen bei ca. 370 m ü. NN (Lehen), bzw. 400 m ü. NN (Osterbrunnen). Alle Brunnen sind primär durch **artesischen** Überlauf gekennzeichnet. Die maximale kumulative Leistung beträgt in Lehen ca. 60 l/s, in Osterbrunnen etwa 150 l/s.

Die tektonisch-strukturelle Situation der beiden Brunnenfelder entspricht derjenigen der Bayreuther Thermalbohrungen. Auch diese Brunnen liegen innerhalb des von der Creußener Störung im Westen und der Seulbitz-Stockauer Störung im Osten gebildeten und nach Nordwesten einfallenden »Bayreuther Trichters«. Dieser wird hier durch die nördlich Lehen beginnende Birker Störung längs geteilt. Die Brunnen Lehen I, III und IV liegen auf der westlichen (eigentliche Grabenscholle), die Osterbrunnen sowie der Brunnen Lehen II auf der östlichen (Seybothenreuther) Teilscholle.

Das Wasser der Lehener Brunnen ist höher mineralisiert, fast Sauerstoff-frei und 10 - 12 000 Jahre alt. Das Wasser der Osterbrunnen ist geringer mineralisiert, im

Mittel 2 - 5 000 Jahre alt und enthält zusätzlich eine 5 - 10 Jahre alte junge Komponente (Dischner 1998).

Die hydrogeologische Situation und die Anforderungen an das Einzugsgebiet stellen sich somit als weitgehend analog zu den Bayreuther Thermalen dar, wobei es sich hier um das nächst höhere Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins handelt.

In einer 1998 durchgeführten Untersuchung (Helmkamp 1998) wurden daher die in Abb. 4 dargestellten flächigen Ausbisse des Benker Sandsteins bei Schlammersdorf (für Lehen, Entfernung ca. 15 km) und im Speinsharter Forst (für Osterbrunnen, Entfernung ca. 7 km) als Haupt-Einzugsgebiete identifiziert. Sie schließen nördlich an das Buntsandstein-Einzugsgebiet der Bayreuther Thermalbrunnen an.

Für die Osterbrunnen leistet allerdings zusätzlich der hier unmittelbar anschließende Nordrand der Kirchenlaibacher Mulde mit ausbeißendem Benker Sandstein einen Beitrag, der mit 10 - 30 % veranschlagt wurde (Dischner 1998) und der für den Jungwasser-Anteil verantwortlich ist.

Schließlich dürfte auch die großflächige »leaky« Neubildung durch den tonigen Gipskeuper hindurch überwiegend dem Benker-Sandstein-Aquifer zu Gute kommen.

11. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Günter Geist von der Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH, sowie Herrn Dipl. Geol. M. Piewak vom Ingenieurbüro Piewak & Partner GmbH für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser im Projekt »Hydrogeologisches Konzept Wilhelminen- und Friedrichstherme, Bayreuth« gewonnenen Ergebnisse.

12. Zitierte Schriften

Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft (1982): Gewässerkundliches Gutachten über die Grundwasserverhältnisse im Raum Kirchenlaibach – Stockau, Lkrs. Bayreuth. München.

Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft (1996): Die Grundwasserneubildung in Bayern berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen oberirdischer Gewässer. Informationsberichte Bay. LA f. Wasserwirtsch., München.

Büttner, G., Stichler, W. & Scholz, M. (2006): Hydrogeochemische Untersuchungen in den Forschungsbohrungen Lindau 1 und Spitzeichen 1 (Fränkisches Bruchschollenland). *Geologica Bavarica* 109, 105-124, München.

Dischner, G. (1998): Grundwasserbilanzierung zur Neufestsetzung der Entnahmemengen und Schutzgebiete für die Brunnenfelder Lehen und Osterbrun-

- nen. (ARGE Osterbrunnen; für Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs-GmbH; unveröffentlichter Bericht).
- Emmert, U. (1977): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 00, Blatt Nr. 6035 Bayreuth m. Erläuterungen. – München (Bay. GLA).
- Emmert, U. & Stettner, G. (1995): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6036 Weidenberg m. Erläuterungen, München (Bay. GLA).
- Freudenberger, W. & Helmke, K.E. (2006): Der Buntsandstein in den Forschungsbohrungen Spitzeichen 1 und Lindau 1. *Geologica Bavarica* 103, 295-320, München.
- Freyberg, B. v. (1956): Geologie der Mulde von Kirchenlaibach. *Erlanger geol. Abh.* 20, Erlangen.
- Fürst, M. (1954): Die Geologie des Creußener Höhenzuges und seiner Umgebung. *Erlanger geol. Abh.* 12, Erlangen.
- Fürst, M. (1956): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6135 Creußen., München (Bay. GLA).
- Gay et al. (1986): Flächenhafte Neubildung des Grundwassers im Sandsteinkeuper durch die »leaky« Trennschicht des Feuerletten im Gebiet nördlich von Nürnberg. *Geol. Jb.* C 47; Hannover.
- GeoTeam GmbH. (2001): Durchführung eines Pumpversuches an der Wilhelminetherme, Ersatzbrunnen Laineck II. (Ergebnisbericht für Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH; Schnitzlein, R.; unveröffentlichter Bericht).
- Haunschild, H. & Schröder, B. (1960): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6237 Grafenwöhr m. Erläuterungen, München (Bay. GLA).
- Hohlmann, B. (1992): Lithofazies-Kartierung am Ostrand des Creußener Grabens (südöstlich Bayreuth/Ofr.), Diplom-Kartierung, Ruhr-Universität Bochum.
- Helmke, K.E. (1998): Ermittlung der geologischen Grundlagen für die Neufestsetzung der Entnahmemengen und Schutzgebiete in den Brunnenfeldern Lehen und Osterbrunnen. (ARGE Osterbrunnen; für Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH; unveröffentlichter Bericht).
- Helmke, K.E. (2004): Hydrogeologisches Konzept Wilhelminen- und Friedrichstherme, Bayreuth. (Piewak & Partner GmbH; für Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH, unveröffentlichter Bericht).
- Helmke, K.E. (2006): Profilvergleich und sedimentologische Entwicklung im Umkreis der Forschungsbohrungen Spitzeichen 1 und Lindau 1. *Geologica Bavarica* 109, 63-94, München.
- Helmke, K.E. (2009): Ergebnisse neuerer Kernbohrungen im Benker Sandstein und Gipskeuper am Rand der Kirchenlaibacher Mulde. - *Geol. Bl. NO-Bayern* 59, Erlangen.
- Hydroisotop GmbH (1997): Ergebnisse der hydrochemischen, isotohydrologischen und gasphysikalischen Untersuchungen an der Geothermiebohrung

- Bayreuth Therme I (Friedrichstherme). Unveröffentlichter Bericht; Schweitenkirchen.
- Hydroisotop GmbH (2003): Monitoring Friedrichstherme (Therme I); Kurzbeurteilung u. Prüfbericht. Unveröffentlichter Bericht; Schweitenkirchen.
- Neupert, E. (1959): Geologische Karte im Bereich der Störungen von Kirchenthumbach und Stegenthumbach 1 : 25 000. Erlanger geol. Abh., 32, Erlangen.
- Krisl, P. (1969): Der tiefere Sandsteinkeuper in Nordfranken. Erlanger geol. Abh., 75, 68 S., Erlangen.
- Scheele, S. (1992): Lithofazieskartierung auf der N-Flanke der Kirchenlaibacher Mulde (östl. Bayreuth/Ofr.), Diplom-Kartierung, Ruhr-Universität Bochum.
- terrawat (1998): Stadtwerke Bayreuth, Langzeitpumpversuch Friedrichstherme, Schlussbericht. (für die Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH, unveröffentlichter Bericht).
- Tillmann, H. (1958): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt 6337 Kaltenbrunn m. Erläuterungen; München (Bay.GLA).
- Watec Ing. Ges.(1992): Hydrogeologische Begutachtung zur »Friedrichstherme« in Bayreuth mit Auswertung der Pumpversuche. (für die Bayreuther Energie- und Wasserversorgungs- GmbH; unveröffentlichter Bericht).