

Programm
Geothermie

Trinkwasser- und Wärmegewinnung Bohrung Berlingen-3

**Nutzung des warmen Wassers der Bohrung
Berlingen-3 als Trink/Tafelwasser und zur
Wärmegewinnung.**

BEW DIS Projekt-Nr. 21'247
BEW DIS Vertrags-Nr. 60'766 / 63'450

ausgearbeitet durch:

geo Geologische
form Beratungen und
Studien AG

Geoform AG (Dr. Werner Leu, Dr. Emil Greber)

im Auftrag des
Bundesamtes für Energiewirtschaft

Januar 1998

Schlussbericht

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Figuren, Tabellen und Beilagen.....	3
Figuren	3
Tabellen.....	3
Anhänge	3
Zusammenfassung	4
Résumé	5
Abstract	6
1. Einleitung.....	7
1.1 Ausgangslage.....	7
1.2 Zielsetzung	7
2. Tiefbohrung Berlingen-3.....	7
2.1. Lage und bisherige Verwendung.....	7
2.2 Verrohrung / Zementation / Bohrkeller / Bohrplatz	9
2.3 Stratigraphie, Lithologie, Poroperm.....	10
3. Durchführung und Resultate des Pumpversuches 1997	10
3.1 Hydrogeologische Randbedingungen	10
3.2 Kaliber-Messung	11
3.3 Durchführung des Pumpversuches	12
3.3.1 Ziel und Programm der Testarbeiten.....	12
3.3.2 Technische Durchführung und Messungen.....	12
3.4 Auswertung Leistungspumpversuch	15
3.5 Auswertung Aquifertest	16
3.5.1 Einleitende Bemerkungen	16
3.5.2 Geradlinienverfahren von COOPER & JACOB: Transmissivität	17
3.5.3 Wiederanstiegsmethode von THEIS und JACOB: Transmissivität	18
3.5.4 k-Wert-Bestimmung nach Hölting 1984.....	19
3.6 Wasserchemismus und stabile Wasserisotope.....	19
3.6.1 Wasserchemismus	19
3.6.2 Wasserisotope.....	21
3.7 Wassertemperatur	21
3.7 Geothermische Leistung	22
5. Installationen (Bohrung und Heizung).....	23
5.1 Prinzipschema der Anlagen	23
5.2 Klimadaten Heizung und Jahresenergiebedarf	25
6. Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	26
6.1 Investitionen Wärmegewinnung	26
6.2 Wärmegestehungskosten ohne Amortisation.....	27
6.3 Wärmegestehungskosten mit Amortisation	27
6.4 Vergleich zu andern Energiequellen	28
6.5 Produktionskosten Tafelwasser	29
7. Schlussfolgerungen / Empfehlungen.....	29
Verwendete Literatur	30

Verzeichnis der Figuren, Tabellen und Beilagen

Figuren

- Fig. 1: Situationsplan Bohrung Berlingen-3.
- Fig. 2: Verrohrungsschema Berlingen-3.
- Fig. 3: Neues Kaliber-Log (21.7.1997).
- Fig. 4: Foto mit Bohranlage.
- Fig. 5: Messanlagen.
- Fig. 6: Wassereinlauf im Baumulde.
- Fig. 7: Leistungsdiagramm des Brunnens Berlingen-3.
- Fig. 8: Zeit-Absenkungsverfahren Pumpphase P4.
- Fig. 9: Wiederanstiegsmethode Wiederanstieg W3.
- Fig. 10: Messreihen (Temperatur, Förderleistung, Leitfähigkeit, pH).
- Fig. 11: Stabile Wasserisotope.
- Fig. 12: Prinzipschema der Förder- und Heizinstallationen.
- Fig. 13: Vergleich der Energiegestehungskosten für Holzschnitzel, Erdgas, Heizöl, Elektrizität und Geothermie.

Tabellen

- Tab. 1: Zeitliche Übersicht der Testarbeiten.
- Tab. 2: Resultate der Pumpversuche.
- Tab. 3: Nutzbare Wärmemengen (geothermische Leistung).
- Tab. 4: Heizungs-/Energiedaten der Weinkellerei Hutterli in Berlingen.
- Tab. 5: Investitions-, Wartungs- und Unterhaltskosten für Bohrung und Heizungsanlagen.
- Tab. 6: Energiegestehungskosten ohne Amortisation/Teuerung.
- Tab. 7: Energiegestehungskosten mit Amortisation/Teuerung.

Anhänge

- Anh. 1: Untersuchungsbericht Kantonales Laboratorium Kanton Thurgau.
- Anh. 2: Analysenbericht Abteilung Laboratorium Kanton Thurgau.
- Anh. 3: Datenbericht Isotopenanalysen Geochemische Analysen GCA, Sehnde (D).

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt behandelt die Frage, ob eine kombinierte Nutzung der geothermischen Energie und des Wassers aus der Oberen Meeresmolasse wirtschaftlich und technisch machbar ist. Die Untersuchungen sollen zudem für Herrn Hutterli (Salenstein) die Grundlagen schaffen, um zu entscheiden, ob er die Bohrung von der SWISSGAS-Speicher AG zu Eigenzwecken übernehmen soll (inklusive den damit verbundenen Rechten und Pflichten).

Mit einem Langzeitpumpversuch und einer Messkampagne wurden die hydrogeologischen Eigenschaften des Aquifers abgeklärt. Anschliessend wurde für die geplante Wasserförderungs- und Heizanlage ein Prinzipschema entworfen, damit die notwendigen Investitionen und Energiegestehungskosten berechnet werden konnten.

Resultate:

Kenndaten Bohrung Berlingen-3 (Weinkellerei Hutterli)	
Gesicherte Förderrate (Langzeit-PV)	2.0 l/s
Transmissivität OMM-Aquifer:	$0.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Hydraulische Leitfähigkeit OMM-Aquifer:	$3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Wasserchemismus	$\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)}$
pH-Wasser:	8.50
Elektrische Leitfähigkeit Wasser:	1.140 mS/cm
Nutzbare Wassertemperatur:	28.8°C
Geothermisches Wärmeleistung Bohrung	150 kW
Heizleistungsbedarf Weinkellerei	~ 50 kW
Jahresenergiebedarf	134'000 kWh/a
Investitionskosten Geothermie/Trinkwasser	195'000.- Fr.
Mehrinvestitionen (Vergleich mit Ölheizung)	115'000.- Fr.
Jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten	3'380.- Fr.
Effektive Energiegestehungskosten	(5.8) bis 9.6 Rp./kWh

Eine kombinierte Nutzung von Geothermie und Trinkwasser ist wirtschaftlich machbar. Günstige Energiegestehungskosten (5.8 - 9.6 Rp./kWh), die Aussicht auf einen möglichen Beitrag des Bundes an die Nutzung der erneuerbaren Energie sowie das zusätzliche noch zur Verfügung stehende geothermische Potential sind positive Argumente für eine Übernahme der Bohrung durch Herrn Hutterli.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de la faisabilité économique et technique d'une exploitation de l'eau de la molasse marine supérieur dans le forage profond de Berlingen-3 pour la production de l'énergie géothermique et de l'eau potable. Les éléments principaux de l'investigation étaient l'évaluation des données géologiques et hydrogéologiques (essai de débit, longue durée), la détermination des besoins en énergie thermique, l'estimation des coûts d'investissements et finalement le prix réel de l'énergie calorifique produite.

Résultats:

Caractéristiques principales du forage Berlingen-3 (Pressoir de vin Hutterli)	
Débit de l'eau	2.0 l/s
Transmissivité de l'aquifère:	$0.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Conductivité hydraulique de l'aquifère:	$3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Chimisme de l'eau	$\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)}$
pH:	8.50
Conductivité électrique:	1.140 mS/cm
Température de l'eau:	28.8°C
Débit thermique du forage	150 kW
Consommation calorifique moyenne	~ 50 kW
Débit de l'énergie calorifique annuelle	134'000 kWh/a
Investissements nécessaire	195'000.- fr.
Investissements suppléments pour la géothermie	115'000.- fr.
Coûts annuelle de fonctionnement	3'380.- Fr.
Coûts unitaire global (sans amortissement)	(5.8) 'à 9.6 cts./kWh

Les coûts de l'énergie thermique ainsi produite, sans prise en compte des intérêts et de l'amortissement des investissements, se situent entre 5.8 et 9.6 cts./kWh. L'installation envisagée (couplée avec la production de l'eau potable) est globalement intéressante pour le pressoir de vin de M. Hutterli.

Abstract

The main goal of this study was the economic feasibility of a combined geothermal and drinking water exploitation of the Upper Marine Molasse aquifer in well Berlingen-3 (Canton Thurgau, Switzerland). The study included a reevaluation of the geological and hydrogeological data (long term production test), the assessment of the thermal energy demand, as well as the calculation of the necessary investment and geothermal energy costs.

Results:

Main characteristics of well Berlingen-3 (wine cellars Hutterli)	
Long-term production rate	2.0 l/s
Transmissivity of OMM-aquifer:	$0.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Hydraulic conductivity of OMM-aquifer:	$3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Chemical characteristics of OMM-water	<u>Na-HCO₃</u> -SO ₄ -(Cl)
pH-water:	8.50
Electrical conductivity of water:	1.140 mS/cm
Production temperature:	28.8°C
Geothermal potential of well	150 kW
Energy demand for heating	~ 50 kW
Annual calorific heat demand	134'000 kWh/a
Investment costs (heat and water production)	195'000.- Fr.
Supplementary investments geothermal system	115'000.- Fr.
Annual maintenance and energy costs	3'380.- Fr.
Energy costs (non-depreciated)	(5.8) to 9.6 cts./kWh

The resulting energy costs, without taking into account the writing off of investment costs or interest rates on the necessary capital, are within the range of 5.8 to 9.6 cts./kWh.

In view of the low production costs of the drinking water, the remaining geothermal energy potential (e.g. energy contracting) and a possible financial contribution by the federal institute of energy, the project is economically feasible.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bohrung Berlingen-3 wurde Ende 1985 anfangs 1986 von der SWISSGAS Speicher AG im Rahmen der Gasspeicher-Suche bis auf 416 m abgeteuft. Aus dem Aquifer der Oberen Meeresmolasse (OMM) wurden gute Wasserzuflussverhältnisse in der Grössenordnung von 2 bis 3 l/sec beobachtet und gemessen. Der Wasserchemismus dürfte sich als Trinkwasser und eine geothermische Nutzung eignen.

Herr P. Hutterli, Landbesitzer des Bohrplatzes, plant auf einem rund 250 m entfernten Areal eine neue Weinkelterei (Fig. 1). Dabei besteht ein konkreter Bedarf an Tafelwasser sowie Heizenergie (~ 50 - 100 kW).

Eine vergleichbare Anlage mit Doppelnutzung des Wassers und der Energie wurde kürzlich in Seon AG - mit finanzieller Unterstützung des BEW - in Betrieb gesetzt.

Die vorliegende Studie bildet für Herrn Hutterli eine wichtige Entscheidungsgrundlage in der Frage, ob er die Bohrung (inklusive Verfüllungspflicht) von der SWISSGAS-Speicher AG übernehmen soll.

1.2 Zielsetzung

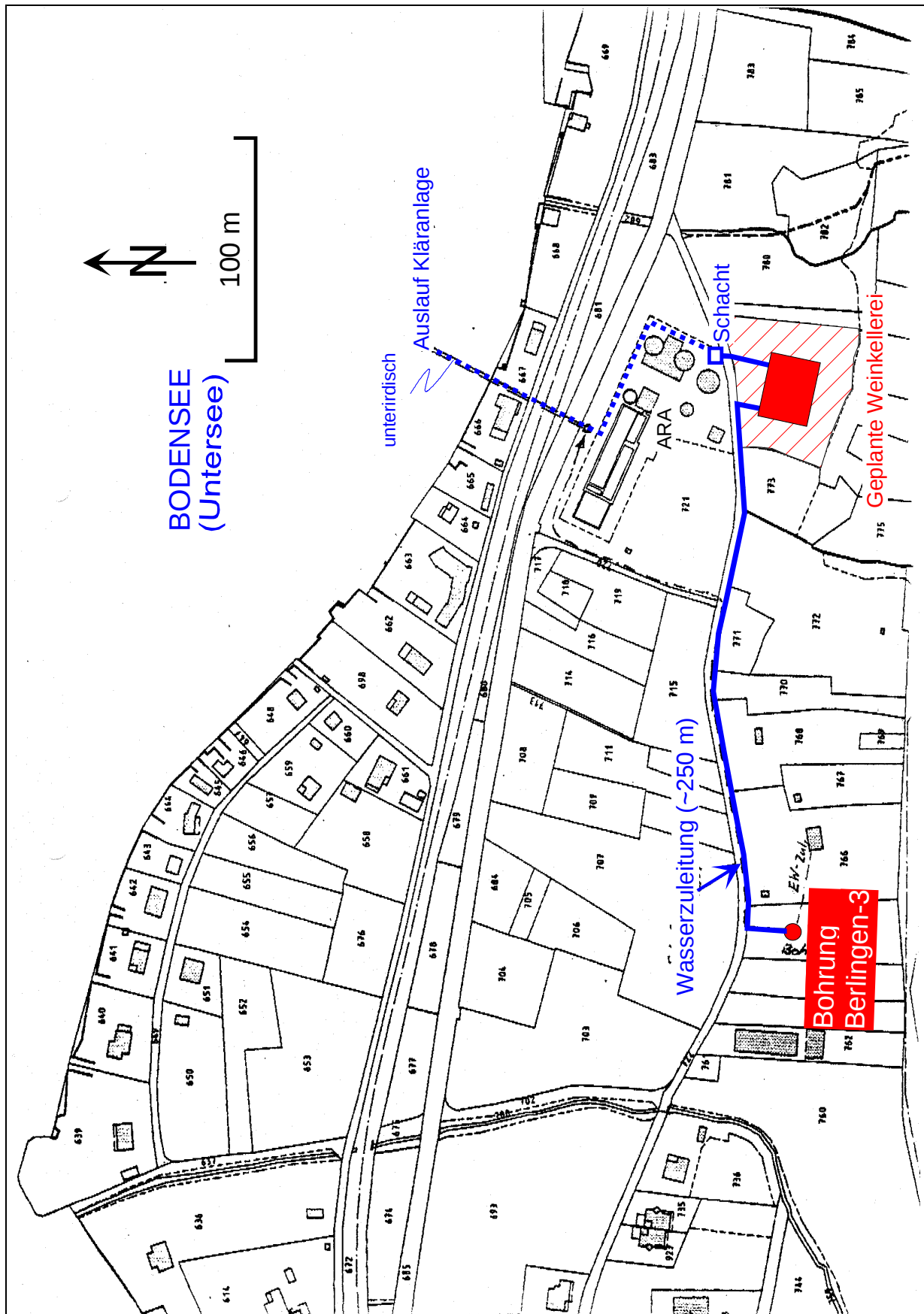
Zielsetzung der Untersuchungen ist:

- Bestimmen des Bohrlochzustandes
- Ermittlung der langfristigen Wassermenge aus der Oberen Meeresmolasse mit einem Langzeitpumpversuch
- Analysieren des Wasserchemismus
- Ermittlung des geothermischen Potentials (s.a. Klemenz et al. 1996)
- Abschätzen der notwendigen Anlagen und Investitionen für Geothermieheizung und Wassergewinnung
- Berechnung der Energiegestehungskosten bei Gebäudeheizung mit warmem Wasser.

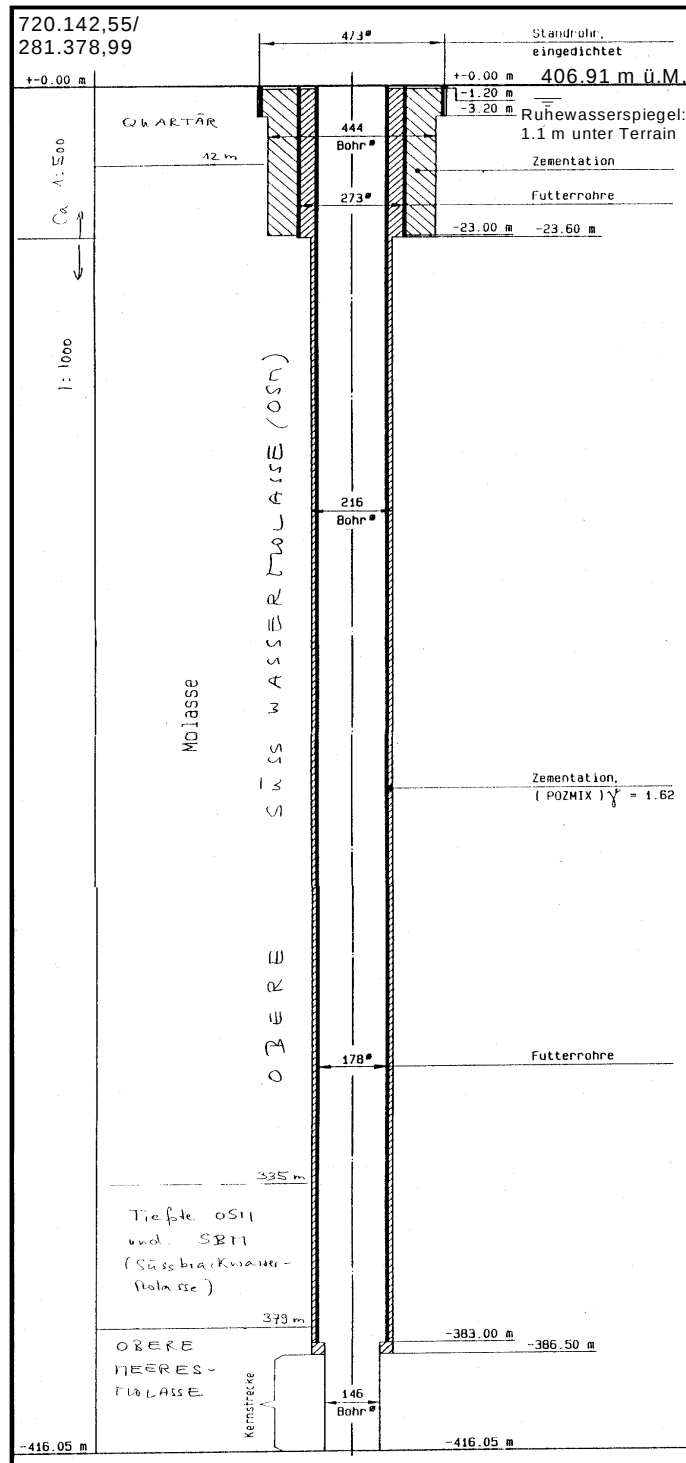
2. Tiefbohrung Berlingen-3

2.1 Lage und bisherige Verwendung

Die Bohrung besitzt die Koordinaten 720.143 / 281.379 und liegt auf 406.91 m ü.M.. Bei der Bohrung Berlingen-3 handelt es sich um eine Gasspeicher-Explorationsbohrung der SWISSGAS-Speicher AG. Sie wurde zwischen dem 28.11.1985 und 16.1.1986 abgeteuft. Nach Beendigung der Aquiferteste im Zeitraum 22.5. bis 26.5.1986 wurde die Bohrung aufgegeben und verschlossen. Zwischen dem 25.5.1986 und dem 14.9.95 wurden in unregelmässigen Zeitabständen in einem dünnen Pegelrohr Wasserspiegelmessungen durchgeführt.



Figur 1: Situationsplan der Bohrung Berlingen-3 mit geplanten Wasserleitungen und Weinkellerei.



Figur 2: Verrohrungsschema der Bohrung Berlingen-3.

2.2 Verrohrung / Zementation / Bohrkeller / Bohrplatz

Während der grösste Teil der Bohrung mit einem Meisseldurchmesser von 8 $\frac{1}{2}$ " gebohrt wurde, bestanden widersprüchliche Angaben zum untersten, heute unverrohrten Teil (OMM-Aquifer). Gemäss Büchi (1986) sollen dort die Kerne mit einem Bohrdurchmesser von 4 $\frac{1}{2}$ " (11.43 cm) genommen worden sein, wogegen im Bohrprofil der Bohrfirma ein

Bohrdurchmesser von 14.6 cm angegeben wird (Fig. 2). Klärung der Verhältnisse sollte erst die Kaliber-Messung verschaffen.

Ausgerüstet ist die Bohrung mit einem 9⁵/₈“-Standrohr (Wandstärke 8.94 mm) und 7“-Futterrohren bis in 383 m Tiefe (Wandstärke 8.05 mm). Die Zementation erfolgte bis zum Austritt des Zementes an der Oberfläche (Büchi 1986). Der untere Teil der Bohrung ist bis heute unverbohrt (Fig. 2).

Es besteht ein betonierter, ca. 1.2 m tiefer ebenerdiger Bohrkeller (1.6 x 2.6 m). Der Keller ist mit schweren Eisenplatten abgedeckt.

Die Parzelle 567, auf der sich die Bohrung befindet, ist mit Schotter abgedeckt und dient zur Zeit als Lagerfläche.

2.3 *Stratigraphie, Lithologie, Poroperm*

Die Bohrung Berlingen-3 durchquert zuoberst 12 m Quartär (Gehängeschutt und Moräne) dann anschliessend 367 m Obere Süsswassermolasse (OSM, vorwiegend Sandsteine Mergel). Die untersten 37 m der Bohrung werden von der Oberen Meeresmolasse (OMM) eingenommen. Dabei handelt es sich vorwiegend um Sandsteine, mit einer im obersten Teil erbohrten polygenen Nagelfluhbank. Die OMM stellt einen überregionalen Tiefenaquifer dar, welcher z.B. auch in Kreuzlingen oder im Kanton Zürich geothermisch und auch für Mineralwasser (Aqui) genutzt wird. Die gesamte Mächtigkeit der OMM dürfte in dieser Gegend ca. 200 bis 220 m betragen.

An Kernen aus Tiefen zwischen 387.25 und 416.05 m (Bereich OMM) wurden 1986 petrophysikalische Untersuchungen durchgeführt (Büchi 1986). Die gemessenen Porositäten schwanken zwischen 4.7 und 24 %, die Permeabilitäten liegen zwischen < 0.5 und 605 mD. Wenigstens zonenweise wurden somit sehr gute Aquifereigenschaften festgestellt.

3. Durchführung und Resultate des Pumpversuches 1997

3.1 *Hydrogeologische Randbedingungen*

Vor der Planung des Pumpversuches 1997 wurden die Daten der im Zeitraum 22.5.-26.5.1986 durchgeführten Tests so gut es ging ausgewertet. Obwohl damals keine korrekten Pumpversuche durchgeführt wurden, konnte aus diesen Daten immerhin auf sehr starke Absenkungen des Wasserspiegels in der Bohrung geschlossen werden. Es sollte deshalb mit einer möglichst kleinen Förderrate begonnen werden.

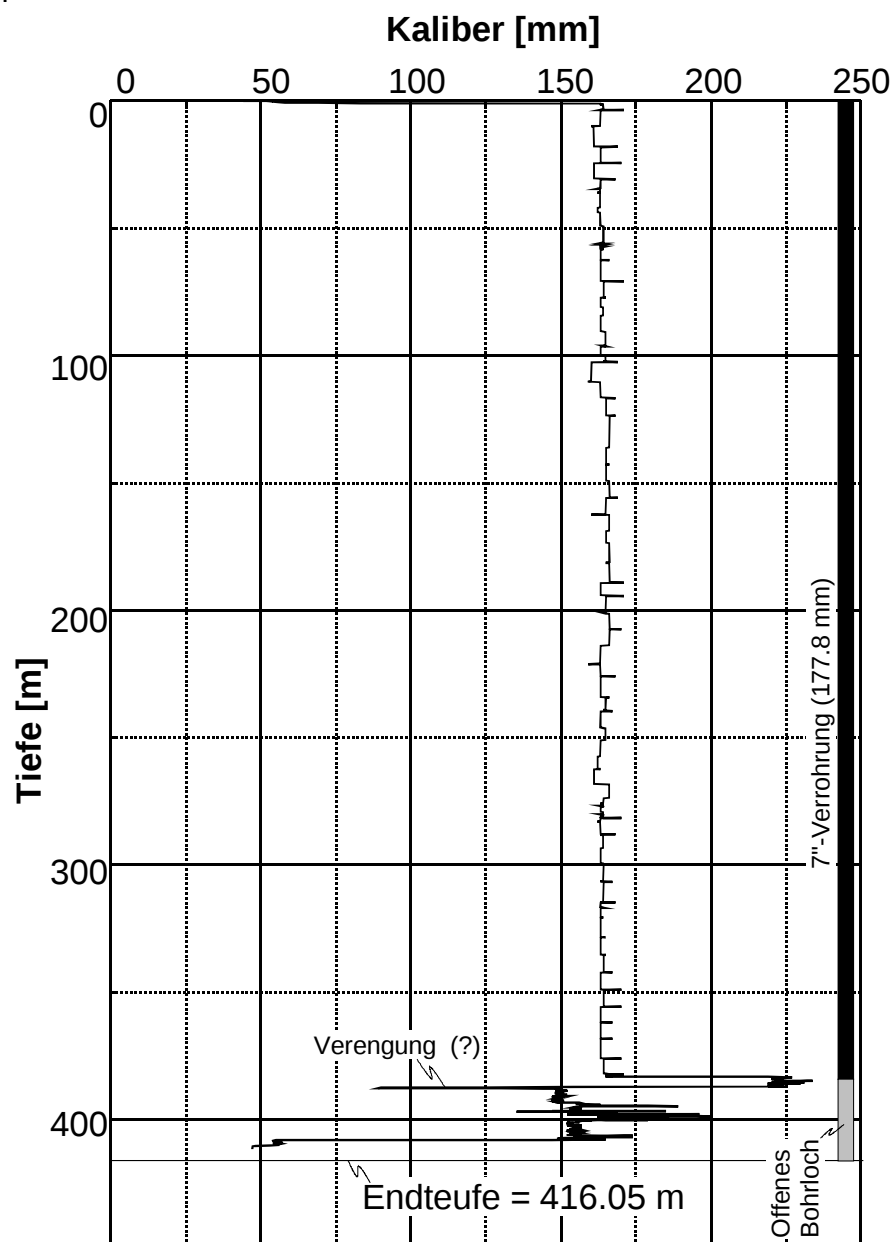
Bei der Bohrung Berlingen-3 handelt es sich nicht um einen vollkommenen Brunnen, es ist also nicht der gesamte OMM-Aquifer erschlossen. Von der in dieser Gegend zu erwartenden OMM-Mächtigkeit von ca. 220 m wurden nur gerade die obersten 37 m durchbohrt. Das Tiefenwasser der OMM ist mit der Bohrung Berlingen-3 somit alles andere als ideal erschlossen.

Das Wasser lief beim Öffnen des Bohrlochkopfs, welcher sich 1.1 m unter Terrain befindet, frei aus. Der Ruhewasserspiegel lag somit vor Beginn des Pumpversuchs nahe der Erdoberfläche. Bei periodischen Pegelmessungen der SWISSGAS Speicher AG in den Jahren 1986 bis 1995 floss das Wasser z.T. sogar aus dem dünnen Messrohr, welches bis an 10.5 cm an die Oberfläche reicht (Geoform 1996).

3.2 Kaliber-Messung

Da über den aktuellen Zustand des Bohrlochs keine Informationen vorlagen, diese aber für den Einbau einer Hochleistungspumpe unbedingt erforderlich sind, wurde die Firma BBI Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH mit einer 3-Arm-Kalibermessung beauftragt (Fig. 3). Die Messung, welche am 21. Juli 1997 durchgeführt wurde, zeigte, dass die Bohrung im verrohrten Teil in gutem Zustand ist. Am Rohrschuh jedoch kann bei 387.4 m Tiefe eine mögliche Verengung des Durchmessers bis auf 88.6 mm, anstatt 147.6 mm wie unterhalb dieser Stelle, festgestellt werden. Die Ursache für diese Verengung konnte nicht eruiert werden. Das Kaliber konnte nur bis eine Tiefe von 411.5 m gefahren werden. Daraus wurde geschlossen, dass die untersten 4.5 m der Bohrung vermutlich mit Feinschlamm aufgefüllt sind.

Die festgestellte Verengung könnte bei einem allfälligen weiteren Ausbau der Bohrung zu Problemen führen. Für den Pumpversuch jedoch zeigte sich das Bohrloch in recht gutem Zustand.



Figur 3: Neues Kaliber-Log der Bohrung Berlingen-3 (gemessen am 21.7.1997).

3.3 Durchführung des Pumpversuches

3.3.1 Ziel und Programm der Testarbeiten

Die Dauer des im wesentlichen zweiphasigen Pumpversuches war gemäss Vorlagen des Kantons auf zwei Wochen ausgelegt. Im ersten Teil sollte während ca. 2 Tagen ein Leistungspumpversuch durchgeführt werden, um Angaben zur spezifischen Ergiebigkeit des Brunnens zu erhalten. Beim zweiten handelte es sich um einen Aquifertest. Nach einem ersten Wiederanstiegsversuch sollte mit konstanter Förderleistung über mehrere Tage hinweg gepumpt werden. Ein abschliessender Wiederanstiegsversuch sollte die Testarbeiten beenden.

Der genaue zeitliche Ablauf der Testarbeiten ist in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Zeitliche Übersicht der durchgeführten Testarbeiten.

Test	Förderrate [l/s]	Datum	hh:mm:ss	Datum	hh:mm:ss
Pumpphase P1	0.96	24.11.97	10:56:21	24.11.97	15:10:21
Pumpphase P2	1.5	24.11.97	15:11:21	25.11.97	9:52:21
Pumpphase P3	1.98	25.11.97	9:53:21	25.11.97	18:14:51
Pumpphase P4	2.33	25.11.97	18:15:51	26.11.97	10:03:51
Wiederanstieg W1		26.11.97	10:04:51	26.11.97	17:36:51
Pumpphase P5	2.92	26.11.97	17:37:51	26.11.97	18:50:51
Wiederanstieg W2		26.11.97	18:50:51	28.11.97	12:40:15
Pumpphase P6	1.87	28.11.97	12:41:15	1.12.97	8:57:15
Pumpphase P7	1.98	1.12.97	8:57:15	3.12.97	10:37:15
Wiederanstieg W3		3.12.97	10:38:15	8.12.97	7:32:15

3.3.2 Technische Durchführung und Messungen

Die GRUNDFOS-Pumpe des Typs SP 27-28 wurde in einer Tiefe von 280 m von der Firma Fehlmann Grundwasserbauten AG eingebaut (Fig. 4). Gleichzeitig wurde von der Firma GEMAG AG eine Druck- und Temperatursonde wenige Meter oberhalb der Pumpe installiert. Diese Sonden waren über Kabel mit der Messstation in einem abschliessbaren WC-Container auf dem Bohrplatz verbunden (Fig 5). Die Messstation bestand aus einem PC mit Bildschirm, auf dem die Absenkung, Temperatur und die Pumprate numerisch und graphisch abgelesen werden konnte. Die Abtastrate betrug 1 Messung pro Minute.

Das warme Wasser wurde über die Steigrohre an die Erdoberfläche in eine grosse Baumulde gepumpt (Fig. 6). Die Mulde füllte sich jeweils bis zu einem bestimmten Wasserniveau, bevor eine über einen Schwimmer gesteuerte Tauchpumpe den Betrieb aufnahm und das Wasser über eine Klärschlammschlauch ca. 300 m bis zum Ausfluss der Kläranlage abführte. Über der Mulde wurden von Fachleuten des Kantons Thurgau weitere Messsonden (Temperatur, pH, elektrische Leitfähigkeit), so montiert, dass immer ins Wasser eintauchten. Die Sonden wurden möglichst nahe des aus der Bohrung auslaufenden warmen

Wassers positioniert. Die Registriergeräte des Kantons wurden ebenfalls im WC-Container untergebracht. Alle 5 Minuten wurde eine Messung registriert.

Um die Pumpen und die Messgeräte mit Energie zu versorgen, wurde vom benachbarten Ferienhaus aus eine Notstromversorgung verlegt. Die Stromversorgung hatte gegenüber einen ebenfalls geprüften Dieselaggregat-Betrieb vor allem zwei grosse Vorteile: Zum einen konnten wesentlich Kosten gespart werden, zum andern waren keine Probleme wegen Nachtruhestörung zu erwarten. In den Testen 1986 musste die Pumpe wegen solchen Problemen am Abend jeweils abgeschaltet werden, was sich auf die Resultate des Pumpversuches verheerend auswirkten.

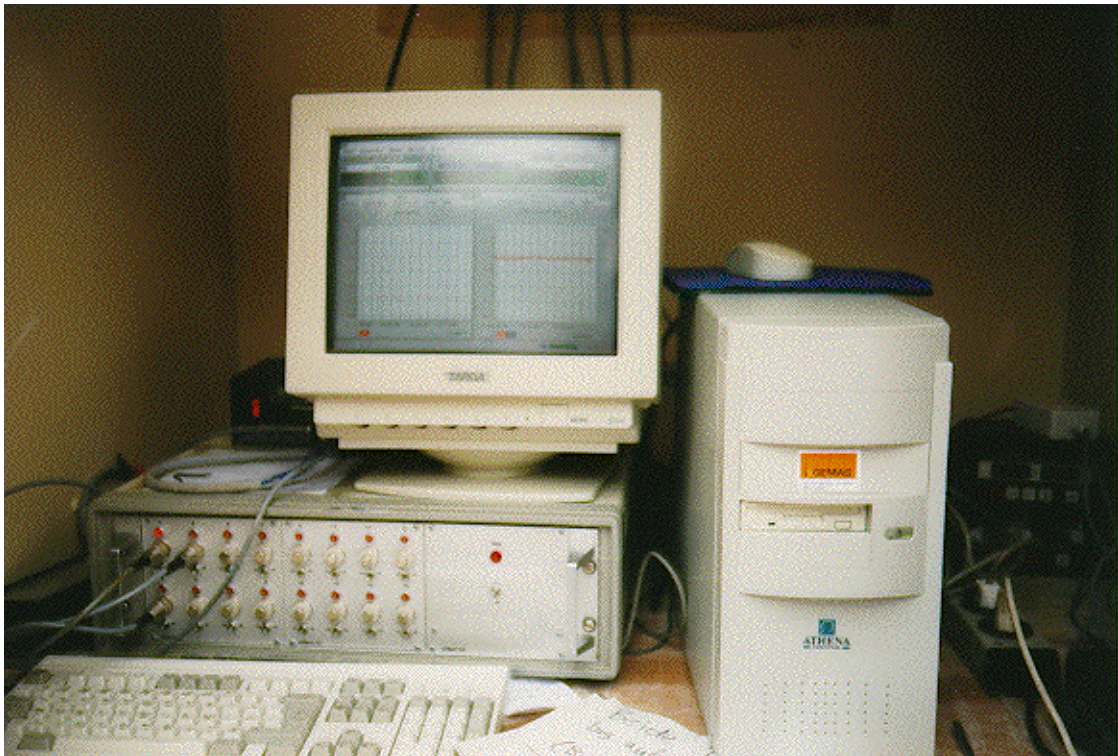
Mit Hilfe einer Relais-Schaltung konnte die Pumpe via GEMAG-Messanlage gegen ein Trockenlaufen geschützt werden.

Die Förderleistung der Pumpe wurde mittels Kugelhahnen reguliert, was sich nicht unbedingt als ideale Lösung herausstellte. Das genaue Regulieren wurde durch diese Vorrichtung erschwert.

Im Laufe der Testarbeiten kam es nur zu geringfügigen Störungen. Am Abend des zweiten Messtages (25. Nov. 1997) stieg die GEMAG-Messanlage aus unerfindlichen Gründen für wenige Stunden aus, nachdem am Morgen bereits der Bildschirm wegen defekter Grafikkarte ausgetauscht werden musste. Zudem wurde während dem ersten Wiederanstiegsversuch W1 die Pumpe aus Versehen eines Unbefugten für kurze Zeit angestellt.



Figur 4: Aufnahme der Bohranlage. In der Mitte befindet sich die Mulde, in die das warme Wasser geleitet wurde. Über den roten Schlauch wurde das Wasser aus der Mulde in den Abfluss der Kläranlage geleitet. Im gelben Container befanden sich die Messgeräte.



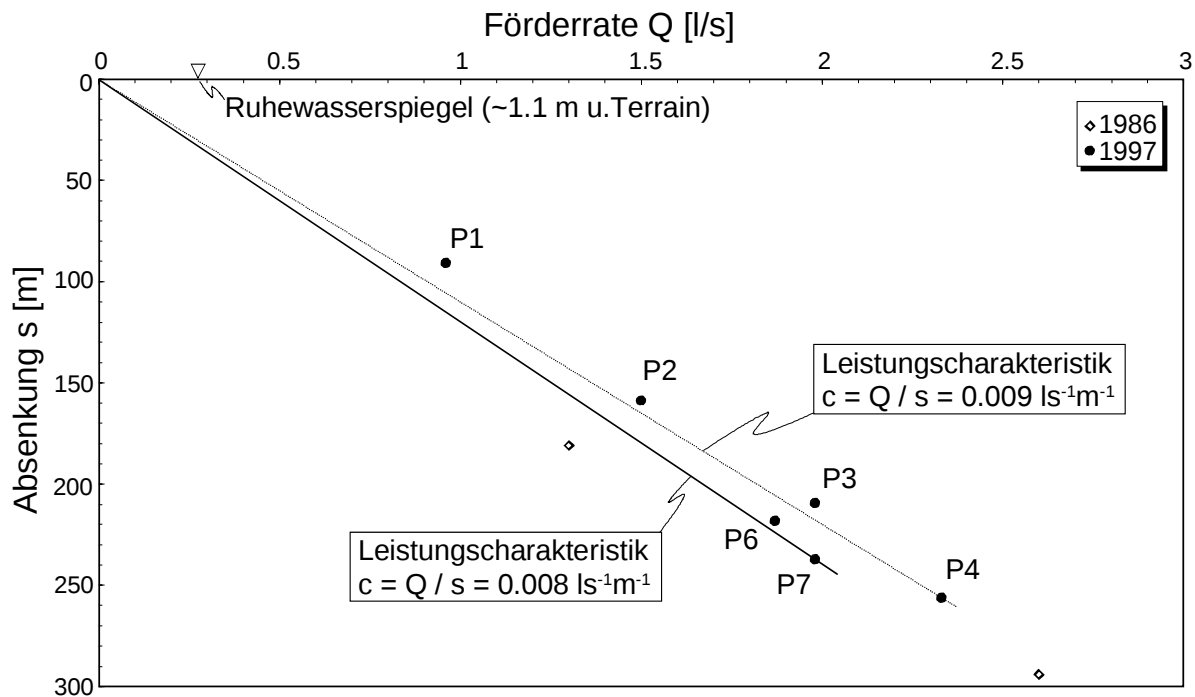
Figur 5: Messanlagen der Firma GEMAG AG (links) und des Kantons Thurgau (rechts im Schatten).



Figur 6: Einlauf des warmen Wassers aus der Tiefe in die Baumulde.

3.4 Auswertung Leistungspumpversuch

Wie geplant wurde während den ersten 48 Stunden warmes Wasser mit vier verschiedenen Stufen zwischen 0.96 und 2.33 l/s gefördert (Tab. 1). Die untere Grenze war durch die technische Beschaffenheit der Pumpe begrenzt, die obere Grenze durch die erwartungsgemäss starke Absenkung im Bohrloch. Die einzelnen Stufen sollten solange gefahren werden, bis jeweils mehr oder weniger stationäre Zustände, also konstante Absenkungen erreicht waren. Diese mit Sicherheit zu erkennen war nicht ganz einfach, da der Bildschirm immer nur einen Überblick der Messdaten über die letzte Stunde gewährte.



Figur 7: Resultate des Leistungspumpversuches und des Aquifertests in der Bohrung Berlingen-3. Eingetragen sind ferner unsichere Daten der im Jahre 1986 durchgeführten Tests.

Die bei den einzelnen Pumpstufen erreichten Absenkungen sind in Fig. 7 eingetragen. Darin ist die Gerade der Leistungscharakteristik des Brunnens durch den Punkt P4 gezogen (gestrichelte Linie), da diese Pumpphase P4 die bezogen auf die Förderrate höchste Absenkung lieferte. Zu optimistische Resultate liefert vor allem die Pumpphase P1, welche eindeutig zu kurz dauerte, um mehr oder weniger stationäre Bedingungen zu erreichen. Die Werte der übrigen Phase P2 und P3 liegen praktisch auf der Geraden. Die gestrichelte Linie entspricht einer spezifischen Leistung des Brunnens von $c=0.009 \text{ ls}^{-1}\text{m}^{-1}$ (Fig. 7). Die Resultate der beiden Pumpphasen P6 und P7 des Aquifertests deuten allerdings darauf hin, dass es sich bei der gestrichelten Geraden um eine wohl zu optimistische Einschätzung der hydraulischen Verhältnisse handelt. Auf dem Brunnencharakteristik-Diagramm (Fig. 7) wurden auch die Resultate der Langzeitpumpversuche P6 und P7 eingetragen. Die ausgezogene Gerade, welche durch den Punkt P7 geht, stellt die im Vergleich zur gestrichelten Gerade etwas pessimistischere, aber wahrscheinlich besser zutreffende Interpretation dar. Somit kann pro Laufmeter Brunnen mit einer Dauerförderrate von 0.008 l/s gerechnet werden, ohne grössere Brunneneintrittsverluste (durch Reibung oder Turbulenzen) zu befürchten.

Die aus dem Leistungspumpversuch abgeleiteten Aquifereigenschaften werden unter 3.5 diskutiert.

3.5 Auswertung Aquifertest

3.5.1 Einleitende Bemerkungen

Die folgenden Auswertungen beruhen vorwiegend auf der Theorie von Theis, welcher die Grundwasserentnahme in instationärem Zustand beschrieb. Damit die von Theis abgeleiteten, später von andern Autoren modifiziert und erweiterten Brunnenformeln zu korrekten Resultaten führen, müssen mehrere Randbedingungen erfüllt sein (siehe z.B. Langguth & Voigt 1980). Eine dieser Bedingungen ist bei der Bohrung Berlingen-3 sicher nicht vollständig erfüllt: Der Förderbrunnen ist nicht vollkommen, d.h. die offene Strecke (386.5-416.05 m) erfasst nicht die gesamte wassergefüllte Mächtigkeit. Dies bedeutet, dass das Grundwasser im gespannten Aquifer nicht nur horizontal zur Bohrung zuströmt. Infolge der Krümmung der Stromlinien treten auch vertikale Fliesskomponenten auf, welche die Absenkung in der Bohrung verstärken. Die übrigen Randbedingungen dürften weitgehend erfüllt sein.

Im Rahmen dieses Pumpversuches war es vor allem aus Kostengründen nicht möglich, benachbarte Tiefbohrungen in die OMM (z.B. Berlingen-2) in die Versuch mit einzubeziehen. Das Fehlen von Beobachtungsbrunnen schränkt Auswertungsmöglichkeiten wesentlich ein. Die Resultate sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Zusammenstellung der Pumpversuchauswertungen. Sehr unsichere Werte befinden sich in Klammern.

Testphase	T [m ² /s] Cooper & Jacob	T [m ² /s] Theis	S Cooper & Jacob	k [m/s] Höiting 1984
Pumpphase P1	1.2 10 ⁻⁵		(2.7 10 ⁻⁵)	
Pumpphase P2	1.6 10 ⁻⁵		(7.2 10 ⁻⁴)	
Pumpphase P3	(6.0 10 ⁻⁵)		(9.5 10 ⁻⁶)	
Pumpphase P4	10.7 10 ⁻⁵		(2.4 10 ⁻⁷)	
Wiederanstieg W1		0.9 10 ⁻⁵		
Pumpphase P5				3.1 10 ⁻⁷
Wiederanstieg W2		0.6 10 ⁻⁵		
Pumpphase P6	2.4 10 ⁻⁵		(5.4 10 ⁻¹³)	
Pumpphase P7	(14.5 10 ⁻⁵)		(1.3 10 ⁻³)	
Wiederanstieg W3		0.8 10 ⁻⁵		

3.5.2 Geradlinienverfahren von COOPER & JACOB: Transmissivität

Das angewandte Zeit-Absenkungs-Verfahren ist im Detail in Langguth & Voigt (1980) beschrieben. Das Verfahren beruht darauf, dass nach einer gewissen Zeit die Absenkung in direkter Proportionalität zur Zeit anwächst. In einem Diagramm wird deshalb die Zeit im logarithmischen Zustand gegen die Absenkung aufgetragen (Fig. 8). Der letzte, geradlinige Teil wird für die Auswertung gemäss folgender Formel verwendet:

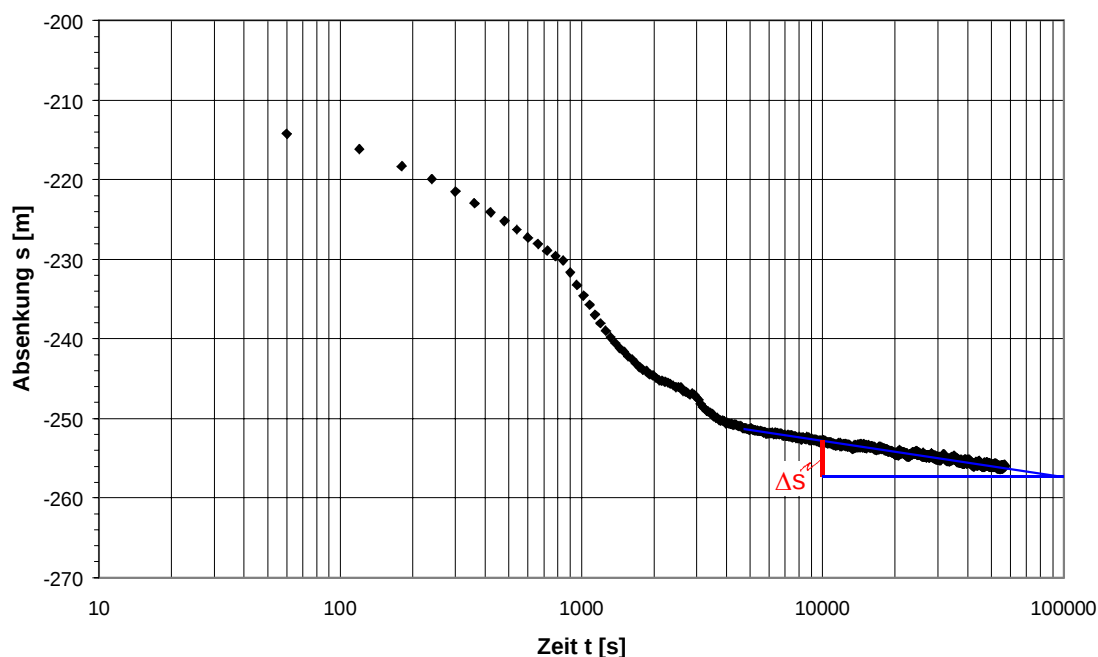
$$T = (2.30 * Q) / (4\pi * \Delta s)$$

wobei: T = Transmissivität (m^2/s)

Q = Förderrate (m^3/s)

Δs = Absenkungsdifferenz pro logarithmischer Zeitdifferenz (m)

Streng genommen dürfte diese Formel nur für einen Beobachtungsbrunnen in einer gewissen Distanz zum Förderbrunnen, nicht aber für diesen selber verwendet werden. Die damit berechneten, mit Vorsicht zu wertenden Transmissivitäten liegen - ohne Berücksichtigung der eher fraglichen Werte - zwischen $1.2 \cdot 10^{-5}$ und $1.1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tab. 2).



Figur 8: Zeit-Absenkungs-Verfahren von COOPER & JACOB zur Bestimmung der Transmissivität in der Bohrung Berlingen-3 an Hand der Pumpphase P4.

Mit dem Zeit-Absenkungs-Verfahren von COOPER & JACOB lassen sich im Idealfall auch Speicherkoeffizienten S berechnen (Langguth & Voigt 1980, Formel 4.25). Im vorliegenden Fall resultierten Speicherkoeffizienten zwischen $5.4 \cdot 10^{-13}$ (aus P6) und $1.3 \cdot 10^{-3}$ (aus P7). Diese riesigen Schwankungen sind ein klares Indiz dafür, dass hier die Voraussetzungen für diese Methode nicht gegeben sind.

3.5.3 Wiederanstiegsmethode von THEIS und JACOB: Transmissivität

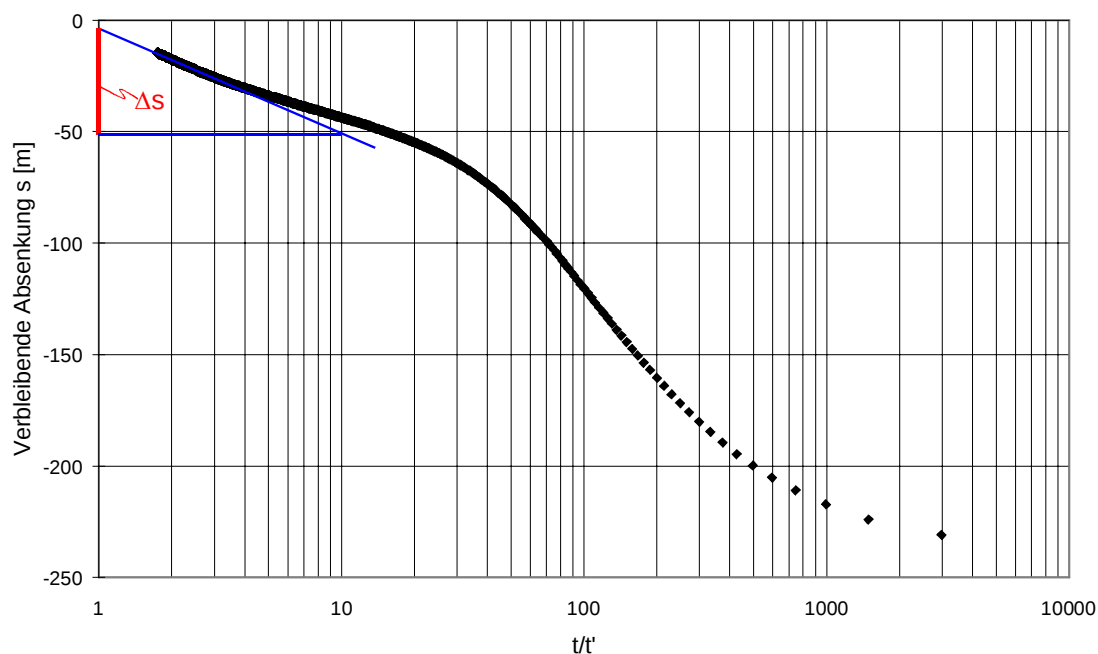
Nach Abschalten der Pumpe steigt der Wasserspiegel im Bohrloch wieder an, der Absenkungstrichter löscht sich allmählich aus (Details in Langguth & Voigt 1980). Der Vorteil dieser Methode liegt vor allem darin, dass sich einerseits starke Schwankungen der Förderrate nicht bemerkbar machen (es wird eine mittlere Förderrate für die gesamte Pumpzeit eingesetzt) und dass sich andererseits die in der Bohrung selbst beobachteten Wiederanstiegsdaten direkt zur Berechnung der Transmissivität verwenden lassen (im Gegensatz zum Geradlinienverfahren von COOPER & JACOB). Das Zeitverhältnis t/t' (t : seit Pumpbeginn vergangene Zeit, t' : seit Pumpenstopp vergangene Zeit) wird logarithmisch gegen die noch verbleibende Absenkung aufgetragen (Fig. 9).

Die Transmissivitäten berechnen sich nach folgender Formel:

$$T = (2.30 * Q) / (4\pi * \Delta s_r)$$

wobei: Δs_r = verbleibende Absenkung (m)

Damit konnten Transmissivitäten zwischen 0.6 bis 0.9 10^{-5} m²/s berechnet werden (Tab. 2). Diese relativ zuverlässigen Werte sind in bis zu einer Größenordnung kleiner als jene Werte, welche mit Hilfe des Geradlinienverfahrens ermittelt wurden.



Figur 9: Wiederanstiegsmethode von THEIS und JACOB zur Bestimmung der Transmissivität in der Bohrung Berlingen-3 an Hand des Wiederanstiegsversuchs W3.

3.5.4 *k*-Wert-Bestimmung nach Hölting 1984

Im instationären Strömungszustand wird kurzfristig Grundwasser aus dem Bohrloch gepumpt und anschliessend der Wiederanstieg gemessen. Unter der Voraussetzung, dass L/r wie im vorliegenden Fall grösser als 8 ist, gilt gemäss Hölting (1984, p. 133):

$$k = r^2 / [2L(t_2 - t_1) * 5.3 \log(L/r) * \log(h_1/h_2)]$$

wobei: k = Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

r = Radius der Bohrung (=0.073 m)

L = Länge der offenen Strecke (=29.55 m)

h_1 = Wasserspiegel bei Ende Kurzpumpversuch (m)

h_2 = Wasserspiegel zu späterem Zeitpunkt (m)

t_1 = zu h_1 zugehörige Zeit (s)

t_2 = zu h_2 zugehörige Zeit (s)

Die kurze, eigentlich nicht geplante Pumpphase P5 während dem ersten Wiederanstiegsversuch W1 wurde dazu verwendet, den Durchlässigkeitsbeiwert k zu berechnen. Die Auswertung der ersten 5 Minuten nach dem Abstellen der Pumpe ergeben einen durchschnittlichen k -Wert von $3.1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Bei der Bewertung dieses Wertes ist zu beachten, dass bei solchen Testbestimmungen häufig kleinere Werte als bei grossräumigen Pumpversuchen resultieren (Hölting 1984).

3.6 *Wasserchemismus und stabile Wasserisotope*

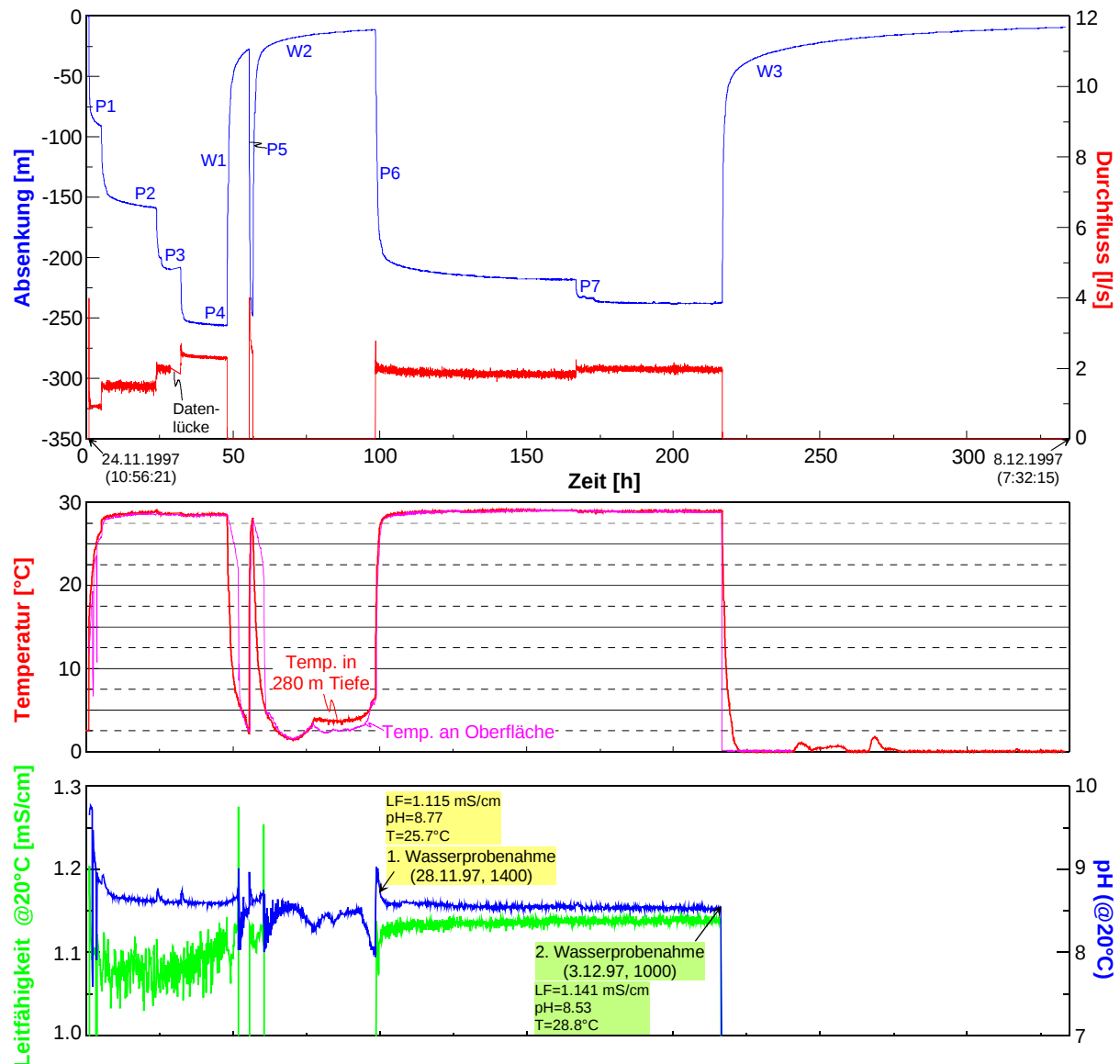
3.6.1 *Wasserchemismus*

Beim geförderten Wasser handelte es sich um klares, geruchloses Wasser mit kleinen Gasbläschen (sehr wahrscheinlich CO_2 -Blasen).

Proben für Hydrochemie-Analysen (Anhang 1 und 2) und Isotopenuntersuchungen (Anhang 3) wurden zu Beginn der langen Pumpphase P6 am 28.11.1997 sowie kurz vor dem letzten Wiederanstieg W3 am 3.12.1997. Die Proben, ausser jene für die Wasserisotope, wurden von den Herren Di Menna (Abteilung Laboratorium, Kt. TG) und Toggenburger (Kantonales Laboratorium, Kt. TG) genommen. Die Analysen und die Untersuchungsberichte finden sich in Anhang X.

Gemäss diesen Berichten entspricht das Wasser den bakteriologischen Anforderungen an Trinkwasser. Bei der künftigen Nutzung des Wassers muss den etwas erhöhten Eisengehalte spezielles Augenmerk verliehen werden, da der Grenzwert von 0.3 mg/l für Gesamteisen des Schweizerischen Lebensmittelbuchs leicht überschritten wird. Etwa durch Belüftung des Wassers sollten mögliche Beeinträchtigungen problemlos beseitigt werden können. Korrosionsprobleme durch CO_2 sind ohne zusätzliche Untersuchungen nicht auszuschliessen. Die geringen Konzentrationen von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) (Qualitätsziel des Schweizerischen Lebensmittelbuchs erfüllt) sind als positiv zu erwähnen, da sie eine Aufbereitung des Wassers mittels Aktivkohle überflüssig macht.

Beim OMM-Wasser der Bohrung Berlingen-3 handelt es sich um ein $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)}$ -Wasser (Klassifikation nach Jäckli 1970). Dieser Chemismus ist typisch für Tiefenwässer aus der Oberen Meeresmolasse und ist z.B. vergleichbar mit dem Wässern der Geothermiebohrung Kreuzlingen-2 (Geoform 1995) oder der Mineralwasserbohrungen Aquis 1 und 2 (Geoform 1991). Die Gesamtmineralisation (TDS) liegt zwischen ca. 1000 und 1100 mg/l, also in der gleichen Grössenordnung wie Aquis-1.



Figur 10: Absenkung, Pumprate, Temperatur, pH und Leitfähigkeit des Langzeitpumpversuches in der Bohrung Berlingen-3.

Vom Kanton Thurgau wurden die pH-, Leitfähigkeits und Temperaturwerte in einem Messabstand von 5 Minuten digital aufgezeichnet (Fig. 10).

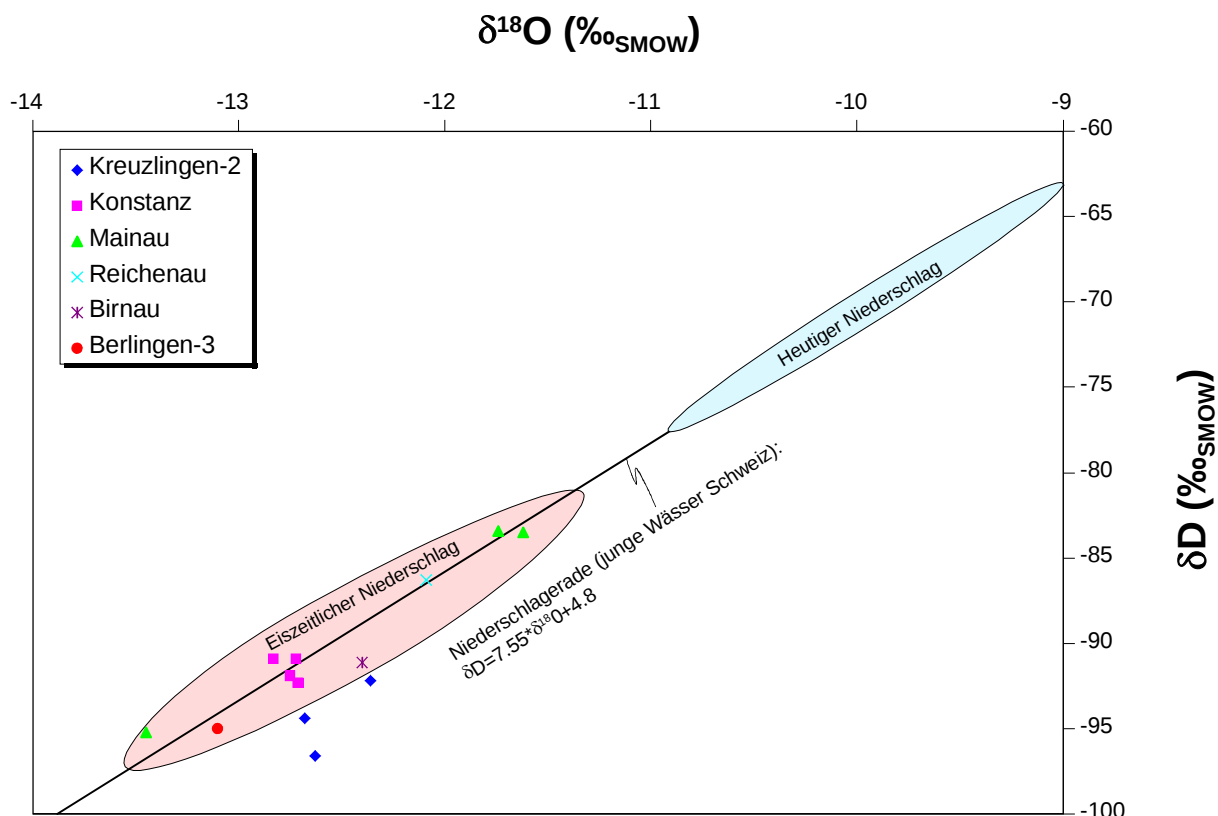
Die Temperatur, welche mit einer Sonde beim Einlauf des Wassers aus der Bohrung in die Baumulde gemessen wurde, unterscheidet sich kaum von der in der Tiefe von 280 m gemessenen Temperatur.

Der pH, welcher durchwegs im alkalischen Bereich liegt, nimmt während des Leistungspumpversuches (P1 bis P4) generell leicht ab, wobei er kurzfristig beim Erhöhen der Förderrate kurz wieder ansteigt. Während der langen Pumpphase (P6 und P7) stellt sich ein mehr oder weniger konstanter Wert von 8.50 ein.

Die elektrische Leitfähigkeit nimmt während dem Leistungspumpversuch tendenziell leicht zu. Auch in der Anfangsphase der langen Pumpphase nimmt die Leitfähigkeit allmählich zu und erreicht am Ende einen relativ konstanten Wert um 1.140 mS/cm. Demnach ist die Wasseranalyse mit Probenahmedatum am 3.12.1997 als hinsichtlich einer längerfristigen Nutzung als repräsentativer zu betrachten als jene vom 28.11.1997.

3.6.2 Wasserisotope

Die Daten der stabilen Wasserisotope $\delta^{18}\text{O}$ und δD liegen praktisch auf der weltweit gültigen Niederschlagsgeraden, welche nur geringfügig von der Schweizer Niederschlagsgeraden abweicht (Fig. 11). Die mit jungen Niederschlägen verglichen auffallend negativen Werte sind typisch für die OMM-Wässer. Sie zeigen an, dass diese Wässer zu einer Zeit mit deutlich kühlerem Klima, wahrscheinlich der letzten Eiszeit, infiltriert sind. Es dürfte sich somit um sehr alte Wässer mit unterirdischen Verweilzeiten in der Grössenordnung von einigen 10'000 Jahren handeln. Da der Tritium-Gehalt kleiner als 1.8 TU ist (GCA-Analysen siehe Anhang 3), sind im Wasser keine jungen Wasserkomponenten enthalten.



Figur 11: Stabile Wasserisotope verschiedener OMM-Wässer im Raum Bodensee. Sämtliche Wässer sind auf Infiltration während Zeiten mit deutlich kühlerem Klima als heute zurückzuführen. Die Probe Berlingen-3 zeigt praktisch keinen Sauerstoff-Austausch mit dem Gestein.

3.7 Wassertemperatur

Während den Pumpphasen konnte Wasser mit permanent hohen Temperatur gefördert werden. Während dem Leistungspumpversuch wurden für die einzelnen Pumpstufen leicht unterschiedliche Temperaturen beobachtet (Fig. 10). Am Ende der Pumpphase P1 wurde eine Temperatur von nur 26.61 °C gemessen, allerdings war die Temperatur zu diesem Zeitpunkt immer noch am steigen. Am Ende der Phase P2 wurde innerhalb dieser Versuchsphase die höchste Temperatur, nämlich 28.96 °C erreicht. Bei den weiteren beiden Pumpstufen P3 und P4 fiel die Temperatur ganz leicht synchron mit der Leistungssteigerung (Ende P3: 28.67 °C, Ende P4: 28.61 °C), wobei sich die Temperaturen gegen Ende Pumpstufe wieder jeweils nahezu erholten (Fig. 10). Während dem Aquifertest wurden noch

höhere Temperaturen registriert, nämlich am Ende der Phase P6 29.11 °C und am Ende der Phase P7 29.00 °C.

Das Verhalten der Temperatur kann somit als äusserst konstant bezeichnet werden. Wird von einem lokalen Wärmegradienten von 28 °C/km (Medici & Rybach 1997) ausgegangen, wird klar dass die gemessenen Wassertemperaturen für die Endtiefe der Bohrung viel zu hoch sind. Bei der Endtiefe von 416 m kann mit einer Formationstemperatur von höchstens ca. 22 °C gerechnet werden. Die gemessene Maximaltemperatur von 29.11 °C würde ca. einer Tiefe von ca. 680 m entsprechen. Die hohen Temperaturen sind neben den hydraulischen Beobachtungen ein weiteres Indiz dafür, dass ein grosser Anteil des Wassers aus grösserer Tiefe subvertikal bis vertikal zum offenen Teil der Bohrung zuströmt.

3.7 Geothermische Leistung

Mit der neu gemessenen Wassertemperatur und Fördermenge kann nach Roux & Griesser (1992) die geothermische Leistung (P_{geo} , Tab. 3) berechnet werden.

Tab. 3: Nutzbare Wärmemengen (geothermische Leistung) der Bohrung Berlingen-3.

Nutzbare Wärmemengen Berlingen-3				
$P_{\text{geo}} = c \cdot m \cdot DT \text{ [kW]}$ P_{geo} : Geothermische Wärmeleistung [kW] m : Massenstrom (Förderleistung) [kg/s] DT : nutzbare Temperaturdifferent [°C] c : spez. Wärmekapazität von Wasser [4.18 kJ/kg.K]				
Förderleistung [kg/s]	Wassertemp. [°C]	DT [°C]	Absenkung [m]	P [kW]
1.0	28.0	18	125	75.2
1.5	28.0	18	188	112.9
2.0	28.0	18	250	150.5
2.5	28.0	18	313	188.1
3.0	28.0	18	375	225.7

Der Leistungsbedarf für die Beheizung der Weinkellerei und Aufwärmung der Weintanks ist mit rund 45 kW somit deutlich abgesichert durch die förderbare geothermische Leistung.

4. Installationen (Bohrung und Heizung)

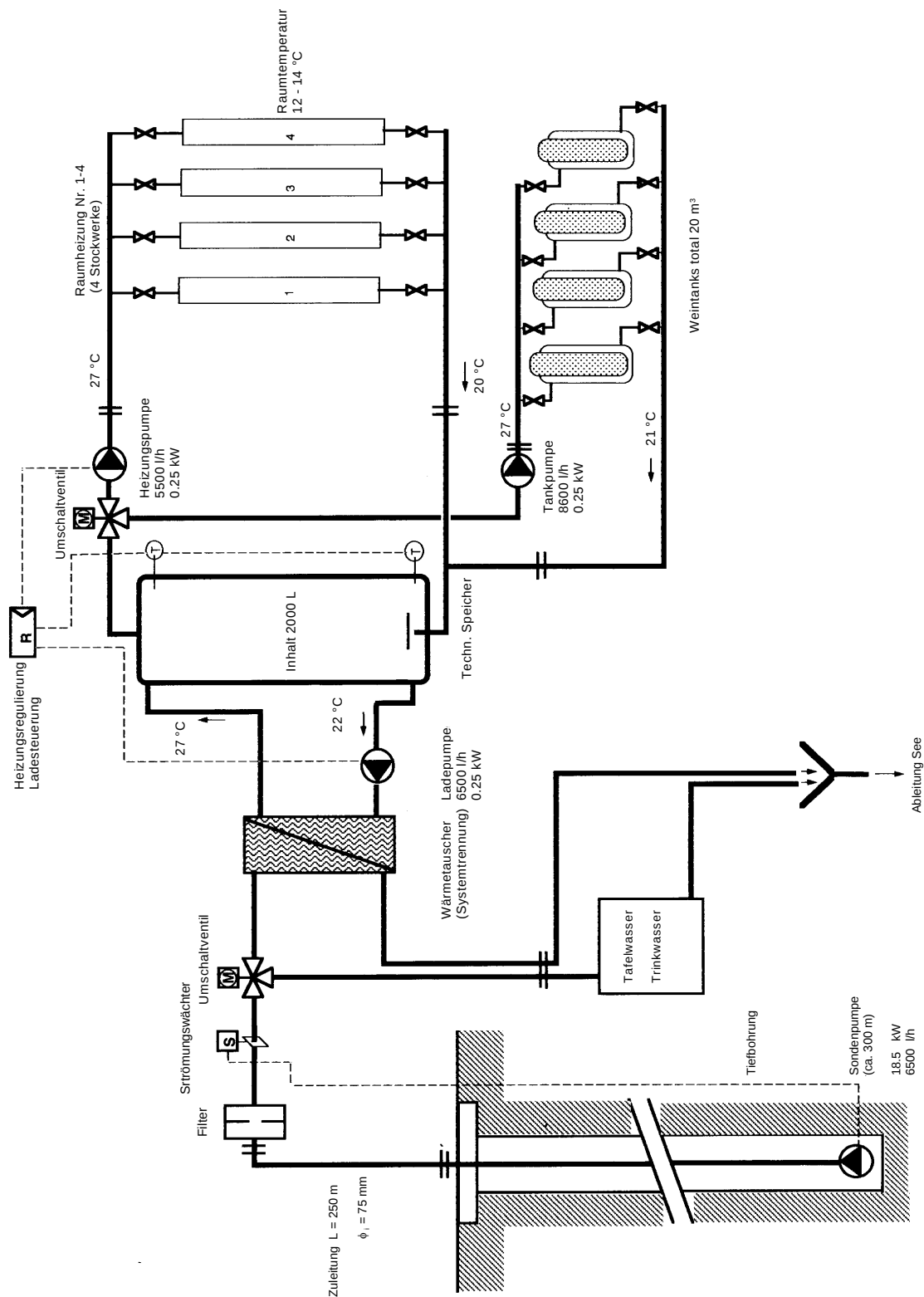
4.1 Prinzipschema der Anlagen

Die Rahmenbedingungen für das Konzept der notwendigen Anlagenteile wurde uns freundlicherweise von Herrn Hutterli zur Verfügung gestellt. Da von der Weinkellerei lediglich Planskizzen im Massstab 1:100 bestehen, und die genaue Verarbeitung des Tafelwassers noch nicht genau bekannt ist, handelt es sich im Folgenden um relativ grobe Prinzipschemen.

Um die geothermische Energie und das Tafelwasser zu fördern und zu nutzen, sind konzeptionell folgende Installationen in der Bohrung und an der Oberfläche notwendig (Fig. 12):

- Sondenpumpe (auf ca. 300 m Tiefe)
- Steigleitung (Inox, ca. 300 m)
- Zuleitung von Bohrung bis Weinkellerei (Gerodur-HPDE, ca. 250 m)
- Filter, Umschaltventile und Strömungsüberwachung
- Wärmetauscher (Systemtrennung Bohrung/Heizung)
- Heizanlage für 4 Stockwerke (Bodenheizung, Pumpen, Steuerung, Speicher)
- Heizanlagen für Weintanks (ca. 20 m³)

Sämtliche Anlagenteile, die für die Speicherung, Verarbeitung und Ableitung des Tafelwassers notwendig sind, wurden hier nicht weiter berücksichtigt.



Figur 12: Prinzipschema der Förder- und Heizinstallationen (Hr. Hess, Polydynamics, Bern). Die Anlagen für die Trink-/Tafelwasseraufbereitung sind nicht dargestellt.

4.2 Klimadaten Heizung und Jahresenergiebedarf

Mithilfe der Planskizzen und Vorgaben wurden die notwendigen Heizparameter für die Beheizung der Weinkellerei berechnet (Tab. 4, Herr Hess, Polydynamics, Bern).

Aufgrund des Gebäudevolumens ist eine Heizleistung von 45 kW notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Heizsystem keine Wärmepumpe vorgesehen ist. Dies bedeutet jedoch, dass in der kältesten Jahreszeit maximal Raumtemperaturen von ca. 14 °C erzeugt werden können. Gemäss Angaben von Herrn Hutterli reicht dies jedoch für die Lager- und Fabrikationsgebäude aus.

Weiter wurde die Aufheizung der Weintanks mit in die Energieberechnung einbezogen. Hier ist zu bemerken, dass nur ein Aufheizzyklus ("Charge") pro Jahr berücksichtigt wurde.

Tab. 4: Heizungs-/Energiedaten der Weinkellerei Hutterli in Berlingen.

Energiedaten	
Heizung	
Energiebezugsfläche, EBF	1'860.2 m ²
Beheiztes Volumen	7'098.7 m ³
Heizenergiebedarf	259.0 MJ/m ² a
Jahresenergiebedarf	134'000.0 kWh/a
Heizleistung	45.0 kW
Raumtemperatur	ca. 14.0 °C
Heiztage pro Heizperiode (HT 10)	194.0 Tage/a
Heizgradtage pro Heizperiode (HGT 18/10)	2'970.0 K Tage/a
Weintankerwärmung	
Weinvolumen	20.0 m ³
Anfangstemperatur	10.0 °C
Endtemperatur	20.0 °C
Heizenergie pro Charge	209.0 kWh
Heizleistung (Vorgabe, siehe oben)	45.0 kW
Aufheizzeit	ca. 4.7 h
Tafelwasserbetrieb	
Entnahmedauer pro Jahr	80.0 Tage
Tägliche Laufzeit	8.0 h
Jahreeetriebszeit (ausserhalb der Heizperiode)	640.0 h
Stromverbrauch (nur Niedertarif)	11'840.0 kWh/a

5. Wirtschaftlichkeitsberechnung

5.1 Investitionen Wärmegewinnung

Auf der Basis von Richtofferten und Vergleichswerten wurden die notwendigen Investitionskosten für den Ausbau der Bohrung sowie der Heizungsinstallationen berechnet (Tab. 5). Der Ausbau der Bohrung beläuft sich dabei auf rund 38% der Gesamtinvestitionen von Fr. 194'375.-

Eine vergleichbare Ölheizung (inklusive Bodenheizung, Brenner, Honorare etc., ohne bauliche Massnahmen) würde rund Fr. 80'000.- kosten. Damit sind Mehrinvestitionen von rund Fr. 115'000.- zu erwarten.

Tab. 5: Investitions-, Wartungs- und Unterhaltskosten Für Bohrung und Heizungsanlagen der Weinkellerei Hutterli in Berlingen (Wartungskosten nach RAVEL 1992b).

Bau- / Anlageteil	Werkstoff/ Dimension	Anzahl / Einh.Preis	Betrag [Fr.]	Wartung/ Unterh. [%] [Fr.]		Nutzungs- dauer [Jahre]
Sondenpumpe, Biral	Inox, 6500 l/s	1	40'000.-	2.0	800.00	15
Steigrohr Bohrung	Inox, f 2"	300m/112.5 Fr./m	33'750.-	2.0	675.00	30
Zuleitung bis Heizzentrale	Gerodur, ϕ 75mm	250m/44.0 Fr./m	11'000.-	2.0	220.00	30
Verbindungs-muffen	Gerodur, ϕ 75mm	28 / 56.0 Fr./m	1'570.-	2.0	31.40	30
Graben	---	250m/60.0 Fr./m	15'000.-	1.0	150.00	30
Wärmetauscher	Inox, 1.4401	1	6'865.-	4.0	274.60	15
Filter	Inox	1	5'600.-	4.0	224.00	15
Umschaltventil mit Antrieb	Inox, 2 $\frac{1}{2}$ "	1	680.-	3.0	20.40	15
Strömungswächter	Inox, 2 $\frac{1}{2}$ "	1	420.-	3.0	12.60	15
Ladepumpe	Stahl	1	800.-	2.0	16.00	15
Techn. Speicher, 2000L	Stahl, isoliert	1	3'000.-	2.0	60.00	15
Umschaltventil, Heizung	Stahl, 2 $\frac{1}{2}$ "	1	490.-	3.0	14.70	15
Heizungspumpe mit Drehzahlregulierung	Stahl	1	1'200.-	2.0	24.00	15
Tankpumpe	Stahl	1	400.-	2.0	8.00	15
Lade- / Heizungssteuerung	---	1	3'500.-	3.0	105.00	15
Verrohrung Zentrale und Sicherheitseinricht.	Stahl	---	10'200.-	1.0	102.00	30
Wärmedämmung	Polyurethan	---	6'400.-	1.0	64.00	15
Fussbodenheizung	Metaplast	1680 m	18'000.-	1.0	180.00	30
Elektroinstallationen	---	---	8'500.-	1.5	127.50	15
Unvorhergesehenes	---	---	8'000.-	1.0	80.00	15
Planungshonorare	---	---	19'000.-	1.0	190.00	15
Total			194'375.-		3'379.-	
Leitungen / Bohrlochausbau			89'520.-		1'358.-	
Anlagen und Pumpen			104'855.-		2'021.-	

5.2 Wärmegestehungskosten ohne Amortisation

Bei der Berechnung der Wärmegestehungskosten werden in einem ersten Schritt die betriebswirtschaftlichen Energiekosten (für den Investor tatsächlich anfallende Kosten) unter Einbezug der Betriebs-, Wartungs- und Unterhaltskosten ermittelt.

Für die Berechnungen wurde ein mittlerer Stromtarif von 0.165 Fr./kWh (50%HT/50%NT) über das vorgegebene Lastprofil der Raumheizung und Weintankbeheizung verwendet.

Werden die so entstehenden Betriebs- und Wartungskosten (Tab. 6) durch die jährliche Energieproduktion (Wärme) geteilt, so resultieren effektive Energiegestehungskosten von 9.6 Rp./kWh. Darin sind keine Kosten für das Abteufen der Bohrung oder eine eventuelle Verfüllung eingeschlossen.

Würden in einer optimierten Variante die Investitionen für den Bohrlochausbau (Sondenpumpe und Steigleitung) um 50% verkleinert und eine die elektrische Leistungsaufnahme der Sondenpumpe von 18.5 auf 10.0 kW reduziert, so würden sich die effektiven Energiegestehungskosten auf 5.8 Rp./kWh senken, und wären vergleichbar mit konventionellen Energieträgern (siehe Kap. 6.4).

Tab. 6: Energiegestehungskosten ohne Amortisation/Teuerung für eine geothermische Nutzung der Bohrung Berlingen-3.

Energiegestehungskosten ohne Amortisation		
Energieproduktion	(kWh _t /a)	134'000
Energieverbrauch	(kWh _e /a)	57'434
Mittlerer Stromtarif Lastprofil	(Fr./kWh)	0.165
Stromkosten pro Jahr	(Fr.)	9'477.-
Wartung und Unterhalt pro Jahr	(Fr.)	3'379.-
Jahresbetriebskosten	(Fr.)	12'856.-
Energiekosten	(Fr./kWh)	0.096

5.3 Wärmegestehungskosten mit Amortisation

In einem zweiten Schritt wird eine umfassendere Wirtschaftlichkeitsberechnung, unter Berücksichtigung von Kapitalzinssätzen, der Teuerung sowie realistischer Nutzungsdauern (Ravel 1992a, SIA 1996), durchgeführt. Dabei wird die dynamische Annuitätenmethode angewandt. Für die Berechnung der effektiven jährlich wiederkehrenden Kosten (**K**) wurde folgende Formel verwendet:

$$K = (I \cdot a) + (B \cdot m)$$

wobei: **I** = Investitionskosten
B = jährliche Betriebskosten
a = Annuitätsfaktor
m = Mittelwertfaktor

Dabei sind die Faktoren **a** und **m** abhängig von der Nutzungsdauer der verschiedenen Anlagekomponenten, der zu erwartenden Teuerungsrate und einem Kapitalzinssatz. Der Mittelwertfaktor **m** ist das Produkt aus Annuität **a** und Diskontierungssummenfaktor **d** (**d** wird nach Formel 11 in Ravel 1992a berechnet).

Für die vollständige Annuitätenrechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Jährliche Teuerungsrate = 1% (gleich für Betriebsenergie und Wartungsarbeiten)
- Kapitalzinssatz = 5%
- Nutzungsdauer Leitungen und Bohrlochausbau = 30 Jahre
- Nutzungsdauer andere Anlagekomponenten = 15 Jahre

Tab. 7: *Energiegestehungskosten mit Amortisation/Teuerung für eine geothermische Nutzung der Bohrung Berlingen-3.*

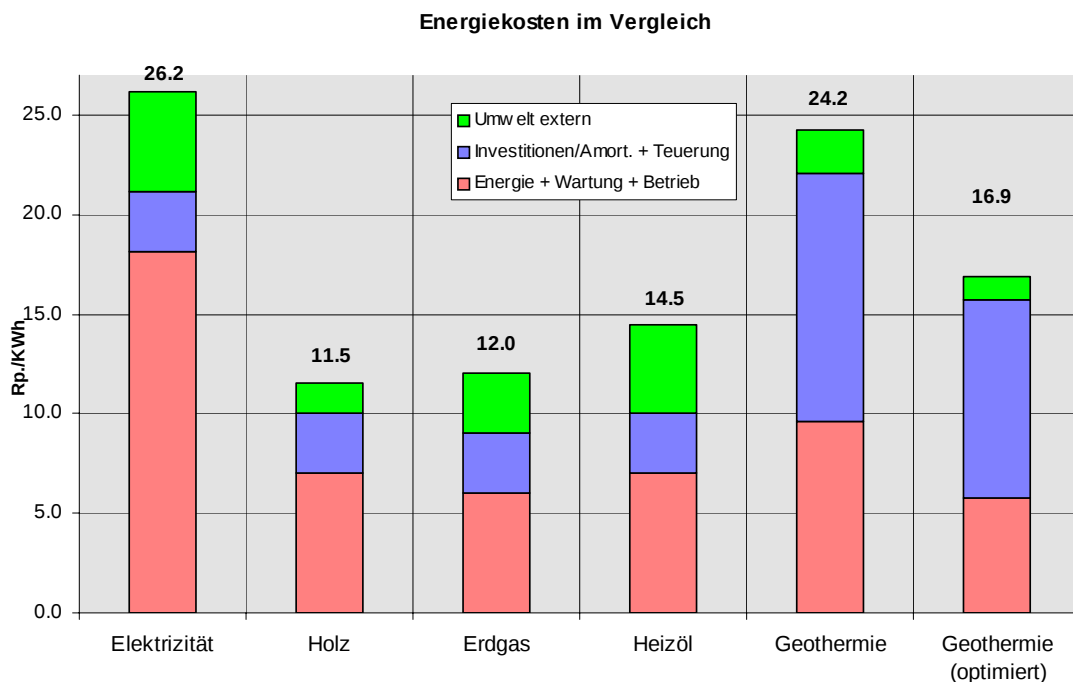
Energiegestehungskosten mit Amortisation und Teuerung		
Annuitätsfaktor (Leitungen und Bohrlochausbau)		0.065
Annuitätsfaktor (Anlagen und Pumpen)		0.096
Mittelwertfaktor (Jahresbetriebskosten)		1.07
Kapitalkosten Leitungen und Bohrlochausbau	(Fr.)	5'819.-
Kapitalkosten Anlagen und Pumpen	(Fr.)	10'066.-
Jahresbetriebskosten	(Fr.)	13'756.-
Total jährlich wiederkehrende Kosten	(Fr.)	29'641.-
Energiekosten	(Fr./kWh)	0.221

Die Verzinsung der Investitionen sowie die Teuerung bewirken eine Kostensteigerung um mehr als die Hälfte auf 22.1 Rp./kWh.

5.4 Vergleich zu andern Energiequellen

Ein direkter Vergleich mit konventionellen Energiegestehungskosten ist nur bedingt möglich, da keine konventionellen Alternativanlagen mit z. B. Erdgas, Heizöl oder Holzschnitzel berechnet wurden (Investitionen und Anlageschemen). Deshalb kann lediglich ansatzweise ein Vergleich mit schweizerischen Erfahrungswerten erfolgen (INFRAS et al. 1996, BEW 1997).

Wird der effektive Energiepreis mit 10 - 40 % Wartungs- und Betriebskosten erhöht sowie ein Kostenzuschlag für Amortisation/Teuerung (ca. 3.0 Rp./kWh für fossile Brennstoffe) und externe Kosten gemacht, (Fig. 13), so bleibt Holz und Erdgas deutlich billiger und Heizöl vergleichbar mit der geothermischen Energie.



Figur 13: Vergleich der Energiegestehungskosten für Holzschnitzel, Erdgas, Heizöl, Elektrizität und Geothermie.

5.5 Produktionskosten Tafelwasser

Ohne Berücksichtigung der Amortisation und Teuerung belaufen sich die reinen Produktionskosten (elektr. Pumpen, inkl. Wartung und Unterhalt) für einen Kubikmeter geförderten Tafelwassers auf 47 Rp..

6. Schlussfolgerungen / Empfehlungen

- Der Langzeitpumpversuch, die Kaliber-Vermessung des Bohrloches Berlingen-3 sowie die Wasseranalysen und Energiekostenrechnungen bestätigen die positive Beurteilung und Machbarkeit einer kombinierten Nutzung von geothermischer Energie und Tafelwasser aus der Bohrung Berlingen-3 (Kt. Thurgau).
- Obschon die Bohrung nur den obersten Teil des OMM-Aquifers erschliesst, ist eine Langzeitförderung von 2.0 l/s durch die Resultate des Pumpversuches und Messkampagne abgesichert.
- Das geförderte OMM-Wasser entspricht den bakteriologischen Anforderungen an Trinkwasser. Die Kolonne-2 Werte des Schweizerischen Lebensmittelbuches werden bei der Temperatur ($>25^{\circ}\text{C}$) und beim Eisengehalt ($>0.3 \text{ mg/l}$) überschritten.
- Die abgesicherte geothermische Wärmeleistung der Bohrung ist rund drei mal grösser (150 kW) als der Heizleistungsbedarf für die geplante Weinkellerei (50 kW). Weitere Abnehmer könnten in die Nutzung der geothermischen Energie eingebunden werden (z.B. durch Energie-Contracting).

- Verglichen mit einer konventionellen Ölheizung sind für die Nutzung der Geothermie rund Fr. 115'000.- Mehrkosten zu erwarten. Diesbezüglich sollte die Frage von Subventionen des Bundes so schnell wie möglich im Rahmen einer konkreten Projektierung geklärt werden.
- Mit den getroffenen Annahmen ergeben sich für die geothermische Energie Gesteungskosten von 9.6 Rp./kWh. Mit einer Optimierung des Bohrlochausbaus, d.h. einer kleineren Sondenpumpe, könnten die Kosten auf rund 5.8 Rp./kWh gesenkt werden.

Eine kombinierte Nutzung von Geothermie und Trinkwasser in der Bohrung Berlingen-3 für die geplante Weinkellerei Hutterli ist wirtschaftlich machbar, insbesondere wenn der Bund im Rahmen des Energie-2000 Projektes eine Nutzung von alternativer Energie mit Subventionen unterstützt.

Verwendete Literatur

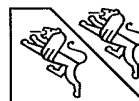
- BUNDESAMT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT (1997): Empfehlungen für energetische Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit Einbezug der externen Kosten, 6 p.
- DR. ULRICH P. BÜCHI (1986): Projekt Erdgasspeicher Seerücken Aquiferbohrung Berlingen 3 Geologischer Bericht und technische Bohrdaten. - Bericht U.P. Büchi AG, Nr. 2033, 16 p.
- GEOFORM (1991): Geologischer Schlussbericht Mineralwasserbohrung Aquif-2. - Bericht Geoform AG, gf-102-1.
- GEOFORM AG (1996): Verfüllung der Speicherforschungsbohrungen Seerücken (Kt. TG). - Geoform-Bericht, gf-170-1, 16 p.
- HÖLTING, B. (1984): Hydrogeologie, Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. - F. Enke Verlag, 370 p.
- INFRAS, ECONCEPT, PROGNOSE (1996): Die vergessenen Milliarden - externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich.- Haupt-Verlag, Bern, 1996.
- KLEMENZ, W., GREBER, E., LEU, W. & BÖHNER, A. (1996): Machbarkeit der Nutzung von bestehenden Tiefbohrungen für geothermische Pilotanlagen (BEW-Proj. Nr. 17'216). - Bericht BEW, 28 p.
- LANGGUTH, H., R. & VOIGT, R. (1980): Hydrogeologische Methoden. - Springer Verlag, Berlin, 486 p.
- RAVEL (1992a): Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen.- Materialien zu Ravel, Nr. 724.397.12.51.2.
- RAVEL (1992b): Ravel zahlt sich aus.- Materialien zu Ravel, Nr. 724.397.42.01.
- ROUX, D. & GRIESSER, J.-C. (1992): Vorprojekt für eine Geothermieranlage in der Schweiz. Technische und finanzielle Aspekte. - In: BEW (ed.): p. .
- SIA (1996): Grundlagen zur Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme (Serie "Planung, Energie und Gebäude). - SIA-Dokumentation Nr. D-0136, 142 p.
- GEOFORM AG (1995): Thermalwassernutzung Kreuzlingen-2 - Hydrogeologischer Kurzbericht. - Geoform-Bericht, gf-173-1, 12 p.

Anhänge 1 - 3

Anhang 1.1 - 1.2:	Untersuchungsbericht Wasser Kantonales Labor Kt. TG.
Anhang 2.1 - 2.2:	Analysenbericht Wasser Abteilung Laboratorium Kanton Thurgau.
Anhang 3.1 - 3.2:	Datenbericht Isotopenanalysen, Geochemische Analysen GCA.

Spannerstrasse 20
8510 Frauenfeld
Tel. 052/ 724 2264
Fax 052/ 724 2905

KANTONALES LABORATORIUM



KANTON THURGAU

Untersuchungsbericht

GEOFORM AG
Emil Greber
Anton-Graff-Strasse 6
8401 Winterthur 1 Fächer

Selbstkontrolle/Auftrag: 119703313

Erhoben: 1.12.97 , TOGGENBURGER
und 3.12.97 (Bakt)

Erhobene Proben

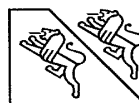
Probennummer : 219707155, Kat.Nr.: 51
Berlingen-3, Tiefenbohrung

(GRUNDWASSER)

Durchgeführte Untersuchungen

Analysen		51
Wassertemperatur	°C	29.3
Enterokokken	/100 ml	NN
Escherichia coli	/100 ml	NN
Aerobe, mes. Keime (30°C)	/ml	26
Gesamthärte	mmol/l	0.1
Säureverbrauch pH 4.3	mmol/l	8.2
Calcium	mg/l	<5
Magnesium	mg/l	<2
Sauerstoffsättigung	%	<7
pH-Wert bei Erhebung		8.7
Permanganat-Verbrauch	mg/l	1.3
Ammonium	mg/l	0.28
Nitrit	mg/l	<0.005
Chlorid	mg/l	52
Nitrat	mg/l	<3
Sulfat	mg/l	162
Eisen gesamt	mg/l	0.37

KANTONALES LABORATORIUM



KANTON THURGAU

Das Wasser der Probe 219707155 entspricht den bakteriologischen Anforderungen an Trinkwasser. Die Kolonne 2-Werte des Schweizerischen Lebensmittelbuches werden bei der Temperatur ($>25^{\circ}\text{C}$) und beim Eisengehalt ($>0.3\text{mg/l}$) überschritten. In den Erläuterungen zum Eisengehalt wird im Lebensmittelbuch darauf hingewiesen, dass bereits kleinere Gehalte zu Beeinträchtigungen führen können. Bei Grundwasser des reduzierten Typus können nach Kontakt mit Luftsauerstoff opaleszente Trübungen und Gelbverfärbungen auftreten.

In der Beilage erhalten Sie den Analysenbericht 6-073-96.DOC/NDM Amt für U+W Laboratorium und Diskette 3 1/2".

Frauenfeld, 8. Dezember 1997/tog/kau

Freundliche Grüsse
KANTONALES LABORATORIUM
Trinkwasserinspektorat

Heinrich Toggenburger

Beilage erwähnt
Rechnung

Die Beurteilung bezieht sich nur auf die erwähnten Proben und beschränkt sich auf den Umfang der vorgenommenen Untersuchungen. Dieser Bericht darf nicht auszugsweise kopiert und nicht für Reklamezwecke verwendet werden. Details zu den verwendeten Untersuchungsmethoden können auf Anfrage eingesehen werden.

8510 Frauenfeld
Ringstrasse 21
Telefon 052 724 24 73
Telefax 052 724 29 17

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ
UND WASSERWIRTSCHAFT
Abteilung Laboratorium



KANTON THURGAU

Frauenfeld,
Direktwahl
Unser Zeichen

den 15. Dezember 1997
052/724 25 10
6-073-96.DOC/NDM

Analysenbericht

**chemische Untersuchung
des Grundwassers
Registrierung der Leitfähigkeit,
Temperatur und des pH-Wertes**

Eingang: 28.11.1997 und 03.12.1997 durch Laboratorium U+W

Projekt	Probenbezeichnung	Probenahmeort	Probenahme durch	Probenahmedatum
Pump- versuch	Grundwasser	Tiefenbohrung Berlingen-3	N. Di Menna	28.11.1997 03.12.1997

Aufgabenstellung: chemische Untersuchung des Grundwassers, ergänzende Parameter
Registrierung der Leitfähigkeit, Temperatur und des pH-Wertes mittels Data-
logger in der Staumulde

Gebindematerial: Glasflaschen, für Fluorid, Silizium und Bor TPX-Flaschen (Polymethylpen-
ten)

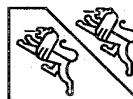
Analytik: gemäss Richtlinienmethoden

Resultate: Die Resultate sind auf die entnommenen Proben bezogen. Die Werte für ge-
lösten Sauerstoff, gelöstes Eisen und Mangan können infolge unvermeidlich-
er Luftfeinmischung bei der Probenahmestelle nicht den Tatsachen entspre-
chen.

Registrierung: Die registrierten Parameter Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert liegen
diesem Analysenbericht auf einer 3½" Diskette bei. Das Datenformat ist mit
der Tabellenkalkulation Excel, Version 5 kompatibel (Dateiname: 5-190-
97.xls)

8510 Frauenfeld
Ringstrasse 21
Telefon 052 724 24 73
Telefax 052 724 29 17

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ
UND WASSERWIRTSCHAFT
Abteilung Laboratorium



KANTON THURGAU

Parameter	vor dem Pumpen	nach dem Pumpen
Datum	28.11.1997	03.12.1997
Zeit	14 ⁰⁰	10 ⁰⁰
Grundwasserspiegel	-190.8 m	-237.2 m
momentane Pumprate	2.00 l/s	1.99 l/s
Temperatur	27.8 °C	29.0 °C
Entnahmetiefe	-280 m	-280m
pH (20°C)	siehe Diskette	siehe Diskette
Leitfähigkeit (20°C)	siehe Diskette	siehe Diskette
Temperatur	siehe Diskette	siehe Diskette
Sauerstoff gelöst ¹	1.1 mg/l	0.9 mg/l
DOC	0.5 mg/l	0.4 mg/l
Magnesium	1.1 mg/l	1.2 mg/l
Calcium	2.6 mg/l	2.6 mg/l
Strontium	0.35 mg/l	0.37 mg/l
Barium	0.030 mg/l	0.031 mg/l
Lithium	0.052 mg/l	0.047 mg/l
Natrium	279 mg/l	298 mg/l
Kalium	1.7 mg/l	1.8 mg/l
Bromid	<0.05 mg/l	<0.05 mg/l
Chlorid	49 mg/l	48 mg/l
Sulfat (als SO ₄ ²⁻)	166 mg/l	161 mg/l
Fluorid	4.3 mg/l	3.6 mg/l
Eisen gelöst ¹	0.45 mg/l	0.34 mg/l
Eisen total ¹	0.48 mg/l	0.39 mg/l
Mangan gelöst ¹	0.035 mg/l	0.010 mg/l
Bor (als B)	0.56 mg/l	0.56 mg/l
Bor (als H ₃ BO ₃)	3.2 mg/l	3.2 mg/l
Silizium (als Si)	6.2 mg/l	6.2 mg/l
Silizium (als H ₂ SiO ₃)	17 mg/l	17 mg/l

¹ siehe Text (Resultate)

Analytik: _____

Leiter Analytik: ND

Abteilungsleiter: _____

Datenbericht

Nr.795_971204

für

Geoform,
Geologische Beratungen und Studien AG

über

Isotopenanalysen an 1 Wasserprobe

Berichterstatter: T.Tegeder

Geochemische Analysen (GCA)
Dipl. Ing. M. Schmitt
Glückaufstrasse 50
31319 Sehnde-Ilten

Datum: 23.12.97

Geochemische Analysen GCA, Sehnde

23.12.1997

1. Allgemeines:

Auftraggeber: Geoform, Herr Greber
 Auftrags-Nr.: vom 02.12.97
 Probeneinlieferung: 04.12.97
 Probenanzahl ,Art, Menge, Konservierung: 1 x Wasser, 500ml, PE-Flasche
 Bearbeitungsbeginn: 11.12.97
 Bearbeitungsende: 23.12.97
 GCA-Job: #795
 benutzte Meßgeräte: MAT251
 Bearbeiter: TT

2. Resultate:

Methode: Zur Messung der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Wasserproben werden 5ml unbehandelter Probe mit CO₂ bekannter isotopischer Zusammensetzung überschichtet. Das sich dabei, nach wenigen Stunden, einstellende Isotopengleichgewicht läßt sich folgendermaßen formulieren: $H_2^{18}O + C^{16}O^{16}O \rightleftharpoons H_2^{16}O + C^{18}O^{16}O$
 Wegen der Temperaturabhängigkeit der Austauschreaktion wird die Equilibrierung in einem thermostatisierten Raum durchgeführt. Nach vollständiger Equilibrierung wird das CO₂ durch Vakuumdestillation getrocknet und massenspektrometrisch auf sein ¹⁸O/¹⁶O-Verhältnis untersucht.

Zur Messung der Wasserstoff-Isotopenverhältnisse von Wasserproben muß Wasser zunächst zu Wasserstoff reduziert werden. Hierfür werden 1µl der Wasserprobe in einem mit granuliertem Zink gefüllten evakuierten Abschmelzrohr kondensiert. Das Abschmelzröhrchen wird anschließend für 240 Minuten auf 430°C erhitzt. Danach ist das Wasser vollständig zu Wasserstoff reduziert und wird massenspektrometrisch auf sein D/H-Verhältnis untersucht. Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopenverhältnisse von Wasser werden üblicherweise als o/oo Abweichung von einem Standard (SMOW, Standard Mean Ocean Water) angegeben:

$$\delta \text{ in o/oo} = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} * 1000$$

R = Isotopenverhältnis

Die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse beträgt für d¹⁸O 0,2 o/oo und für d²D 2 o/oo.

Tritium (³H) ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs. Es hat eine Halbwertszeit von 12,43 Jahren. Der Tritiumgehalt von natürlichen Vorkommen wird in Tritiumeinheiten (TU) angegeben. Nach der Definition entspricht 1 TU = 1 Tritium-Atom pro 10¹⁸ Wasserstoff-Atome oder 3,2 pC/Liter H₂O.

Ergebnis:

Probe	GCA-Nr.	del 18-H ₂ O [o/oo]SMOW	del D-H ₂ O [o/oo]SMOW	³ H-Gehalt [TU]
Ber-3 (28/11/97)	13934	-13,1	-95	< 1,8

Berichtersteller:

QSM:

Bemerkungen: Alle vorab per Fax oder telefonisch übermittelten Teilergebnisse verlieren hiermit Ihre Gültigkeit. Dieser Prüfbericht bezieht sich nur auf die mit GCA-Problemnummern aufgeführten Prüfobjekte. Eine auszugsweise Weitergabe des Prüfberichtes ist nur nach Absprache mit dem Prüflabor zulässig.