Geothermisches Potential und Nutzungsmöglichkeiten im Nordostjura

Autor(en): **Schneider, Jean F. / Blum, Wilfried**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 20: **SIA, Heft 3**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74495

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Geothermisches Potential und Nutzungsmöglichkeiten im Nordostjura

Von Jean F. Schneider und Wilfried Blum, Baden

Die Autoren verfassten den Artikel in Zusammenarbeit mit:

Ph. Bodmer, Institut für Geophysik, ETH Zürich

F. Jaffé, Département de Minéralogie, Université de Genève

B. Mathey, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel

L. Rybach, Institut für Geophysik, ETH Zürich

B. Saugy, Institut d'Economie et Aménagements Energétiques, EPF Lausanne

J.P. Tripet, Motor-Columbus, Ingenieurunternehmung AG, Baden

F.D. Vuataz, Département de Minéralogie, Université de Genève

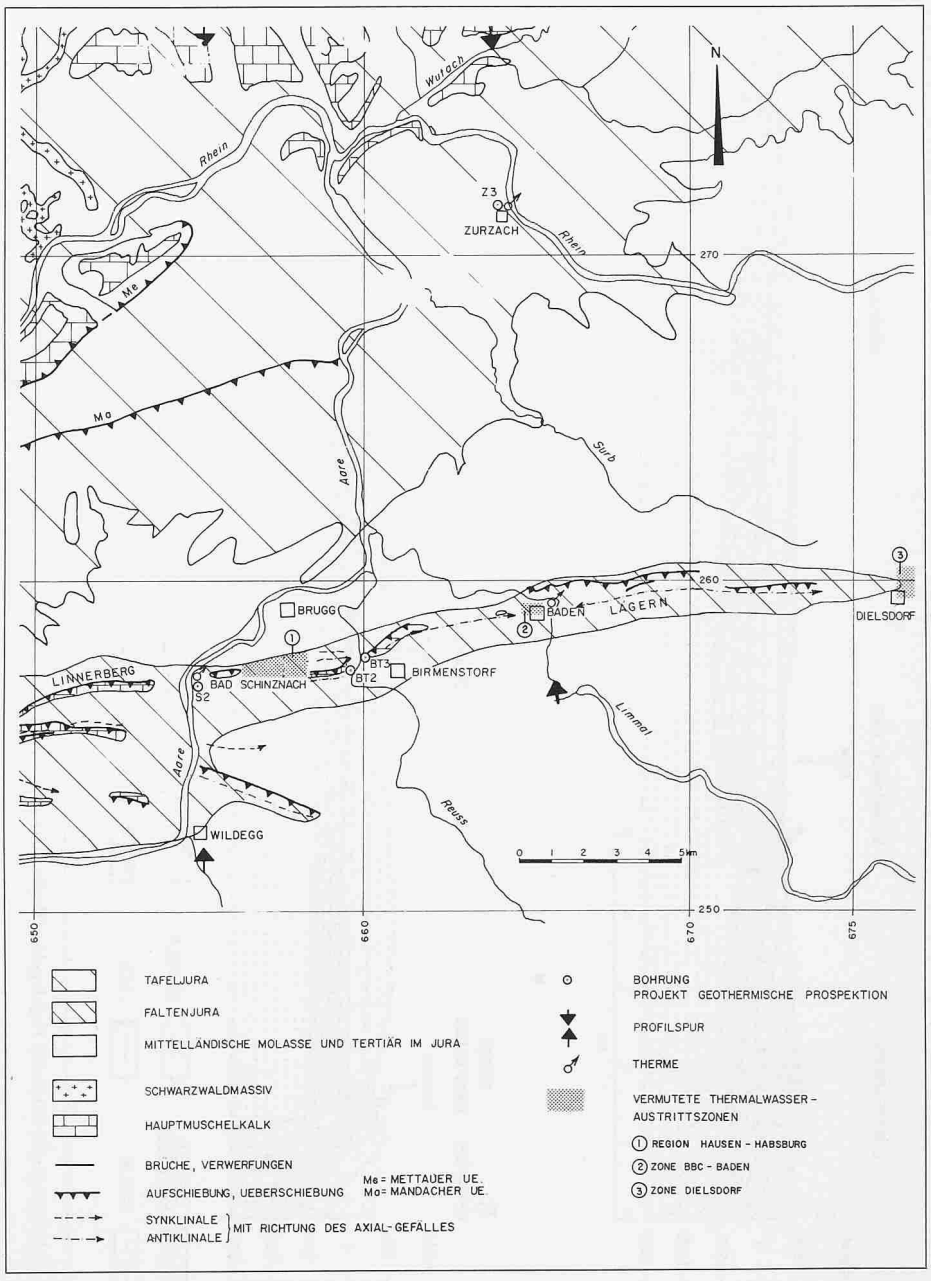
D. Werner, Institut für Geophysik, ETH Zürich

Der «*Nationale Energie-Forschungs-Fonds*» (NEFF) finanzierte das erste grössere Geothermie-Explorationsprogramm in der Schweiz, das 1979/80 von den in nebenstehendem Kasten genannten Projektpartnern ausgeführt wurde. Jede Institution behandelte entsprechend ihrer Spezialisierung besondere Aufgaben. Das Projekt wurde in gutem Einvernehmen mit den Behörden sowie in intensiver Zusammenarbeit mit der Bad Schinznach AG und der Thermalquellen AG Zurzach abgewickelt. Die Autoren danken den beteiligten Personen und Instanzen bestens für ihre wohlwollende Mitarbeit.

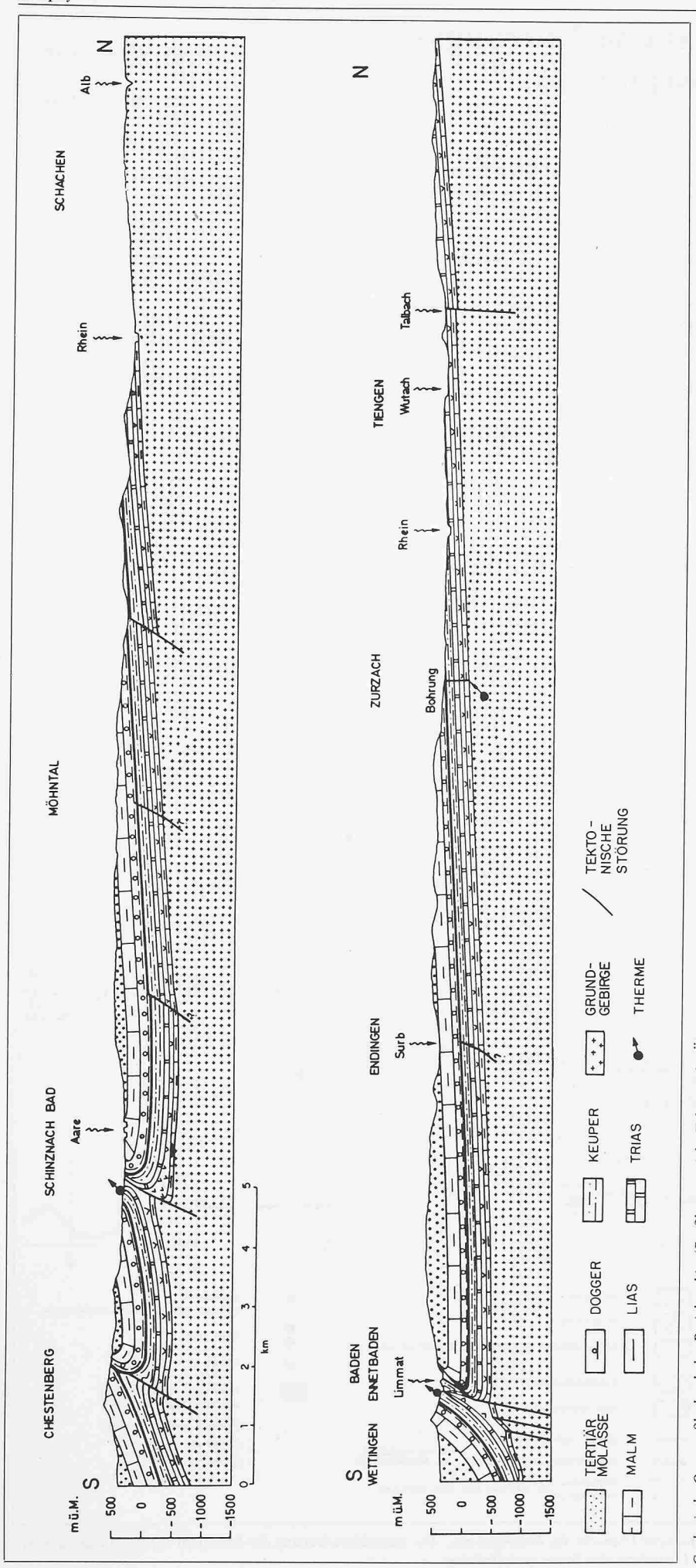
Das Projektgebiet liegt im nördlichen Teil des Kantons *Aargau*, eine der im Hinblick auf die Erschliessung von oberflächennahen *geothermischen Energiequellen* niedriger Enthalpie *interessantesten Regionen* der Schweiz. Zahlreiche natürliche Thermalwasseraufstösse sowie erbohrte Thermalwasservorkommen manifestieren dieses Potential (Thermen von Baden, Schinznach, Lostorf, Zurzach, Säckingen sowie verschiedene Versuchsbohrungen).

Geologie

Das Gebiet wird durch die mesozoischen Sedimente des flachliegenden Tafeljuras im Norden und des aufgeschobenen Faltenjuras im Süden dominiert. Eine markante tektonische Störung, die Hauptüberschiebung, trennt den Tafeljura vom Faltenjura. Das Flusssystem der Limmat, Reuss, Aare und des Rheins schneidet tief in den Aargauer Jura ein. Das Grundgebirge (Granit und Gneis des herzynischen Schwarzwaldmassivs) liegt unmittelbar nördlich des Rheins und taucht gegen Süden allmählich unter die Sedimente des Jura, im Projektgebiet in Tiefen von 400 bis 900 m. Die obersten, verwitterten und zerklüfteten Partien dieses *kristallinen Sockels* bilden eine Zone erhöhter Permeabilität und somit einen *Aquifer von wirtschaftlichem Interesse*. Die darüberliegenden mesozoischen Sedimente werden vorwiegend aus Kalken, Dolomiten, Mergeln und Evaporiten (Gips, Anhydrit, Steinsalz) aufgebaut. Die tieferen Partien dieser Schichtreihe, nämlich der *obere Muschelkalk* der mittleren Trias, zeichnen sich teilweise durch hohe Druchlässigkeiten aus. Diese bilden einen bedeutenden *Thermalwasserleiter* mit den bekannten Thermen von Baden und Schinznach, beide auf Kreuzungspunkten der obenerwähnten Hauptüberschiebung mit jeweils senkrecht dazu stehenden Störungen gelegen. Im Süden des Untersuchungsgebietes schliesst sich der mittelländische Molassetrog an den Faltenjura an. Das Grundgebirge und die mesozoischen Sedimente sinken dort tief unter das Molassebecken ab, um am Alpennordrand wieder aufzutauchen.



Tektonische Übersicht des Projektgebietes. Die Hauptüberschiebung des Faltenjura auf den Tafeljura zieht vom Linnerberg über Baden nach Dielsdorf.



Geologische Querprofile durch das Projektgebiet (Profilspuren siehe Tektonische Übersicht). Die Hauptüberschiebung mit den natürlichen Austrittszonen von Schinznach und Baden ist deutlich sichtbar.

Methodologie und Resultate

Es kam eine ganze Reihe von herkömmlichen und neuen Feld- und Labormethoden zum Einsatz, was zu einer umfassenden *Explorationsstrategie führte,* welche nun erprobt und für weitere Prospektionsvorhaben einsatzbereit ist. Alle verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Grunddaten wurden erfasst, zusammengestellt und ausgewertet sowie durch gezielte Detailaufnahmen und spezielle Bohrlochuntersuchungen ergänzt.

Geochemie

Unter den gegebenen geologischen Verhältnissen erwiesen sich *hydrogeochemische Methoden* als besonders erfolgreich. Wiederholte Probenahme und die Messung physikalischer Parameter (z. B. der elektrischen Leitfähigkeit, Temperatur) an einer grossen Anzahl von Quellen, Bohrungen und Oberflächengewässern wurden ergänzt durch chemische und Isotopenanalysen an mehr als 150 Proben. Die Tritium-Messungen ergaben erhöhte Werte und zeigten, dass praktisch alles Thermalwasser durch junges Oberflächenwasser verdünnt wird. Die gemessenen Sauerstoff-18- bzw. Deuteriumgehalte deuten darauf hin, dass das Einzugsgebiet des *Thermalwassers* auf einer Höhe von rund 500 m ü.M. liegt und machen somit eine *Herkunft aus dem Schwarzwaldmassiv* wahrscheinlich. Der Ursprung des Thermalwassers aus dem Norden ist aufgrund der nun vorliegenden Daten plausibler als eine von früheren Autoren postulierte Infiltration am Alpenrand und weite Wanderung unter dem Molassebecken.

Reservoirtemperaturen (mutmassliche Temperaturen in Tiefengrundwässern) wurden anhand von SiO_2- und Na/K/Ca-Geothermometern zum erstenmal in der Schweiz so detailliert berechnet und ergaben Werte um 60 bis 80 °C. Entsprechende maximale Zirkulationstiefen liegen in der Grössenordnung von 1,5 bis 2 km.

Ferner wurden *Vermischungen* zwischen den verschiedenen *Thermalwasser-Stockwerken* festgestellt, die zur Definition eines neuen, verfeinerten hydrogeologischen Modells der Tiefengrundwässer führten.

Die Untersuchung von kalten bzw. Subthermalquellen entlang der Hauptüberschiebung (inkl. Temperatur und chemische Zusammensetzung) hat gezeigt, dass ein *Zusammenhang* zwischen der *Verteilung dieser Quellen* und den *geologischen Strukturelementen* besteht.

Geophysik

Die *geophysikalischen Feldkampagnen* bestanden aus gravimetrischen, geoelektrischen und refraktionsseismischen Messungen. Reflexionsseismische Aufnahmen wurden durch eine Prospektionsfirma im Auftrag der Bad Schinznach AG und der Thermalquelle AG Zurzach durchgeführt.

Diese Untersuchungen haben es ermöglicht, *neue potentielle Warmwasser-Austrittszonen,* insbesondere im Reusstal bei Birmenstorf, zu identifizieren. Ein überraschendes Resultat an diesem Ort war die Entdeckung eines bislang unbekannten, durch Quartärsande und -kies gefüllten, rund 200 m tiefen *schluchtartigen Einschnittes* in die Felsunterlage. Als tiefster Einschnitt in die Hauptüberschiebung begünstigt diese Schlucht die Entwässerung der tiefen Warmwasserleiter.

Bohrungen

Drei *mitteltiefe Explorationsbohrungen* (Gesamtlänge der Rotarybohrungen: 280 Meter) wurden im Projektgebiet abgeteuft und anschliessend bohrlochgeophysikalisch vermessen. In diesen Bohrungen wurden Pumpversuche durchgeführt. Ferner wurde ein finanzieller Beitrag an die Thermalquelle AG *Zurzach* geleistet, um in der 700 m tiefen Forschungsbohrung dieser Gesellschaft zusätzliche Fördertests und Bohrlochmessungen durchzuführen.

Zur räumlichen Erfassung von oberflächennahen geothermischen Anomalien wurde im Quartärschotter des Aare-Tales in der Nähe der Thermalquelle *Schinznach* ein Netz von *20 Flachbohrungen* (4 bis 23 m tief) errichtet. Zusätzliche geologische, geophysikalische und geochemische Information erlaubte die genaue Plazierung einer *tieferen Explorationsbohrung,* welche im Muschelkalk fündig wurde und nun *erfolgreich fördert.*

Das Thermalwasser in der Explorationsbohrung bei Bad Schinznach wurde im Tiefenbereich 72 bis 80 m im karbonatischen Teil der Muschelkalk-Formation angetroffen. Eine starke Kühlwirkung auf die Thermalquelle Schinznach durch das kalte oberflächennahe Grundwasser (Grundwasserstrom der Aare-Schotter) war vorhanden. Dieser unerwünschte Störeffekt konnte bei der Bohrung durch das angemessene Einzementieren einer Verrohrung eliminiert werden. Das Bohrloch wurde daraufhin unmittelbar durch die Bad Schinznach AG in Produktion genommen und die «alte» Thermalquelle aufgegeben. Die Fördertemperatur stieg um 8 °C (von 29 °C in der alten Quelle auf 37 °C in der erfolgreichen Explorationsbohrung). Die entsprechende Einsparung an Primärenergie liegt (beim gegenwärtigen Ölpreis) bei über 50 000 Fr. pro Jahr.

In zahlreichen bestehenden Bohrlöchern des Projektgebietes sowie in den eigenen Explorationsbohrungen wurden Temperaturmessungen durchgeführt. Diese Messungen erlaubten die *Kartierung des geothermischen Feldes* und die Abgrenzung einer ausgeprägten geothermischen Anomalie, welche sich über weite Teile des Projektgebietes erstreckt.

Mathematische Modelle

Aufgrund der vorliegenden Daten wurden zwei verschiedene zweidimensionale, mathematische, thermohydraulische Modelle berechnet: Ein erstes *regionales Modell* (Finite-Element-Technik) simuliert die Bewegung von Wärme und Wasser in einem *Vertikalprofil* von den Alpen bis zum Schwarzwald. Die Resultate zeigen eine recht gute Übereinstimmung mit den bekannten thermischen und hydraulischen Parametern. Dieses Modell erlaubte eine Abschätzung der *Austrittsmengen von Thermalwasser* auf der Linie *Schinznach-Dielsdorf.* Eine weitere Verfeinerung dieses Modells wird gegenwärtig noch durch mangelnde geologische und hydrogeologische Information aus grösseren Tiefen erschwert, wie zum Beispiel über das eventuelle Vorhandensein von natürlicher Konvektion.

Lokale hydrothermische Modelle simulieren den Aufstieg von Thermalwasser entlang einer durchlässigen vertikalen Störungszone, basierend auf der mathematischen Finite-Differenz-Methode. Die berechnete Temperaturanomalie sowie Austrittsmenge stehen weder mit den natürlichen Verhältnissen noch mit dem regionalen Modell im Widerspruch. Es wurde geschätzt, dass entlang der Hauptüberschiebung pro Meter 200 m³/Jahr (Regionalmodell) bis 400 m³/Jahr (lokales Modell) austreten. Dies entspricht einer totalen Austrittsmenge von 5 bis 15 m³/min auf der Linie Schinznach-Dielsdorf (natürliche Austrittsmenge in Baden und Schinznach zusammen um 1 m³/min). Die *Modelle bestätigen* ausserdem, dass eine beträchtliche Menge des zu Tage tretenden Thermalwassers *aus dem Kristallinsockel* in über 1000 m Tiefe stammen muss.

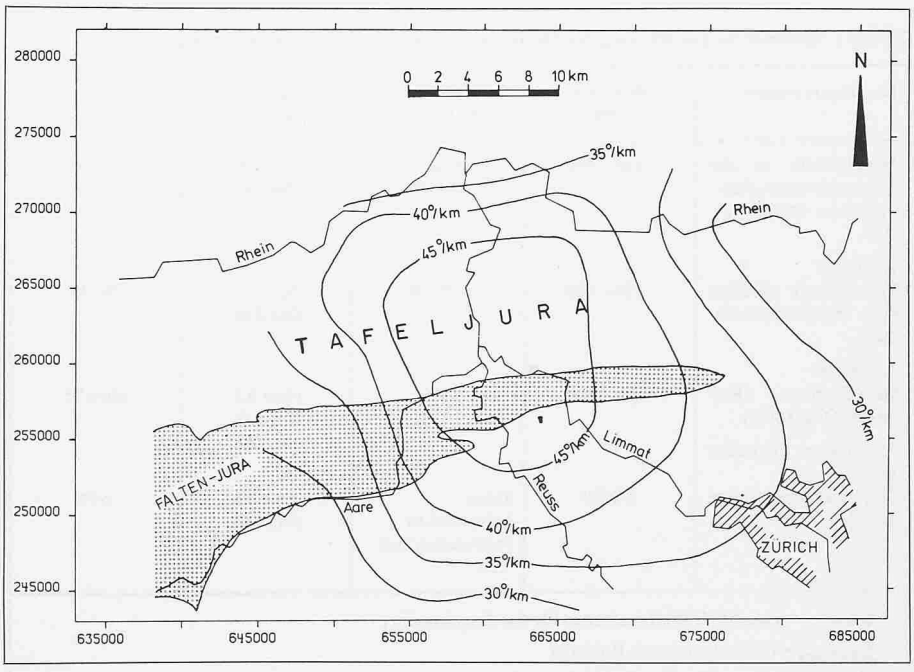
Wärmepotential

Als *natürliche Austrittszonen* kommen entlang der Hauptüberschiebung neben den Thermen von Schinznach und Baden als Resultat der geologischen Interpretation folgende Gebiete in Betracht (von West nach Ost):

- Region Hausen-Habsburg
- Reussklus von Birmenstorf-Turgi
- BBC-Gelände von Baden
- Umgebung von Dielsdorf

An diesen Stellen ist der Übertritt von Thermalwasser in oberflächennahe Lockergesteinsformationen zu erwarten. Das Thermalwasser könnte hier, wie auch in Schinznach und im Bäderquartier von Baden, durch mitteltiefe Bohrungen erschlossen werden.

Anhand des regionalen mathematischen Modells wurde eine Ausbeute des



Gradientenkarte: Mittlerer geothermischer Gradient zwischen 200 und 600 m Tiefe. Diese Karte verdeutlicht die geothermische Anomalie im Zentrum des Projektgebietes.

Thermalwassers mittels Bohrungen simuliert. Die *simulierte Entnahmemenge* (3 m³/min) ist etwas grösser als die berechnete natürliche Thermalwasser-Austrittsmenge. Es wurde festgestellt, dass die *Temperaturabnahme* des hydrogeologischen Systems (ohne Reinjektion des entnommenen Wassers in den Untergrund), trotz der verhältnismässig grossen Entnahmemenge in einem *bescheidenen Rahmen* bleibt, hingegen ist die Grundwasserabsenkung gross. Im Normalfall erfolgt die *Grundwasserentnahme mit Reinjektion*. In diesem letzten Fall bleibt die Einwirkung auf den Grundwasserspiegel unbedeutend, und die Temperaturabnahme kann von Fall zu Fall stark variieren, weil dieser Faktor von den lokalen Verhältnissen abhängig ist (Abstand zwischen den beiden Bohrungen des «Doublets», lokale hydrogeologische und geothermische Verhältnisse).

Aufgrund dieser ersten Rechenergebnisse kann man annehmen, dass eine *Ausnützung des Warmwasserpotentials* im Projektgebiet durchaus *denkbar* ist. Damit die Einwirkung auf das natürliche thermohydraulische System in einem beschränkten Ausmass bleibt, sollen gewisse *Bedingungen* eingehalten werden: gesamte Entnahmemenge Q nicht wesentlich grösser als die natürliche Austrittsmenge des Systems, angemessene Verteilung der Bohrungen, Fördermenge angepasst an die hydraulischen Parameter des Untergrundes (Durchlässigkeit, Porosität). Über die mögliche Gesamtanzahl und die optimale Verteilung der Bohrungen sollten die Ergebnisse einer ersten Pilotenanlage Auskünfte geben. In Tabelle 1 werden verschiedene Möglichkeiten, das Thermalwasser innerhalb des Projektgebiets (entlang oder nördlich der Achse Dielsdorf-Schinznach) mittels Bohrungen zu fassen, aufgeführt.

Für eine *optimale Ausbeutung* der Warmwasserreserven wäre eine Entnahmemenge des *zwei- bis dreifachen* der natürlichen Austrittsmenge denkbar. In diesem Fall wäre eine gesamte Fördermenge von etwa 20–30 m³/min nicht auszuschliessen. Dies entspricht unter der Annahme günstiger Voraussetzungen (Abkühlung von $\Delta T = 30$ °C) und für eine kombinierte Ausbeute des Muschelkalks im Bereich der Thermalwasser-Austrittszone und des Grundgebirges an der Kristallin-Oberkante einer thermischen Leistung von 60 MW. Die Dimensionierung eines solchen Entnahmesystems würde aber die vorherige Durchführung von *Pilotanlagen* (inklusive Beobachtung der Einwirkung des Anlagebetriebes auf das natürliche thermohydraulische System, insbesondere auf die bestehenden Thermen) voraussetzen.

Die vorhergehenden Angaben über das nutzbare Wasserpotential im Untersuchungsgebiet beziehen sich auf die im Rahmen dieses Projektes identifizierten Warmwassersysteme. Möglicherweise sind aber grössere und wärmetechnisch *interessantere Warmwasservorkommen in tieferen Lagen* noch vorhanden. Auch ist es möglich, dass die im engeren Untersuchungsgebiet identifizierten Warmwassersysteme ein grösseres Potential aufgrund von anderen noch nicht berücksichtigten Phänomenen aufweisen (wie z. B. Existenz von Konvektionssystemen, Thermalwasserübertritte aus angrenzenden Systemen). Die Existenz solcher Situationen konnte im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht abgeklärt werden.

Tabelle 1. Optionen zur Erschliessung des Thermalwassers mittels Bohrungen im Projektgebiet

Grundwasserleiter	*Bohrtiefe* [m]	Q_{total} [m³/min]	$Q_{Bohrung}$ [m³/min]	T [°C]
Muschelkalk in der Thermalwasser-Austrittszone (Mischwasser)	150– 400	etwa 10 (5–15)	0,5–1,0 (bis 2,0)	35–50
1. Option: Muschelkalk nördlich der Hauptüberschiebung	250– 400	<5–10	0,5–1,0 (bis 2,0)	20–25
2. Option: Grundgebirge (Kristallin-Oberkante)	1000–2000	<5	etwa 0,5 (bis 1,0)	etwa 75
3. Option (hypothetisch): Grundgebirge (tiefere Zone)	>2000	keine Information (wahrscheinlich <5)	etwa 0,5 (bis 1,0)	>75

Q_{total} = gesamte Entnahmemenge für das Projektgebiet
$Q_{Bohrung}$ = Fördermenge pro Bohrung
T = Temperatur im Grundwasserleiter

Nutzungsmöglichkeiten, wärmetechnische Aspekte

Die nachfolgenden Überlegungen über die wärmetechnischen Nutzungsmöglichkeiten des geothermischen Warmwassers konzentrieren sich auf die eigentliche *Thermalwasser-Austrittszone*, weil hier vermutlich die günstigsten Voraussetzungen zur Nutzung im Rahmen des engeren Projektgebietes bestehen.

Charakteristiken geothermischer Energie

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist im Hinblick auf wärmetechnische Anwendungen für dieses Gebiet von folgenden *Charakteristiken* der geothermischen Energie niedriger Enthalpie auszugehen:

- Das *Temperaturniveau* des zur Verfügung stehenden Wassers ist relativ *begrenzt*. Realistischerweise wird man von einer Wassertemperatur von etwa 35 bis 45 °C ausgehen können.
- Die *Menge* des zur Verfügung stehenden *Thermalwassers* ist ebenfalls *begrenzt:* Die theoretisch an der Oberfläche austretende Wassermenge kann mit etwa 5 bis 15 m³ pro Minute veranschlagt werden. Theoretisch entspricht die durch Abkühlung dieser gesamten Wassermenge um 20 °C gewinnbare Wärme einer thermischen Leistung von rund 20 MW.
- Auch die *pro Bohrung* verfügbare *Wassermenge* ist *beschränkt:* Die von einer Bohrung verfügbare Wassermenge kann mit etwa 0,5 m³ pro Minute veranschlagt werden, wobei allenfalls eine Steigerung auf 1 bis kurzfristig etwa 2 m³ pro Minute möglich ist.
- Das an der Oberfläche zur Verfügung stehende Thermalwasser weist einen relativ *hohen Mineralstoffgehalt* auf. Seine Nutzung erfordert daher gewisse Vorsichtsmassnahmen, um Schäden oder Störungen an den Anlagen zu vermeiden sowie den unkontrollierten Ausfluss des Wassers in die Umgebung zu verhindern. Es kann daher notwendig sein, das genutzte Wasser *kontrolliert* in die Umgebung bzw. in den Untergrund *zurückzugeben*, z. B. mittels einer *separaten Rückgabebohrung* («Doublet»).

Da die Nutzung der geothermischen Energie vergleichsweise *kapitalintensiv* ist, während eigentliche «Brennstoffkosten» entfallen, sind vor allem solche Anwendungen vorteilhaft, die eine hohe und gleichmässige Auslastung der Anlagen erlauben. Nicht zuletzt unter diesem Gesichtspunkt wird im folgenden auf einige typische Anwendungsmöglichkeiten kurz eingegangen.

Anwendungsmöglichkeiten

Bei der direkten Nutzung von Thermalwasser ohne Anhebung der Temperaturen steht die Verwendung für *medizinische Bäder* im Vordergrund, die im übrigen eine bereits wohlbekannte und in der Schweiz bisher die typische Verwendung von Thermalwasser darstellt. Aber auch die Nutzung der im Thermalwasser enthaltenen Wärme *über Wärmetauscher* zur Beheizung von *gewöhnlichen Schwimmbädern*, bei denen der hohe Mineralstoffgehalt vielleicht nicht erwünscht ist, kann vorteilhaft sein.

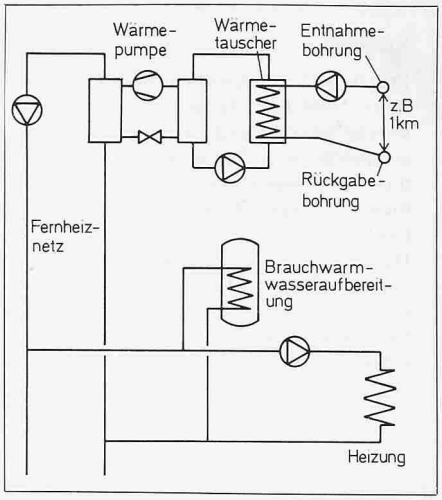
Eine interessante Anwendung der geothermischen Energie besteht grundsätzlich in Form der *Beheizung von Gewächshäusern*. Obwohl heute die Heizsysteme der meisten Glashäuser noch auf relativ hohe Temperaturen ausgelegt sind, ist doch eine Tendenz zu niedrigeren Temperaturen abzusehen, wobei die Heizrohre neuerdings vermehrt direkt auf dem Boden oder sogar unter das Pflanzbett verlegt werden. Angesichts der nicht unerheblichen Mengen Öl, die heute noch für solche Gewächshäuser benötigt werden (etwa 50–100 kg Öl pro m² und Jahr, abhängig von der Art der Kulturen), besteht hier ein recht beträchtliches Potential für den Einsatz von geothermischer Energie, wobei allerdings die Gewächshäuser entsprechend ausgerüstet sein müssen. Eine einzige Bohrung würde etwa zur Beheizung von 2000 bis 3000 m² Gewächshausfläche ausreichen.

Für Anwendungen, die *höhere Temperaturen* erfordern, als für das hier zugrundegelegte geothermische Warmwasser zu erwarten sind, insbesondere z. B. für die Raumheizung, ist eine Anhebung der Temperatur, z. B. *mittels Wärmepumpen*, erforderlich. Mit einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe kann man dank der relativ hohen Temperatur der Wärmequelle, z. B. bei einer Heiztemperatur von etwa 60 °C, eine Leistungsziffer von etwa 4 erreichen, d. h. nur ¼ der insgesamt verfügbaren Wärme muss mittels elektrischer Energie aufgebracht werden, ¾ stammen aus der geothermischen Energiequelle. Höhere Vorlauftemperaturen lassen sich insbesondere auch durch den Einsatz von Gas- oder Dieselmotor-betriebenen Wärmepumpen erzielen, bei denen die Motoren- und Abgaswärme zur Erzeugung höherer Temperaturen herangezogen werden kann.

Für *reine Raumheizzwecke*, bei denen die maximale Last nur während einer relativ kurzen Periode im Jahr benötigt wird, bietet sich die *Kombination von Wärmepumpen und Zusatzkesseln* an. Sie hat den Vorteil, dass auf diese Weise für die Wärmepumpe und damit auch für die geothermische Energiequelle eine relativ hohe Ausnutzung erzielt werden kann, was sich vor allem vorteilhaft auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen auswirkt. Auch hier sind grundsätzlich *Niedertemperaturheizungen* von Vorteil, weil damit die Zusatzheizung auf einem möglichst kleinen Anteil gehalten werden kann.

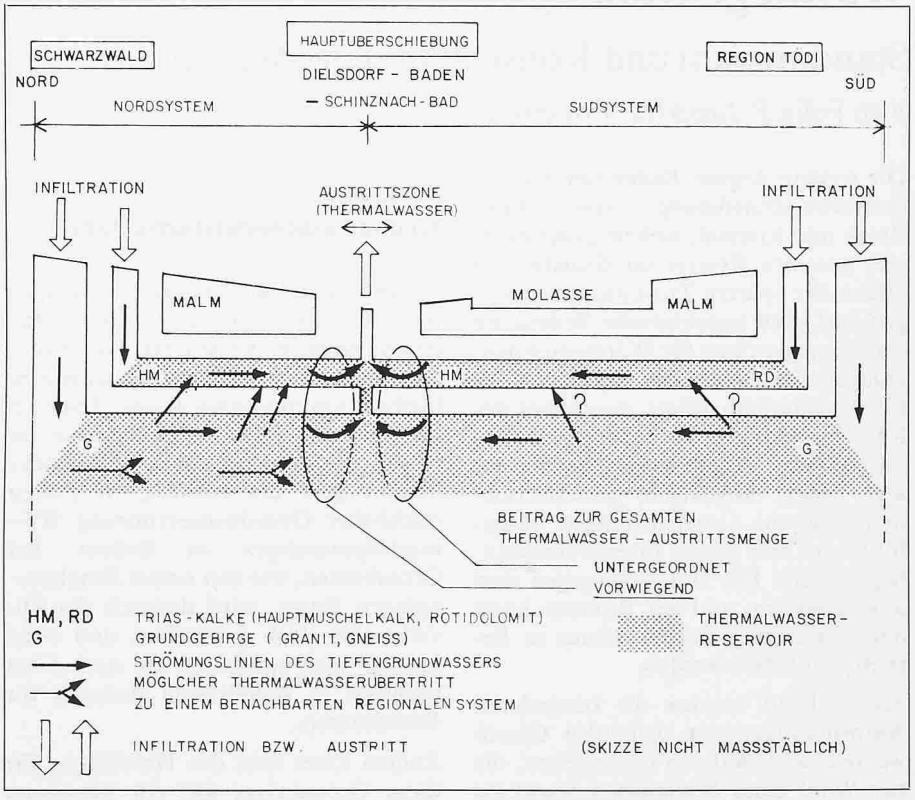
Wirtschaftlichkeit

Das folgende Zahlenbeispiel soll einen Eindruck von den Grössenordnungen vermitteln: *Eine Bohrung* mit einer Schüttung von 0,5 m³ pro Minute würde bei Abkühlung des Thermalwassers um 25 °C mittels einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe und unter Berücksichtigung einer Spitzenlastdeckung durch eine zusätzliche Wärmequelle (z. B. Heizkessel) etwa zur *Beheizung von 200 Wohnungen* ausreichen. Die Nutzung der in dieser Weise erzeugten Wärme könnte entweder in Form einer zentralen Wärmeversorgung für grössere Überbauungen oder aber als kleines Fernwärmesystem, z. B. für ein Quartier, erfolgen. Abgesehen von der Art der Wärmequelle und ihrer Kosten stimmen im übrigen die technischen und auch ökonomischen Randbedingungen eines solchen Systems recht gut mit denen eines grösseren Wärmekollektivs gemäss dem Konzept der «kalten Fernwärme» (Plenar) überein, das ebenfals die Nutzung von Niedertemperaturwärme mittels Wärmepumpen vorsieht (wobei allerdings vor allem an die Abwärme grosser thermischer Kraftwerke gedacht wird).



Vereinfachtes Schema für die Nutzung von Erdwärme mit Wärmepumpe

Aus einer *Analogie* mit diesem Konzept *Plenar* (siehe auch Plenar-Vereinigung: Plenar-Wärmeverbund Olten, Zürich, August 1979) lässt sich im übrigen schliessen, dass ein solches System zur Nutzung der geothermischen Wärme unter günstigen Voraussetzungen im Vergleich zu konventionellen Ölheizungen durchaus *wirtschaftlich* konkurrenzfähig sein kann. Dabei wird allerdings von relativ günstigen Voraussetzungen für die Erschliessung der geothermischen Wärmequelle ausgegangen (etwa Fr. 400 000.– für zwei Bohrungen in etwa 150 m Tiefe, kein Wärmetrans-



Schematische Darstellung der hydrogeologischen Systeme an einem Nord-Süd-Schnitt vom Schwarzwald bis zum Tödi: Aus dem Norden und untergeordnet aus dem Süden fliesst Thermalwasser Richtung Austrittszone, um dort an die Oberfläche aufzusteigen. Die hauptsächlichen Aquifere werden durch das zerklüftete Grundgebirge und die Triaskalke gebildet, welche im Mittelland und im Tafeljura durch undurchlässige Schichten gegen oben abgedichtet werden.

Referenz:

Projektpartner «*Geothermische Prospektion*», 1980: Forschungsprojekt geothermische Energie und unterirdische Wärmespeicherung, Teilprojekt I: Geothermische Prospektion im Raume Koblenz-Wildegg-Dielsdorf, Schlussbericht.
Herausgeber: *Nationaler Energie-Forschungs-Fonds*, NEFF, Basel, November 1980, zu beziehen durch das Institut für Geophysik an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich.

port). Im *Einzelfall* sind ganz *erhebliche Abweichungen* nach oben, eventuell aber auch nach unten möglich.

Schlussfolgerungen

Die geothermische Prospektion im Raume Koblenz-Wildegg-Dielsdorf ergab folgende Resultate:

- Das geothermische System im Projektgebiet hat wahrscheinlich sein *Einzugsgebiet* vorwiegend im *Schwarzwaldmassiv*.
- Die Reservoirtemperaturen des Thermalwassers liegen um 60 bis 80 °C, maximale Zirkulationstiefen um 1,5 bis 2 km.
- In den *Austrittszonen* entlang der Hauptüberschiebung Schinznach-Baden-Dielsdorf können 5 bis 15 m^3/min *unverdünntes Thermalwasser* erwartet werden.
- Neben den Thermen von *Schinznach* und *Baden* (natürliche Austrittsmenge zusammen um 1 m^3/min) kommen noch *weitere natürliche Austritte* nahe an die Oberfläche in Betracht.
- Eine totale Fördermenge von bis zu 30 m^3/min aus Bohrungen im Projektgebiet ist theoretisch denkbar. Dies entspricht einer thermischen Leistung von maximal 60 MW. Bei den heutigen Energiepreisen ist jedoch im Projektgebiet eine Förderung von Thermalwasser aus grösserer Tiefe noch kaum rentabel. Eine *Nutzungsbeschränkung auf die Austrittszone* bedeutet jedoch eine entsprechende *Reduktion* der Entnahmemenge und damit *des thermischen Potentials*.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es unter günstigen Voraussetzungen grundsätzlich möglich ist, die *geothermische Energie wirtschaftlich* zu nutzen, vor allem wenn in nicht zu grosser Tiefe ausreichende Wassermengen verfügbar sind. Diese Voraussetzungen erscheinen vor allem im Bereich der Aufstiegszone des geothermischen Wassers im Projektgebiet als gegeben.

Im Hinblick auf die *insgesamt eher beschränkten Mengen* an zu erwartendem geothermischem Warmwasser erscheint insbesondere eine Kombination der thermischen Nutzung mit bereits bestehenden Bädern als lohnend, bei denen die geothermische Energie durch Erhöhung der Wassermengen auch zu Heizzwecken genutzt werden kann. Beispiele wie *Schinznach Bad* oder auch *Bad Zurzach* zeigen, dass ein solcherweise koordiniertes Vorgehen zu brauchbaren Lösungen sowohl für den Quellenbetrieb als auch für die technische Wärmenutzung führen kann.

Adressen der Verfasser: Dr. *J.F. Schneider*, beratender Geologe, Haus 45, 8439 Mellstorf, und *W. Blum*, dipl. Ing., Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden

Selektive Nutzung von Grundwasser für Wärmegewinnung

Standortwahl und Konstruktion der Wasserfassung

Von Felix P. Jaecklin, Ennetbaden

Die weitere Region Baden umfasst die Grundwasserströmung von Aare, Reuss und Limmat, welche gemeinsam eine grössere *Reserve an Grundwasser* bilden für spätere Trinkwassernutzungen und - mit zunehmender Bedeutung - als Energieträger für Wärmepumpenanlagen. Im Gebiet des *Aufeldes* - der Ebene unterhalb *Brugg*, gegenüber der Reussmündung in die Aare - wurden, im Hinblick auf die neue *Zeughausanlage Brugg*, eingehende geotechnisch-hydrologische Untersuchungen ausgeführt und eine grosse Filterbrunnenanlage erstellt. Die Untersuchungen sind abgeschlossen, und der Brunnen kann nach Erstellung des Hochbaus in Betrieb genommen werden.

Nachstehend werden die besonderen Anforderungen zur *optimalen Grundwasserbewirtschaftung* beschrieben, die zur Wahl eines bestimmten Standorts führten. Die Fassung liegt eher nahe bei der Aare und schöpft dank der besonderen Ausbildung des Brunnens vorwiegend wärmeres Tiefengrundwasser.

Ziele der Grundwasserbewirtschaftung

Lange bestand die Tendenz des kantonalen Gewässerschutzamtes, in der Erteilung neuer Konzessionen für Grundwassernutzungen sehr zurückhaltend zu bleiben, um möglichst grosse Reserven für spätere Trinkwassernutzungen zu bewahren. Mit als Folge des Ölschocks besteht jetzt die Absicht, in Zonen reichlicher Grundwasserführung *Wärmepumpenanlagen zu fördern*. Bei Grossbauten, wie den neuen Zeughausanlagen Brugg, wird dadurch der Ölverbrauch stark gemindert, und zwar rascher und spürbarer als mit vielen mühsam zu erstellenden Anlagen für Kleinbauten.

Zudem kann man das Heizöllager für diese Grossanlage auf ein Minimum verringern. Damit *reduziert* sich auch das *Risiko der Grundwasserverschmutzung* infolge möglicher Leckstellen der Tankanlage.

Aus der Sicht des Grundwasserschutzes wird somit die Wärmepumpenanlage den grossen Öltanks bei weitem vorgezogen.

Dieser Zielsetzung des Grundwasserschutzes steht allerdings die bekannte Anforderung gegenüber, für *Wärmepumpen möglichst Grundwasser geringerer Qualität* zu verwenden und die Zonen mit erhöhter Qualität für Trinkwasser zu bewahren.

Zu diesen allgemeinen Vorstellungen der Grundwasserbewirtschaftung gesellen sich die Anforderungen der lokalen Gegebenheiten:

- Standort der Grundwasserfassung so, dass
- möglichst kein Wald gerodet werden muss, also ohne die Notwendigkeit einer Zusatzbewilligung
- eine geeignete Zufahrt vorhanden ist
- die Fassung auf einer dem gleichen Eigentümer (Bund) gehörenden Parzelle steht
- Durch die neue Grundwasserfassung dürfen die bestehenden Fassungen selbstverständlich nicht beeinträchtigt werden.
- Ein minimaler Abstand der Grundwasserfassung von Abwasserleitungen und Pumpwerk (möglichst a > 100 m) ist einzuhalten.