

Selektive Nutzung von Grundwasser für Wärmegewinnung: Standortwahl und Konstruktion der Wasserfassung

Autor(en): **Jaecklin, Felix P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 20: **SIA, Heft 3**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74496>

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.

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 m³/min *unverdünntes Thermalwasser* erwartet werden.
- Neben den Thermen von *Schinznach* und *Baden* (natürliche Austrittsmenge zusammen um 1 m³/min) kommen noch *weitere natürliche Austritte* nahe an die Oberfläche in Betracht.
- Eine totale Fördermenge von bis zu 30 m³/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.

Geologisch-hydrologische Verhältnisse

Gemäss den bekannten geologischen Angaben von F. Mühlberg (1901), besteht das Aaretal unterhalb der Stadt Brugg aus einer eher flachen Talsohle mit wenig Auenlehmen und darunter liegen gegen die Talmitte zunehmend mächtigere und gut durchlässige Niederterrassenschotter. Der eigentliche Felsuntergrund liegt im Bereich des Auffeldes in 10–17 m Tiefe und sinkt in Aarenähe auf über 100 m ab, also in eine *eiszeitliche Rinne*, die jedoch grösstenteils mit sandig-siltigen Rückstauseimenten eines früheren Sees wieder aufgefüllt wurde (Bild 1).

Der *Felsuntergrund* besteht am Talrand aus oberer Meeresmolasse – ausnahmsweise (in SB 4) jedoch aus dem sonst tieferliegenden Malmkalk.

Das *Grundwasser* steht in enger Beziehung zum Aarewasser und liegt bei konstanter Wasserführung etwa auf gleicher Höhe. Die Grundwasserqualität wird durch diesen Zusammenhang stark beeinflusst:

- Im Staubereich der Aare oberhalb Brugg wird Aarewasser ins Grundwasser *infiltriert*
- Direkt unterhalb des Bahnhofes Brugg, beim Gaswerk, *exfiltriert* Grundwasser in die Aare, während
- praktisch gegenüber, im Brugger-schachen, Aarewasser in den Grundwasserstrom des besagten Auffeldes *infiltriert* und
- etwa 1 km weiter unten, bei der Brücke Vogelsang, infolge der Gefällsstufe des Auffeldes teilweise zurück in die Aare *exfiltriert*.

Die starke *Wechselwirkung* von Infiltration und Exfiltration des Aarewassers bedeutet eine Qualitätsverschlechterung des Grundwassers, bedingt durch die Schmutzstoffe des Flusses und durch das kalte Flusswasser im Winter.

Die *Besonderheit des Grundwasserträgers* im Gebiet des *Auffeldes* liegt somit in seiner mit dem Aarespiegel praktisch identischen Höhenlage und seiner grossen Durchlässigkeit, die gemäss mehreren Pumpversuchen etwa $6,3 \times 10^{-3}$ m/sec beträgt. Dies gilt für den oberflächennahen Aareschotter bis in etwa 16 m Tiefe – dem Hauptgrundwasserträger. Die Grundwassermessungen zeigen, dass bei wechselnder Aareführung der Grundwasserspiegel, je nach Abstand zum Ufer, innert ungefähr 1–3 Tagen rasch nachfolgt. In dieser Uferzone besteht das Grundwasser somit hauptsächlich aus Aarewasser.

Gemäss der Bohrung SB 9 folgt jedoch ab einer Tiefe von etwa 16–20 m wenig

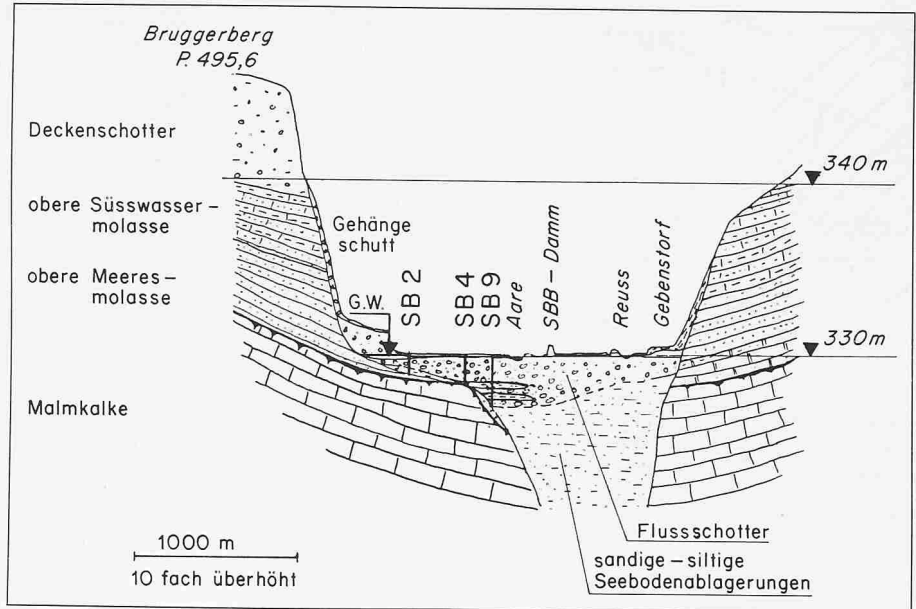


Bild 1. Geologisches Profil

durchlässiger siltiger Sand und darunter von etwa 20–22 m sowie vor allem von etwa 26–30 m sauberer wasserführender Kies (Bild 2).

Dies bedeutet eine *neue und wichtige Feststellung*: im Bereich der eiszeitlichen Felsrinne der Aare existiert kein homogener Grundwasserträger, sondern ein in Stockwerke unterteilter Grundwasserstrom. Interessant wäre festzustellen, ob zwischen den tieferen Stockwerken und dem oberflächlichen Hauptgrundwasserträger ein Druckunterschied besteht, was bis jetzt noch nicht nachgewiesen werden konnte.

Zweifellos beeinflusst diese Stockwerkunterteilung die Wasserfassung und die Grundwasserqualität in folgenden Punkten:

- Bessere chemische Grundwasserqualität infolge geringerer Durchmischung mit infiltriertem Aarewasser.
- Ausgeglichenen Temperaturverlauf über den Jahreszyklus, besonders relativ wärmeres Grundwasser im Winter (bei Niedrigstemperaturen im Fluss).
- Der Entzug von Grundwasser aus der Tiefe beeinflusst die Nachbarfassungen am wenigsten.

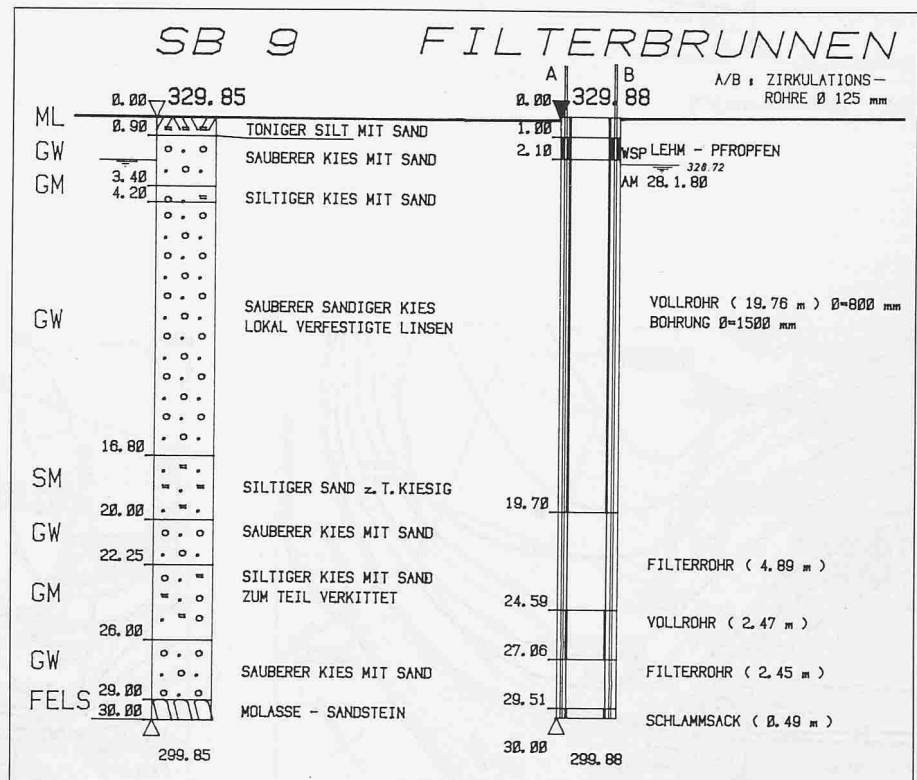


Bild 2. Bohrprofil und danach ausgerichteter spezieller Aufbau des Filterbrunnens für wärmeres Tiefengrundwasser mit Vollrohren bis zu den unteren Grundwasserstockwerken und mit seitlichen Zirkulationsrohren (A, B) zur Regulierung

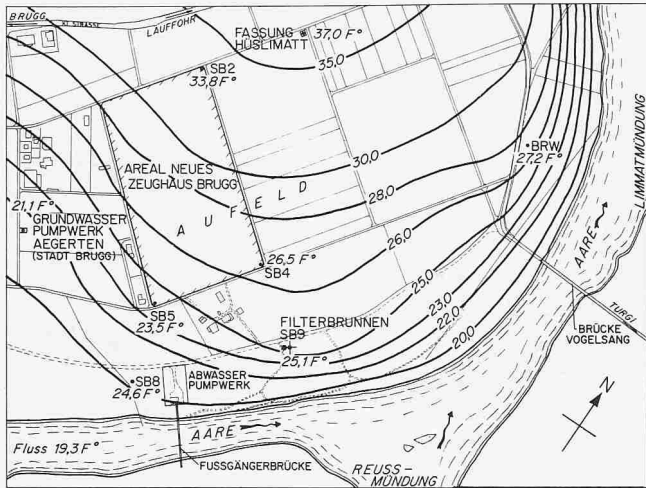


Bild 3. Gesamthärte [F°]

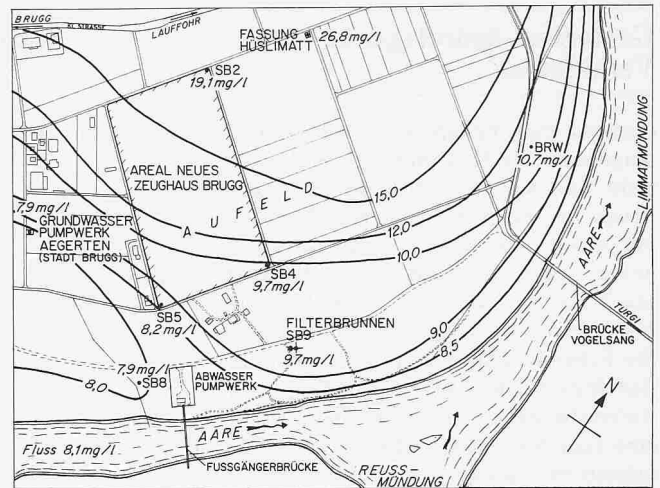


Bild 4. Chlorid [mg/l]

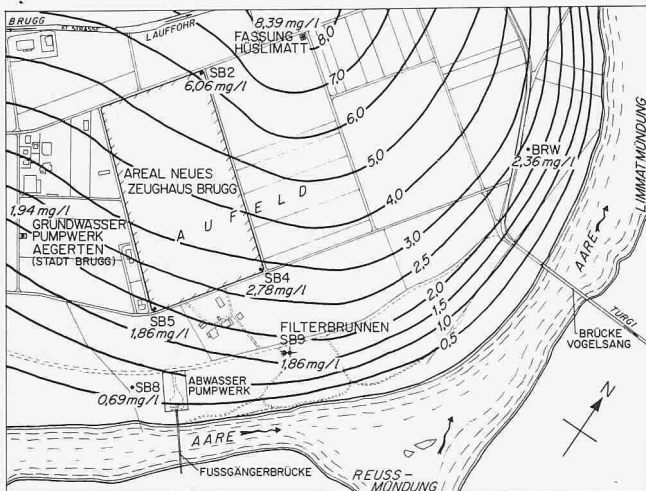


Bild 5. Karbonathärte [F°]

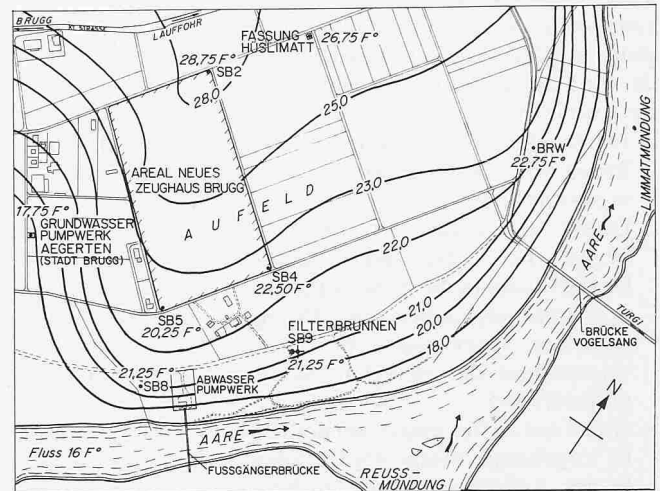


Bild 6. Sauerstoff [mg/l]

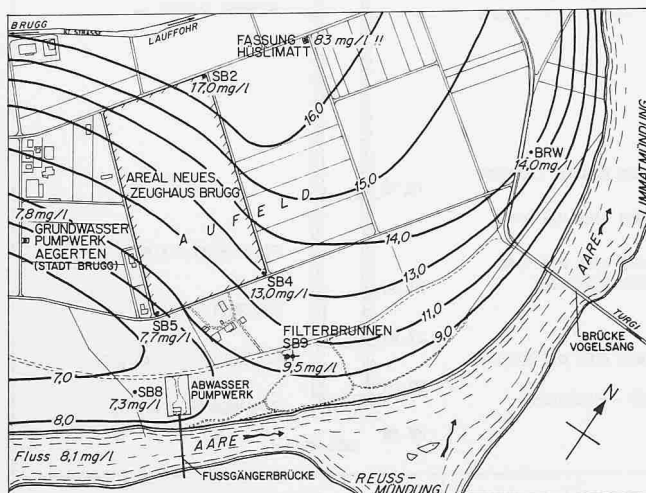


Bild 7. Nitrat [mg/l]

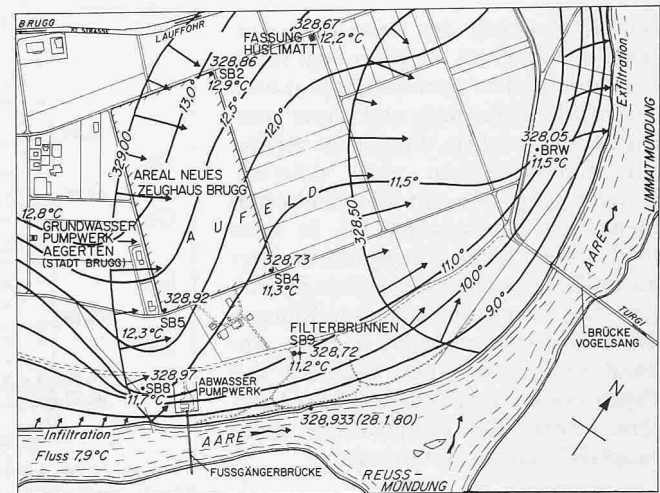


Bild 8. Temperaturverlauf [°C] und Isohyphen des Grundwasserspiegels (28.1.80)

Chemische Wasseruntersuchungen

Im Zuge der Pumpversuche wurden sowohl in Versuchsbrunnen als auch in den verschiedenen dazu eingerichteten Sondierbohrungen Pumpen installiert und nach einigen Stunden Betriebszeit Wasserproben zur chemischen Analyse entnommen. Teilweise bilden derartige Untersuchungen einen obligatorischen Bestandteil des Pumpversuches; mit der Erweiterung auf bestehende Grundwasserfassungen (Pumpwerk Aegerten, Fassung Hüslimatt und Bohrung BRW bei der Brücke Vogelsang) wird ein Aufschluss gewonnen über die *Verteilung der Grundwasserqualität* über ein grösseres Areal.

Die wichtigsten chemischen Eigenschaften sind in den Bildern 3-8 als Kurvenscharen dargestellt (Wasserentnahmen am 10./13.12.1979).

Die Kurvenscharen der verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften liegen generell *parallel* zueinander mit örtlichen Unterschieden, besonders im Bereich des Pumpwerkes Aegerten. Aus diesen Messresultaten folgt:

Das Grundwasserregime des *Brugger Auffeldes* wird hauptsächlich bestimmt durch die *durchlässigen Kiese*, die bis fast an die Oberfläche anstehen und dem Aarewasser im Bereich des Strängli und des Bruggerschachens Zutritt ins Grundwasser gewähren (linke Seite der Bilder 3-8); andererseits exfiltriert das Grundwasser im Bereich unterhalb der Brücke Vogelsang, also rechts im Bild 3-8, so dass sich dort diese Mischung mit Aarewasser auf ein immer schmaler werdendes Uferband beschränkt.

Im Gegensatz dazu werden die von der *Aare entfernter* gelegenen Zonen (am oberen Rand der Bilder 3-8) stark durch das zufließende *Hangwasser* geprägt: Das Grundwasser jener Zone erweist sich als bedeutend härter und sauberer und damit für *Trinkwasserzwecke* speziell gut geeignet. Die hangnahen Zonen - besonders im Bereich der Fassung Hüslimatt - sind daher vorzugsweise für spätere Trinkwasserfassungen zu reservieren, während die *aarenahe Fassung* bei SB 9 einen für *Brauchwasser geeigneten Standort* bildet.

Die Isolinien des Chlorid- und Nitratgehaltes deuten allerdings darauf hin, dass der langfristige Betrieb einer Pumpenanlage wie beim Pumpwerk Aegerten die Grundwasserqualität verschlechtert, indem mehr Aarewasser infiltriert, das dem Gefälle zur Pumpe folgt.

Konstruktion der Brunnenanlage

Mit der Wahl des Standortes eines Filterbrunnens werden normalerweise die wichtigsten Eigenschaften festgelegt, nämlich die nutzbare Grundwassermächtigkeit, die maximale Entnahmemenge gemäss der dort vorhandenen Durchlässigkeit und die ebenfalls standortbedingte Grundwasserqualität. Diese *üblichen Voraussetzungen treffen* in vorliegendem Fall jedoch *nicht zu*; im Gegenteil, durch die besondere Konstruktionsweise wird bewusst davon abgewichen:

1. Meist wird nach der Brunnenbohrung ein über die ganze Länge geschlitztes Filterrohr versetzt. Hier wurde jedoch ein *über 20 m undurchlässiges Vollrohr* verwendet und damit der obere Grundwasserträger vom Zutritt in den Brunnen praktisch abgeschnitten. Die geschlitzten Zonen des Filterrohres wurden, den durchlässigen Schichten entsprechend, im zweiten und dritten Stockwerk angebracht.
2. Knapp ausserhalb des Brunnenrohres wurden zwei auf der ganzen Länge geschlitzte Filterrohre von \varnothing 125 mm versetzt. Diese *Zirkulationsrohre* erhöhen die Ergiebigkeit des Brunnens durch den Zutritt von Grundwasser aus dem obersten Stockwerk, das dann hinunter in den Bereich der geschlitzten Brunnenrohre geleitet wird.
3. Während des *Betriebs* der Anlage wird in die Zirkulationsrohre ein *Vollrohr* bis in eine gewisse Tiefe eingefügt und damit die Grundwasserentnahme aus dem obersten Stockwerk beschränkt oder auch unterbunden.

Während des Grosspumpversuches wurde die Absenkung nicht allein im Brunnenrohr, sondern auch in diesen Zirkulationsrohren regelmässig verfolgt. Zudem wurden durch eine Spezialfirma Messungen der *vertikalen* Durchströmung vorgenommen und daraus der Zufluss durch die Zirkulationsrohre auf etwa die Hälfte der maximalen Menge des Pumpversuches von 5200 Liter/Minute geschätzt.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen ermöglichen, die zur Wärmenutzung geeignete Stelle mit *grossem Grundwasservorkommen* und *hoher Temperatur im Winter* zu finden und gleichzeitig die für Trinkwasser geeigneten Zonen als Reserve für die Zukunft aufzusparen.

Da der Brunnen mit relativ grossem Durchmesser zu erstellen war, um die erforderliche Anzahl Pumpen unterbringen zu können, andererseits die maximale Entnahmemenge für die Wärmepumpe jedoch nur 2700 Liter/Minute gegenüber der theoretischen Brunnenkapazität von über 10 000 Liter/Minute beträgt, wurden *nur im untersten Teil* des Brunnens geschlitzte Filterrohre verwendet. Dies reduziert zwar die Kapazität, konzentriert jedoch den Zufluss auf den vom Aarewasser weniger beeinflussten Teil des Grundwasserstromes, nämlich auf die unteren Stockwerke. Dies erfüllt die Forderung nach möglichst geringer Beeinflussung der bestehenden Wasserfassung. Zudem wird möglichst warmes Grundwasser aus grösserer Tiefe (bis 30 m) gefördert.

Die Temperaturverzögerung des Grundwassers in Arenähe beträgt nur etwa 2-3 Monate, während sie in weiter entfernten Zonen 4-6 Monate erreicht [3]. Die spezielle Brunnenkonstruktion erlaubt somit eine Nutzung des Grundwasserträgers als saisonaler Speicher, weil sich die Wärme der Sommer- und Herbstmonate in der kältesten Jahreszeit als maximale Grundwassertemperatur auswirkt - eine für Wärmepumpen geradezu ideale Koinzidenz, die in diesem Fall weitmöglichst genutzt wird.

* * *

Der Verfasser dankt dem Amt für Bundesbauten für die Bewilligung zur Publikation dieser Arbeiten, insbesondere Herrn *U. Weber*, Projektleiter des Bundes, und *C. Froelich*, Froelich und Keller Architekten, Brugg, für die gute Zusammenarbeit. Dank verdienen zudem Herr *Kamber*, Gebr. Meier AG, Brugg, für die Ausführung der Sondier- und Brunnenbohrungen, sowie die *Bachema AG*, Zürich, für die Wasseranalysen.

Literatur

- [1] *Mühlberg, F.* (1901): «Bericht über die Erstellung einer Quellenkarte des Kantons Aargau». Mitteilungen Aarg. Natf. Gesellschaft, 9
- [2] *Jäckli, H.; Kempf, Th.* (1972): «Hydrogeologische Karte 1:100 000». Blatt Bözberg-Beromünster mit Erläuterungen, Schweiz. Geotechnische Kommission
- [3] *Jäckli, H.; Rytz, W.* (1978): «Die Grundwasserhältnisse im unteren Aaretal mit besonderer Berücksichtigung der Umgebung des Kernkraftwerkes Beznau». Sonderheft Wasser-Energie-Luft, Heft 3/4, S. 53
- [4] *Véya, R.; Hardy, E.* (1978): «Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse des Grundwassers im Raume Beznau-Döttingen». Sonderheft Wasser-Energie-Luft, Heft 3/4, S. 62

Adresse des Verfassers: Dr. *F.P. Jaecklin*, Geotechnikbüro, Geissbergstr. 59, 5400 Ennetbaden