Energetische Grundwassernutzung aus der Sicht des Gewässerschutzes

Autor(en): **Müller, Erich R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **75 (1983)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941266

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

Energetische Grundwassernutzung aus der Sicht des Gewässerschutzes

Erich R. Müller

Gekürzte und überarbeitete Fassung des Vortrages gehalten am 2. April 1982 für den Rheinverband, eine Gruppe des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes.

Zusammenfassung

Neben der Aufzeichnung von Randbedingungen für die Erstellung von Förder- und Rückgabebrunnen sind die zu erwartenden Beeinflussungen der physikalischen, chemischen und biologischen Natur durch Kaltwassereinleitung erörtert. In der Folge wird eine Möglichkeit zur Simulation von Temperaturanomalien erläutert. Abschliessend wird von einem Überprüfungsprogramm einer Simulationsrechnung durch langfristige Temperaturmessungen einer grösseren Wärmepumpenanlage berichtet.

Summary: The use of ground water for energy supply – ecological aspects

This paper gives an outline of boundary conditions for the construction of well-doublets and discusses changing physical, chemical and biological properties of groundwater owing to restoration of cold water. A possibility to compute temperature-anomalies is illustrated. There is finally presented an account of investigations to examine computations in the domain of a considerable reverse cycle heating system.

Resumé: Pompes à chaleur – l'utilisation de la nappe phréatique et sa protection

A part la description de conditions auxiliaires pour l'exécution de puits de pompage et d'injection, il est question des influences de nature physique, chimique et biologique causées par l'apport d'eau froide. Ensuite une possibilité de simulation d'anomalies de température est décrite. Pour conclure, un programme de contrôle d'un calcul simulé basé sur des mesures de températures à long terme d'une installation de pompe à chaleur importante est expliqué.

Riassunto: Pompe a calore – l'utilizzazione e la protezione dell'acqua sotterranea

Oltre alle condizioni marginali per l'esecuzione di pozzi di pompaggio et di ricarica sono menzionati anche i possibili influssi di natura fisicale, chimica e biologica tramite l'introduzione di acqua fredda. In seguito viene discussa la possibilità della simulazione delle anomalie della temperatura. Per concludere, il testo parla di un programma di revisione di un calcolo simulato per mezzo di una termometria a lungo termine di un grande impianto di pompe a calore.

1. Einleitung

Das im Grundwasser gespeicherte Wärmepotential lässt sich teilweise nutzen. Die pro 1 °C respektive 1 K und m³ Wasser freiwerdende Energiemenge von 4190 kJ lässt sich dabei mittels Wärmepumpen (Bild 1) gewinnen.

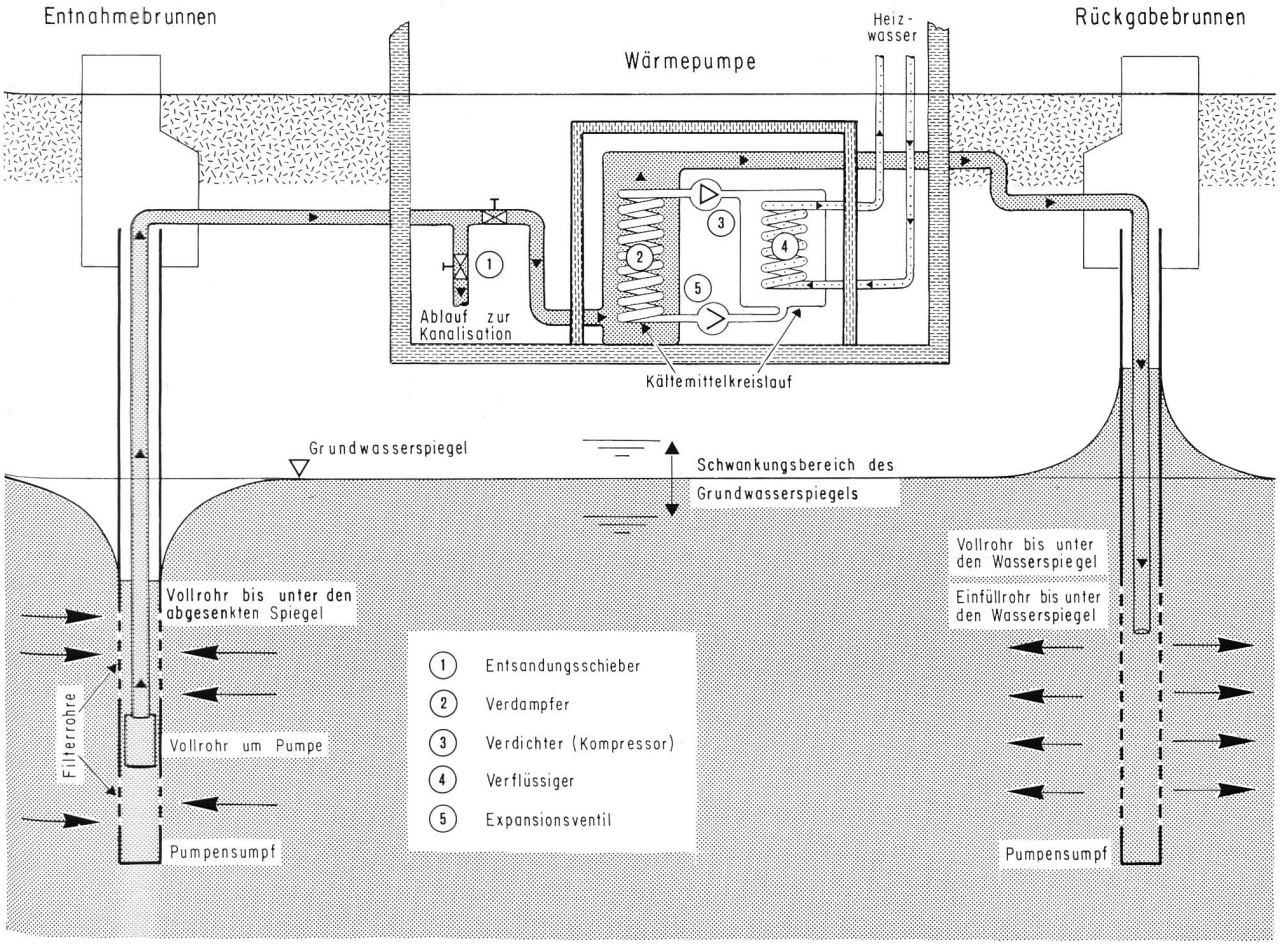

Bild 1. Schema einer Wärmepumpenanlage.

Die natürlichen Grundwassertemperaturen nahe des Grundwasserspiegels schwanken meist zwischen 6 °C und 12 °C, während sie ab etwa 10 m unter dem Wasserspiegel meist nur noch zwischen 8 °C und 10 °C liegen. Somit besteht in grösseren Tiefen ein wesentlich konstanteres Energiepotential. Im Alpenraum werden diese Temperaturen, je nach Region und Höhenlage, zum Teil stark unterschritten (bis unter 5 °C). In der bisherigen Praxis darf mit Wärmepumpen das Grundwasser zum Teil auf den halben Wert der Anfangstemperatur und zum Teil bis auf maximal 4 °C abgekühlt werden. Die nutzbare Temperaturdifferenz beträgt demnach meist zwischen 4 und 6 K.
Bei einer energetischen Grundwassernutzung wird weitgehend gespeicherte Sonnenenergie gewonnen. Der Wärmenachfluss vom Erdinnern – der etwa zwei bis drei Zehnerpotenzen geringer als der Zufluss aus der Atmosphäre ist – kann dabei vernachlässigt werden. Der Betrieb einer Wärmepumpe bedarf beträchtlicher Fremdenergiemengen, so zum Beispiel von Benzin, Dieselöl, Erdgas oder Elektrizität.
In Theorie und Praxis birgt die energetische Grundwassernutzung viele komplexe Problemkreise in sich, wie:

- Die Wassergewinnungs- und -rückgabeanlagen sind ohne entsprechende Massnahmen stark alterungsanfällig.
- Durch allfällige Leckagen können Betriebsmittel ins Grundwasser gelangen.
- Zur Erhaltung der natürlichen Grundwasserbilanz muss in den meisten Fällen das abgekühlte Wasser durch Sikkerbrunnen, -galerien oder -schächte dem Grundwasserleiter zurückgegeben werden. Dadurch können physikalische, chemische und biologische Parameter des Grundwassers verändert werden.

Im nachstehenden werden der heutige Kenntnisstand, die umfangreiche Problematik und die heutigen Beurteilungsmöglichkeiten umrissen; dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

2. Randbedingungen zur Erstellung der Brunnenanlagen

2.1 Entnahmebrunnen

Die *Brunnentiefe* ist so zu wählen, dass sich auch bei niedrigem Grundwasserspiegel die notwendige Wassermenge fördern lässt.
Zur Vermeidung späterer Verockerungen und stärkerer Versandungen sollte auch bei Niederwasser der abgesenkte Spiegel nicht in die tieferliegende Filterrohrstrecke reichen. Zudem sollte der Pumpenbereich von einem Vollrohr umgeben sein.
Der *Filterrohrdurchmesser* wird durch die lichten Weiten der zu installierenden Pumpen (1 bis 2) bestimmt. Für Förderungen von mehr als 200 l/min sind beispielsweise minimale Rohrdurchmesser von 15 cm, eher 20 bis 30 cm erforderlich.
Der *Bohrdurchmesser* ist so zu wählen, dass zur Vermeidung von Sandanspülungen zwischen dem Filterrohr und der Bohrlochwand ein allseits 5 cm, besser 10 bis 15 cm starker Filterkies eingebracht werden kann.
Als *Endbohrdurchmesser* sind somit solche von 30 cm, besser 45 bis 60 cm vorzusehen.

2.2 Rückgabebrunnen

Der Rückgabebrunnen ist so weit vom Entnahmebrunnen entfernt zu versetzen, dass das abgekühlte Wasser nicht in den Entnahmebrunnen zurückfliessen kann oder letzterer durch Wärmeleitung abgekühlt wird (kein hydraulischer und thermischer Kurzschluss). Da das Schluckvermögen zum Teil geringer als die Entnahmekapazität sein kann, muss der Rückgabebrunnen in einzelnen Fällen grösser als der Entnahmebrunnen dimensioniert werden.
Um Versinterungen im Brunnen zu vermeiden, ist das Rückgabewasser stets unterhalb des Wasserspiegels einzubringen.

3. Gefährdung des Grundwassers durch Wärmepumpenanlagen

3.1 Direkte Gefährdungen durch Betriebsmittel

Bei allfälligen Leckagen der Rohrschlangen im Verdampfer (Bild 1), zum Beispiel durch Korrosion, kann Kältemittel in den Grundwasserkreislauf gelangen. Korrosionen werden im allgemeinen durch aggressive oder feinsandführende Grundwässer gefördert und treten vor allem bei ungünstigem Leitungsmaterial, zum Beispiel Kupfer, auf. Da Schwefeldioxid und Ammoniak chemisch stark toxisch sind, werden diese Stoffe – an sich ausgezeichnete Kältemittel – für Wärmepumpenanlagen kaum mehr verwendet.
Dagegen werden, wegen ihrer geringen Toxizität, Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), zum Beispiel CCl_2F_2, $CHClF_2$ oder $C_2Cl\,F_2$, als Kühlmittel eingesetzt.
Sie sind nur wenig wasserlöslich. Da bei den FKW der Siedepunkt wesentlich unter 0 °C liegt, bilden sie im Wasser Blasen und gelangen vorerst via Bodenluft in die Atmosphäre, von wo aus sie theoretisch bis zur Stratosphäre (Ozonschicht) aufsteigen können. Da neuere Forschungsergebnisse zeigten, dass die FKW in der Troposphäre – an Feinpartikeln adsorbiert – einem (zum Beispiel photosynthetischen) Abbau unterworfen sind, wird die «Ozontheorie», die besagt, dass durch freiwerdende FKW die Ozonschicht in der äusseren Atmospähre zerstört werde, von grösseren Kreisen bezweifelt.
Beobachtungen von Beeinträchtigungen der Grundwasserfauna durch FKW-Austritte fehlen bis heute. Auch sind umfassende Toxizitätsuntersuchungen gegenüber Warmblütern bei Genuss von kontaminiertem Trinkwasser noch ausstehend. Das bedeutet jedoch nicht, dass schon im heutigen Zeitpunkt jegliche Gefährdung des Grundwassers durch Fluorkohlenwasserstoffe auszuschliessen ist.
Zur Kompressorschmierung sind dem Kältemittel stets etwa 5% bis 8% Öl und Zusatzmittel, beispielsweise Chromate als Korrosionsschutzmittel, beigemischt. Bei einem allfälligen Leck innerhalb des Verdampfers werden also auch Schmieröle und Zusatzmittel ins Grundwasser gelangen.

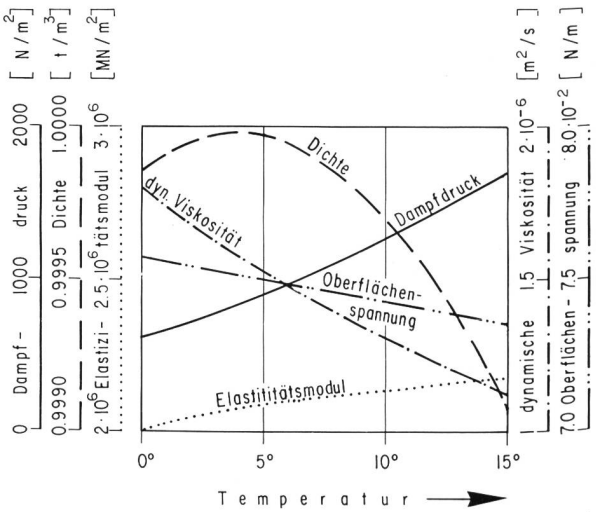

Bild 2. Temperaturabhängige physikalische Parameter des Wassers (nach *Matthess, G.*, 1973).

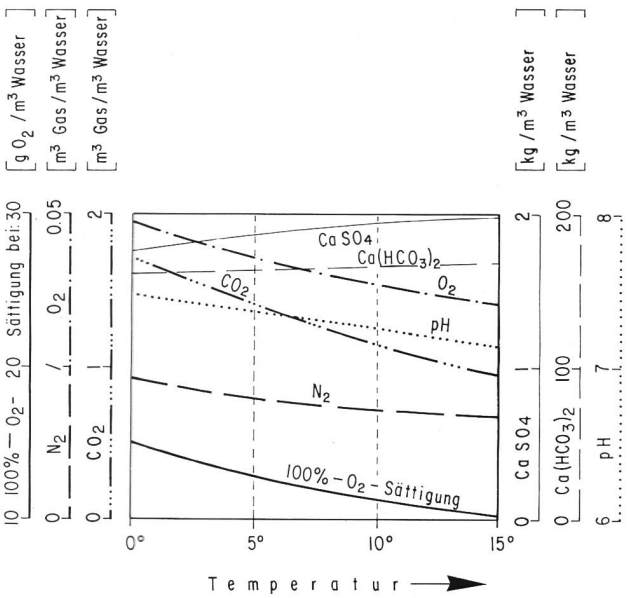

Bild 3. Temperaturabhängige chemische Parameter des Wassers (nach *Matthess G.*, 1973).

3.2 Gefährdung durch die Grundwasserkühlung

Beeinflussung der physikalischen Grössen

Durch die Einleitung von abgekühltem Wasser in den Grundwasserleiter verändern sich aufgrund der allgemeinen Temperaturabhängigkeiten der einzelnen Parameter viele physikalische Eigenschaften mehr oder weniger stark, beispielsweise Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung, Elastizität und Dampfdruck (Bild 2).
Als Folge der Viskositätszunahme bei fallender Temperatur erniedrigt sich indirekt proportional zur Viskosität die Durchlässigkeit, also der *k*-Wert:

$$k^* = k_0 \cdot \nu_0/\nu^*$$

Beispiel:

Ursprüngliche Temperatur	$T_0 = 9°$ C
Temperatur nach Abkühlung	$T^* = 4°$ C

Gemäss Bild 2 kann daraus abgelesen werden:

Ursprüngliche Viskosität	$\nu_0 = 1{,}345 \cdot 10^{-6}$ m²/s
Viskosität nach Abkühlung	$\nu^* = 1{,}575 \cdot 10^{-6}$ m²/s
Ursprüngliche Durchlässigkeit	$k_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s
Durchlässigkeit nach Abkühlung	$k^* = 0{,}85 \cdot 10^{-3}$ m/s

Die Durchlässigkeitsverminderung hat bei gegebenen Neubildungsraten und konstanten Vorflutniveaus einen Anstieg des Grundwasserspiegels von mehreren dm bis zu 1 m zur Folge. Massgebend für den abkühlungsbedingten Spiegelanstieg sind vor allem die Grundwasser-Leitermächtigkeiten und die Distanz zum Vorfluter.
Steigen in einem Grundwassergebiet die Wasserspiegel nur in einem lokal begrenzten Raum an, so werden sich die örtlichen Grundwasserströmungen ändern. Dies vermag unter besonderen Umständen die chemische Beschaffenheit zu verändern, was im Bereich von Trinkwasserfassungen unerwünscht ist.
Liegt eine Trinkwasserfassung im Abkühlungsbereich, so wird sich deren maximale Ergiebigkeit proportional zur *k*-Wert-Verminderung reduzieren.
Der entsprechende Grundwasserspiegelanstieg, die veränderten Strömungsrichtungen und Durchflussmengen lassen sich beispielsweise mit einem mathematischen Grundwassermodell (Finite-Element-Modell oder Differenzmodell) prognostizieren.

Entsprechend der *Zunahme der Oberflächenspannung* bei fallenden Temperaturen erhöhen sich direkt proportional die Kapillarkräfte respektive die Saugspannungen. Da diese Anstiege bei Abkühlungen von beispielsweise 9 °C auf 4 °C nur etwa 2% betragen, sind die Veränderungen der kapillaren Steighöhen kaum feststellbar und somit ohne relevante Auswirkungen.
Da der das spezifische Speichervermögen indirekt proportional bestimmende *Elastizitätsmodul* bei fallenden Temperaturen abnimmt, wird der erstere – für die Grundwasserspeisung massgebende – grundsätzlich erhöht. Da aber die Veränderungen meist nur bis 2% betragen, sind in der Praxis entsprechende Beeinflussungen kaum spürbar.
Durch die *Abnahme des Dampfdruckes* bei sinkenden Temperaturen, wird die Löslichkeit von Gasen deutlich erhöht.

Beeinflussungsmöglichkeiten der chemischen Natur

Bei Grundwasserabkühlungen ist grundsätzlich mit Veränderungen der Löslichkeit, des pH-Wertes, des Ionenaustausches und der Diffusionsgeschwindigkeit zu rechnen (Bild 3). Diese Eigenschaftsveränderungen sind die Auswirkungen der Temperaturabhängigkeiten des Bunsenschen Absorptionskoeffizienten, des Aktivitätskoeffizienten, der Langelier- und Tillmanns-Konstanten sowie des Redoxpotentials.
Bei Abkühlungen des Grundwassers gelangen, wegen der *Erniedrigung der Löslichkeit von festen Stoffen,* vom umgebenden Lockergestein und von allfälligen Verschmutzungsherden weniger Substanzen in Lösung. Entsprechend dazu steigt die *Tendenz zu Ausfällungen* im Porenraum. Somit besteht eine generelle Tendenz zu einem zusätzlichen Vermindern der Durchlässigkeit resp. des *k*-Wertes.
Je nach dem jeweilig ursprünglich herrschenden Milieu kann eine Abnahme des Kohlensäure-Sättigungsgrades oder eine Aufnahme zusätzlicher Kohlensäure eintreten. Dementsprechend wird die Karbonathärte verändert.
Bei Abkühlungen ist mit Verminderungen der Sauerstoffsättigung von bis zu 10% zu rechnen, was eine Verschlechterung der Wasserqualität bedeutet.

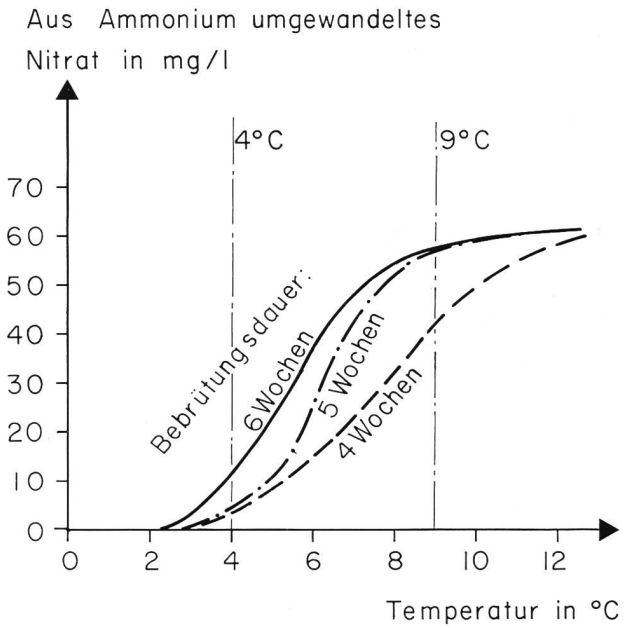

Bild 4. Beispiel eines Temperaturabhängigkeitsversuches der Nitrifikation von Ammonium im Boden (nach *Anderson* et al., 1955).

Da sich bei erniedrigten Temperaturen die Diffusionsgeschwindigkeiten verringern, verlangsamt sich u. a. dementsprechend die Sauerstoffzufuhr bei erhöhtem Sauerstoffbedarf (wie bei organischen Verschmutzungen). Diese Verlangsamung kann bis zu 20% betragen.
Gesamthaft gesehen benötigen im abgekühlten Milieu die Selbstreinigungsvorgänge für Verschmutzungen im Grundwasserbereich wesentlich mehr Zeit.

Beeinflussungsmöglichkeiten der biologischen Natur

Die Auswirkungen von Kaltwassereinleitungen auf die Hydrobiologie sind bis heute noch wenig erforscht.
Immerhin sind erste Ergebnisse bekannt:
a) Bei fallenden Temperaturen nimmt die Aktivität der bakterienfressenden tierischen Mikroorganismen ab, weshalb sich die kälteliebenden Bakterien stark ausbreiten können.
b) In abgekühltem Wasser wird der durch die Mikroorganismen beeinflusste Ammoniumabbau stark gehemmt. Während bei Temperaturen von 8° bis 10°C die Nitrifikation nach 4 bis 5 Wochen bereits beendet ist, wird sie bei 4°C, nach gleicher Zeit, erst knapp eingeleitet sein (Bild 4).

4. Ausbreitung der Temperaturanomalie («Kältefahne») im Untergrund

Zur Abschätzung der Ausdehnung der möglichen physikalischen, chemischen und biologischen Auswirkungen einer Wärmepumpenanlage sollte die zu erwartende Temperaturanomalie bekannt sein.

4.1 Grundlagen

Durch die Rückleitung von abgekühltem Wasser werden sowohl der Grundwasserleiter als auch der Tropfkörper – meist nur dessen tieferer Bereich – und der Grundwasserstauer temperaturmässig beeinflusst.
Die raumzeitliche Temperaturanomalie beruht auf der Überlagerung von Konvektion, Dispersion und Konduktion. Von diesen geothermischen Vorgängen überwiegt in gut durchlässigen Leitern der Konvektionsanteil.
Die *konvektiven Mechanismen* werden durch das Grundwasserströmungsfeld, das Temperaturfeld, die Dichten (ϱ_w, ϱ) sowie die spezifischen Wärmen (c_w, c) von Wasser und Gestein bestimmt. Das Strömungsfeld ist eine Folge des Zusammenwirkens von Leitergeometrie *(H)*, Durchlässigkeit *(k)*, hydraulischen Gradienten *(i)*, Nutzporosität *(n')*, Lage der Vorfluter, Neubildungs- und Infiltrationsraten sowie von Dimensionen der Brunnenanlagen und schliesslich deren Förder- respektive Rückgabemengen *(Q)*. Das Strömungsfeld lässt sich in einfacheren Fällen rein analytisch, in komplexeren aber nur numerisch, sei es im Differenzverfahren oder mittels der Finite-Element-Methode, bestimmen.

$$\underbrace{\frac{\partial T}{\partial t}}_{\text{zeitliche Temperaturänderung}} + \underbrace{\frac{c_w \cdot \rho_w}{c \cdot \rho}\left(v_x\frac{\partial T}{\partial x} + v_y\frac{\partial T}{\partial y} + v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)}_{\text{Anteil der Konvektion}} - \underbrace{D_x\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - D_y\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - D_z\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}}_{\text{Anteil der Dispersion und Wärmeleitung}} = 0$$

dabei bedeuten:

$$D_x, D_y, D_z : \; D = \underbrace{\alpha \cdot \vec{v}_a}_{\text{Anteil Dispersion}} + \underbrace{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}}_{\text{Anteil Konduktion (=Wärmeleitung)}}$$

$$\vec{v} = k \cdot \vec{i}$$

$$\vec{v}_a = \frac{k \cdot \vec{i}}{n'}$$

Bild 5. Wärmebilanzgleichung.

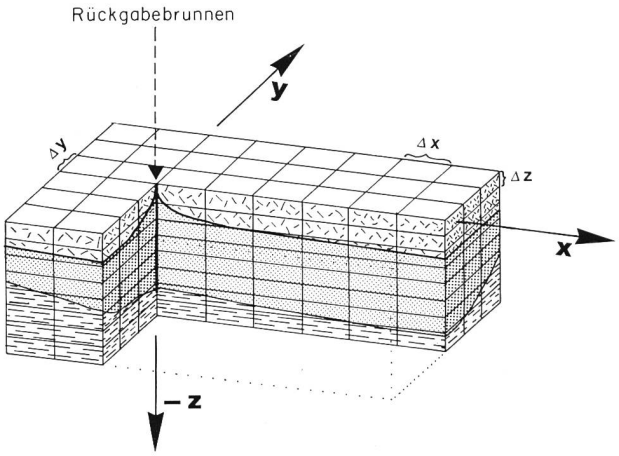

Bild 6. Beispiel eines dreidimensionalen Gittermodells.

Die *Dispersion* (= Auffächerung) berechnet sich aus den Vektoren der Abstandsgeschwindigkeiten ($\vec{v}_a$) sowie den Längs- und Querdispersitäten (α_L, α_T).
Der Konduktions-(= Wärmeleitungs-)Anteil wird von den geothermischen Grössen Wärmeleitfähigkeit (λ), spezifische Wärme (c) und Dichte (ϱ) sowohl des Leiters als auch des Tropfkörpers und Stauers sowie vom Temperaturfeld und der Einleittemperatur bestimmt.
Zur Lösung des partiellen Differentialgleichungssystems der Wärmebilanzgleichung (Bild 5) lässt sich am geeignetsten ein numerisches Differenzenverfahren anwenden.

4.2 Simulationsablauf einer Temperaturanomalie

Der Arbeitsablauf einer Simulation lässt sich in drei Vorbereitungsschritte und die Ausführung der eigentlichen Simulationsrechnung gliedern.
Im ersten Schritt gilt es das «Gittermodell» respektive den «Gitterraster» aufzustellen (Bild 6).
Anschliessend ist für sämtliche Zeitschritte mit analytischen oder numerischen Modellrechnungen das Strömungsfeld zu simulieren. Dabei gilt es für jeden Rasterpunkt und jeden Zeitschritt die Geschwindigkeitsbeträge v_x v_y, v_z zu bestimmen.
Im dritten Vorbereitungsschritt sind schliesslich einerseits die konstanten und anderseits die für jeden Rasterpunkt eigenen, veränderlichen Modelleigenschaften aufzulisten.
Nach Vorliegen sämtlicher Modelleigenschaften lässt sich – zweckmässigerweise mittels Computer – alsdann für jeden Rasterpunkt und Zeitschritt die entsprechende Temperatur simulieren (Berechnung von $T_{x, y, z, t,}$).

4.3 Simulation der Temperaturanomalie sowie deren Überprüfung anhand eines Beispiels

Zur besseren Beurteilung von Gesuchen für Wärmepumpenanlagen liess sich das Amt für Gewässerschutz Graubünden vom geophysikalischen Institut der ETHZ ein EDV-Programm, gemäss Abschnitt 4.2, ausarbeiten. Mit diesem wurde für einen ersten Fall die Temperaturanomalie raumzeitlich simuliert. Es wurde ein Modell von 500 m Länge, 150 m Breite und 160 m Tiefe bei allseitigen Gitterkantenlängen von 10 m gewählt. Die Zeitschritte betrugen 2½ Tage.
Zur Überprüfung des Simulationsmodells erteilte das Amt für Gewässerschutz Graubünden den Auftrag, mit Tempe-

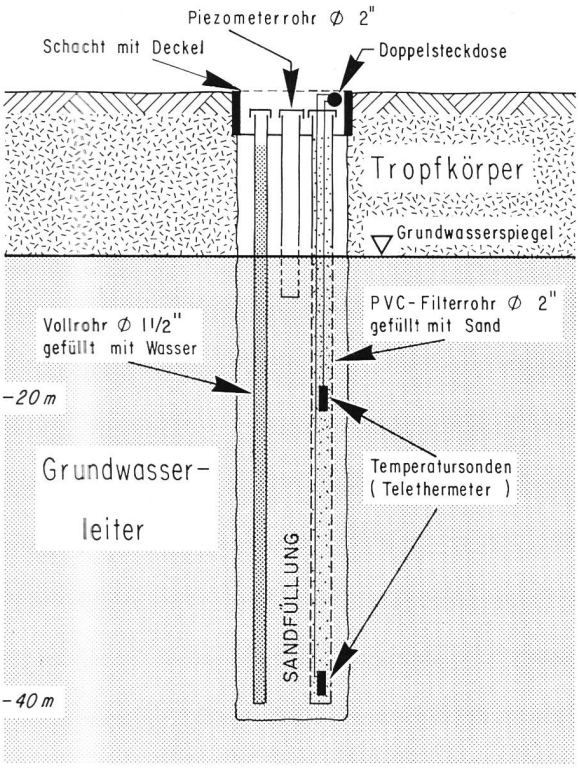

Bild 7. Schematischer Schnitt durch eine Messstelle.

raturmesssonden und -rohren die raumzeitliche Abkühlung einer dem Modellfall nahezu entsprechenden Anlage in Landquart/GR zu überprüfen. Die Lage der zweckmässigen Sondierorte sowie der Tiefenlagen der einzelnen Sonden wurde mit der wegweisenden ersten Simulation bestimmt. Nach Vorliegen der genauen lokalen Verhältnisse werden im Anschluss an die Messarbeiten die wahren Verhältnisse simuliert.

Im Testgebiet wurde in Fliessrichtung gemessen, in Abständen von 24 m, 70 m, 100 m und 150 m sowie in 30 m senkrecht zum Grundwasserfliessen vom Rückgabebrunnen entfernt, Kontrollbohrungen zu je 40 m Tiefe erstellt. In den Bohrungen wurden Temperatursonden (Telethermmeter der Firma Huggenberger, Zürich) je in 20 m und 40 m Tiefe unter Terrain eingebaut. Um beim Rückzug der Verrohrung die Kabel nicht zu verletzen, wurden die Sonden in ein PVC-Filterrohr, Durchmesser 2", eingesandet. Parallel dazu wurde zur Erfassung des Temperaturprofils mittels des Temperatur-Lichtlots (KTL der Firma Ott, Kempten/BRD) ein allseitig geschlossenes Metallrohr, Durchmesser 1½", eingebracht. Dieses ist zur Vermeidung eines vertikalen Temperaturstroms, jeweils in Abständen von je 2 m durch einen PVC-Zwischenring unterbrochen. Das Vollrohr wurde anschliessend mit Wasser gefüllt. Beide Rohre wurden im Bohrloch eingesandet.

Die Zwischenergebnisse, nach Abschluss der ersten Heiz- bzw. Überwachungsprognose zeigten, dass die Temperaturabsenkungen – die in allen Bohrungen deutlich festgestellt wurden – qualitativ mit der Simulationsprognose gut übereinstimmen. Da das Überprüfungsprogramm noch bis Ende der Heizperiode 1983/84 dauert, ist es noch verfrüht, auf die einzelnen Messresultate einzugehen. Es ist jedoch vorgesehen, die Schlussresultate und Folgerungen zu gegebener Zeit zu veröffentlichen.

5. Folgerungen

Durch Kaltwassereinleitung sind Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Grundwassers zu erwarten. Diese sind jedoch nicht derart gravierend, dass grundsätzlich auf die Erstellung von Grundwasser-Wärmenutzungen zu verzichten ist. Dennoch werden für sie Grenzen gesetzt. Aus der Sicht des Hydrogeologen bestehen zur Planung von Wärmepumpenanlagen die folgenden Randbedingungen und Forderungen:

– Beeinträchtigungen von Trinkwasserfassungen und deren Schutzzonen sowie in Gebieten zukünftiger Trinkwasserfassungen respektive der Grundwasserschutzareale müssen ausgeschlossen werden.

– Um ein «Abgraben» von Wärmeenergie zu vermeiden, sind Abkühlungen von Förderbrunnen bestehender Wärmepumpenanlagen zu vermeiden.

Da die zu erwartenden Immissionsbereiche sehr gross sein können, sind im Rahmen jeglicher Planungen von Wärmepumpenanlagen stets die Dimensionen der «Kältefahnen» – je nach den speziellen Verhältnissen – grob abzuschätzen oder mittels EDV zu simulieren. Wegen der oft bis zu mehreren hundert m langen Kältefahnen gilt es zu prüfen, in welchen Fällen auf eine Wiedereinleitung ins Grundwasser verzichtet werden kann und inwieweit im Grundwasserleiter eine Speicherung von Fremdenergie anzustreben ist.

Im heutigen Zeitpunkt verfügen wir schon über gute qualitative Kenntnisse. Zur quantitativen Erfassung hingegen sind jedoch noch intensive Forschungen und grossmassstäbige Versuche erforderlich. Dabei stehen Schwerpunkte wie Veränderungen des «Selbstreinigungs»-Verhaltens, der Einflüsse auf die Vegetation über den «Kältefahnen» und auf das Kalklösungsverhalten sowie Verminderungen der Gebietsdurchlässigkeiten im Vordergrund.

Ausgewählte Literatur

Anderson O. E. und *Purvis E. R.* (1955): Effects of low temperatures on nitrification of ammonia in soils. «Soil Sci.» *80*, S. 313–318.

Glatzel W. D. und *Heise K. D.* (1979): Wärmepumpen und Gewässerschutz. Ökologische Auswirkungen von Wärmepumpen mit Wärmeentzug aus Wasser. Berichtband zum Statusseminar am 19. und 20. November 1979 in Berlin. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 382 S.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1980): Grundlagen zur Beurteilung des Einsatzes von Wärmepumpen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. Stuttgart, 52 S.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft (1979): Grundwassertemperatur und thermische Nutzung (unveröffentlichte Literaturstudie).

Matthess G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart. 324 S.

Rouvé G., Kerzel C. und *Pelka W.* (1980): Wärme aus Wasser und Boden – Gesichtspunkte zum Einsatz von Wärmepumpenanlagen; «Wasser und Boden», H. 12, S. 568–571.

Werner D. (1981): Wärmeausbreitung im Grundwasser. Unveröffentlichter Bericht, erstellt im Auftrage des Amtes für Gewässerschutz Graubünden.

Werner D. und *Balke K.-D.* (1977): Die Wärmeausbreitung in der Umgebung eines Kühlwasser-Sickerbrunnens; «Gwf-Wasser/Abwasser», *118 Jg.*, H. 11, S. 528–531.

Adresse des Verfassers: *Erich R. Müller*, dipl. phil., Geologe SIA/ASIC, Büchi und Müller AG, Beratende Geologen SIA/ASIC, Zürcherstrasse 105, CH-8500 Frauenfeld.