Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 91 (2000)

Heft: 1

Artikel: Übersicht über das Grundwasser, die wichtigste Trinkwasser-Ressource der Schweiz

Autor: Hoehn, Eduard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-981850

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Übersicht über das Grundwasser, die wichtigste Trinkwasser-Ressource der Schweiz*

Eduard Hoehn, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf

Geologisch-hydrologische Grundlagen

Grundwasserleiter sind Gesteine, welche Grundwasser führen und leiten. Um Grundwasser zu führen, müssen diese Gesteine Hohlräume aufweisen, welche teilweise oder vollständig mit Wasser gesättigt sind: In körnigen meist aus Lockergesteinen bestehenden Grundwasserleitern (z.B. glazifluviatil abgelagerte Niederterrassenschotter von Talsohlen, Kies-Sand-Gemische) füllt das Grundwasser die Poren zwischen den Körnern aus. In geklüfteten meist aus Festgesteinen bestehenden Grundwasserleitern (z.B. Molasse-Sandsteine im Mittelland oder granitische Gesteine in den Zentralalpen) bestehen die Hohlräume aus Klüften, und in den Karbonatgesteinen des Karst im Jura und den Alpen sind es Karsthohlräume, die durch Lösung von Kalk und Dolomit entstanden sind. Natürlich bestehen hiervon viele Zwischen- und Übergangsformen (1).

Um Grundwasser zu leiten, müssen die Gesteine für das Grundwasser durchlässig sein. Die Durchlässigkeit der Gesteine ist ein Mass für den Widerstand, der dem fliessenden Grundwasser entgegengesetzt wird. Natürliche Ablagerungen sind sehr heterogen aufgebaut, wie z.B. in Kiesgruben gut beobachtet werden kann (siehe Abb. 1). Diese grosse Heterogenität bildet sich in der Durchlässigkeit ab: so schwankt sie z.B. in Schottern im Meter- bis Zehnermeterbereich über mehrere Grössenordnungen von 10^{-5}–10^{-2} ms^{-1} und gilt als eine log-normal verteilte Grösse (3).

Neben der Durchlässigkeit der Grundwasserleiter sind viele andere Messgrössen vom Massstabsbereich abhängig, in dem sie betrachtet werden: Der für die Grundwasserströmung wirksame Porenraum, die Porosität, benötigt für seine Beschreibung ein repräsentatives Elementarvolumen (REV), weil eine Punktmessung entweder in eine Pore fiele (Porosität = 1) oder in ein Korn (Porosität = 0) (4). Die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers wird meist als Abstandsgeschwindig-

* Vortrag gehalten an der 32. Arbeitstagung der Schweiz. Gesellschaft für Lebensmittelhygiene, Zürich, 18. November 1999

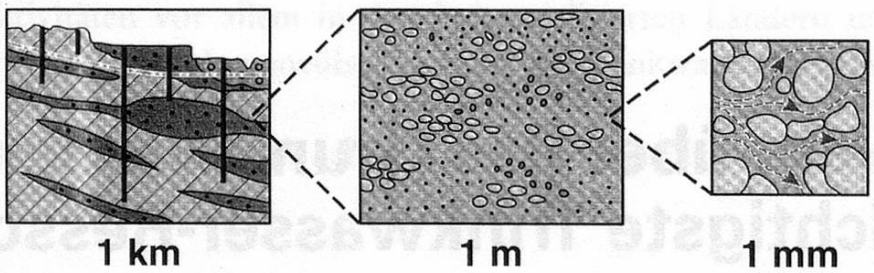

Abbildung 1 **Profildarstellung der Heterogenität körniger Lockergesteinsgrundwasserleiter vom Typ Niederterrassenschotter in den verschiedenen Massstabsbereichen** km (regional), m (lokal), mm (Einzelkorn-Bereich). Senkrechte Striche im Bild links: Bohrungen. Pfeile im Bild rechts: Einzelne Stromfäden des Grundwassers

keit zwischen zwei Punkten im Meter- bis Kilometerbereich betrachtet, während die Strömung im Einzelkornbereich gesehen gekrümmt um die Poren herum verläuft (vgl. Abb. 1).

Etwa 83 % des Trinkwassers in der Schweiz werden aus dem Grundwasser gefördert (5). Davon sind etwa 39 % «echtes» gepumptes Grundwasser und etwa 43 % Quellwasser. Quellwasser ist natürlicherweise austretendes Grundwasser. Damit ist Grundwasser die bedeutendste Ressource für dieses sehr wichtige Lebensmittel. Grundwasser ist Teil des Wasserkreislaufs. Von den durchschnittlich etwa einen Meter pro Jahr fallenden Niederschlägen verdunstet etwa ein Drittel, etwa ein weiteres Drittel fliesst oberirdisch und der Rest unterirdisch ab. Wann, in welchem Ausmass und in welcher Form Grundwasser neu gebildet wird, hängt von den örtlichen geologisch-hydrologischen Verhältnissen ab – meistens durch Winter- oder Starkniederschläge. In voralpinen Talsohlen tragen vielerorts talbegleitende Flüsse durch Wasserverluste in den Untergrund einen namhaften Teil zur Neubildung bei (Infiltration). In einigen Tälern wird das Grundwasser auch unterirdisch durch in die Talsohlenschotter fliessende Hangwässer gespeist.

Als Folge der geologisch-morphologischen Struktur der Schweiz (Alpen, Mittelland, Jura) fliesst Grundwasser in vielen, meist relativ kleinen Grundwasserströmen – bewegungslose Grundwasserseen sind hierzulande nicht bekannt. Die Durchflussmengen eines Grundwasserstroms sind eine Folge der Grösse des Durchflussprofils, des Grundwassergefälles und der Durchlässigkeit. Unterirdische Abflüsse durch eine Talsohle von 1 m^3s^{-1} sind bereits als relativ gross zu bezeichnen. Die Kleinheit der verfügbaren Grundwassermengen beschränkt die Ausbaukapazität von örtlichen Wasserversorgungen und zwingt diese in vielen Fällen zu regionalen Lösungen, weist aber den Vorteil einer relativ grossen Versorgungssicherheit auf: Verschmutzungen bleiben meist lokale Probleme.

Beschaffenheit des Grundwassers und Stofftransport

Grundwasser unterscheidet sich stofflich stark von versickerndem Niederschlagswasser, indem es bedeutend mehr Inhaltsstoffe enthält. Aus dem Niederschlag rühren natürlicherweise sehr geringe Mengen an Meersalz und atmosphärischem Stickstoff her. Die Hauptbestandteile von Grundwasser sind Aquoionen von Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Bikarbonat/Karbonat (Härte), Chlorid, Sulfat und Nitrat sowie gelöste Kieselsäure. An geogenen Spurenstoffen sind z.B. die Aquoionen Strontium oder Fluorid bekannt. Die Veratmung organischen Materials durch Bodenbakterien verändert die Partialdrücke der im Wasser gelösten Gase Kohlendioxid und Sauerstoff. Der höhere Kohlensäure-Partialdruck bewirkt eine zunehmende Auflösung von Karbonaten (Kalk, Dolomit) im Gestein. Die Pufferung des Grundwassers im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht lässt das pH zwischen 7 und 8 einpendeln. Da viele für Trinkwasser genutzte Grundwässer einen freien Grundwasserspiegel aufweisen, besteht dort ein Kontakt zur Bodenluft. Dieser Kontakt bewirkt, dass der Sauerstoff nicht vollständig aufgebraucht wird. Solche Grundwässer sind für Verunreinigungen gefährdet.

Grundwasser fliesst in der Regel in laminarer Strömung. Gröbere Partikel können in den feinen Poren nicht mitgeschwemmt werden. Bodenbakterien (aerobe mesophile Keime) dürfen sich in Grundwässern in Konzentrationen bis zu höchstens 100/ml finden. Unter bestimmten Bedingungen ist das Auftreten geogener Kolloide (Durchmesser 1nm–1 µm) bekannt geworden.

Die Bewegung von im Grundwasser gelösten Stoffen wird von vielen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen gesteuert. Bei den physikalischen sind dies v.a. der advektive Transport mit dem fliessenden Wasser, die Mischung verschiedener Wasserpakete und die mechanische Dispersion infolge der verschiedenen gekrümmten Stromlinien. Auch Filtration von Partikeln spielt eine Rolle. Bei den chemischen Prozessen spielen z.B. die Auflösung/Ausfällung von Mineralien und Redoxprozesse eine wichtige Rolle. In einem gegenüber der Atmosphäre abgeschlossenen Grundwasser werden bei Vorhandensein abbaubarer organischer Stoffe schrittweise die für Bakterien verfügbaren Elektronenakzeptoren in der Reihenfolge Sauerstoff, Nitrat, Manganoxid, Eisenoxide(hydroxide) und Sulfat aufgebraucht. Für die verschiedenen Redoxprozesse dieser Sequenz liegen im allgemeinen verschiedene Bakterienarten vor. Bei in genügender Menge vorhandenen organischen Stoffen werden in der Regel die löslichen Elektronenakzeptoren vollständig aufgebraucht (6).

Oberflächenprozesse, wie z.B. Sorption, mikrobiologischer Abbau, sind bedeutsam für die Abschätzung von Verunreinigungen bzw. einer allfälligen Selbstreinigung des Grundwassers (7). Solche Prozesse werden mit Fest-Flüssig-Verteilungsverhältnissen charakterisiert. Reversible Prozesse bewirken eine Verzögerung des Stofftransports gegenüber der fliessenden Welle. Irreversible Prozesse bewirken eine zunehmende Verringerung der Stoffkonzentration in der flüssigen Phase. Mikrobiologische Prozesse sind im Moment Gegenstand intensiver Forschungs-

anstrengungen, nicht zuletzt deshalb, weil sie in zunehmendem Mass bei den Überlegungen zur Sanierung verunreinigten Grundwassers einbezogen werden.

Bewirtschaftung des Grundwassers

Unabhängig von seiner Nutzung ist Grundwasser ein Ökosystem wie Seen und Fliessgewässer. Der ökologische Aspekt des Grundwassers ist seiner Eignung für verschiedene Nutzungen (Trinkwasser, Industriewasser, landwirtschaftliche Bewässerung, Kühlung) gegenüberzustellen. Erst seit kurzem ist breiteren Bevölkerungskreisen bekannt, dass Grundwasser neben Bakterien auch eine höhere aquatische Fauna beherbergt, v.a. dort, wo es stark durch Oberflächenwasser gespeist wird. Es handelt sich um Tiere, die sich an den lichtfreien und nahrungsarmen Raum angepasst haben (Insektenlarven, Schnecken, Würmer) (8). Aus Karstgebieten ist der Grottenolm als höheres Lebewesen bekannt. Quellfluren sind gefährdete Habitate.

Unsere Vorfahren nutzten Grundwasser v.a. in der Form von Quellen und Sodbrunnen. Quellen sind natürlicherweise an die Oberfläche austretendes Grundwasser. Sodbrunnen bedeuteten viel mehr Handarbeit und hatten die Tendenz, bei niedrigen Grundwasserspiegeln auszutrocknen. Erst seitdem Energie kein Problem mehr ist, konnten sich die heute dominierenden gebohrten Tiefbrunnen entwickeln. Unter einer Vielzahl verschiedener Brunnenbohrtechniken sind vor allem der klassische Vertikalbrunnen und der manchmal in geringmächtigen Grundwasserleitern erstellte Horizontalfilterbrunnen zu erwähnen (9). Die Brunnenbautechnik ist heute derart gut ausgereift, dass Kurzschlüsse mit Oberflächenwasser nur mehr selten anzutreffen sind. Im Vergleich mit Tiefebenen bestehen im voralpinen Gürtel vielerorts relativ geringe Feldergiebigkeiten von Grundwasserleitern. Deshalb sind die Förderleistungen von Brunnen oft grösser als die Feldergiebigkeit. Dies führte in einigen Fällen zu einer Übernutzung von Grundwasservorkommen.

Der bedeutende natürliche Vorrat an Trinkwasser bedarf eines strengen Schutzes. Die Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 sieht einen dreistufigen planerischen Schutz des zu Trinkwasserzwecken genutzten Grundwassers vor (5). Mit zunehmender Distanz von der Fassung weg werden die Massnahmen zum Schutz des Grundwassers weniger streng. Rund um sie herum liegen die Schutzzonen I–III («Fassungsbereich», «Engere» Schutzzone, «Weitere» Schutzzone). Die engere Schutzzone ist hydrogeologisch definiert als das Gebiet, innerhalb welchem im wassergesättigten Bereich Wasserteilchen bei Pumpbetrieb mit der konzessionierten Förderleistung bis zu 10 Tagen benötigen, um die Fassung zu erreichen (10-Tages-Isochrone, siehe Abb. 2). In der engeren Schutzzone herrscht Bauverbot. Weiter entfernt folgt der unterirdische Zuströmbereich (Z_u; ZSB in Abb. 2; vgl. auch (10)) sowie bei Fassungen mit Infiltrationsanteil der oberirdische Zuströmbereich (Z_o). Diese Bereiche beziehen sich auf die Fläche, innerhalb welcher Grundwasser bei Dauerbetrieb eine bestimmte Fassung erreichen kann. Der Z_u umfasst 90 % dieser Fläche. Z_u und Z_o müssen ausgeschieden werden, falls das Grundwasser einer Fassung angeschlagen ist oder einen unerwünschten zeitlichen

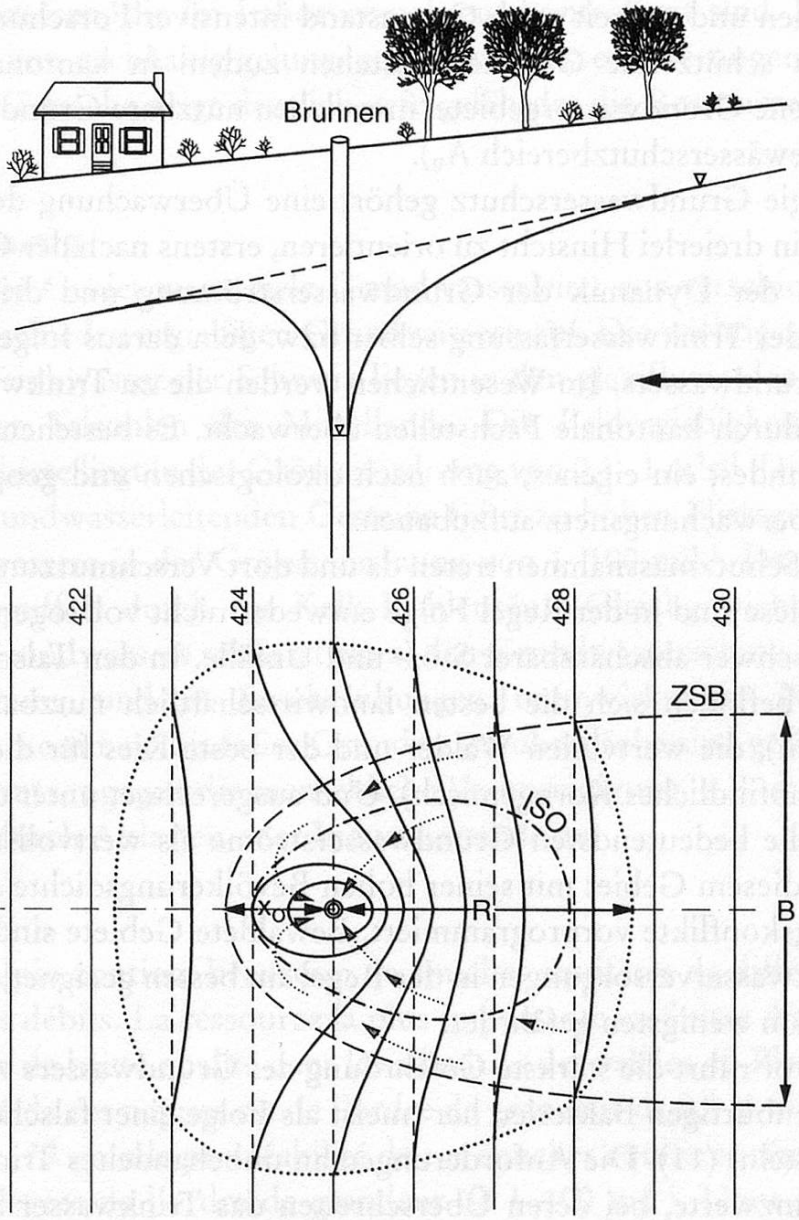

Abbildung 2 **Zuströmbereich einer Grundwasserfassung, mit und ohne Pumpbetrieb, oben, Profildarstellung, unten, Plandarstellung; Strömungsrichtung des Grundwassers von rechts nach links** (nach 2, verändert).
Ausgezogene Linien: Linien gleichen Grundwasserspiegels *mit* Pumpbetrieb (Isohypsen; unten mit Angabe der Höhenlage über Meer); Gepunkteter Bereich unten: Einflussbereich des Absenktrichters *mit* Pumpbetrieb; Im gepunkteten Bereich unten: Dick ausgezogen: *mit,* kurz gestrichelt: *ohne* Pumpbetrieb; Gepunktete Pfeile: Stromlinien *mit* Pumpbetrieb; Breit gestrichelte Parabel: Zuströmbereich (ZSB); Strichpunktiert: Linie gleicher Aufenthaltszeit bis zum Erreichen der Fassung (Isochrone, ISO); x_0 = Distanz von der Fassung bis zur unteren Kulmination des Grundwasserspiegels; R = Ausdehnung des Absenktrichters grundwasserstromaufwärts auf der Symmetrieachse der Strömung; B = maximale Breite des Zuströmbereichs

Trend in seiner Wasserqualität aufweist. Sie sind 1998 neu in die Verordnung aufgenommen worden und zurzeit noch Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten. Als «besonders zu schützende Gebiete» bestehen zudem in kantonalen Gewässerschutzkarten jene Grundwassergebiete, in welchen nutzbare Grundwasservorkommen liegen (Gewässerschutzbereich A_u).

Zur Strategie Grundwasserschutz gehört eine Überwachung der Vorkommen. Diese hat sich in dreierlei Hinsicht zu orientieren, erstens nach der Gefährdungsart, zweitens nach der Dynamik der Grundwasserströmung und drittens nach den Dimensionen der Trinkwasserfassung selber bzw. dem daraus folgenden Zuströmbereich des Grundwassers. Im Wesentlichen werden die zu Trinkwasser genutzten Grundwässer durch kantonale Fachstellen überwacht. Es bestehen zudem Bestrebungen des Bundes, ein eigenes, auch nach ökologischen und geogenen Kriterien orientiertes Überwachungsnetz aufzubauen.

Trotz aller Schutzmassnahmen treten da und dort Verschmutzungen des Grundwassers auf. Diese sind in der Regel Folge entweder nicht vollzogener Schutzmassnahmen oder schwer abschätzbarer Stör- und Unfälle. In den Talsohlen des voralpinen Raums befinden sich die besten landwirtschaftlich nutzbaren Böden (oft Parabraunerden), die wertvollen Wälder und der beste Kies für die Bauwirtschaft (wenig frostempfindliches Korngemisch). Und ausgerechnet unter diesen Gebieten fliessen auch die bedeutendsten Grundwasserströme als wertvollste Trinkwasser-Ressource. In diesem Gebiet mit seiner hohen Bevölkerungsdichte sind raumwirksame Nutzungskonflikte vorprogrammiert. Bewaldete Gebiete sind für die Erstellung von Trinkwasserversorgungen in der Regel am besten geeignet; im Wald ist das Grundwasser am wenigsten gefährdet.

Nach wie vor rührt die stärkste Gefährdung des Grundwassers von Belastungen mit nicht bodenbürtigen Bakterien her (meist als Folge einer falschen Verwendung von Düngemitteln) (11). Die Anforderungen an unbehandeltes Trinkwasser an der Quelle (Toleranzwerte, bei deren Überschreiten das Trinkwasser als verunreinigt gilt; gemäss Artikel 2, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung; sowie Anhang B, Hygieneverordnung; beide vom 26. Juni 1995, Stand am 10. Februar 1998) sind wie folgt: Aerobe, mesophile Keime, maximal 100/ml; und *Escherichia coli* und Enterokokken, nicht nachweisbar in 100 ml. Gerade in kleinen ländlichen Wasserversorgungen spielt die bakterielle Verunreinigung noch eine grössere Rolle als die Verunreinigung infolge von Stickstoff- oder Pestizidverlusten. Andere örtliche Gefährdungen stammen z.B. von Altlasten aller Art (Altdeponien, Industriestandorte), Abwasseranlagen oder Materialentnahmen.

Ein grosser Teil der Grundwasserforschung in den industrialisierten Staaten der westlichen Hemisphäre befasst sich mit der Sanierung verunreinigten Grundwassers. Durch seine träge Bewegung und seine schwierige Erschliessbarkeit im Untergrund entziehen sich viele Schadstofffahnen der kleinräumigen Erkundung. Infolge der grossen Heterogenität von Grundwasserleitern hält sich die Prognostizierbarkeit des Umfangs von Sanierungsmassnahmen in engen Grenzen. Zudem ergeben

sich immer wieder Überraschungen über Ausmass und Ablauf im Feld von biogeochemischen Prozessen, die im Laborversuch gut kontrolliert sind. Bis heute sind nur wenig Fälle von nachhaltig gelungenen Grundwassersanierungen bekannt (z.B. 12). Auch diese Tatsache zeigt deutlich, wie gefährdet die Ressource Grundwasser ist.

Zusammenfassung

Das voralpine Gebiet weist viele Grundwasserleiter aus verschiedenen Gesteinen und mit verschieden ergiebigen Grundwässern auf. Die wichtigsten Grundwasservorräte für Trinkwasser der Schweiz liegen in den glazifluviatilen Niederterrassenschottern der Talsohlen des Mittellands. Die Feldergiebigkeit vieler dieser Grundwassergebiete liegt in der Grössenordnung von 0,1–1 m^3s^{-1}. Die hohe Durchlässigkeit der grundwasserleitenden Gesteine führt zu hohen Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers in der Grössenordnung von 1–100 md^{-1}. Das Grundwasser ist hart und gepuffert durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Die Bewirtschaftung des Grundwassers schliesst ein a) den Grundwasserschutz, b) die Grundwasserüberwachung und c) Beschränkungen raumwirksamer Nutzungsarten. Grundwasservorkommen mit freier Grundwasseroberfläche sind gefährdet und bedürfen eines Schutzes gegen die menschliche Verunreinigung, z.B. durch die Landwirtschaft und durch Altlasten oder Industriestandorte.

Résumé

Le plateau alpin contient beaucoup de couches aquifères de différentes lithologies et différents débits. La ressource la plus importante en Suisse d'eau potable est l'eau souterraine de haute qualité dans les alluvions des vallées du Plateau Suisse. Le débit de sécurité de ces nappes est de l'ordre de grandeur de 0,1–1 m^3s^{-1} dans beaucoup de régions. La grande perméabilité de ces couches aquifères résulte en vitesses d'écoulement élevées de l'ordre de grandeur de 1–100 md^{-1}. L'eau souterraine est dure et tamponnée par l'équilibre calcite-dioxyde de carbone. La gestion des ressources englobe des mesures de protection, de la surveillance, et des restrictions d'utilisation des sols. Les nappes phréatiques sont vulnérables et doivent être protégées de la contamination anthropogène (agriculture, sites contaminées, industrie).

Summary «Ground-water as the Most Important Resource of Drinking Water in Switzerland»

The foreland of the Alps reveals numerous aquifers of different lithology and ground-water yield. The most important resource for drinking water in Switzerland is the good quality ground water in the glaciofluvial outwash of perialpine valley fill aquifers. The safe yield is in the order of 0.1–1 m^3s^{-1} in many aquifer regions. The high hydraulic conductivity of these aquifers results in fast ground-water flow velocities of the order of 1–100 md^{-1}. The ground-water is hard and buffered by the calcite-carbon dioxide equilibrium. The resource management includes protection

schemes, monitoring, and a restriction of land uses. Phreatic ground waters are vulnerable and must be protected against anthropogenic contamination (agriculture, contaminated sites, industry).

Key words

Aquifer heterogeneity, Ecosystem management Ground-water quality

Literatur

1 *Jäckli, H.:* Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. Eclogae geol. Helv. **63,** 389–400 (1970).

2 *Richter, W.* und *Lillich, W.:* Abriss der Hydrogeologie, 281 pp. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermiller), Stuttgart 1970.

3 *Hufschmied, P.:* Estimation of three-dimensional statistically anisotropic hydraulic conductivity field by means of single-well pumping tests combined with flowmeter measurements. Hydrogeologie. **2,** 163–174 (1986).

4 *Bear, J.:* Hydraulics of groundwater, 569 pp. Mc-Graw Hill, New York 1979.

5 *Hartmann, D.* und *Michel, P.:* Grundwasserschutz in der Schweiz. Gas-Wasser-Abwasser **72,** 167–173 (1992).

6 *Sigg, L.* und *Stumm, W.:* Aquatische Chemie, 2. Auflage, 388 pp. vdf und B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 1991.

7 *Jackson, R.E.* and *Hoehn, E.:* A review of the processes affecting the fate of contaminants in groundwater. Water Poll. Res. J. Canada **22,** 1–20 (1987).

8 *Brunke, M.* and *Gonser, T.:* The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biol. **37,** 1–33 (1997).

9 *Trüeb, E.U.:* Erkundung und Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen. Monatsbull. SVGW **42,** 289–295, **43,** 9–16, **43,** 27–34 (1963).

10 *Hoehn, E., Blau, R.V., Hartmann, D., Kanz, W., Leuenberger, H., Matousek, F.* und *Zumstein, J.:* Der Zuströmbereich als Element eines zeitgemässen Grundwasserschutzes. Gas-Wasser-Abwasser **74,** 187–193 (1994).

11 *Hoehn, E.* und *Bundi, U.:* Gefährdung und Schutz des Grundwassers in der Schweiz. Schweiz. Ing. Arch. **104,** 33–41 (1983).

12 *von Gunten, H.R.* and *Lienert, Ch.:* Decreased metal concentrations in ground water caused by controls of phosphate emissions. Nature **364**(6434), 220–222 (1993).

Dr. sc.nat. ETH Eduard Hoehn, EAWAG, CH-8600 Dübendorf