

Grundwasser: Vom Trinkwasser-Reservoir zum Gewässer

Grundwasser spielt in der Schweiz als Trinkwasserressource und Teil des Wasserkreislaufs eine wichtige Rolle. Das ursprüngliche Konzept zum Schutze des Trinkwassers aus Grundwasser hat sich zur Bewältigung der traditionellen Probleme bewährt, musste aber mit dem Konzept des Zuströmbereiches erweitert werden, um den Schutz auch gegenüber schwer abbaubaren Chemikalien zu gewährleisten. Eine Gegenüberstellung des Wasserverbrauchs im Mittelland mit der Grundwasserneubildung zeigt, dass auch in der Schweiz Trinkwasser nicht einfach im Überfluss vorhanden ist. Die nachhaltige Nutzung des Grundwassers bedarf deshalb eines modernen Ressourcenmanagements.

In der Schweiz entstammen etwa vier Fünftel des Trinkwassers dem Grundwasser (gepumptes Grundwasser und Quellwasser). Davon können 48 Prozent ohne und 41 Prozent mit einer einstufigen Aufbereitung (Desinfektion durch UV oder Chlorung) genutzt werden. Dies ist vor allem für kleinere Wasserversorgungen von grossem Vorteil, da meist weder Know-how noch Mittel für den Betrieb aufwändiger Anlagen bereitgestellt werden können. Nur rund ein Zehntel

des aus Grundwasser gewonnen Trinkwassers muss mehrstufig aufbereitet werden, da in diesen Fällen die strengen Qualitätskriterien nicht erfüllt sind. Dies ist insbesondere bei Karstwasser oder reduzierten Grundwässern der Fall.

Natürliche Prozesse der Grundwasserneubildung

Lange Zeit wurde Grundwasser als unterirdisches, oben und unten abgedichtetes

Reservoir betrachtet, welches nur beschränkt mit der Umgebung in Verbindung steht. Erst als Verschmutzungen des Grundwassers durch anthropogene Spurenstoffe festgestellt wurden, setzte eine Wahrnehmungsänderung ein. Als Folge davon wurde auch Grundwasser als Gewässer erkannt, welches mit den anderen Gewässern kommuniziert. In dieser Form ist Grundwasser Teil des hydrologischen Kreislaufs (Fig. 1). Die Grundwasserneubildung erfolgt vorwiegend über die Infiltration von Regenbeziehungsweise von Flusswasser. In der Übergangszone zwischen Regen- und Flusswasser sowie dem Grundwasser finden zahlreiche physikalische, biologische und chemische Prozesse statt, die die Zusammensetzung des Grundwassers wesentlich beeinflussen. Das Schutzkonzept der Schweiz für das Grundwasser berücksichtigt diese Prozesse, welche auch die Selbstreinigung des infiltrierenden Wassers umfassen.

Grundwasserneubildung mit und ohne Sauerstoff

Regenwasser sickert durch die mit Wasser nicht gesättigte Bodenzone in den Untergrund (Infiltration). Dabei wird natürliches organisches Material durch Mikroorganismen mit Sauerstoff oxidiert (aerobe Respiration). Es wird Kohlensäure gebildet, welche Kalk auflöst und dadurch eine Aufhärtung des Grundwassers bewirkt (vgl. Beitrag J. Zobrist, S. 15ff.). Durch den Austausch mit der Atmosphäre ist im Bereich

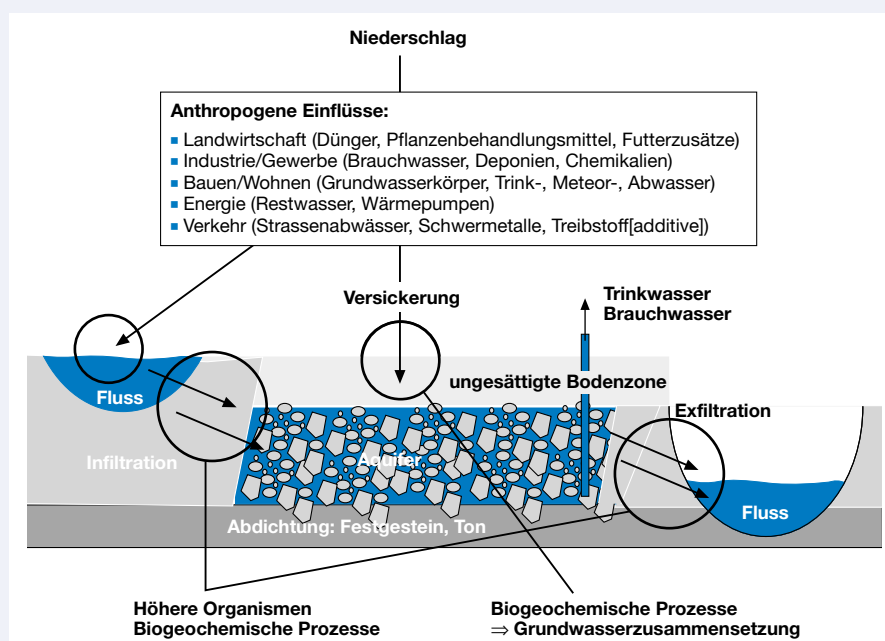


Fig. 1
Grundwasser als Teil des Wasserkreislaufs. Natürliche Neubildungsprozesse und anthropogene Einflüsse.

der Infiltration trotzdem meist ausreichend Sauerstoff vorhanden, so dass in der Schweiz diese **aerobe Grundwasserneubildung** die Regel ist.

In der Infiltrationszone zwischen Fluss- und Grundwasser lebt eine Vielzahl von Kleinstlebewesen, deren Lebensraum hauptsächlich durch das Angebot an gelösten Nährstoffen definiert ist (vgl. Beitrag T. Gonser, S. 6ff.). Für zahlreiche hier stattfindende biogeochemische Prozesse sind im Wesentlichen die Konzentration und Verfügbarkeit der Nährstoffe massgebend. Analoge Prozesse können bei der Exfiltration von Grundwasser in die Oberflächengewässer beobachtet werden.

Bei der Infiltration von Flusswasser ist häufig kein Austausch mit der Atmosphäre mehr möglich. Bei einem hohen Gehalt an Ammonium oder verfügbarem gelöstem organischem Material wird der Sauerstoff vollständig aufgezehrt. In der Folge setzt eine bestimmte Abfolge (Sequenz) von Redoxprozessen (vgl. Beitrag J. Zobrist, S. 15) ein. Diese Art der Grundwasserneubildung wird als **anaerobe Grundwasserneubildung** bezeichnet.

bildung wird als **anaerobe Grundwasserneubildung** bezeichnet.

Konzept zum Schutz des Grundwassers

Die natürlichen Prozesse zur Grundwasserneubildung können in dicht besiedelten Gebieten wie der Schweiz durch anthropogene Einflüsse überlagert werden (Fig. 1). Aus Bereichen wie der Landwirtschaft, Industrie/Gewerbe, Bauen/Wohnen, Energie und Verkehr können unerwünschte Stoffe ins Grundwasser gelangen. Während Stoffe wie Dünger, Pflanzenbehandlungsmittel, Sickerwässer aus Deponien, Meteorwasser oder Strassenabwässer durch die ungesättigte Bodenzone direkt versickern, infiltriert beispielsweise Abwasser über das Flusswasser.

Um die negativen Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf ein Minimum zu beschränken, wurde in der Schweiz ein umfangreiches Konzept zum Schutz des Grundwassers aufgebaut. Im unmittelbaren, aber auch im weiteren Bereich einer Was-

serfassung sind Tätigkeiten wie Düngung, Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln, Umschlag von Chemikalien etc. verboten oder stark eingeschränkt. Dadurch soll die Selbstreinigungskapazität des Aquifers geschont werden. Die Gewässerschutzzone 2 ist deshalb in der Regel so festzulegen, dass das Wasser mindestens 10 Tage benötigt, um die Schutzzone bis zur Wasseraufbereitung zu durchströmen. Diese Aufenthaltszeit reicht üblicherweise aus für die Abtrennung von Keimen und den Abbau von biologisch abbaubaren Substanzen. Kann mit diesen ressourcenseitigen Massnahmen keine einwandfreie Trinkwasserqualität gewährleistet werden, steht für die Trinkwasseraufbereitung eine ganze Reihe von Einheitsverfahren zur Verfügung. Damit ruht die Sicherstellung der Wasserversorgung in der Schweiz im Wesentlichen auf drei Säulen (Fig. 2a):

- Schutz des Grundwassers;
- Selbstreinigungskapazität der Wasserressourcen;
- Trinkwasseraufbereitung.

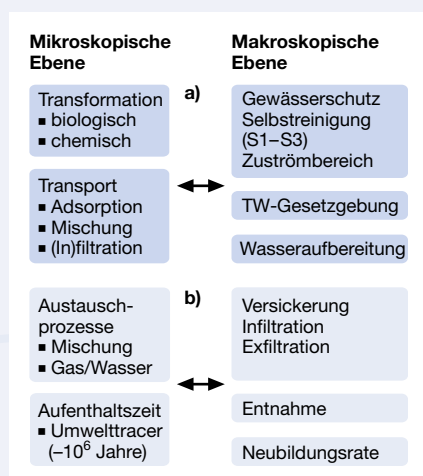


Fig. 2
a) Qualitative und b) quantitative Aspekte des Grundwassers. Die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse auf der mikroskopischen Ebene müssen verstanden werden, um das makroskopische System Grundwasser bis zu Trinkwasser zu beschreiben.

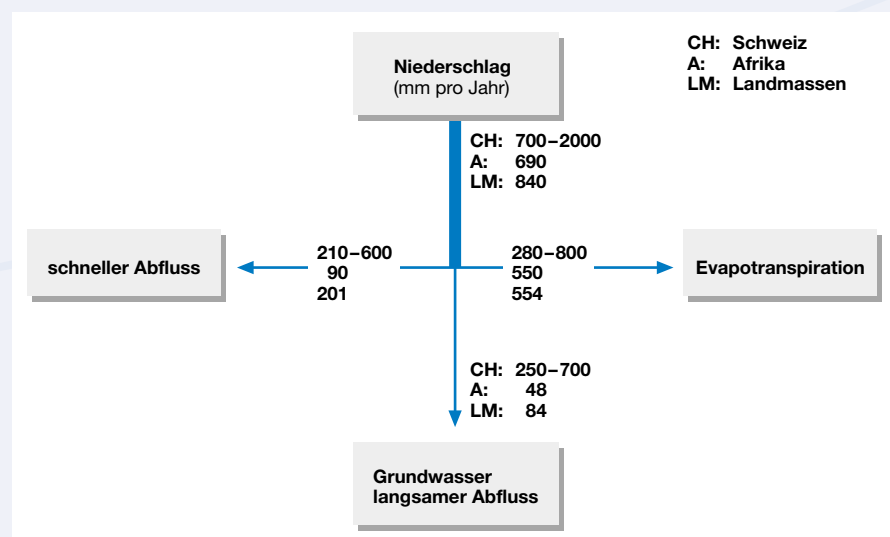


Fig. 3
Durchschnittliche Grundwasserneubildung in der Schweiz, in Afrika und den Landmassen der Erde im Vergleich zum schnellen Abfluss und der Evapotranspiration. Es ist ersichtlich, dass in der Schweiz ein überdurchschnittlicher Anteil des Niederschlags in den Untergrund versickert.



Ingenieurwissenschaften, EAWAG

Regenmesser-Parade.

Diese makroskopische Betrachtung basiert auf mikroskopischen Prozessen. Um das Verhalten von unerwünschten Stoffen im Grundwasser abschätzen zu können, sind diese vertieft zu erforschen (vgl. Beiträge S. Hug, S. 19ff., J.R. van der Meer, S. 24ff., S. Haderlein, S. 21ff.).

Das ursprüngliche Schutzzonenkonzept hat sich für die Bewältigung traditioneller Probleme wie der Hygiene und der abbaubaren organischen Verschmutzungen (z.B. Mineralöle) gut bewährt. Bei persistenten Chemikalien wie Pestiziden, chlorierten Lösemitteln etc. zeigte sich jedoch schon bald, dass diese Massnahmen nicht genügen. Ergänzend zum bestehenden Konzept wurde in der neuen Gewässerschutzverordnung deshalb der Zuströmbereich eingeführt. Dieser soll neunzig Prozent des Wassers erfassen, welches bei einer Grundwasserfassung entnommen werden darf (vgl. Beitrag E. Hoehn, S. 27ff.). Um den Vollzug des erweiterten Konzepts zu ermöglichen, müssen in den nächsten Jahren entsprechende Werkzeuge zur Umsetzung erarbeitet werden.

Anstrengungen für eine nachhaltige Grundwassernutzung

Die Menge des zur Nutzung verfügbaren Grundwassers wird im Wesentlichen durch Versickerung, Infiltration und Exfiltration bestimmt (Fig. 2b). Diese makroskopische Ebene kann durch das Zusammenspiel von mikroskopischen Prozessen beschrieben werden. Auf der kleinskaligen Ebene finden Austauschprozesse wie Mischung, Gas-Wasser-Austausch etc. statt, die sich mit-

tels Umweltracern (vgl. Beitrag R. Kipfer, S. 12ff.) untersuchen lassen. Damit kann beispielsweise das Alter des Grundwassers im Bereich von Jahren bis Jahrtausenden bestimmt werden, woraus sich die Neubildungsrate ableiten lässt, also berechnen lässt, in welchem Ausmass Grundwasser neu gebildet wird und welche Menge Grundwasser bei einer nachhaltigen Nutzung maximal entnommen werden kann. Derartige Methoden sind Voraussetzung für ein modernes Grundwassermanagement. In der Praxis werden sie jedoch noch zu wenig eingesetzt.

Obwohl die Schweiz oft als das Wasserschloss Europas bezeichnet wird, ist auch hierzulande ein haushälterischer Umgang mit dem Grundwasser notwendig. Vom Niederschlag, der in der Schweiz niedergeht, fliessen etwa 30 Prozent rasch ab, 40 Prozent verdunsten vor allem über die Vegetation. Der Rest, rund 30 Prozent, fliesst langsam übers Grundwasser ab (Fig. 3). Im internationalen Vergleich ist dieser Anteil des Niederschlags, welcher in der Schweiz ins Grundwasser gelangt, sehr hoch. Für Afrika wird ein Durchschnittswert von 7 Prozent, für alle Landmassen der Erde etwa 10 Prozent angegeben.

Je nach jahresbedingtem Witterungsverlauf gelangen in der Schweiz zwischen 250 und 700 Millimeter Niederschlag in den Untergrund (alle Landmassen 84 Millimeter; Afrika 50 Millimeter). Demgegenüber beträgt der Trinkwasserverbrauch im Schweizerischen Mittelland 125 Millimeter, bei einer hohen Bevölkerungsdichte von 500 Einwohnern pro Quadratkilometer und einem

durchschnittlichen Verbrauch von 250 Kubikmeter pro Person und Jahr (inklusive Industrie, Gewerbe und Dienstleistung). Im Gegensatz zur gängigen Vorstellung, das Trinkwasser sei in der Schweiz im Überfluss vorhanden, erreicht der Verbrauch in den dicht besiedelten Gebieten eine vergleichbare Grössenordnung wie jene der nachgelieferten Menge an Niederschlägen. In ähnlich dicht besiedelten Gebieten, die jedoch eine wesentlich geringere Grundwasserneubildungsrate aufweisen, ist eine Übernutzung der Grundwasserressourcen zu erwarten.

Um sowohl in qualitativer als auch quantitativer Hinsicht eine nachhaltige Nutzung des kostbaren Bodenschatzes zu garantieren, müssen heute vermehrt moderne Beurteilungsmethoden eingesetzt werden. Die nachfolgenden Beiträge vermitteln einen Überblick über den «state of the art» in diesem Bereich.



Urs von Gunten hat an der ETH Zürich Chemie studiert und 1989 auch dort promoviert. Anschliessend hat er auf dem Gebiet der Biogeochemie an der EAWAG ein Postdoc gemacht und ist seit 1992 im Bereich Trinkwasseraufbereitung (Oxidations- und Desinfektionsprozesse) tätig. Seit 1995 leitet er auf diesem Gebiet eine Forschungsgruppe und ist seit 1998 Leiter zuerst der Abteilung Chemie und seit 2000 des aus dieser Abteilung entstandenen Prozesses Wasserressourcen und Trinkwasser.