Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 4

Artikel: Gefährdung und Schutz des Grundwassers in der Schweiz
Autor: Hoehn, Eduard / Bundi, Ueli
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75044

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: 15.07.2025

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

Gefährdung und Schutz des Grundwassers in der Schweiz

Von Eduard Hoehn, Kaiserstuhl, und Ueli Bundi, Dübendorf

Die Nachfrage nach Trinkwasser wird in unserem Land weiter steigen; neue Erkenntnisse über schädliche Auswirkungen von im Wasser auftauchenden Schadstoffen werden das Qualitätsbewusstsein fördern. Für die Trinkwassergewinnung ist Grundwasser dem Oberflächenwasser überlegen: Die Sicker- und Untergrundpassage bietet wirksamen Schutz vor schwerwiegender und plötzlich auftretender Verunreinigung; Grundwasser muss nicht oder nur wenig aufbereitet werden. Darum sollte die Trinkwasserversorgung auch künftig möglichst weitgehend auf Grundwasser abgestützt werden. Den steigenden Ansprüchen an die Trinkwasserversorgung stehen die Grenzen des Dargebots, andere Nutzungsansprüche (Brauchwasser, Bewässerung, Wärmenutzung) sowie zunehmende mengenmässige und qualitative Gefährdungen gegenüber. In dieser Situation gilt es, die Vorrangstellung der Trinkwasserversorgung eindeutig abzusichern: Die sichere Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser muss auch in Zukunft überall und dauernd gewährleistet sein.

Diese Aufgabe wird nicht einfach zu bewältigen sein. Sie stellt hohe Anforderungen an alle an ihr beteiligten Behörden und privaten Stellen. Eine unersetzliche Rolle spielt auch die Grundwasser-Forschung, die in der Schweiz vor allem an Hochschulen und Annexanstalten der ETH betrieben wird. Ohne die von der Forschung bereitgestellten Unterlagen zur Lösung immer neuer Probleme würde der Grundwasserschutz über kurz oder lang von der Problementwicklung überrollt werden.

Die unter der Federführung der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) durchgeführte Studie *«Gewässerschutz 2000»* [1, 2] befasst sich primär mit dem Schutz der Oberflächengewässer gegen Verunreinigung. Weil das Grundwasser mit den Oberflächengewässern in wechselseitiger Beziehung steht, durfte es nicht ausser acht gelassen werden. Von vornherein war eine Beschränkung auf eine eher pauschale Betrachtungsweise beabsichtigt. Aufbauend auf früheren Arbeiten [3, 4, 5, 6] wird mit diesem Beitrag versucht, einen aktuellen Überblick über Nutzung, Beeinträchtigung und Schutz des Grundwassers zu vermitteln. Angesprochen sind primär jene, die in ihrer Tätigkeit mit Grundwasserproblemen konfrontiert werden, aber auch all jene, die sich allgemein für Fragen des Gewässerschutzes interessieren.

Merkmale (Überblick)

Grundwasser im Wasserkreislauf

Die Elemente des Wasserkreislaufes werden in Wasserbilanzgleichungen zueinander in Beziehung gesetzt. Die einfachste Wasserbilanz setzt sich aus den Grössen Niederschlag (N), Verdunstung (V) und Abfluss (A) zusammen.

Der Abfluss teilt sich in einen oberirdischen (A_o) und einen unterirdischen (A_u) Anteil auf. Das ergibt die Bilanzgleichung

$$N = V + A_o + A_u$$

Die jährliche Regenhöhe beträgt im Landesdurchschnitt 147 cm und im Mittelland 90–110 cm. Nach einer alten Faustregel verdunstet in durchschnittlichen Grundwassergebieten des Mittellandes ein Drittel des Niederschlages, ein Drittel fliesst oberflächlich ab und ein Drittel versickert. In Bild 1 werden typische schweizerische Wasserbilanzen dargestellt.

Zufuhren und Wegfuhren bestimmen die Bilanz der Grundwassermenge. Die Bildung von Grundwasser *(Zufuhren)* geschieht über die flächenmässige Versickerung des Niederschlages (A_u) und über linienhafte Versickerung von Fluss- und Bachwasser. Die letzte macht gesamtschweizerisch etwa 15 Prozent der Zufuhren aus, kann aber örtlich gegenüber der flächenhaften Versickerung vorherrschen [9, 10].

Die *Wegfuhren* setzen sich zusammen aus dem Quellwasser, dem unterirdischen Abfluss, den Grundwasseraustritten in Oberflächengewässer (Exfiltration) sowie der Wassergewinnung mittels Fassungen.

Einige hydrogeologische Grundlagen

Als *Grundwasserleiter* werden jene Gesteine bezeichnet, die nutzbare Hohlräume aufweisen, also solche, in denen Grundwasser[1] zirkulieren kann. Sind die Hohlräume eines Gesteins für eine Zirkulation zu klein («nicht nutzbar»), so spricht man von *Grundwasserstauern.* Viele Gesteine nehmen eine Zwischenstellung ein: Moränen oder siltige Sandsteine z. B. sind häufig schlechte Grundwasserleiter; Salz, Anhydrit und Gips z. B. sind an sich dicht, können aber durch Wasser ausgelaugt werden.

Die *Grundwasservorkommen* werden unterteilt nach der Art der Grundwasserleiter:

- *Porengrundwasser* (vor allem in Lokkergesteinen, insbesondere Schottern)
- *Felsgrundwasser:*
  Kluftgrundwasser (in Felsgesteinen, z. B. im Granit)
  Karstwasser (vor allem im Kalk, Dolomit).

Auch bei dieser Unterteilung nehmen viele Gesteine eine Zwischenstellung ein [11].

Nach unten wird das Grundwasser durch den Grundwasserstauer begrenzt. Nach oben ist es entweder durch die hydraulische Druckhöhe (Grundwasser mit *freiem Spiegel)* oder durch ein undurchlässiges Gesteinspaket unterhalb der hydraulischen Druckhöhe (*gespanntes* Grundwasser) begrenzt. Zwischen Erdoberfläche und Grundwasserspiegel befindet sich eine *wasserungesättigte Zone,* deren Mächtigkeit als *Flurabstand* bezeichnet wird.

Die in dieser Zone ablaufenden Prozesse beeinflussen den Zustand des Sickerwassers massgeblich. Für den Schutz des Grundwassers vor Verunreinigung hat die *Humusdecke* eine wichtige Bedeutung. In ihr finden intensive physikalische, chemische und biologische Prozesse statt; Schadstoffe werden zurückgehalten und abgebaut. Unterhalb der Humusdecke laufen diese Prozesse ebenfalls ab, aber weniger intensiv. Die Reinigungswirkung dieser wasserunge-

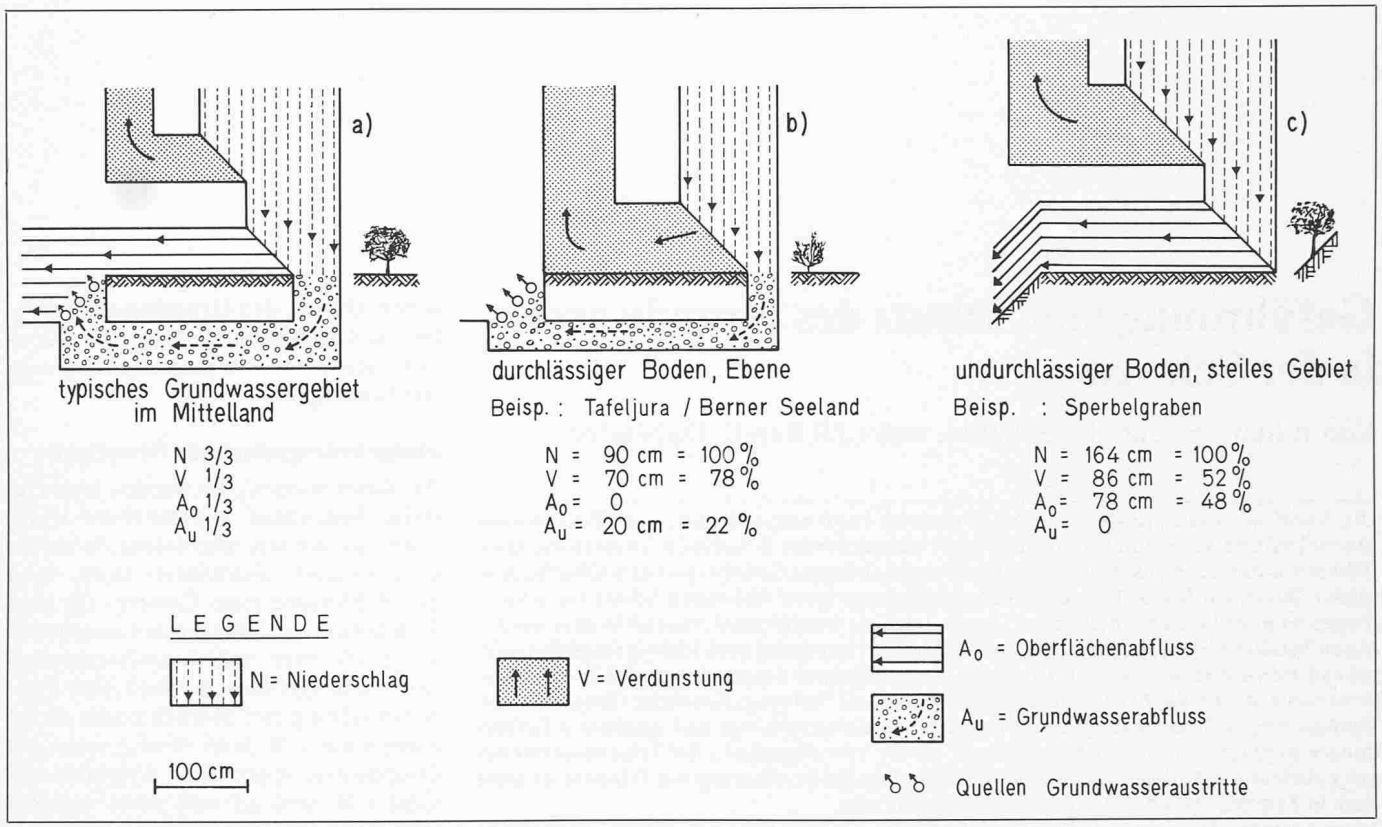


Bild 1. Schematische Darstellung Schweizer Wasserbilanzen: $N - V = A_o + A_u$

sättigten Zone hängt sowohl von ihrer Mächtigkeit und Beschaffenheit ab als auch von der *Art und Konzentration* der Verunreinigungen.

Vorkommen

Die bedeutendsten Grundwasserströme in der Schweiz fliessen in den eiszeitlichen kiesigen und sandigen Schottern der Flusstäler des Mittellandes, also in *Lockergesteinen*. Zusammen machen sie schätzungsweise zwischen 70 und 85 Prozent des gesamtschweizerisch nutzbaren Grundwassers aus. Entsprechend des stark gegliederten Reliefs handelt es sich um eine Vielzahl von kleinen bis grösseren, nicht zusammenhängenden Vorkommen. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass das Grundwasser vor allem im dichtbevölkerten Mittelland gut verteilt ist; nahezu jede Gemeinde hat eine eigene Wasserfassung.

In den Schweizer *Schottervorkommen* fliessen Grundwasserströme mit Geschwindigkeiten von 1–10 m/Tag (keine stillstehenden, stagnierenden Vorkommen). Die langfristig im Maximum gewinnbare Wassermenge (*Dargebot* oder *Feldergiebigkeit* = natürlicher Durchfluss eines Grundwasserstromes) ist häufig bescheiden und beträgt maximal 10 000–50 000 l/min. Das Schottergrundwasser ist zur Nutzung als Trinkwasser hervorragend geeignet; es erreicht in der Regel Trinkwasserqualität.

Schätzungsweise 10–15 Prozent des nutzbaren Grundwassers ist *Karstwasser*, also Felsgrundwasser, das in Kalk- und Dolomitgesteinen des Juras und der Alpen auftritt. Nur ein kleiner Teil davon wird genutzt. Wegen mangelnder Filtration im Untergrund zeigt sich das Karstwasser häufig mit Keimen beladen und bei Regen hie und da trübe. Die Durchflussmengen der Karstwassergebiete sind, mit wenigen Ausnahmen, nicht bekannt.

Neben diesen beiden Arten von Grundwasservorkommen bestehen weitere, weniger bedeutende, z. B. in kiesigen Moränen, Molasse-Sandsteinen und Graniten. In tieferliegenden Gesteinsschichten findet sich *«Tiefengrundwasser»*, das nur beschränkt am Wasserkreislauf teilnimmt und meist nur geringe Fliessgeschwindigkeiten aufweist. Mit der Tiefe nimmt seine Temperatur zu; örtlich tritt es an der Erdoberfläche als Thermalquelle (> 20 °C) aus.

Beschaffenheit

Die *Beschaffenheit* des Grundwassers – sein Zustand – wird massgeblich vom durchflossenen Gestein geprägt. Von wichtiger Bedeutung sind auch die Art der Neubildung und die Aufenthaltszeit im Erdinnern vom Versickern bis zur Fassung. Die *Qualität* (Güte) eines Grundwassers leitet sich ab aus dem Vergleich zwischen seiner effektiven Beschaffenheit (gegeben in Grössen wie Sauerstoffgehalt, Nitratgehalt, usw.) und den Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit, die je nach Nutzungsart unterschiedlich ausfallen [12]. Was die Anforderungen an das *Trinkwasser* betrifft, sind diese im *Schweizerischen Lebensmittelbuch*[2] *umschrieben*.

Gemessen an diesen Anforderungen, weist das Lockergestein-Grundwasser in der Schweiz grösstenteils noch befriedigende Qualität auf. Die *Manipulation der Umwelt durch den Menschen hinterlässt aber auch im Grundwasser ihre Spuren*. Vielerorts musste in den letzten Jahren eine *zunehmende Verschlechterung*, in manchen Fällen gar in einem nicht mehr tolerierbaren Ausmass, beobachtet werden. Diese Verschlechterung manifestiert sich z. B. durch eine *Abnahme des Sauerstoffgehaltes* und durch eine *Zunahme des Gehaltes an organischen und anorganischen Verbindungen (Beispiel Nitrat)*.

Nutzung und Schutz

Grundwasser wird im wesentlichen auf zwei Arten gewonnen, nämlich mittels *Quellfassungen* oder *erbohrten Grundwasserfassungen* (Brunnen). Das frei auslaufende Grundwasser *(Quellen)* wird in Sickerleitungen oder Stollen gefasst. In der Regel ist der Anfall von Quellwasser (Quellschüttung) zeitlich variabel und nicht beeinflussbar. Aus den *Brunnen* muss das Grundwasser gepumpt werden. Um ein Grundwassergebiet nicht zu übernutzen, darf langfristig nicht mehr Grundwasser gepumpt werden, als nachgeliefert wird (= *(Feldergiebigkeit)*; eine kurzfristig

erhöhte Förderung hingegen ist möglich.

In der Schweiz werden heute über 75 Prozent des *Trinkwasserbedarfes* mit Grundwasser gedeckt [9, 10]. Die übrigen Wassernutzungen (Industrie, Bewässerung, Feuerbekämpfung) müssen sich den Anforderungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung, die Priorität hat, unterordnen.

Seit einigen Jahren stösst die Nutzung der *Grundwasserwärme* mittels *Wärmepumpen* auf zunehmendes Interesse. Auch für diese Nutzungsart gilt, dass sie die Trinkwasserversorgung nicht beeinträchtigen darf.

Die Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser ist denn auch das Hauptmotiv für den *Grundwasserschutz*. Schutzmassnahmen sind nötig, um das Grundwasser vor mengenmässiger Beeinträchtigung und vor Verunreinigung zu bewahren. An erster Stelle steht dabei der Schutz der Grundwasserleiter und ihrer Deckschichten vor Ausbeutung. Das Verhüten von Verunreinigungen geschieht im Hinblick darauf, dass das Grundwasser – soweit es die natürlichen Gegebenheiten zulassen – ohne vorgängige Aufbereitung als Trinkwasser verwendet werden kann.

Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit	
Ursachen	*Auswirkungen*
Gewollte und ungewollte (Kanalisation) Abwasserversickerungen Unfälle bei Erzeugung, Verwendung, Lagerung, Umschlag und Transport grundwassergefährdender Flüssigkeiten Belastung der Fliessgewässer und der Böden mit chemosynthetischen Stoffen Übermässige und zu ungünstigen Zeiten durchgeführte Düngung; brachliegende Ackerflächen Undichte Abfalldeponien Strassensalzung	Eintrag von: - pathogenen Organismen (z. B. Salmonellen) - Kohlenwasserstoffen (z. B. Öl und Benzin) - organischen Abgängen von Mensch und Tier - chemosynthetischen Stoffen (z. B. Pestiziden) - Metallen (z. B. Blei) - anorganischen Ionen (z. B. Chlorid, Nitrat)
Schiffbarmachung infiltrierender Flüsse	Erhöhtes Unfallrisiko: Möglicher Eintrag von Kohlenwasserstoffen
Kiesgruben und Steinbrüche: Entfernung der belebten Humusdecke und Verringerung des Flurabstandes zum Grundwasser	Erhöhter Schadstoffeintrag infolge Ausbleibens der biologischen Aktivität und Verminderung der Rückhaltung partikulärer Verunreinigungen; Risiko von Kohlenwasserstoff-Eintrag infolge von Ölverlusten der Baumaschinen
Wärmeentzug und Wärmeeintrag; z. B. Wärmepumpen in Grundwasser, Einleitung von Abwärme in infiltrierende Flüsse	Änderung der Grundwassertemperatur; starke Änderungen bewirken chemische Reaktionen (z. B. zunehmender Lösungsinhalt mit zunehmender Temperatur; Ausnahme: Erdalkali-Karbonate)

Absinken des Grundwasserspiegels *Abnahme der Feldergiebigkeit*	
Ursachen	*Auswirkungen*
Abdichten der Erdoberfläche über Grundwasserleitern durch Hartbeläge für Plätze und Strassen sowie durch Hochbauten	Verminderung der Versickerung von Niederschlägen
Übermässige Entnahme von Grundwasser (Wasserhaltung bei Tiefbauten, Trink- und Brauchwassergewinnung)	
Ganzjährig laufende Drainagen von Grundwasseraufstössen. Unterbinden seitlicher Zuflüsse (Hangwasser)	
Aufstau infiltrierender Flüsse	Langfristig Verminderung der Infiltration oberhalb der Stauhaltung infolge fortschreitender Abdichtung des Flussbettes
Dichte Verbauung der Bette infiltrierender Bäche und Flüsse	Verminderung oder Aufhebung der Infiltration
Zu geringe Restwassermengen von infiltrierenden Bächen und Flüssen bei hydroelektrischen Anlagen	Verminderung der Infiltration
Tieferlegen von infiltrierenden Bächen und Flüssen zwecks Vorflutbeschaffung oder Vergrösserung der Abflusskapazität	Verminderung der Infiltration; liegt die neue Sohle auf der Höhe des Grundwasserspiegels oder tiefer, ist der Fluss nicht mehr Infiltrant, sondern Vorfluter
Absperren des Grundwassers durch Tiefbauten (durch den Baukörper selbst oder durch Injektionsschleier und Dichtungswände)	Verkleinerung der Durchflussfläche

Tabelle 1. Grundwasserbeeinträchtigungen

Rechtsgrundlagen für Nutzung und Schutz

In der Fassung vom 27. Dez. 1975 ist Art. 24 bis *(Wasserwirtschaftsartikel)* der Bundesverfassung Basis der Rechtsgrundlagen für den Grundwasserschutz. In ihm werden Grundsätze zur *haushälterischen* Nutzung und zum Schutz der Wasservorkommen aufgestellt. Die Verbesserung des Grundwasserschutzes gehörte zu den Motiven für die Revision des alten Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (vom 16. März 1955). Die Mehrzahl der Bestimmungen des neuen *Gewässerschutzgesetzes (GSchG, vom 8. Okt. 1971) berühren die Belange des Grundwassers in irgendeiner Form; Die Artikel 29–32[3] sind spezifisch dem Grundwasser gewidmet.*

Das GSchG fordert den Schutz des Grundwassers; es gebietet Sorgfalt im Umgang mit unterirdischen Gewässern und verbietet deren Verunreinigung. Grösstenteils auf Basis des GSchG existieren weitere Erlasse[4], die für das Grundwasser wichtige Bestimmungen enthalten. Der Vollzug des Grundwasserschutzes wird im GSchG an die *Kantone* delegiert. Diese ergreifen die notwendigen Massnahmen. Für die meisten Aspekte des Schutzes und der Nutzung der Grundwasservorkommen sind bei den Kantonen in der Regel die Gewässerschutz-Fachstellen zuständig. Gewisse Teile des Vollzugs, z. B. die Ausscheidung von Grundwasser-Schutzzonen, delegierten die Kantone an die Besitzer von Wasserversorgungsanlagen, überwachen aber deren Reglementierung und Realisierung.

Im *Schweizerischen Zivilgesetzbuch* (ZGB), Art. 664, werden die öffentlichen Gewässer sowie das nicht kultivierte Land wie Felsen und Schutthalden, Firne und Gletscher, und die daraus entspringenden Quellen unter den

Sammelbegriff «herrenlose und öffentliche Sachen» gestellt; an ihnen besteht unter Vorbehalt anderweitigen Nachweises kein Privateigentum (Anlehnung an deutsches Recht). Art. 704 ZGB besagt, dass Quellen Bestandteile der Grundstücke sind und mit ihnen erworben werden (Anlehnung an römisches Recht).

In Art. 704, Abs. 3, ZGB, wird Grundwasser den Quellen gleichgestellt, in der Praxis wird diese Bestimmung aber nur für kleine Grundwasservorkommen bzw. für Kleinbedarfsanlagen angewendet. Artikel 705 ZGB bildet die Basis für die *Öffentlichkeitserklärung* der Grundwasservorkommen. Entnahmen sind je nach Kanton ab einer gewissen Leistung bewilligungs- bzw. konzessionspflichtig. Der Schutz von kleineren Grundwasservorkommen und Quellen wird in Zukunft vor allem durch die öffentlich-rechtlichen Vorschriften des GSchG gewährleistet werden.

Schutzmassnahmen

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Grundwasserbeeinträchtigungen, die es zu verhindern bzw. in Grenzen zu halten gilt, aufgeführt.

Spektrum der Massnahmen

Zur quantitativen und qualitativen Erhaltung des Grundwassers müssen primär vorbeugende Massnahmen, solche also, die Beeinträchtigungen von vornherein verhindern, angewendet werden. Wichtige, heute angewandte *Vorkehrungen* sind:

- Beschränkung der Grundwasserentnahmen;
- Beschränkung des Kies- und Steinabbaus; Restriktionen für die Wiederauffüllung von Gruben und Brüchen;
- Künstliche Grundwasseranreicherung;
- Schutzvorkehrungen bei Bauten und Einrichtungen gegen das Versickern wassergefährdender Flüssigkeiten, z. B. Auffangwannen bei Öltanks und Tanklagern, doppelwandig verlegte Abwasserleitungen; Überfüll- und Lecksicherungen;
- Düngebeschränkung;
- Vorkehrungen bei der Lagerung von Gülle und Mist (Grubenvolumen, Lagerungsdauer, Standort).

Nicht zu vergessen sind die *abwassertechnischen* Vorkehrungen (Sammlung und Reinigung des Abwassers), die ja unter Berücksichtigung der Grundwasserbedürfnisse konzipiert werden (verhindern von Abwasserversickerungen; Schutz infiltrierender Fliessgewässer).

Verschiedene *Instrumente* werden eingesetzt, um die Grundwasserschutz-Pflichtigen zum Ergreifen der nötigen Vorkehrungen anzuhalten. Neben der Bewilligungspflicht für Grundwasserentnahmen, verschiedenen Verboten, Geboten und Vorschriften hat insbesondere die Errichtung von Schutzgebieten[5] eine vorrangige Bedeutung. Zweck und räumliche Aufteilung der *Gewässerschutzbereiche*, der *Grundwasserschutzzonen* und *-areale* kommen schematisch in Bild 2 zum Ausdruck.

Trotz vorhandener Rechtsgrundlagen gestaltet sich die *Verwirklichung der Grundwasser-Schutzzonen* und der zugehörigen Nutzungsbeschränkungen (Düngebeschränkung, Kiesgrubenverbot, Bauverbot) schleppend. Der Grund dafür liegt im zeitaufwendigen Prozedere und in den häufig auftretenden Widerständen. Technische Vorkehrungen, insbesondere Verhinderung von Öl- und Benzinverlusten[6], können hingegen schon seit Jahren systematisch realisiert werden.

Kosten

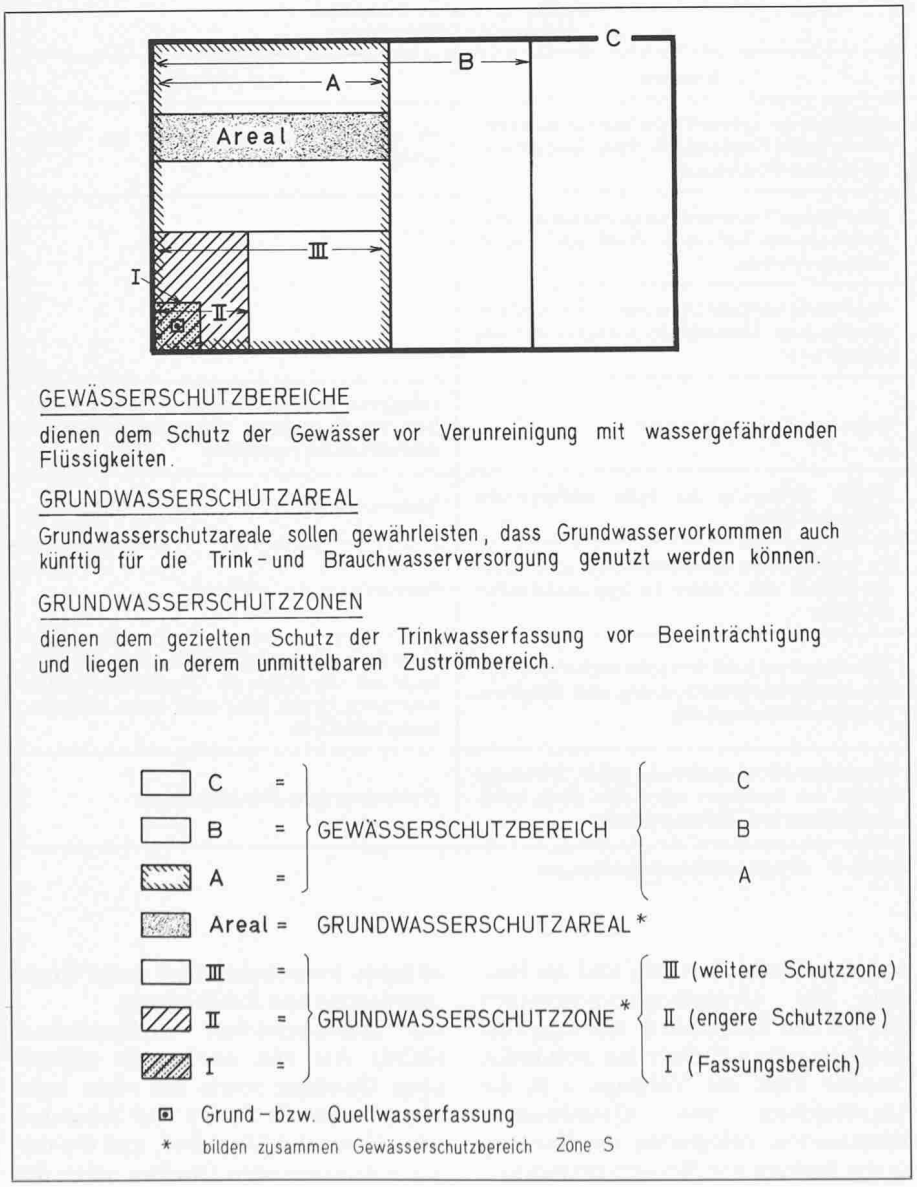
Die gesamten Kosten des Grundwasserschutzes sind unbekannt. Über Teilbereiche sind Angaben möglich, die allerdings teilweise auf *Schätzungen* beruhen. Kosten fallen an:

a) bei baulich-technischen Vorkehrungen
b) bei der Verwaltung, Planung und Forschung sowie
c) bei Nutzungsbeschränkungen (= Mindererträge).

Einerseits liegen zum Teil nur rudimentäre Kostenangaben vor; anderseits stellt sich häufig das Problem der Kosten-Zuordnung: Viele Massnahmen dienen sowohl dem Oberflächengewässer- als auch dem Grundwasserschutz.

Die höchsten, primär dem Grundwasserschutz anrechenbaren Kosten entstehen als Folge der *Technischen Tankvor-*

Bild 2. Schematische Darstellung der Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonen und -areale



schriften. Bis 1977 wurde über eine Milliarde Franken in *Gewässerschutzvorkehrungen bei Stehtankanlagen* (etwa 400 Mio. Fr.) und bei *Haustankanlagen* (etwa 700 Mio. Fr.) investiert; die betreffenden Jahreskosten (Kapitalkosten auf Basis von 2 Prozent Realzins, plus Betriebskosten) betragen über 100 Mio. Franken jährlich [13].

Weitere, ins Gewicht fallende Kosten ergeben sich aus *Gewässerschutzvorschriften* für *Tief-* (z. B. bei den Nationalstrassen) und *Hochbauten*. Die Vorschriften über das Volumen der Güllegruben (Schutz des Grund- und Oberflächenwassers) dürften zu Investitionen von mehreren hundert Millionen Franken führen.

Der *Wiederbeschaffungswert* aller öffentlichen *Kanalisationen* und *Kläranlagen* der Schweiz beträgt heute etwa 20 Mrd. Franken. Die Jahreskosten (Kapital- und Betriebskosten) dieser Anlagen machen etwa 800 Mio. Franken aus. Diese Kosten kommen nicht nur dem Schutz der Oberflächengewässer zugute, sondern zu einem schönen Teil auch dem Grundwasserschutz[7].

Über die wirtschaftlichen Folgen von *Nutzungsbeschränkungen*, wie Bauverbot, Kiesgrubenverbot, können keine Angaben gemacht werden. Oft handelt es sich um Verbote für mögliche Nutzungen, für die noch keine Vorleistungen erbracht worden sind (insbesondere: Nutzung als Bauland) und wofür alternative Flächen zur Verfügung stehen [13]. Die Verminderung des Verkehrswertes eines Grundstückes als Folge einer Düngebeschränkung (Schutzzone II) bewegt sich gemäss Berechnungspraxis des schweizerischen Bauernverbandes häufig in der Grössenordnung von 10 bis 20 Prozenten [14].

An *systematische Grundwasseruntersuchungen* erteilte der Bund in den Jahren 1972 bis 1978 jährliche Beiträge zwischen 1,5 und 3,5 Mio. Franken. Diese Beiträge entsprechen 30–40 Prozent der Kosten solcher Untersuchungen. Die jährlichen Ausgaben für *Verwaltung* und *Forschung* im Gewässerschutz belaufen sich auf rund 120 Mio. Franken [13]; ein Teil davon wäre wiederum dem Grundwasserschutz anzurechnen. Daneben ergeben sich Kosten aus verschiedenen weiteren Grundwasserschutz-Aktivitäten, über die keine gesamtschweizerischen Aussagen möglich sind. Insgesamt betragen die *Jahreskosten des Grundwasserschutzes* in der Schweiz heute (bei Gesamtinvestitionen von mehreren Milliarden Franken) einige hundert Millionen Franken.

Diskussion ausgewählter Grundwasser-Beeinträchtigungen

Übermässige Entnahme

Als übermässig können jene Entnahmen von Grundwasser bezeichnet werden, die eine *bleibende Absenkung* des Grundwasserspiegels bewirken:

- Das Dargebot übersteigende Entnahmen aus Trink- und Brauchwasserfassungen,
- Drainagen in Gebieten mit hochstehendem Grundwasserspiegel,
- Wasserhaltungen zwecks Trockenhalten von Baugruben (temporär).

In gewissen, stark besiedelten und industrialisierten Gebieten sind *Übernutzungen* durch übermässige Entnahmen aufgetreten. Beispiele dafür sind das Gebiet von *Vessy im Arvetal bei Genf* [15] sowie das *Limmattal auf dem Gebiet der Stadt Zürich* [16].

Um solche Entwicklungen zu vermeiden, müssen genaue Kenntnisse über die Grundwasservorkommen vorliegen. Zu diesem Zweck führen die meisten Kantone *systematische Bestandesaufnahmen* durch: Das zeitliche und räumliche Verhalten des Grundwassers wird studiert, eine Grundwasserbilanz erstellt und die Wasserbeschaffenheit untersucht. Aufgrund einer Empfehlung der *«Arbeitsgruppe Langfristige Grundwasserbeobachtung»* [17] ist die *Landeshydrologie* im Begriff, ein Netz zur Überwachung der Grundwasserspiegel aufzubauen. Damit bezweckt man, das langfristige Verhalten der Grundwasserspiegel zu beobachten sowie die Beziehungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer besser kennenzulernen: «Je mehr die Grundwasservorkommen genutzt werden, desto unerlässlicher sind Kenntnisse über ihre langfristigen Veränderungen, wenn man ihren Schutz und ihre haushälterische Nutzung sicherstellen will»[8].

Um Übernutzungen zu kompensieren und um zu ermöglichen, dass auch künftig der Trinkwasserbedarf vornehmlich mit Grundwasser gedeckt werden kann, wird man vielerorts vermehrt zur *künstlichen Grundwasseranreicherung*[9] und zur *Nutzung von Uferfiltrat*[10] greifen müssen. Damit erzielt man eine Dargebotssteigerung *und* nutzt den Vorteil der Untergrundpassage (Schadstoffelimination, Temperaturausgleich usw.).

Die Möglichkeiten der künstlichen Grundwasseranreicherung werden durch den Mangel an dafür geeigneten, stadtnahen Standorten begrenzt. Limitierend wirken unter anderem die häufig oberflächennah liegenden Grundwasserspiegel, welche keine genügend lange Verweilzeit des Sickerwassers in der wasserungesättigten Zone ermöglichen. Günstige Möglichkeiten, zumindest aus mengenmässiger Sicht, eröffnen sich der Förderung von Uferfiltrat: die Flüsse im Mittelland fliessen über weite Strecken auf grundwasserführendem Kies und infiltrieren vielerorts massiv in den Untergrund.

Versiegelung der Erdoberfläche sowie Hangdrainage

Infolge des Baus von *Siedlungen, Industrieanlagen* und *Strassen* wird ein zunehmender Teil der Erdoberfläche undurchlässig gestaltet. Von solcherart versiegelten Flächen gelangt das Niederschlagswasser über die Kanalisation *direkt* in die Vorfluter. Geschieht diese Versiegelung über Grundwasserleitern, so gehen dem Grundwasser grosse Wassermengen verloren. Dasselbe passiert bei *Hangdrainagen*, Sickerleitungen um Hochbauten und entlang von Strassen, die den seitlichen Wasserzufluss zu den Grundwasservorkommen unterbinden.

Als Folge davon sinken die Grundwasserspiegel langsam ab; die Feldergiebigkeit wird vermindert. Zurückgehende Grundwasserspiegel im Gebiet der Stadt Zürich [16] und der Stadt Winterthur [18], beispielsweise, werden zum Teil der Versiegelung zugeschrieben. Wegen des inhomogenen, blätterteigartigen Aufbaus vieler Grundwasserleiter besteht bei der anschliessenden Wasserentnahme aus tieferen Schichten die Gefahr, Fliessrichtung und -geschwindigkeit zu verändern; unter Umständen gelangt dann weniger geeignetes Grundwasser zur Förderung.

In den Schutzzonen II und den Schutzarealen wird die Erdoberfläche durch *Verbot* von Bauten vor Versiegelung geschützt. Diese Gebiete umfassen allerdings nur einen kleinen Teil des gesamten Grundwassergebietes. Eine Möglichkeit, der Verminderung der Grundwasserspeisung entgegenzuwirken, besteht im *Versickernlassen* von Dachwasser und gefasstem Hangwasser. Innerhalb der Schutzzone II und der Schutzareale sind Dachwasserversickerungen bewilligungspflichtig[11]. In diesen Gebieten, die schon vor Inkrafttreten des Bauverbots überbaut worden waren, werden Grundwasserfassungen nur noch auf Zusehen hin weiterbetrieben; meist wird ein neuer Wasserbezugsort gesucht.

Verunreinigung und Aufstau infiltrierender Flüsse

Oxidierbare Stoffe

Via Infiltration manifestiert sich die Verunreinigung der Flüsse im Grundwasser. Ist ein Fluss mit oxidierbaren Stoffen (vor allem mikrobiell angreifbare organische Stoffe und Ammonium) belastet, so tritt bei der Oxidation dieser Stoffe in der Infiltrationszone eine Folge von *Reduktionsprozessen* auf.

Zuerst wird der im infiltrierenden Wasser enthaltene *Sauerstoff* aufgebraucht und anschliessend das Nitrat (No_3^-), ein Sauerstoff-Spender, aufgezehrt (sog. Denitrifikation). Sind dann immer noch oxidierbare Stoffe vorhanden, so entsteht gelöstes zweiwertiges *Mangan* und *Eisen*. Beim Pumpen nimmt das Grundwasser Sauerstoff auf, worauf das gelöste Mangan und Eisen oxidiert und ausgefällt wird (sog. *Verockerung*). Ist das infiltrierende Wasser sehr stark mit oxidierbaren Stoffen belastet, kann sogar aus dem stets vorhandenen Sulfat der übelriechende *Schwefelwasserstoff* (H_2S) gebildet werden.

Die *Aufbereitung* von Wasser, das zweiwertiges Mangan und Eisen (sowie evtl. Schwefelwasserstoff) enthält, verursacht hohe Kosten. Dank den biologischen Abwasserreinigungsanlagen konnte die Belastung der Fliessgewässer mit organischen Stoffen, die Hauptursache der Reduktionsprozesse, entscheidend herabgesetzt werden.

Schwer abbaubare chemosynthetische Stoffe

In den letzten Jahren ist man mit dem Nachweis *industriell hergestellter Chemikalien* im Wasser (und in der Umwelt überhaupt) auf eine *neue, gravierende Gefahrenquelle für Menschen, Tiere und Pflanzen* gestossen. Hier eröffnet sich einer der *zentralen* Problemkreise des heutigen und künftigen Umweltschutzes. Tatsächlich werden immer mehr synthetische Chemikalien produziert und in der Industrie, in der Landwirtschaft, im Haushalt usw. verwendet.

Gewisse Stoffe haben die Eigenschaft, sich stark ans Boden- und Lockergestein-Material anzuhaften. Anderen fehlt diese bewegungsbehindernde Eigenschaft, sie werden deshalb als *«mobil»* bezeichnet. Treten solche Stoffe im Flusswasser auf, so gelangen sie unweigerlich mit dem Sickerwasser ins Grundwasser. In die Kategorie der mobilen Stoffe fallen viele *chemosynthetische (organische) Verbindungen*, aber auch viele gelöste anorganische Komponenten. Von den ersten wiederum gibt es viele, die nicht oder kaum biologisch abgebaut werden; entsprechend versieht man sie mit dem Attribut *«schwer abbaubar»*. Die schwer abbaubaren chemosynthetischen Stoffe sind im Trinkwasser unerwünscht, weil sie für den Menschen ein *Gesundheitsrisiko* darstellen [19]. Einmal im Grundwasser, bleibt ihr Gehalt wie auch derjenige der mobilen anorganischen Komponenten aufrechterhalten. Eine Reduktion des Gehaltes kann nur durch Verdünnung mit allfällig vorhandenem, unbelastetem Grundwasser stattfinden.

Die *Auswirkungen von versickerndem Flusswasser* auf das Grundwasser sind in jüngerer Zeit am Beispiel der stark mit gereinigtem Abwasser belasteten *Glatt* untersucht worden [19, 20]. Es zeigte sich, dass der Sauerstoff auf den ersten Metern des Sickerweges (<10 m) substantiell gezehrt wird. Ein Teil der untersuchten chemosynthetischen Stoffe (z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe) gelangt rasch in die oberste Grundwasserschicht und breitet sich dort über ein grosses Grundwassergebiet aus [20]. Ähnliche Befunde ergaben sich auch aus deutschen Untersuchungen am *Oberrhein*, in Gebieten, wo Uferfiltrat des Rheins genutzt wird [21].

Saubere Flüsse sind Voraussetzung für eine *sichere Trinkwassergewinnung* aus Grundwasser in Flussnähe. Viele chemosynthetische Stoffe werden in den Kläranlagen nur ungenügend ausgeschieden. Andere gelangen gar nicht über das Abwasser, sondern über Atmosphäre, Versickerung und Oberflächenabschwemmung (z. B. Pestizide) in die Gewässer. Somit können in vielen Fällen chemosynthetische Stoffe nur durch echte *Ursachenbekämpfung*, nämlich durch Reduktion der Produktion und ihrer Verwendung, von den Gewässern ferngehalten werden. Im kommenden Umweltschutzgesetz sollten die dazu nötigen Gesetzesbestimmungen geschaffen werden.

Fluss-Staue

Die *Infiltrationsleistung eines Fliessgewässers* hängt von der Durchlässigkeit seines Bettes ab. Hochwasserwellen lokkern die Flussohle auf. Dadurch wird die Durchlässigkeit erhöht, die dann bei Niederwasser wegen der Selbstabdichtung der Flussohle durch sedimentierende Partikel häufig wieder abnimmt [22].

Bei *Staustufen* von Niederlauf-Kraftwerken wird der Wasserspiegel im Oberwasser erhöht und so die Infiltrationsleistung anfänglich gesteigert. Infolge geringerer Fliessgeschwindigkeit nimmt jedoch die Sedimentation zu und die «Filterwäsche» durch Hochwasser unterbleibt. Das führt zu einer – unter Umständen drastischen – Reduktion der Infiltrationsleistung. Wegen der Abbauprozess in den verstärkt gebildeten organischen Sedimenten muss gerade in Staustufen mit der Infiltration von sauerstoffarmem Wasser ins Grundwasser gerechnet werden.

Für die Auswirkungen von Fluss-Stauen gibt es ein schon seit Jahrzehnten bekanntes Beispiel, den *Limmatstau beim Kraftwerk Wettingen*. Dort sank der Grundwasserspiegel im Verlauf weniger Jahre stark ab, das Wasser in nahegelegenen Fassungen wurde sauerstofffrei und ungeniessbar [23]. Damit der Grundwasserzustand bei Staustufen keine Verschlechterung erfahre, wurde versucht, die Infiltration mittels seitlicher Spundwände gänzlich zu unterbinden, zum Beispiel im *Stauraum der Aare zwischen dem Wehr oberhalb von Schinznach-Bad und Holderbank* [24]. Dadurch wird jedoch eine unter Umständen massgebende Wasserzufuhr abgestellt.

Materialentnahmen und Deponien über nutzbarem Grundwasser

«In Grundwasservorkommen, die sich (...) für die Wasserversorgung eignen, (ist die) Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material unterhalb des Grundwasserspiegels verboten» (Art. 32 Abs. 2 GSchG). Bei Materialentnahmen oberhalb des Grundwasserspiegels wird der Humus entfernt und der Flurabstand verkleinert. Dadurch entfällt ein wichtiger Teil der Sickerpassage; die Verweilzeit im Untergrund nimmt entsprechend ab. Der Einsatz von Baumaschinen birgt zudem die Gefahr von Öl- und Benzinunfällen in sich.

Innerhalb von Schutzzonen und Schutzarealen sind Materialentnahmen generell *verboten*. Ausserhalb derselben sind sie nur unter der Bedingung toleriert, «dass über dem höchsten möglichen Grundwasserspiegel eine nach den örtlichen Gegebenheiten zu bemessende, schützende Materialschicht belassen wird» (Art. 32 Abs. 2 GSchG).

Einmal vollständig abgebaut, wird eine leere Grube aus raumplanerischen Gründen häufig als bevorzugter Deponiestandort in Betracht gezogen. Durch *Sickerwasser undichter Deponien* kann das Grundwasser über grosse Strecken verunreinigt werden. Die Wirksamkeit von Massnahmen zur Unterbindung von Sickerwasser ist kaum je voll gewährleistet. Wegen der möglichen Auswaschung grundwassergefährdeter Deponie-Materialien bilden Deponien über lange Zeit hinweg Gefahrenherde. «Das Ablagern von festen Stoffen in

und an Gewässern bedarf einer kantonalen Bewilligung» (Art. 27 Abs. 1 GSchG). Je nach Deponiestandort gelten unterschiedliche Anforderungen an das zu deponierende Material und/oder betreffende Massnahmen, um Emissionen einzudämmen oder zu verhindern.

Verluste von organischen Flüssigkeiten, die mit Wasser nicht mischbar sind

Derartige Flüssigkeiten (Öl, Benzin, Lösungsmittel, Reinigungsmittel) können bei *ungewolltem Verlust,* z. B. infolge von Unfällen oder schadhaften Einrichtungen, in ein Oberflächengewässer gelangen oder im Boden versickern und dabei das Grundwasser erreichen. Versickern relativ kleine Flüssigkeitsmengen, werden diese häufig in der wasserungesättigten Zone zurückgehalten. Grössere Mengen hingegen können bis zum Grundwasser vordringen. Flüssigkeiten mit einem spezifischen Gewicht von <1 (Öl, Benzin) werden daraufhin auf dem Grundwasser in Fliessrichtung verfrachtet, so lange, bis sich der Zustand der sog. *Restsättigung* des Bodens einstellt. Flüssigkeiten mit einem spezifischen Gewicht von > 1 (z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe) können bis an die Basis des Grundwassers sickern [25].

Im Grundwasserleiter werden vor allem Öl und Benzin *mikrobiell* angegriffen. Dadurch wird der Sauerstoff des Sicker- und Grundwassers gezehrt, und die im Abschnitt «Oxidierbare Stoffe» beschriebenen Vorgänge laufen ab. Wasserlösliche Komponenten organischer Flüssigkeiten gehen ins Grundwasser über und beeinträchtigen dessen Qualität als Trinkwasser (Geruch, Geschmack, z. T. Gesundheitsgefährdung).

Gegen das Versickern der sog. *wassergefährdenden Flüssigkeiten* wurden Schutzvorkehrungen verordnet (VWF vom 28. Sept. 1981). Aufgrund dieser Verordnung wurde das Gebiet der Schweiz in *«Gewässerschutzbereiche»* (vgl. Bild 2) eingeteilt, in denen verschieden strenge Vorschriften für den Umgang mit derartigen Flüssigkeiten aufgestellt wurden[12].

Bei Unfällen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten werden Sanierungsmassnahmen eingeleitet, z. B. Aushub des verunreinigten Bodenmaterials und Abpumpen der Flüssigkeit, also Massnahmen, die häufig sehr kostspielig sind [26]. Oft werden Schadenfälle allerdings lange Zeit nach Eintreten des Ereignisses entdeckt. Das Versickern von Benzin in der Nähe von Bern über einen längeren Zeitraum kam beispielsweise erst ans Licht, als sich in einem Keller eine Explosion ereignete [27]. Ein Unfall mit dem Reinigungsmittel Tetrachloräthylen in *Dübendorf* wurde entdeckt, weil anlässlich einer wissenschaftlichen Untersuchung gelöste Spuren dieses Stoffes im Trinkwasser gefunden wurden [28].

Landwirtschaftliche Bodennutzung (Nitratbelastung)

Die Schweizer Landwirtschaft deckt etwa 60–80 Prozent ihres Düngerbedarfs mit Hofdüngern (Mist und Gülle). Aus arbeitstechnischen und wirtschaftlichen Gründen nimmt der Anteil der Aufstallungen mit Schwemmentmistung und daher der Gülle gegenüber dem Mistanteil zu. Heute beträgt der *Gülle-Anfall* etwa 60 Mio. m^3/Jahr [29] und die Menge des in flüssiger Form in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlammes etwa 1,7 Mio. m^3/Jahr. Da das Lagern von Gülle teuer ist, wird diese praktisch das ganze Jahr hindurch ausgebracht, auch ausserhalb der Vegetationszeit.

Unter gewissen Bedingungen können die Filtereigenschaften des Bodens in ihrer Wirkung stark reduziert sein, z. B. bei einem völlig durchnässten Boden, «Kurzschluss» durch Grobporen, oder bei einem Boden mit Schwundrissen nach Trockenheit. Nicht nur Handelsdünger, sondern auch Gülle und Klärschlamm enthalten *Stickstoff,* und zwar entweder in organischer Form oder als Ammonium/Ammoniak. Der organische Stickstoff wird zu Ammonium mineralisiert und dieses zu *Nitrat* oxidiert (Nitrifikation). Selbst im Spätherbst und Winter erfolgt dieser Prozess, sofern die Bodentemperatur nicht unter 3–5 °C sinkt.

Zahlreiche Lysimeterversuche haben gezeigt, dass aus einem *Boden mit geschlossener Pflanzendecke und guter Durchwurzelung* auch nach starker Stickstoffdüngung kaum erhöhte Nitratmengen ausgewaschen werden, weil die auch ausserhalb der Vegetationszeit noch vorhandene, reduzierte Wurzelaktivität ausreicht, um das gebildete Nitrat aufzunehmen. Bei *fehlender* oder nur partieller Durchwurzelung (Brache; Teilbrache, z. B. bei Mais) des Bodens dagegen wird das im Boden sehr mobile Nitrat-Ion ziemlich vollständig ausgewaschen. Aus brachliegenden Böden wird zusätzlich Nitrat ausgewaschen, das aus der Mineralisation der Humusdecke stammt.

In unseren Klimaverhältnissen ist eine gewisse Nitratauswaschung – bis zu etwa 10 kg NO_3^--N/ha und Jahr – als normal und «schwach belastend» zu interpretieren, und zwar auch aus nicht gedüngten Waldböden. Auswaschungsverluste über 20–30 kg NO_3^--N/ha und Jahr hingegen sind eindeutig erhöht. Es ist schwierig, dieser *Nitratauswaschung entgegenzusteuern.* Von den Schweizer Grundwässern mit ausreichendem Sauerstoffgehalt wird heute angenommen, dass sie im Mittel etwa 20–25 mg Nitrat je Liter enthalten. Eine Möglichkeit zur statistischen Absicherung dieser Angabe besteht aber nicht. Im Mittelland liegen die Werte je nach Jahreszeit und Nutzungsintensität im Einzugsgebiet zwischen 10 und 60 mg NO_3^-/l[13]. Werte darunter bzw. darüber sind als Ausnahmen zu bewerten. In sauerstofffreiem Grundwasser wird Nitrat reduziert.

Gegen erhöhte Nitrat-Auswaschungen drängen sich folgende *Massnahmen* auf:[14]

- Vermeidung der Winterbrache im Ackerbau durch Anbau von Zwischenkulturen; aus anbautechnischen Gründen ist dieses Ziel oft schwer zu erreichen.
- Verbot des Ausbringens von organischen Flüssigdüngern (Gülle und Klärschlamm) auf Brachflächen ausserhalb der Vegetationszeit.
- Genügend Lagerkapazität für Flüssigdünger, damit diese Dünger ausserhalb der Vegetationszeit so wenig wie möglich und nur zum geeigneten Zeitpunkt (nicht auf völlig durchnässten, schneebedeckten und gefrorenen Boden) ausgebracht werden können.
- Beschränkung der Nutztierzahl je landwirtschaftlich genutzte Flächeneinheit, d. h. Beschränkung des Hofdüngeranfalls.

Wärmenutzung des Grundwassers

Dank seiner relativ hohen und nur wenig schwankenden Temperatur (im Mittelland häufig 8–11 °C) eignet sich Grundwasser vorzüglich zur Wärmenutzung. Diese erfolgt in der Regel, indem Wasser aus Förderbrunnen gepumpt und zu einer Wärmepumpe befördert wird. Um eine Schmälerung des Grundwasservorkommens zu vermeiden, muss das abgekühlte Wasser über Schluckbrunnen wieder in den Untergrund zurückgeleitet werden.

In der *Wärmepumpe* wird ein Kältemittel (vor allem Ammoniak oder Fluorkohlenwasserstoffe) unter Wärmeaufnahme aus dem zugeführten Grundwasser verdampft. Anschliessend wird der Dampf in einem Kompressor verdichtet, was zu seiner Erwärmung führt. Bei der folgenden Verflüssigung im Kondensator gibt der Dampf seine Kondesationswärme an das Heizungssystem ab (auf einem höheren Temperaturniveau als jenem des Grundwas-

sers). Während sich beim sog. direkten System der Kältemittelverdampfer im zugeführten Grundwasser befindet, wird beim indirekten System ein Zwischenkreislauf mit einer Wärmeträgerflüssigkeit (vor allem Glykole und Glykolgemische) eingeschaltet.

Verunreinigungen des Grundwassers können auftreten, wenn die geschlossenen Kältemittel- bzw. Wärmeträger-Kreisläufe *undicht* werden. Aber auch jeder Brunnen - je Wärmepumpe sind zwei nötig - ist ein Gefahrenherd für Verunreinigungen von der Oberfläche her.

Bei der Wärmenutzung muss das Risiko von Grundwasserbeeinträchtigungen möglichst klein gehalten werden. Zuständig für Bewilligungen von Wärmeentnahmen sind die *Kantone*. In Anbetracht der herrschenden Unsicherheiten veröffentlichte das Bundesamt für Umweltschutz im April 1982 die *«Wegleitung zur Wärmenutzung aus Wasser und Boden»*. Darin werden die massgebenden Bestimmungen des Bundesrechtes erläutert und Beurteilungskriterien für die Wärmenutzung vermittelt. Einige wichtige Ausführungen dieser Wegleitung werden im folgenden kurz skizziert:

- Der *Schutz der Grundwasservorkommen im Blick auf die Wasserversorgung hat Priorität*. Die Wärmenutzung sollte deshalb grundsätzlich geregelt und in jedem Einzelfall einer Bewilligung sorgfältig überprüft werden. In Grundwasser-Schutzzonen und -Schutzarealen sind grundsätzlich keine Wärmeentnahmen zugelassen. In Grundwasservorkommen, die sich für die Trinkwassergewinnung eignen, sollten Wärmenutzungen sehr zurückhaltend bewilligt werden bzw. nur so lange, wie keine Trinkwassergewinnung stattfindet (Gewässerschutzbereich Zone A gemäss VWF, Art. 15, Buchstaben a, c und zum Teil d). In den übrigen Gebieten kann die Grundwasserwärme vermehrt genutzt werden. Um die Situation überblickbar und das Verunreinigungsrisiko klein zu halten, sind Gemeinschaftswärmepumpen vielen Einzelanlagen vorzuziehen.
- Über die Auswirkungen der *Abkühlung des Grundwassers* ist nur wenig bekannt. Es wird deshalb empfohlen, die Temperatur der Grundwasservorkommen durch Wärmeentnahmen um nicht mehr als 1 °C abzusenken. Damit dürfte man sich auf der sicheren Seite befinden, d. h. die hydrochemischen Gleichgewichte, die Lebensbedingungen für Grundwasserorganismen und die Selbstreinigung im Grundwasser sollten keine nachteilige Veränderungen erfahren.
- Als *Kältemittel* und *Wärmeträgerflüssigkeiten* sind Stoffe zu wählen, die nicht oder nur in geringem Masse giftig sind und die Wassernutzung möglichst wenig beeinträchtigen. Basierend auf Art. 22 Abs. 2, VWF, führt das Bundesamt für Umweltschutz eine *Liste der zulässigen Stoffe*.
- Zum Verhindern, zum leichten Erkennen und zum Zurückhalten von Flüssigkeitsverlusten aus Kühlmittel- und Wärmeträgerflüssigkeits-Kreisläufen müssen technische Schutzmassnahmen ergriffen werden. Massgebend für diese sind die Bestimmungen der VWF.

Heute besteht in den *einzelnen Kantonen* noch eine *stark unterschiedliche Bewilligungspraxis* für Wärmeentnahmen aus dem Grundwasser. Mit der neuen Wegleitung möchte man eine Annäherung der Standpunkte erreichen. Verschiedene der Empfehlungen können allerdings noch nicht in befriedigender Weise untermauert werden. Sie gilt es in den nächsten Jahren durch Forschung und Praxis zu überprüfen und anzupassen.

Literatur

[1] *EAWAG, Basler und Hofmann,* und *INFRAS* (1977): «Gewässerschutz in der Schweiz - Bericht über eine Studie «Gewässerschutz 2000» der EAWAG; Gas -Wasser - Abwasser, 57 (11), 745-798

[2] *EAWAG/Bundi, U.* (1982): «Gewässerschutz in der Schweiz - sind die Ziele erreichbar?» Verlag P. Haupt, Bern und Stuttgart, 91 pp.

[3] *Nänny, P.* (1966): «Probleme des Schutzes der Trinkwasserfassungen». Monatsbull. SVGW, 3, 54-62

[4] *Jäckli, H.* (1969): «Unsere Grundwasservorkommen, ihre Nutzung, ihre Gefährdung, ihr Schutz». Vorträge an der Frühjahrstagung vom 2./3. Mai 1969 in Neuenburg, der Schweiz. Ges. f. Bodenmechanik und Fundationstechnik

[5] *Rutsch, R. F.* (1970): «Probleme der Grundwassererschliessung und des Grundwasserschutzes im Schweizerischen Mittelland». Eclogae geol. Helv., 63 (2), 483-500

[6] *Schmassmann, H.* (1971): «Trinkwasserschutzgebiete - Rückblick und Ausblick». Plan, 5, 206-211

[7] *Tröhler, B.* (1976): «Zur Grösse der Grundwasserneubildung durch Niederschläge in Talebenen des schweizerischen Mittellandes». Gas - Wasser - Abwasser, 56 (7), 359-362

[8] *Burger, H.* (1943): «Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1927/28 bis 1941/42». Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen, 23 (1), 175

[9] *Trüeb, E.* (1975): «Die Bedeutung des Grundwassers für die Wasserversorgung der Schweiz». DVGW Schriftenreihe Wasser, 10, 51-62

[10] *Trüeb, E.* (1977): «Die Bedeutung der Oberflächengewässer für die Trink- und Brauchwasserversorgung». Gas-Wasser-Abwasser, 57 (1), 20-27

[11] *Jäckli, H.* (1970): «Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen». Eclogae geol. Helv., 63 (2), 389-434

[12] *Wuhrmann, K.* (1977): «Chemische und biologische Beeinflussung der Grundwasserqualität». Gas - Wasser - Abwasser, 57 (9), 633-639

[13] *Bundi, U.,* and *S. Mauch* (1979): «Water Protection: Problems relative to concept and implementation». Environm. Policy and Law, 5, 27-33

[14] Herr *Amsler,* Schweiz. Bauernverband, Brugg; pers. Mitt., 1982

[15] *Baroni, D.* (1969): «Station expérimentelle de réalimentation d'une nappe souterraine à Vessy (Genève)». Exposé à la réunion de printemps du 2./3. mai 1969 à Neuchâtel, de la Soc. Suisse des mécaniciens de sols et de travaux de fondations

[16] *Kempf, Th.* (1979): «Langfristige Grundwasserschwankungen im Gebiet der Stadt Zürich». Gas - Wasser - Abwasser, 59 (5), 250-261

[17] *Eidgenössisches Departement des Innern* (1980): «Schlussbericht der Arbeitsgruppe ‹Langfristige Grundwasserbeobachtung› ». EDI, Bern, Dezember 1980, 52 pp.

[18] *Trüeb, E.* (1969): «Theorie und Praxis der Grundwasseranreicherung und Untergrundspeicherung von Trinkwasser in der Schweiz». Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., 39/96, 9-24

[19] *Zobrist, J., E. Hoehn,* and *R. P. Schwarzenbach* (1983): «Biogeochemical processes during infiltration from river water to ground water - field studies» (Zur Veröffentlichung vorgesehen in: Water Resourc. Res.)

[20] *Schwarzenbach, R. P., W. Giger, E. Hoehn,* and *J. Schneider* (1982): «Behavior of organic compounds during infiltration from river water to ground water - field studies» (Zur Veröffentlichung vorgesehen in: Environm. Sci. & Techn.)

[21] *Sontheimer, H.* (1980): «Experience with riverbank filtration along the Rhine River». Journ. AWWA, 72, 386-390

[22] *Bundesministerium des Innern* (1975): «Uferfiltration». Bericht des BMI-Fachausschusses «Wasserversorgung und Uferfiltrat». Bonn, Dez. 1975, 182 pp.

[23] *Harder, W.* (1938): «Über eigenartige Erscheinungen im Grundwasser von Wettingen». Wasser- u. Energiewirtsch., 30, 11-17

[24] *Jäckli, H.,* und *Th. Kempf* (1972): «Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000, Blatt Bözberg/Beromünster». Schweiz. Geotechn. Komm., 143 pp.

[25] *Schwille, F.* (1981): «Groundwater pollution in porous media by fluids immiscible with water», in: *Van Duijvenbooden, W.* et al.: «Quality of Groundwater». Studies in Environm. Sci. 17, 451-464

[26] *Schmassmann, H.* (1969): «Unfälle mit Mineralölen». Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., 35/88, 12

[27] *Blau, R. V.,* und *U. P. Schlunegger* (1970): «Erfahrungen bei einer Grundwasserverunreinigung durch Benzin». Eclogae geol. Helv., 63 (2), 459-466

[28] *Giger, W.,* and *E. Molnar-Kubicka* (1978): «Tetrachloroethylene in contaminated ground and drinking water». Bull. of Env. Contam. and Toxicol., 19, 475-480

[29] Herr *G. Henseler,* EAWAG, Dübendorf; pers. Mitt. 1979

Verdankungen

Vor Abfassung des Berichtes wurden verschiedene Stellen um Auskünfte angegangen:

- Bundesamt für Umweltschutz (Herren *Dr. Niggli, Dr. Emmenegger, Michel* und *Hinderling*),
- Bundesamt für Energiewirtschaft (Herren *Dr. Fehr* und *Schärer*),
- Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld/Bern (Herren *Dr. Keller†* und *Dr. Furrer*),
- Centre d'Hydrogéologie, Institut de Géologie, Université de Neuchâtel (Prof. *Burger*),
- Wasserwirtschaftsamt des Kantons Basel-Landschaft (Herren *Degen* und *Stucki*)
- Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich (Herr *Fehr*).

Zum Thema «Nährstoffverluste aus der Landwirtschaft» hat *Dr. Keller†* von der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene das Wesentlichste beigetragen. Herr Fürsprecher *Winzeler*, Büro für Umweltschutzfragen, Bern, stand uns beim Kapitel «Rechtsgrundlagen» mit seinem Rat zur Seite. Die Abbildungen wurden von Frau *Bolliger* gezeichnet; an der Reinschrift des Manuskriptes beteiligten sich die Damen *Schenk, Altorfer* und *Hauser*.

Allen Beteiligten danken wir für ihre wertvollen Beiträge. Spezieller Dank gebührt Herrn *Prof. Trüeb*, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der ETHZ, für seine fachliche Unterstützung und kritische Kommentierung der Arbeit. Ebenfalls danken möchten wir den verschiedenen Mitarbeitern der EAWAG, die uns mit Ratschlägen unterstützten.

Anmerkungen

[1] *DIN 4049, Teil 22*, Entwurf 1977, Nr. 7.18: «Grundwasser füllt die Hohlräume im Untergrund zusammenhängend aus; seine Bewegung wird nahezu ausschliesslich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt»

[2] *Schweizerisches Lebensmittelbuch*, 1972, Kap. 27/54 (SLB 1972) Beispiele von Grenzwerten:
Nitrat: 40 mg NO_3^-/l;
Chlorid: 250 mg Cl^-/l;
Gesamtkeimzahl: 100/ml;
Coliforme Bakterien: 0/100 ml (ausnahmsweise: bis 5/100 ml

[3] Art. 29: Grundwasserschutz
Art: 30: Grundwasser-Schutzzonen
Art. 31: Grundwasser-Schutzareale
Art. 32: Materialentnahmen

[4] z. B.:
- Verordnung vom 28. September 1981 über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten (vorher Version vom 19. Juni 1972)
- Deponierichtlinien (März 1976)
- Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen (Okt. 1977)
- Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Dez. 1979)
- Lebensmittel-Verordnung vom 9. April 1975 (vorher Version vom 26. Mai 1936)

[5] *Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und -arealen* (Okt. 1977), S. 2: Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonen, und -areale sollen gewährleisten, dass die Entnahme von Wasser aus bestehenden, geplanten und möglichen Fassungen zum Zwecke der Trink- und Brauchwasserversorgung heute und in Zukunft sichergestellt ist.

[6] Verordnung vom 28. Sept. 1981 (vorher Version vom 19. Juni 1972) zum Schutze der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten (VWF). Verfügung vom 27. Dez. 1967 des Eidg. Departementes des Innern über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung durch flüssige Brenn- und Treibstoffe sowie andere wassergefährdende Lagerflüssigkeiten (Technische Tankvorschriften TTV; zur Zeit in Revision)

[7] siehe z. B. *Versickerungsverbot*, GSchG Art. 14 Abs. 2

[8] cit. Verfügung des EVED vom 16. 5. 1978

[9] Unter *Grundwasseranreicherung* versteht man die künstliche Neubildung von Grundwasser durch Versickernlassen von Wasser, wodurch die unterirdische Abflussmenge vergrössert wird. Sie erfolgt mit Anreicherungsanlagen (ORL-Richtlinien, Blatt 516 023, 1970).

[10] *Uferfiltrat* entsteht, wenn durch Massnahmen der Grundwassergewinnung in der Nähe von Oberflächengewässern (Betrieb ufernaher Fassungen) der Grundwasserspiegel abgesenkt und dadurch die Infiltration von Oberflächenwasser provoziert oder gesteigert wird

[11] Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen (Okt. 1977)

[12] VWF, Art. 13–17

[13] Lagebericht vom Nov. 1979 des EDI über *«Nitrat im Trinkwasser»*

[14] *Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft*, Dez. 1979, Bundesamt für Landwirtschaft, Bundesamt für Umweltschutz, Eidg. Meliorationsamt, Eidg. landw. Forschungsanstalten.

Adresse der Verfasser: Dr. *E. Hoehn*, Geologe, Rheingasse 8, 8434 Kaiserstuhl; *U. Bundi*, dipl. Ing. ETH, EAWAG, 8600 Dübendorf.