Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 87 (1969)

Heft: 41

Artikel: Unsere Grundwasservorkommen: ihre Nutzung, ihre Gefährdung, ihr Schutz: Vortrag

Autor: Jäckli, Heinrich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70794

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: 10.01.2026

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

87. Jahrgang Heft 41 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 9. Oktober 1969
HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Unsere Grundwasservorkommen; ihre Nutzung, ihre Gefährdung, ihr Schutz

DK 628.112.004

Von Prof. **Heinrich Jäckli**, Dr. sc. nat. ETH, Geologe, Zürich

Vortrag, gehalten an der Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik am 2. Mai 1969 in Neuchâtel

I. Vorkommen

1. Grundwasser und Grundwasserleiter

Was verstehen wir unter Grundwasser? Gemäss DIN 40491 ist Grundwasser solches Wasser, «das Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend erfüllt und nur der Schwere, das heisst dem hydrostatischen Druck unterliegt». Im Gegensatz zu diesem ausserordentlich weit gefassten Grundwasserbegriff soll im folgenden unter Grundwasser im engeren Sinn solches Grundwasser verstanden werden, das für die *Wasserversorgung nutzbar* ist. Es wird in der Schweiz gemäss den meisten kantonalen Gesetzen als öffentliches Gewässer behandelt.

Das so definierte nutzbare Grundwasser zirkuliert in einem *Grundwasserleiter,* also in einem geologischen Körper, der dank seiner Porosität oder seiner Gesteinsklüftung Grundwasser in nutzbaren Mengen enthält und weiterleiten kann.

Unsere wichtigsten Grundwasserleiter sind die sandigen Kiese eiszeitlichen oder nacheiszeitlichen Alters, also die fluviatilen Schotter unserer Talsohlen. Sie sind aber recht ungleich auf die Fläche der Schweiz verteilt. Sie spielen die Hauptrolle im bernischen, solothurnischen und aargauischen Mittelland, in den Talsohlen des Zürichbietes und des Kantons Thurgau und im Rheintal von Schaffhausen bis Basel, ferner in den wichtigsten Alpentälern, dem Rhonetal, den Tessiner Tälern, dem Urner Reusstal und dem Tal des Alpenrheins. Dagegen ist der Jura, die Westschweiz zwischen Aaretal und Genfersee und ebenso auch die Ostschweiz östlich des Thurtales ausgesprochen arm an nutzbaren Grundwasserströmen.

Neben den genannten Schottern als poröse Lockergesteine können aber auch Festgesteine, also Fels, unter günstigen Bedingungen die Wirkung eines Grundwasserleiters ausüben, insbesondere klüftige Kalke und Dolomite, in welchen eine Zirkulation von nutzbarem *Karstwasser* möglich ist. Kalke mit Karstwasser spielen für die Wasserversorgung in den Alpen die Rolle von wichtigen Quellbildnern. Im Tafel- und Faltenjura gewinnt in neuerer Zeit die Nutzung von Karstwasser auch in vertikalen Filterbrunnen immer mehr an Bedeutung. Bereits bestehen dort vereinzelte solcher Brunnen, die sich zum Teil durch einen grossen Ertrag auszeichnen. Die systematische Karstwassernutzung in vertikalen Brunnen steckt aber in unserem Land noch in den Anfängen.

2. Grundwassertypen

Wenn man die Beziehungen zwischen Fluss- und Grundwasser berücksichtigt, können drei verschiedene Grundwassertypen unterschieden werden:

Typus 1: Grundwasservorkommen, die *ohne* Beziehung zu einem Fluss stehen. Sie werden ausschliesslich durch Niederschläge gespeist. Ihre Feldergiebigkeit ist deshalb üblicherweise nicht sehr gross. Man findet sie im Deckenschotter auf Hochplateaux (z.B. Irchel), längs Talflanken oder in alten Talrinnen, die heute nicht mehr von Bächen oder Flüssen durchflossen werden (z.B. Birrfeld).

Typus 2: Grundwasservorkommen, für welche ein *Fluss als direkter Vorfluter* wirkt. In diesem Fall hat der Fluss auf das Grundwasser weder in chemischer noch in quantitativer Beziehung einen Einfluss. Dagegen übertragen sich die Spiegelschwankungen des Flusses in Ufernähe auf die Spiegelschwankungen des Grundwassers (z.B. Aare bei Aarburg und Olten, Rhein bei Ellikon). Auch solche Grundwasservorkommen werden durch Niederschläge gespeist; für sie gilt bezüglich der Feldergiebigkeit dasselbe wie für Typus 1.

Typus 3: Flusswasser infiltriert ins Grundwasser. Das ist dort der Fall, wo der Fluss in durchlässigem Kies fliesst und der Flussspiegel höher als der Grundwasserspiegel liegt, so dass vom Fluss zum Grundwasser ein Druckgefälle entsteht. Solche Beziehungen finden sich beispielsweise im zürcherischen Tösstal, im Limmattal von Zürich bis zur Aare, im Aaretal von Thun bis Bern, im Emmental. Durch die Flussinfiltration findet eine natürliche Grundwasseranreicherung statt, wodurch die Feldergiebigkeit des Grundwasservorkommens bedeutend grösser wird, als der Versickerung aus den Niederschlägen entsprechen würde. Neben diesen quantitativen Vorteilen hat aber eine Flusswasserinfiltration oft qualitative Nachteile, indem dabei der Chemismus des Grundwassers in unerwünschtem Sinne beeinflusst wird.

3. Grundwasserstockwerke

Wo zwei oder mehrere übereinanderliegende Grundwasserleiter von undurchlässigen Schichten getrennt werden, kann ein Stockwerkbau im Grundwasser entstehen, wobei in den einzelnen Stockwerken verschiedene Druckhöhen, verschiedene Durchlässigkeiten, verschiedene Feldergiebigkeiten und verschiedener Chemismus erscheinen können. Ist das Druckniveau des tieferen Grundwasserstockwerkes höher als die Terrainoberfläche, so spricht man von artesisch gespanntem Wasser, und wo dieses in Fassungen genutzt wird, von artesischen Brunnen. Die Speisung tieferer Grundwasserstockwerke abzuklären ist oft recht schwierig. Kennzeichnend für tiefere Grundwasserstockwerke ist häufig ihr geringer Sauerstoffgehalt, da jenes Grundwasser durch die undurchlässige Deckschicht von der Luft getrennt ist, und ferner die grosse bakteriologische Reinheit, da die Trennschichten einen willkommenen Schutz gegen oberflächliche Verunreinigungen darstellen.

4. Chemische Beschaffenheit

Wir sind in der Schweiz in der glücklichen Lage, über chemisch vorzügliches Grundwasser zu verfügen, soweit es in den Schottern zirkuliert und nicht durch Flussinfiltration und nicht durch oberflächliche Verunreinigungen beeinflusst wird. Es ist sauerstoffreich, arm an Eisen und Mangan und eignet sich ohne jede Aufbereitung zur Verwendung als Trinkwasser wie auch als Industriewasser.

Fehlt es aber an Sauerstoff im Grundwasser, so kann sich sekundär ein sogenannter «reduzierter» Chemismus ausbilden, wobei Nitrate (NO_3) in Nitrite (NO_2) oder in Ammoniak (NH_3) reduziert werden und Eisen und Mangan in Lösung gehen können. Zeigt ein Grundwasser diesen reduzierten Typus, sei es ständig oder auch nur temporär, so verlangt es vor der Nutzung eine oft sehr komplizierte und kostspielige Aufbereitung.

Sauerstoffmangel kann bedingt sein durch

— natürliche Lehmabdeckung tiefliegender Grundwasserstockwerke,
— Gehalt an organischer Substanz im Grundwasserleiter oder unmittelbar darüber, besonders ausgeprägt in Torfgebieten,
— Infiltration von organisch belastetem Fluss- und Bachwasser, besonders ausgeprägt bei Stauhaltungen von Flusskraftwerken,
— Verunreinigungen der Oberfläche oder der Deckschichten über dem Grundwasser durch Öl oder Benzin, durch Abwasserversickerungen oder Deponien von Industrieabfällen oder Kehricht.

II. Nutzung

1. Brunnenergiebigkeit und Feldergiebigkeit

Ursprünglich wurden unsere Grundwasservorkommen in Sodbrunnen genutzt, die in grosser Zahl in den Dörfern der Talsohle das Grundwasser an die Oberfläche zu schöpfen erlaubten. Mit der Erfindung der Motorpumpen konnte man dann aus einem einzelnen Sodbrunnen ununterbrochen grosse Grundwassermengen pumpen. Es wurden Filterbrunnen von grosser Leistungsfähigkeit entwickelt, vorerst der vertikale Filterbrunnen und später der sogenannte Horizontalbrunnen mit horizontal angeordneten Filterrohren.

Die Grenzen der Nutzung sind durch zwei Faktoren bedingt:

— Einerseits durch die Brunnenergiebigkeit, deren Grösse von der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und der Mächtigkeit des Grundwassers in der Umgebung des Brunnens abhängt.
— Anderseits durch die Feldergiebigkeit, die von der Neubildung auf lange Sicht abhängt. Es kommt gelegentlich vor, dass in kleinen Grundwassergebieten mit grosser Durchlässigkeit moderne, sehr leistungsfähige Brunnen mit einer grossen Brunnenergiebigkeit gebaut werden, die dann aber im Betrieb in kurzer Zeit das betreffende Grundwasservorkommen leerpumpen, weil der grossen Brunnen-

ergiebigkeit keine entsprechend grosse Feldergiebigkeit gegenübersteht, das heisst weil die Neubildung von Grundwasser geringer ist als die Leistungsfähigkeit der Fassung.

2. Natürliche Grundwasseranreicherung durch Infiltration von Flusswasser

Besonders grosse Feldergiebigkeiten ergeben sich bei Grundwasseranreicherungen durch Infiltration von Oberflächenwasser aus Flüssen, Bächen, Fabrikkanälen oder Bewässerungsanlagen.

In der stark überbauten Talsohle von Zürich beispielsweise wird das Grundwasser zu über 90% durch natürliche Flussinfiltration von Sihl- und Limmatwasser ins Grundwasser gespeist. Da diese Infiltration bis nach Dietikon aus Fliessstrecken der Flüsse erfolgt, ist die dadurch bewirkte Sauerstoffzehrung im Grundwasser nicht sehr bedeutend und verunmöglicht jedenfalls nicht, dass uferinfiltriertes Grundwasser in einer grossen Zahl moderner Fassungen genutzt wird. Erst in der Stauhaltung des Kraftwerkes Wettingen führt die Flussinfiltration aus dem schlammhaltigen, heute allerdings durch Kolmatierung stark abgedichteten Staubecken im benachbarten Grundwasser des Wettinger Feldes zu einer sehr starken Sauerstoffzehrung, die anfänglich die Grundwasserqualität stark beeinträchtigte und in einzelnen Fassungen komplizierte Aufbereitungsmassnahmen nötig machte.

3. Künstliche Verstärkung der natürlichen Infiltration von Flusswasser

Durch den Betrieb von Grundwasserfassungen in der Nähe eines natürlicherweise bereits infiltrierenden Flusses wird das Spiegelgefälle zwischen Fluss- und Grundwasser erhöht und damit die Infiltration verstärkt. Unter günstigen Voraussetzungen kann auf diese Weise die Feldergiebigkeit des Grundwasservorkommens weit über das ursprüngliche natürliche Mass erhöht werden. Ein Beispiel hiefür stellen die Grundwasserfassungen im «Hardhof» der Stadt Zürich dar, welche bei einer Leistung von rund 60000 m^3/Tag ein Wasser fördern, das etwa zu $^2/_3$ in unmittelbarer Nähe aus der Limmat infiltriert, während der Rest teils aus entfernter infiltriertem Flusswasser, teils aus Niederschlägen stammt.

4. Künstliche Grundwasseranreicherung

Neben der natürlichen Grundwasseranreicherung durch Flussinfiltration besteht aber auch die Möglichkeit, Grundwasser durch künstliche Infiltration anzureichern. Die Stadt Basel betreibt flächenhafte Versickerung in den «Langen Erlen» und gemeinsam mit Baselland im «Hardwald», wobei als Rohwasser Rheinwasser verwendet wird, das aber vorgängig durch eine Schnellfiltration geklärt wird. Der Untergrund hat nur noch die Aufgabe eines Langsamfilters, eines Temperaturausgleichers und eines unterirdischen Reservoirs zu erfüllen. Andernorts wird mit Schluckbrunnen (z.B. in Winterthur) oder mit Sprühanlagen (z.B. Val de Travers) angereichert.

In geologischer Beziehung eignen sich zur künstlichen Anreicherung Gebiete, in denen die durchlässigen Schichten bis nahe an die Oberfläche reichen und über dem natürlichen Grundwasserspiegel noch ein trockener Kieskörper von einiger Mächtigkeit als natürlicher Filter und Speicher zur Verfügung steht.

5. Übernutzung und Reserven

In den dicht besiedelten und stark industrialisierten Tälern des Mittellandes sind viele Grundwasservorkommen heute bereits so stark genutzt, dass nach längeren Trockenperioden der Grundwasserspiegel einen sinkenden Trend aufweist und Tiefstände erreicht, die früher unbekannt waren. Solange solche Tiefstände bei Schneeschmelz- oder Niederschlagsperioden immer wieder aufgefüllt werden, kann kaum von einer Übernutzung gesprochen werden, weil dabei der Grundwasserleiter die Rolle eines unterirdischen Jahres- oder Mehrjahresspeicher ausübt, die meistens durchaus willkommen ist. Geht aber der sinkende Trend weiter und vermögen auch starke Niederschläge den Spiegel nicht mehr auf die frühere Höhe zu heben, so muss man eine eigentliche Übernutzung annehmen, die vorerst durch eine Drosselung der Entnahmemengen, auf lange Sicht aber wohl nur durch eine künstliche Grundwasseranreicherung kompensiert werden kann.

Neben solchen Vorkommen gibt es aber noch eine grosse Zahl anderer, sowohl im Mittelland wie insbesondere in den Alpentälern, deren heutige Nutzung noch bescheiden ist und die grosse noch ungenutzte Grundwasserreserven bergen.

Auch das Karstwasser in den Kalken des Juras und der Alpen stellt eine erst wenig genutzte Reserve dar, die in den kommenden Jahren und Jahrzehnten ohne Zweifel systematischer als bisher untersucht und der Nutzung zur Verfügung gestellt werden wird.

III. Gefährdung

1. Gefährdung der Grundwassergüte

a. Hygienische Verunreinigungen

Eine hygienische Verunreinigung des Grundwassers kann durch Düngung, durch undichte Jauchegruben, durch undichte Kanalisationsleitungen, durch Versickerung von Abwasser und ähnlichem entstehen. Die Erfahrung zeigt glücklicherweise, dass die Filterwirkung im sandigen Kies unserer Schotter in vertikaler Richtung, besonders bei intakter Humusbedeckung, sehr gut ist. In horizontaler Richtung ist sie etwas bescheidener. Die modernen Jaucheverschlauchungen und die gewaltigen Mengen von Schweinejauche, die in den modernen Schweinemästereien anfallen, stellen allerdings für die Grundwassergebiete besonders dort eine ernsthafte hygienische Gefährdung dar, wo der Grundwasserspiegel hoch liegt und die Deckschichten darüber keine genügende Schutzwirkung garantieren.

In Kalkgebieten ist dagegen die Filterwirkung des Untergrundes erfahrungsgemäss höchst bescheiden, weshalb Karstquellen leider recht häufig den an Trinkwasser gestellten hygienischen Anforderungen nicht genügen.

b. Chemische Veränderungen

Wie bereits erwähnt, verursacht die Infiltration von organisch stark belastetem Flusswasser im Grundwasser eine Sauerstoffzehrung, die in fortgeschrittenem Stadium häufig zu Eisen- und Manganlösung, Reduktion des Nitrates und der Bildung von Ammoniak und Nitrit und damit zu einer sehr weitgehenden Beeinträchtigung des Grundwasserchemismus führen kann. Diese ist besonders intensiv bei Infiltration von Flusswasser aus Stauhaltungen der Flusskraftwerke.

Andere Beeinträchtigungen werden verursacht durch unsachgemässe Deponien von Kehricht und Industrieabfällen. Werden solche Stoffe durch Regen- oder Grundwasser ausgelaugt, so führen die Auslaugungsprodukte unterhalb der Deponiestelle im Grundwasser zu einer erhöhten Mineralisation und zu einer Reduktion des Sauerstoffs, häufig verbunden mit anderen unerwünschten chemischen Nebenerscheinungen. Besonders intensiv ist die Auslaugung dort, wo solche Stoffe in grundwassergefüllte ehemalige Kiesgruben geschüttet wurden oder noch werden. Um Beeinträchtigungen dieser Art zu verringern, bestimmen seit längerer Zeit die Kantone, dass zum Schutz des Grundwassers die Kiesgruben nicht bis unter den Grundwasserspiegel reichen dürfen und dass die Gruben im Grundwassergebiet nicht mit Kehricht und Industrieabfällen, sondern mit chemisch absolut inertem, unlöslichem Material, nämlich mit Kieswaschschlamm, Lehm, Ziegeleiabfällen und ähnlichem aufzufüllen sind.

c. Geschmackliche Beeinträchtigungen

Eine moderne Art von Grundwasserverunreinigung wird verursacht durch Öl und Benzin, die bei Unfällen, bei Fehlmanipulationen und bei lecken Tankanlagen oder Ölleitungen in den Grundwasserleiter und ins Grundwasser gelangen. Üblicherweise reichen solche Öl- und Benzinversickerungen in vertikaler Richtung nicht tiefer als bis zum Kapillarsaum des Grundwassers, in horizontaler Richtung meist nur einige Dutzend bis wenige hundert Meter weiter.

Wesentlich weitreichender ist dagegen die geschmackliche Wirkung der im Benzin und Öl gelösten aromatischen Stoffe. Sie gelangen durch das einsickernde Regenwasser ins Grundwasser und können selbst bei stärksten Verdünnungen im Grundwasserstrom über sehr grosse Distanzen geruchlich und geschmacklich festgestellt werden. Dank der sehr grossen Persistenz der Kohlenwasserstoffe im Boden kann eine solche Verunreinigung während Jahren anhalten und die Nutzung des Grundwassers zu Trinkzwecken aus geschmacklichen Gründen verunmöglichen.

d. Temperaturerhöhung

In neuester Zeit taucht eine neue Gefahrenquelle für Grundwasservorkommen längs infiltrierenden Flüssen auf: Die Erhöhung der Flusstemperatur durch Rückgabe erwärmten Kühlwassers aus thermischen Kraftwerken. Wo Flüsse mit auf diese Weise erhöhter Temperatur ins Grundwasser infiltrieren, übertragen sie die Temperaturerhöhung durch Leitung und Konvektion teilweise auch auf das Grundwasser. Wo Grundwasser zu Trinkzwecken verwendet wird, ist jede Temperaturerhöhung unerwünscht. Befindet sich solches Grundwasser bereits bei der bisherigen Temperatur in einem labilen chemischen Gleichgewicht, so kann eine kleine zusätzliche Temperaturerhöhung diese chemischen Verhältnisse ungünstig beeinflussen, indem die Sauerstoffzehrung beschleunigt wird und in der Folge damit zusammenhängende Sekundärreaktionen ausgelöst werden. Es wäre

deshalb erwünscht, dass das Grundwasser nirgends durch Infiltration von erwärmtem Flusswasser auf höhere Temperaturen als rund 15° erwärmt würde. Diesbezügliche Erfahrungen fehlen uns heute noch. Der ganze Problemkreis muss deshalb mit der Inbetriebnahme der ersten Atomkraftwerke an der Aare und später am Rhein im Massstab 1:1 sorgfältig geprüft werden.

2. Beeinträchtigung der Grundwassermenge

Die verschiedenen Arten einer quantitativen Beeinträchtigung der nutzbaren Grundwasservorkommen füllen eine lange Liste.

a. Überbauungen

Dazu gehört an erster Stelle die zunehmende Überbauung der bisher landwirtschaftlich genutzten Schotterflächen, die Ableitung des Niederschlagswassers in Kanalisationen durch Drainagen und als Folge davon eine Reduktion des in den Untergrund versickernden Anteils des Niederschlages.

b. Flussbauten

Eine wichtige Komponente der Grundwasserneubildung, die Infiltration von Bach- oder Flusswasser ins Grundwasser, wird künstlich unterbunden, wenn bei Bachkorrektionen die Bette dicht verbaut werden, wenn im Zuge von Flussbauten die Ufer mit einer wasserdichten Uferverkleidung statt mit einem durchlässigen Blockwurf geschützt werden, wenn längs Flüssen die bis dahin durchlässigen Uferböschungen durch undurchlässige Ufermauern ersetzt werden, damit dem Ufer entlang beispielsweise neuer Verkehrsraum für Strassen oder Bahnen gewonnen werden kann.

c. Drainagen

Wo landwirtschaftliche Drainagen auf lehmigem oder torfigem Boden liegen, üben sie auf nutzbares Grundwasser keinen direkten Einfluss aus. Wo sie jedoch in durchlässigen Kiesböden, zum Beispiel im Gebiete aufsteigender Quellen am Talrand, angelegt werden, und zudem während des ganzen Jahres, also auch bei Niederwasserständen in Trockenzeiten, nennenswerte Wassermengen abführen, kann das eine quantitative Beeinträchtigung des Grundwasservorkommens bedeuten.

Ähnliches gilt für Drainagen um Bauwerke, soweit sie ständig Wasser wegführen, sei es mit natürlichem Gefälle oder durch Pumpbetrieb, wenn dieses Wasser über die Kanalisation einem Bach oder Fluss zugeführt und nicht wieder zur Versickerung gebracht wird.

d. Tieferlegung von Vorflutern

Die Tieferlegung von Bächen und Flüssen bewirkt eine Reduktion der Grundwassermächtigkeit, wo das betreffende Oberflächengewässer für das Grundwasser als Vorfluter wirkt. Sie verursacht in Flussnähe eine Vergrösserung des Gefälles und der Strömungsgeschwindigkeit im Grundwasser, nicht aber eine Veränderung der Durchflussmenge. Für Grundwasserfassungen in Ufernähe bedeutet das aber eine Erniedrigung der Wassersäule und damit eine entsprechende Verringerung der Brunnenergiebigkeit.

e. Vorübergehende Grundwasserabsenkungen

Jede Wasserhaltung im Grundwasser bedeutet für die Zeit ihres Betriebes eine Wegführung von Grundwassermengen, die damit der Nutzung nicht zur Verfügung stehen, soweit sie nicht wieder künstlich zur Versickerung gelangen. Es ist deshalb erwünscht, solche Grundwasserabsenkungen örtlich und zeitlich auf ein Minimum zu beschränken und das dabei gepumpte Grundwasser wieder zur Versickerung zu bringen.

Wo Spundwände zur Erleichterung der Wasserhaltung geschlagen werden, sind sie nach Beendigung der Wasserhaltung wieder zu entfernen, damit sie kein bleibendes Hindernis im Grundwasserstrom darstellen.

Das bei uns eher selten angewandte Gefrierverfahren ermöglicht eine vorübergehende Abdichtung, die mit dem Auftauen vollständig reversibel ist und keine bleibenden Nachteile für den Grundwasserleiter aufweist.

Wenn aber in nutzbaren Grundwassergebieten im Zusammenhang mit Grundwasserabsenkungen Injektionsschleier oder Dichtungswände erstellt würden, die nicht mehr entfernt werden können, so würden sie wie bleibende Einbauten wirken, obschon sie nur kurzfristig für die Dauer der Wasserhaltung eine Aufgabe zu erfüllen hätten. Sie würden Fremdkörper im Grundwasser darstellen, dadurch die natürliche Wasserströmung verändern und das unterirdische Reservoirvolumen verringern, weshalb im Hinblick auf den quantitativen Schutz des Grundwassers auf ihre Verwendung in nutzbaren Grundwassergebieten zu verzichten ist.

f. Bleibende Einbauten im Grundwasser

Der Grundwasserleiter erfüllt in nutzbaren Grundwassergebieten drei Funktionen:

— Er ermöglicht den horizontalen Grundwasserdurchfluss;
— er stellt einen unterirdischen Speicherraum mit einem für die Grundwasserfassungen nutzbaren Porenvolumen von rund 20–25% dar, und
— er wirkt schliesslich als natürlicher Filter.

Es bedeutet deshalb eine quantitative Beeinträchtigung eines Grundwasservorkommens, wenn bleibende Einbauten tief ins Grundwasser hineinreichen, weil dadurch dort diese drei Funktionen nicht mehr in ihrem ursprünglichen natürlichen Ausmass erfüllt werden können. Besonders schwerwiegend wirken tiefe, lange Einbauten quer zur Strömungsrichtung, beispielsweise Strassenunterführungen in dichtem Trog oder lange Gebäude mit mehreren Kellern.

g. Kiesgruben

Kiesgruben schränken die Plazierung von Grundwasserfassungen oder Grundwasseranreicherungsanlagen ein und können dadurch eine zukünftige rationelle Grundwasserbewirtschaftung beeinträchtigen. Durch Kiesgruben, die sogar unter den Grundwasserspiegel reichen, wird dort für alle Zeiten der Grundwasserleiter entfernt und damit dessen Wirkung als natürlicher Filter beseitigt. Werden die so entstandenen Baggerweiher in Kiesgruben nicht eingedeckt, sondern offen gelassen, so wird zwar die Wasserzirkulation nicht beeinträchtigt, dagegen wird das dort einst vorhandene Grundwasser zum Oberflächengewässer abgewertet und den Verunreinigungsgefahren ausgesetzt, denen offene Wasserflächen nun einmal unterliegen. Unbewachte, nicht eingezäunte, zugängliche Baggerweiher verlocken zudem zur unerlaubten Deponierung von Abfällen aller Art, welche eine ernsthafte hygienische und chemische Gefährdung des Grundwassers darstellen. Nur Verbotstafeln haben erfahrungsgemäss keine grosse Wirkung.

Im Ausland werden Baggerweiher in zunehmendem Masse in öffentliche Erholungs- und Parkanlagen einbezogen. Sie entsprechen oft um so mehr einem Bedürfnis, als natürliche Seen meist fehlen. Auch bei uns können bestehende Baggerweiher als Bestandteil künftiger Erholungsgebiete durchaus geeignet sein. An ihre Reinheit sind aber höchste Anforderungen zu stellen: Dem Weiher dürfen keine oberirdischen Zuflüsse zugeleitet werden, weder als offene Bäche, noch als Kanalisation. Der Bevölkerung müssen Toiletten zur Verfügung gestellt werden, die über eine Kanalisation an eine Kläranlage angeschlossen sind. Die Weiher müssen in eine gepflegte Parkanlage eingebettet sein, wo niemand unerlaubt Unrat und Abfälle ablagern darf. Die Ufer dürfen deshalb nicht mit Fahrzeugen erreicht werden können. Autoparkplätze müssen abseits der Ufer errichtet werden.

Jedoch darf diese Verwendung von Baggerweihern niemals als Grund für den Abbau von Kies unter den Grundwasserspiegel anerkannt werden.

Werden Baggerweiher wieder eingedeckt, um das Grundwasser vor oberflächlichen Verunreinigungen zu schützen, so ist zu bedenken, dass das Eindeckmaterial in der Regel entweder nicht durchlässig oder nicht filtrierend ist. Besteht es nämlich aus Waschschlamm oder Lehm, so wirkt es wie eine sehr grosse Einbaute, nämlich als undurchlässiger Riegel, der die natürliche Grundwasserströmung behindert und das nutzbare Reservoirvolumen verringert. Wird aber anderseits ein Baggerweiher mit grobem Schutt eingedeckt, zum Beispiel mit Ziegelabfällen, Betonschutt, Bollensteinen, Findlingen usw., so ermöglicht eine solche Eindeckung dank ihrer Durchlässigkeit zwar eine gute Grundwasserzirkulation, doch fehlt dann dieser Strecke die Filterwirkung, die früher durch den Kies ausgeübt wurde.

Im einen wie im anderen Fall liegen somit die Verhältnisse ungünstiger als im natürlichen Zustand. Aus diesen Gründen ist der Kiesabbau stets oberhalb des höchsten Grundwasserstandes einzustellen, damit der Grundwasserspiegel zu keinem Zeitpunkt und nirgends entblösst und der natürliche Grundwasserleiter durch die Kiesgrube nicht tangiert wird.

IV. Grundwasserschutz

Wie können wir unsere Grundwasservorkommen, die unseren jetzigen und zukünftigen Bedarf an Trinkwasser decken helfen müssen, gegen die Gefahren, die eben aufgezählt wurden, schützen?

1. Schutz der Fassungen

Der eigentliche *Fassungsbereich* rund um die Grundwasserfassungen herum soll von jeglicher Düngung und damit vor landwirtschaftlicher Nutzung geschützt sein, was verlangt, dass er in der Regel eingezäunt, eventuell auch aufgeforstet wird, wenn er in freiem Gelände steht. Im Wald gelegene Grundwasserfassungen sind diesbezüglich weniger gefährdet.

Um den Fassungsbereich herum wird mit Vorteil eine *«engere Schutzzone»* ausgeschieden, in welcher unter anderem ein Bauverbot zu errichten ist. Eine landwirtschaftliche Nutzung mit nur vorsichtiger und mässiger Düngung kann zugelassen werden.

Ausserhalb der «engeren» Schutzzone folgt dann konsequenterweise die *«weitere» Schutzzone,* in welcher Wohnbauten, Geschäftshäuser und Schulhäuser toleriert werden, nicht aber grundwassergefährdende Gewerbebetriebe und Industrien oder Kiesgruben.

2. Schutz des übrigen Grundwassergebietes

Ausserhalb dieser «weiteren» Schutzzone, die um eine bestehende oder zukünftige Fassung herum zu errichten ist, liegt in der Regel das *Grundwasserschutzgebiet,* soweit dort noch keine Fassungen errichtet oder geplant sind, aber doch ein schutzwürdiger Grundwasserleiter vorhanden ist. Ungeordnete Kehrichtablagerungen sind nicht zuzulassen, Kiesgruben werden zwar geduldet, sind aber mindestens einige Meter über dem höchsten Grundwasserstand einzustellen, damit das Grundwasser in ihnen nie entblösst wird.

Ausserhalb des Grundwasserschutzgebietes, also undurchlässigen Untergrund umfassend, liegt schliesslich das übrige Einzugsgebiet, wo Ablagerungen von Kehricht und Industrieabfällen, Kiesgruben, Steinbrüche usw. zugelassen werden können, soweit dadurch nicht Quellen, Bäche oder Seen verunreinigt werden.

3. Kiesbewirtschaftung

Die Interessenkollision zwischen Grundwassernutzung und Kiesnutzung zu bewältigen, wird immer schwieriger. Uns scheint aber der Grundwassernutzung die Priorität gegenüber der Kiesnutzung zuzukommen, denn die Kiesnutzung ist eine einmalige pro Parzelle; wenn dort der Kies einmal abgebaut ist, kann kein zweites Mal Kies abgebaut werden. Die Nutzung des Grundwassers dagegen ist eine endlose; eine Grundwasserfassung, die einmal erstellt ist, kann für alle Zeiten an jener Stelle Grundwasser nutzen.

Und doch braucht unsere Bauwirtschaft auch Kies, und zwar Kies in möglichst grossen Mengen, in möglichst guter Qualität und zu möglichst niedrigem Preis. Die Erfüllung dieser Anforderungen verlangt in Zukunft eine eigentliche *Kiesplanung,* ähnlich wie auch die systematische Nutzung des Grundwassers eine Grundwasserplanung verlangt.

Vorerst müssten die vorhandenen Kiesvorkommen festgestellt und die über dem höchsten Grundwasserspiegel und ausserhalb der «weiteren» Schutzzone von Grundwasserfassungen gelegenen abbaubaren Vorräte geschätzt und auf einer Kieskarte festgehalten werden.

Als zweite Phase müsste dann jenes Gebiet ausgeschieden werden, in welchem der zukünftigen Grundwassernutzung gegenüber der Kiesnutzung die Priorität eingeräumt werden müsste, Kiesgruben also nicht zuzulassen wären. Insbesondere sind auch alle jene Gebiete abzugrenzen, die für eine zukünftige Grundwasseranreicherung aus geologischen und hydrologischen Gründen in Frage kommen.

Als dritte Phase schliesslich müsste dann für die verbleibenden Kiesvorkommen ein eigentlicher Wirtschaftsplan aufgestellt werden, wobei neben dem Grundwasserschutz auch der Landschaftsschutz, die Transportverhältnisse, die Qualität und Menge des Kieses und in unserem liberalen Staat selbstverständlich auch die Besitzesverhältnisse und die Rechtsverhältnisse mitberücksichtigt werden müssten. Es bestehen in unserem Lande nämlich auch ausserhalb der Grundwasserschutzgebiete noch Kiesvorkommen, und zwar in quartären wie auch in tertiären Ablagerungen, in denen Kies ohne ernsthafte Gefährdung des Grundwassers abgebaut und die dabei entstandenen Gruben in gewissen geologisch günstigen Fällen mit Kehricht und Industrieabfällen wieder aufgefüllt werden könnten. Solche Vorkommen abzugrenzen und der Nutzung zu erschliessen, wäre eine der Aufgaben einer systematischen Kiesplanung.

V. Moderne Grundwasserbewirtschaftung

Bisher war die Bewirtschaftung des Grundwassers in der Regel eine ziemlich einseitige, sie war nämlich in erster Linie auf die Nutzung ausgerichtet. In Zukunft wird aber mehr als bisher zu einer systematischen Bewirtschaftung neben der Nutzung auch der qualitative und quantitative Schutz und die Anreicherung des Grundwassers gehören. Das aber rationell betreiben zu können, verlangt eine gewisse Grösse des zu bewirtschaftenden Areals. Der Gemeindebann ist dazu meist zu klein. Das Grundwasser richtet sich nicht nach politischen Grenzen, weder nach solchen der Gemeinden noch der Kantone. Ähnlich wie bei regionalen Versorgungsgruppen oder bei Kläranlagen oder bei Kehrichtverbrennungsanlagen müsste für die rationelle Bewirtschaftung des Grundwassers eine neue Organisationsform, so etwas wie ein «Grundwasserverband» geschaffen werden. Sein regionaler Bereich müsste nach grundwassergeologischen Gesichtspunkten, nicht nach politischen Grenzen ausgeschieden werden. Er hätte die Kosten für einen grosszügigen Schutz und eine moderne Anreicherung, wie auch die Vorteile einer rationellen Grundwassernutzung auf seine Mitglieder gerecht zu verteilen und gleichzeitig die berechtigten Interessen der Öffentlichkeit am Grundwasser zu wahren.

Literaturverzeichnis

Baldinger, F. (1963): Der mengen- und gütemässige Schutz des Wassers im Aargau. «Plan», Nr. 3/1963. Solothurn.

Burger, A. (1959): Hydrogéologie du Bassin de l'Areuse. Diss. Université de Neuchâtel.

— (1966): La distribution de l'eau sur le plan régional et interrégional. «Wasser und Luft in der Raumplanung». Bericht über die int. Vortragstagung Pro Aqua 1965, Basel. Verlag Oldenbourg, München.

Hug, J. u. *Beilick, A.* (1934): Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Beitr. Geol. der Schweiz. Geotechn. Serie, Hydrologie, 1. 1 Karte 1:100000.

Jäckli, H. (1967): Die hydrogeologische Karte der Schweiz 1:500000. Ecl. geol. Helv. 60/2.

— (1968): Injektionen in nutzbaren Grundwasserströmen? «Schweiz. Bauzeitung», Jg. 86. H.15, S. 244 und H. 23, S. 412.

— (1968): Richtlinien zur Ausscheidung von Grundwasserschutzgebieten und Grundwasserschutzzonen. Prov. Richtlinien zur Orts-, Regional- und Landesplanung des Delegierten für Wohnungsbau, Blätter 516021–516030.

— (1968): Die Grundwasservorkommen des Kantons Aargau. «Wasser- und Energiewirtschaft» Nr. 9/10 1968.

Knorr, M. (1966): Die hygienische Beurteilung resistenter Schadstoffe im Boden und Grundwasser. «Gesundheits-Ingenieur», 87. Jg., H. 11.

Märki, E. (1968): Vom Schlammsammler zum umfassenden Gewässerschutz. «Wasser- und Energiewirtschaft» Nr. 9/10 1968.

Nänny, P. (1959): Probleme des Gewässerschutzes im Zusammenhang mit dem Bau von Wasserkraftanlagen. «Wasser- und Energiewirtschaft» Nr. 8–10, 1959.

— (1966): Probleme des Schutzes der Trinkwasserfassungen. «Monatsbulletin des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern», Nr. 3, 1966.

— (1966): Die Bedeutung der Grundwasservorkommen für die Versorgung unseres Landes mit Trink- und Brauchwasser. «Wasser – Boden – Luft».

Probst, P. (1968): Wasserversorgung und generelle Planung für die regionale Wasserbeschaffung und -verteilung im Kanton Aargau. «Wasser- und Energiewirtschaft» Nr. 9/10, 1968.

Rutsch, R. (1952): Geologische Probleme der Erschliessung unterirdischer Wasservorkommen. «Monatsbulletin der Schweiz. Ver. von Gas- und Wasserfachmännern» 5, 1952.

Schmassmann, H., Schmassmann, W. und Wylemann, E. (1950): «Die Oberflächengewässer, Grundwasservorkommen und Abwässer des unteren Birstales». Tätigkeitsbericht der Natf. Ges. Baselland, Bd. 18.

Schmassmann, H. (1965): Ursachen, Folgen und Bekämpfung von Grundwasserverunreinigungen in der Schweiz. Internat. Jb. Chemische Industrie, Ausgabe 1965, Solothurn.

— (1966): Grundwasserschutzgebiete in der Raumplanung. Wasser und Luft in der Raumplanung, Vortragstagung Pro Aqua 1965 in Basel. Verlag R. Oldenbourg, München 1966.

— (1969): Unfälle mit Mineralölen. «Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. und -Ing.» 35/88.

Schwille, F. (1966): Die Kontamination des Untergrundes durch Mineralöl, ein hydrologisches Problem. «Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen», Jg. 10/6. Dezember 1966.

Steffen, M. und Trüeb, E. (1954): Quartärgeologie und Hydrologie des Winterthurer Tales. Mitt. Naturw. Ges. Winterthur, H. 31.

Weber, Alb. (1953): «Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Thurgau». Baudep. des Kt. Thurgau und Thurgauische Naturforschende Ges., 1 Karte 1:100000.

Adresse des Verfassers: *H. Jäckli,* Dr. sc. nat. ETH, Geologe, Limmattalstr. 289, 8049 Zürich-Höngg.