Fortschritte in der Erkundung und Bewirtschaftung des Grundwassers, insbesondere in der Schweiz

Autor(en): **Trüeb, Ernst**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 6

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85633

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Fortschritte in der Erkundung und Bewirtschaftung des Grundwassers, insbesondere in der Schweiz

Das Grundwasser ist mit 83% an der Trinkwasserbeschaffung der Schweiz beteiligt. Es stellt somit den wesentlichen Eckpfeiler unserer Wasserversorgung dar. Nachfolgend wird versucht, den Weg von der beschreibenden zur quantifizierenden Grundwasserhydrologie aufzuzeigen. Stand der Technik ist gegenwärtig der Einsatz von Flowmetern zur Ermittlung von Bereichs- und Profil-k-Werten sowie die Verwendung mathematischer Modelle zur Optimierung komplexer Bewirtschaftungsvarianten.

Beschreibende Grundwasserhydrologie

Während man in der Schweiz noch um 1870 herum eher auf tiefe Grundwasserbrunnen wegen der aufwendigen

VON ERNST TRÜEB, ZÜRICH

Förderung mittels Dampfmaschinen und Kolbenpumpen verzichtete und sich auf die Ableitung von Grundwasseraufstössen konzentrierte [1], führte die Entwicklung von Kreiselpumpen mit elektrischem Antrieb nach der Jahrhundertwende bis in die dreissiger Jahre hinein geradezu zu einem Boom in der Erstellung von Grundwasserpumpwerken zur Ergänzung der bestehenden Quellversorgungen.

Die Erforschung der Grundwasservorkommen in den Jahren bis zum Zweiten Weltkrieg ist vor allem mit einem Mann verbunden, der sich wie kein anderer unermüdlich um die Erkundung der Grundwasserschätze unseres Landes bemühte. Es ist dies der Hydrogeologe Dr. *J. Hug*. In Marthalen im Zürcher Weinland geboren, entdeckte er 1908 die sehr ergiebigen Grundwasseraufstösse bei der «Kühtränke» zwischen Ellikon a.R. und Rheinau. Aufbauend auf den Arbeiten von Höfer [2], Keilhack [3] und anderen wurde 1918 seine Monographie «Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz» [4] veröffentlicht. In den einleitenden Kapiteln über die Grundwasserneubildung sowie die chemische Zusammensetzung und die hygienischen Verhältnisse des Grundwassers hat er das Ergebnis seiner unzähligen Feldbegehungen, Beobachtungen und Messungen in Form einer beschreibenden Grundwasserhydrologie zusammengetragen, die, abgesehen von wenigen Einzelheiten, in ihren Grundzügen heute noch gültig ist. Neben anderen Publikationen ist vor allem auch auf die Monographie «Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich» [5] hinzuweisen, die lange Zeit als Prototyp der beschreibenden Grundwasserkunde galt. Sie ist kürzlich durch eine Neubearbeitung mit dem Titel «Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich» [6] abgelöst worden.

Ihre Krönung hat die Phase der beschreibenden Grundwasserhydrologie aber ohne Zweifel mit dem Kartenwerk Hydrogeologie gefunden [7], das im Massstab 1:500 000 Bestandteil des Atlas der Schweiz ist.

Mit Bild 1 wird eine verallgemeinernde Übersicht über die wesentlichsten Lokkergesteinsgrundwässer unseres Landes vermittelt, die aufgrund der hydrogeologischen Karte von Jäckli [7] entworfen wurde. Daraus geht hervor, dass die ergiebigsten Grundwasservorkommen auf die Schotterebenen zwischen Neuenburger- und Bodensee sowie diejenigen der grossen Täler der Alpen und ihrer Südabdachung konzentriert sind.

Darüber hinaus darf auf die hydrogeologische Kartierung der Schweiz im Massstab 1:100 000 hingewiesen werden. Dazu haben Jäckli und Kempf (1972 und 1980) mit den Blättern Bözberg-Beromünster und Bodensee die Grundlage geliefert. Auch ist nicht zu verkennen, dass die von Jäckli et al. [8] erarbeitete «ORL-Richtlinie für die kartographische Darstellung der Grundwasserverhältnisse in Lockergesteinen» wesentlich dazu beigetragen hat, dass sich die in den letzten Jahren insbesondere von den Kantonen Bern und Zürich veröffentlichten hydrogeologischen Karten im Massstab 1:25 000 deutlich von denjenigen unterscheiden, welche früher erarbeitet wurden.

Entwicklung der quantifizierenden Grundwasserhydrologie

Ohne Zweifel hält es schwer, die meist für homogenisotrope Grundwasservorkommen hergeleiteten Strömungstheorien beim ausserordentlich heterogenen Aufbau der schweizerischen Grundwasserleiter in die Praxis umzusetzen. Darüber hinaus muss man wissen, dass manche dieser Grundwasserleiter infolge begrenzter seitlicher Ausdehnung und stark wechselnder Mächtigkeiten keineswegs die Randbedingungen erfüllen, welche den theoretischen Ansätzen zugrunde liegen. Es überrascht deshalb auch nicht, wenn in der Grundwassergewinnung der Schweiz lange Zeit die Empirie vorherrschte. Ich brauche nur an Gubelmann [9] zu erinnern, dessen intuitives Verständnis für die örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse Pionierleistungen für die moderne Grundwassergewinnung hervorbrachte.

Die stürmische Entwicklung von Bevölkerung und Industrie führte in den fünfziger und sechziger Jahren zu einem derartig massiven Anstieg des Wasserbedarfes, dass eine langfristige Planung der Grundwassernutzung nicht mehr ohne Beachtung der Speisungsmechanismen und damit einer Bilanzierung der In- und Output-Flüsse auskommen konnte.

Aufbauend auf den Arbeiten von Maag [10] und Körner [11] ging man daran, die Grundwasserprospektion engmaschiger zu betreiben, um damit die Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Grundwasserleiter und somit die Transmissivität genauer zu erfassen. Die Schlagworte lauten: Kleinpumpversuche zur Ermittlung der Punkt- und Profil-k-Werte. Damit wurde wohl ein Einblick in die Heterogenität der Grundwasserleiter gewonnen, es zeigten sich aber bald beträchtliche Abweichungen zwischen den k-Werten, welche mittels Kleinpumpversuchen und solchen, die mittels Grosspumpversuchen bestimmt wurden [12], [13], [14].

Ein Durchbruch wurde indessen erst mit den Forschungsprojekten erzielt, die im Rahmen des nationalen Forschungsprogrammes «Grundlegende Probleme des Schweizerischen Wasserhaushaltes» von 1976 bis 1983 durchgeführt wurden. Bei vergleichenden Un-

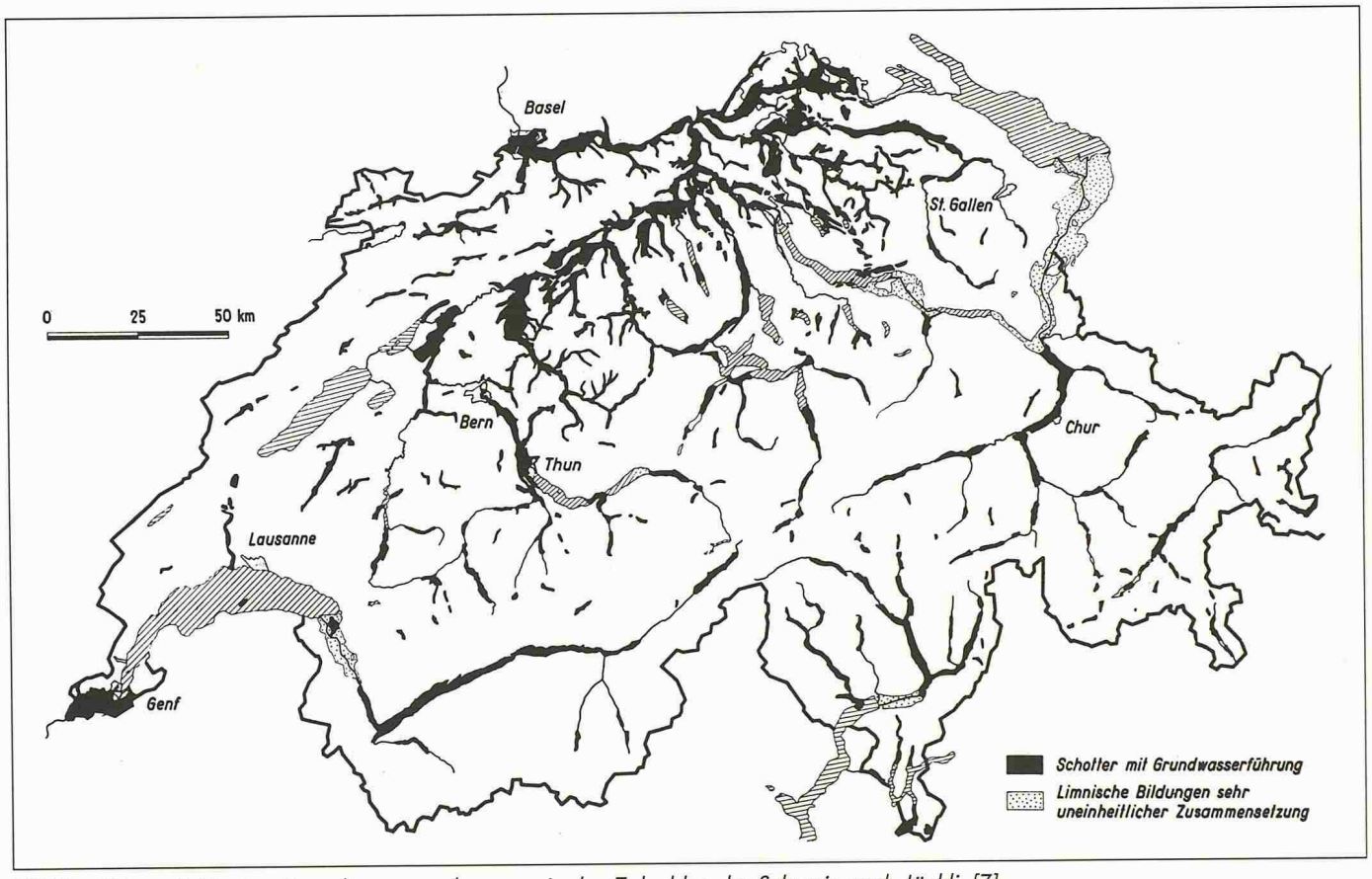


Bild 1. Die ergiebigsten Grundwasservorkommen in den Talsohlen der Schweiz nach Jäckli [7]

tersuchungen im Labor und auf der Baustelle zeigte sich, dass bei der Ermittlung von Punkt- bzw. Bereichs-k-Werten besonders bei Entnahmemengen über 2 l/s turbulente Einströmverluste und zusätzlich Rohrreibungsverluste auftreten, welche zu kleine k-Werte vortäuschen. Darüber hinaus treten beim Einsatz von Tauchpumpen, Ringraumverluste auf, welche die Ergebnisse in derselben Richtung verfälschen. Hinzu kommt die Erkenntnis, dass in mehrfach geschichteten Grundwasserleitern - weit häufiger als bisher vermutet – das Potential über das Bodenprofil nicht konstant ist. Wird das Profil durch eine Bohrung aufgeschlossen, treten Ausgleichsströmungen auf, die bei 4½"-Rohren bis zu 16 l/s betragen können. Wird in der verfilterten Aufschlussbohrung mit dem Flowmeter der vertikale Volumenstrom ermittelt, können daraus die radialen Zuflüsse hergeleitet werden. Bei Kleinpumpversuchen lassen sich daraus unter Berücksichtigung der Einström- und Rohrreibungsverluste die für den Zustrom wirksamen Potentialdifferenzen berechnen, welche die Grundlage für die Ermittlung der Bereichs-k-Werte bilden. Somit kann auf die aufwendige Ermittlung der Punkt-k-Werte auf der Baustelle verzichtet werden. Erst nach Abschluss der Bohrkampagne hat ein Team von Spezialisten die Flowmetermessungen und Kleinpumpversuche durchzuführen und entsprechend auszuwerten. Dieser Vorteil wird allerdings durch den Verzicht auf eine kontinuierliche und frühzeitige Information über die Durchlässigkeitsverhältnisse im Untersuchungsgebiet erkauft. Methodik und Rechenverfahren sind bei Hufschmied [15] sowie bei Blau et al. [16] einlässlich dargestellt. Bei Blau sind auch Hinweise auf die Bilanzierung und deren Durchführung mit Hilfe mathematischer Modelle zu finden, worauf aus Platzgründen an dieser Stelle verzichtet werden muss. Auf Fortschritte in der Durchführung von Grosspumpversuchen soll bei der Behandlung qualitativer Aspekte des Grundwassers zurückgekommen werden.

Fortschritte in der Erkundung und Nutzung des Grundwassers in qualitativer Hinsicht

Ohne Zweifel lauten die Schlagworte für die aktuellen Gefährdungspotentiale beim Grundwasser: Nitratkonzentration und Chlorkohlenwasserstoffe. Was das Nitratproblem betrifft, sind Lösungswege erkennbar [17]. Sie bestehen in der Drosselung der Überproduktion, der umweltgerechten Düngung und der Vermeidung von Brachflächen mittels Zwischenfutteranbau im Ackerbau. Ähnliches gilt vom Gemüsebau und von den Intensivkulturen, die grundsätzlich aus den Schutzzonen II und III A zu verbannen sind.

Auch bei den Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) sind erste Erfolge nicht ausgeblieben [18]. Neben den Sanierungsmassnahmen, wie Bodenluft- bzw. Materialaustausch, Strippen und/oder AK-Filtration des geförderten Grundwassers usw., steht die Verwendung weniger gefährlicher Entfettungsmittel bis hin zum Seifenwasser bei der Industrie in Erprobung.

Die zahlreichen Grundwasserverunreinigungen mit CKW haben der Erforschung von Stofftransport und Stoffausbreitung im Untergrund einen starken Impuls verliehen. Stellvertretend für viele andere sei auf die Arbeiten von Matthess [19] und [20] hingewiesen. In welch aussergewöhnlichem Masse die Beschreibung der Transportmechanismen indessen durch die heterogene Struktur des Grundwasserleiters erschwert wird, zeigen Untersuchungen, die in Zusammenarbeit mit der EAWAG an unserem Institut durchgeführt wurden [21] und [22]. Man ist beinahe versucht, zu behaupten, jedes Dezenium habe seine besonderen Probleme. War es in den sechziger Jahren die Ausbreitung von Mineralölprodukten im ungesättigten Bereich und im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels [23] und [24], hatten wir uns in

den siebziger und frühen achtziger Jahren mit der Ausbreitung von Warmwasser oder abgekühltem Wasser von Wärmepumpen zu befassen.

Die instationäre Auswertung von Grosspumpversuchen erlaubt eine zuverlässigere Ermittlung von Durchlässigkeit, speicherwirksamem Hohlraumanteil und Uferfiltratanteil als das altbewährte Dupuit-Thiem-Verfahren. Trotzdem wird in der Regel nicht auf Langfristversuche verzichtet, weil nur sie in der Lage sind, Einblick in langfristig auftretende Variationen der *Grundwasserqualität* bei sich verändernden Randbedingungen zu gewähren.

Was uns neuerdings Sorge bereitet, sind die im Rahmen des «differenzierten Gewässerschutzes» betriebenen Bemühungen zur Versickerung sog. unverschmutzten Abwassers. Was wir mit dem Gewässerschutzgesetz vom 08.10.1971 gewonnen haben, droht nun mit der Revisionsvorlage vom 29.04.1987 durchlöchert zu werden. Zur Versickerung von Dach- und Vorplatzwasser wurde bereits andernorts Stellung genommen [25]. Nun ist dem Bericht zur Revisionsvorlage vom 29.04.1987 zu entnehmen, dass nach Ableitung bzw. Reinigung des ersten Schmutzstosses auch an die Versickerung von Regenwasser von stark frequentierten Verkehrsflächen gedacht wird. Wenn man weiss, welche Mühe uns die Spurenstoffe im Trinkwasser bereiten, sind alle Bemühungen zu verstärken, welche darauf gerichtet sind, nicht von einem Extrem ins andere zu fallen.

Ansätze zur Grundwasserbewirtschaftung

Obwohl bei den Basler Wasserwerken die künstliche Anreicherung des Grundwassers seit 1911 betrieben wird und im Zeitraum von 1956 bis 1980 noch 10 Anlagen hinzugekommen sind [26], wurde der künstlichen Anreicherung zur Deckung des rasch steigenden Wasserbedarfes in den sechziger und siebziger Jahren ein derart hoher Stellenwert beigemessen, dass sie mit dem neuen Wasserwirtschaftsartikel 24 bis Eingang in die Bundesverfassung gefunden hat.

Wenn das Parlament dem Antrag des Bundesrates folgt, wird sogar die Untergrundspeicherung von Trinkwasser in der revidierten Fassung des Gewässerschutzgesetzes verankert werden. Darin soll auch ein Artikel über die Erhaltung der Grundwasservorkommen aufgenommen werden.

Literatur

[1] *Trüeb E.:* Zur Geschichte der ersten hundert Jahre der Winterthurer Wasserversorgung 1973

[2] *Höfer H.:* Grundwasser und Quellen, eine Hydrogeologie des Untergrundes, Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1912

[3] *Keilhack K.:* Grundwasser- und Quellenkunde, Berlin 1912

[4] *Hug J.:* Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz, Annalen der schweiz. Landeshydrographie, Band III, 1918

[5] *Hug J. und Beilick A.:* Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, Lieferung 1, Kümmerly und Frey, Bern 1934

[6] *Kempf Th., Freimoser M., Haldimann P., Longo V., Müller E., Schindler C., Styger G. und Wyssling L.:* Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 69, Kümmerly und Frey AG, Bern 1986

[7] *Jäckli Hch.:* Hydrogeologie, Blatt 16 zum Atlas der Schweiz, Massstab 1:500 000, 1967

[8] *Jäckli Hch. et al.:* Erhaltung, Anreicherung und Schutz des Grundwassers, Richtlinien für die kartographische Darstellung der Grundwasserverhältnisse in Lockergesteinen, ORL-ETHZ, Blatt 516 022, Zürich 1970

[9] *Gubelmann H.:* Der Horizontalfilterbrunnen in der Schweiz, GWF Heft 38, 1961

[10] *Maag E.:* Methode zur feldmässigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit, «Strasse und Verkehr», Nr. 19, 1941

[11] *Körner H.:* Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen im Bauzustand, «Die Wasserwirtschaft», Nr. 8, 1957

[12] *Trüeb E.:* Erkundung und Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen, Monatsbulletin des SVGW Nr. 12, 1962 und Nr. 1/2, 1963

[13] *Nänny P.:* Die Bedeutung der Grundwasservorkommen für die Versorgung unseres Landes mit Trink- und Brauchwasser, Wasser-Boden-Luft, Jahresheft 1966

[14] *Werner A.:* Zur neuzeitlichen Erkundung von Grundwasservorkommen am Beispiel der Stadt Winterthur, Monatsbulletin des SVGW, Nr. 2/3, 1965

[15] *Hufschmied P.:* Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern, eine vergleichende Untersuchung verschiedener Feldmethoden, Diss. ETH-Zürich Nr. 7397, 1983

[16] *Blau R. et al.:* Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental, GWA Nr. 5, 1984

[17] *Trüeb E.:* Über die Nitratsituation in der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung des Grundwassers, Schriftenreihe «Umweltschutz», Band 7, Gesellschaft Österr. Chemiker, Arbeitsgruppe Umweltschutz, Wien 1987

[18] *Adam F.:* Fallbeispiele von Grundwasserkontaminationen durch chlorierte Kohlenwasserstoffe und deren Sanierung, Pro Aqua - Pro Vita 86, Band 10 C, Bedrohung des Grundwassers durch Chlorkohlenwasserstoffe und Nitrate, Basel 1986

[19] *Matthess et al.:* Untersuchungen zur Gruppierung und Definierung von Stoffen hinsichtlich ihres Transportes im Grundwasser im Hinblick auf die Ausweisung von Schutzgebieten für die Grundwassergewinnungsanlagen, Statusbericht und Problemanalyse, Kiel 1983

[20] *Matthess et al.:* analoger Statusbericht vom Juni 1984

[21] *Stauffer F.:* Grundwassermodellierung unter Anwendung geostatistischer Methoden, Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH, Zürich, R 25-87, Juni 1987

[22] *Huggenberger P., Siegentaler Chr. und Stauffer F.:* Influence of highly-permeable zones on groundwater velocity distribution in fluvio-glacial gravel deposits, Zürich 1987. Zur Veröffentlichung eingereicht bei Water Resources Research, (AGU)

[23] *Schwille F.:* Die «hydrologischen» Grundlagen für die Untersuchung, Beurteilung und Sanierung von Mineralölkontaminationen des Untergrundes, DGM, Heft 1, 1964

[24] *Dracos Th.:* Physikalische Grundlagen und Modellversuche über das Verhalten und die Bewegung von nichtmischbaren Flüssigkeiten in homogenen Böden, Mitteilungen der VAWE an der ETH, Zürich 1966

[25] *Trüeb E.:* Grundwasserschutz und Wasserversorgung, Wiener Mitteilungen, Band 66, Wien, 1986

[26] *Trüeb E.:* Bemessung von horizontal durchströmten Kiesvorfiltern und Erfahrungen mit der Grundwasseranreicherung in der Schweiz, Symposium: Biologische Vorgänge und Verfahren bei der Trinkwassergewinnung, Gemeinschaftsveranstaltung von BOKU und ÖVGW, Wien 1987

[27] *Koehne W.:* Die Wasserspeicherung in unterirdischen Räumen, Deutsche Wasserwirtschaft, Heft 9, 1941

[28] *Schmidt W. D.:* Speicherkapazität von Grundwassergewinnungsanlagen, DVGW-Schriftenreihe, Wasser Nr. 10, WAT 75, Basel, DVGW Eschborn 1976

[29] *Blau R. et al.:* Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental, Schlussbericht, GWA Nr. 9, 1983

[30] *Schalekamp M.:* Modernste Grundwasserbewirtschaftung mittels Prozessrechner am Beispiel des Wasserwerkes Hardhof Zürich, GWA Nr. 5, 1983

Die Erwähnung der Untergrundspeicherung im Gesetz ist deshalb von Bedeutung, weil es ausserordentlich lange dauerte, bis die Grundwasserwirtschaft von der Untergrundspeicherung von Trinkwasser Gebrauch machte. Obwohl Koehne [27] bereits 1941 auf die Wasserspeicherung im Untergrund aufmerksam machte, gelang es erst 1965, den Fachleuten die Wirkung der Untergrundspeicherung von Trinkwasser am Beispiel des Eulachgrundwasserstromes in Winterthur zu demonstrieren. Zwischenzeitlich hat die Untergrundspeicherung auch bei der Gelsenwasser Einzug gehalten [28] und eine Anlage für die Gruppenwasserversorgung Lattenbuck im Kanton Zürich ist zurzeit im Bau.

Damit sind Ansätze zur planmässigen und gezielten Bewirtschaftung des Grundwassers in der Schweiz sichtbar geworden. Sie werden mit der vermehrten Anwendung von Grundwassermodellen im praktischen Wasserwerksbetrieb ohne Zweifel an Bedeutung gewinnen.

Beispiele dafür sind die «Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental» [29], die vom Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (NF) mit finanziert wurde, und die Bewirtschaftung des Grundwasserwerkes Hardhof der Wasserversorgung Zürich [30], bei dem Uferfiltrat aus der Limmat mittels Schluckbrunnen und Anreicherungsbecken derart in den Untergrund eingespeist wird, dass das autochthone «Stadtwasser» abgedrängt und somit nicht mit den Horizontalfilterbrunnen mit gefördert wird.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. e.h. *E. Trüeb*, ETH Zürich, 8093 Zürich-Hönggerberg.

Tiefensickerung aus Böden über einer Schotterunterlage

Die Tiefensickerung aus zweischichtigen Böden mit einem feinkörnigen, verwitterten Oberboden (Wurzelraum) und einer unverwitterten grobkörnigen Schotterunterlage fällt nur während weniger Tage im Jahr ins Gewicht. Die im wassergesättigten Zustand gut durchlässige Grenzschicht zwischen der unverwitterten Schotterunterlage und dem darüberliegenden Boden wirkt infolge ihrer kapillaren Diskontinuität als schlecht durchlässige Barriere. Solange die Vegetation dem Wurzelraum Wasser entzieht, werden das Wasser und die darin enthaltenen Nährstoffe - unter anderem auch das Nitrat - über längere Zeiträume zu einem guten Teil im Wurzelraum zurückgehalten. Die Tiefensickerung und Stoffauswaschung sind in solchen Böden pulsartig rasch, von kurzer Dauer und räumlich heterogen.

VON HANNES FLÜHLER, ZÜRICH

Bedeutung und Verbreitung von zweischichtigen Bodenprofilen

Zweischichtprofile spielen für den Schutz des Grundwassers eine besondere Rolle. Sie weisen einige hydrologische Besonderheiten auf. Der abrupte Wechsel in der Körnung am unteren Rand des Wurzelraumes, also die kapillare Diskontinuität, bewirkt, dass die Tiefensickerung vom Frühjahr bis in den Herbst nahezu unterbunden ist und das Wasser zum grössten Teil im Wurzelraum gespeichert und somit pflanzenverfügbar bleibt.

Alluviale Aufschwemmungen auf kiesig-sandigen Schottern waren beziehungsweise sind in ebenen Lagen des schweizerischen Mittellandes auf grossen Flächen das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. In rezenten Alluvionen (Auenstandorte) beginnt die Bodenbildung nach jeder grösseren Überschwemmung wieder von vorne. Die gebänderten Profile mit Schichten variabler Mächtigkeit, mit variabler Textur (Ton-Silt-Sand-Anteile) und mit variablem Gehalt an organischem Material sind eine Aufzeichnung der Ablagerungsgeschichte (Bild 1). Späteiszeitliche Alluvionen anderseits wurden seit einigen Jahrtausenden nicht mehr überschichtet. Die Verwitterung dieser Ablagerungen von Kiesen, Sanden und feineren Komponenten verschiedener Herkunft, also eines mineralogisch heterogenen Materials, führte in vielen Fällen zur Bildung von Parabraunerden (Bild 2).

Dieser Bodentyp ist in unseren Regionen über grösseren Grundwasserträgern stark verbreitet. Das in der Regel gut durchlässige, vorwiegend silikatische und höchstens mässig karbonathaltige Material des Oberbodens wurde gut durchwaschen und entkarbonatet. Die Verwitterungsprodukte wurden in partikulärer und gelöster Form, das heisst als Tonteilchen und Ionen, innerhalb oder aus dem Profil in die kiesige Unterlage verfrachtet.

Das Ausgangsmaterial (Muttergestein) des von den Bodenbildungsprozessen geprägten Bodenraumes und dasjenige der unverwitterten Unterlage war bei skeletthaltigen Parabraunerden ursprünglich profilumfassend dasselbe. Feintexturierte, skelettfreie Parabraunerden mit einer deutlichen Tonverlagerung im Profil sind das Ergebnis einer Übersandung der Schotterfelder, welche die Ausprägung des Zweischichtprofils verstärkte (Bild 3). In beiden Fällen ist der verwitterte Bodenraum feinkörnig und die Unterlage grobkörnig. Die Tonanreicherung am unteren Rand des verwitterten Bodenraumes verstärkt zudem die Diskontinuität der Körnung und Kapillarität.

In diesem Beitrag soll auf einige Besonderheiten solcher Böden hingewiesen werden. Diese sind nicht nur im oben erwähnten Zusammenhang wichtig, sondern auch im Falle der Bemessung und Ausformung von Deponieabdekkungen, bei welchen man die Eigenschaften einer kapillaren Diskontinuität ausnützen kann.

Luft-Wasser-Grenzflächen und Sickerung an Schichtgrenzen

Im ersten Fall betrachten wir die Phasengrenze Wasser-Luft an der Grenze zwischen einem feinsandigen Oberboden und einer Unterlage aus Kies ohne Feinanteil. Die Schichtgrenze sei horizontal. Die Differenz zwischen dem Druck im Bodenwasser und in der Bodenluft, also $\Delta P = P_W - P_L$, bestimmt die Form der Menisken (Wasser-Luft-Grenzflächen in Poren oder Spalten). Im wasserungesättigten Boden ist die Druckdifferenz negativ und wird je nach Anwendungsgebiet Saugspannung, Kapillarspannung oder Matrix-