Der Einfluss der Heterogenität des Grundwasserleiters auf die Strömung im Untergrund

Autor(en): **Trüeb, Ernst**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **77 (1985)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940915

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

Der Einfluss der Heterogenität des Grundwasserleiters auf die Strömung im Untergrund

Ernst Trüeb

Zusammenfassung

Vor allem alpennah weisen fluvioglaziale Schotter einen extrem heterogenen Aufbau auf. Die Wechsellagerung von gut und schlechter durchlässigen Schichten verursacht präferentielle Fliesswege. Diese werden durch Deltalagerungen, das heisst Schiefstellung der Schichtung unterbrochen. Die Schichtung verursacht Potentialdifferenzen über ein Profil, die in der Grössenordnung von einem Meter liegen können. Mit durchgehend verfilterten Aufschlussbohrungen werden näherungsweise mittlere Potentiale erfasst. Einström-, Rohrreibungs- und Ringraumverluste verfälschen die bisher mittels Kleinpumpversuchen ermittelten Profil-k-Werte. Diese Schwierigkeit kann mit Hilfe von Flowmeterbefahrungen behoben werden. Aus der quantifizierten radialen Zuströmung lassen sich die Bereichs-k-Werte zuverlässig bestimmen. Der Profil-k-Wert kann daraus durch Bildung des Gewichtsmittels mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden.

Résumé: L'influence de l'hétérogénité du sol sur le flux des eaux souterraines

La composition des pierrailles concassées fluvio-glaciales se présente de manière très hétérogène, en particulier à proximité des Alpes. L'alternance des couches de bonne et de mauvaise perméabilité a pour effet de créer des chemins préférentiels. Ceux-ci-sont interrompus par suite de l'inclinaison des couches, c'est-à-dire par les sédimentations du delta. La stratification le long d'un profil cause des différences de potentiel piézométriques dont l'ordre de grandeur peut atteindre un mètre. Dans les forages de recherche à filtration continue on mesure approximativement des potentiels piézométriques moyens. Les pertes dues à l'afflux dans le tube ainsi que celles résultant de la rugosité du tube et de l'espace annulaire ont falsifié les facteurs k des profils (perméabilité d'un profil) déterminés jusqu'ici par des essais de pompage de faible envergure. Cette difficulté peut être écartée à l'aide de débitmètres spéciaux (flow meter). La quantification de l'afflux radial permet de déterminer de manière fiable les facteurs k des zones. Le facteur k du profil peut en être déduit de manière suffisamment précise comme moyenne proportionnelle.

Riassunto: L'influenza della composizione eterogenea degli imbrecciamenti sul flusso d'acqua sotterranea

Principalmente in vicinanza delle Alpi gli imbrecciamenti fluvio-glaciali presentano una composizione molto eterogenea. L'alternanza di strati con buona e cattiva permeabilità causa delle vie di scolamento preferenziale. Queste vie vengono interrotte dalle sedimentazioni delta, cioè da degli strati inclinati. Lungo un profilo, la stratificazione causa delle differenze di potenziale piezometrico che possono raggiungere anche il valore di un metro. Attraverso trivellazioni di sondaggio vengono misurati i potenziali piezometrici medi. Le misure di permeabilità dei profili (valore k) finora ottenute dalle prove di pompaggio a portata limitata, risultano falsificate da perdite dovute al flusso d'entrata, all'attrito della tubazione ed all'intervallo anulare. Questa difficoltà può essere eliminata per mezzo di un «flowmeter». I fattori k delle zone vengono quindi determinati in modo sicuro a partire dall'affluenza radiale quantificata ed il fattore k del profilo calcolato in modo assai preciso quale media proporzionale.

Abstract: The heterogenous composition of soil and the flow of ground water

Fluvio-glacial crushed rocks show an extremely heterogeneous composition, specially near the Alps. Preferential paths of flow are caused by the alternate stratification of better and worse permeable layers. These flow paths are broken because of the delta-stratification, i.e. by inclined strata. The different layers cause potential differences along a profile which can reach the order of one meter. By completely screened test borings approximate average piezometric potentials can be measured. The profile-coefficients of permeability determined by small pumping tests have been erroneous until now due to the losses of pressure caused by flow in, pipe friction and annular space. These difficulties can be eliminated with the help of flow meters. Sectional permeabilities can be reliably determined by the quantified radial flow. The profile-permeability can then be calculated precisely enough as the weighted average.

Problemstellung

Der im Berginnern dahinfliessende Wasserschatz birgt Geheimnisse, die trotz intensiver Forschung nicht restlos geklärt werden konnten. Kein Wunder, dass sich manche Sagen ums Grundwasser weben. Doch darf mit gutem Gewissen behauptet werden, dass die mit dem Subprogramm «Grundwasserdargebot» des Nationalen Forschungsprogrammes «Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes» gewonnenen Erkenntnisse dazu beigetragen haben, besser zu verstehen, weshalb im Untergrund Phänomene auftreten, die mit den bisherigen Modellvorstellungen oft im Widerspruch standen.

Als Hauptergebnis kann betrachtet werden, dass die im Untergrund vorhandene Wechsellagerung von Schichtpaketen unterschiedlicher Durchlässigkeit beachtliche Potentialdifferenzen verursacht, die vor allem dann zu Vertikalströmungen führen, wenn die heterogenen Linsen ungleicher Kornzusammensetzungen mittels Aufschlussbohrungen, Bohrbrunnen zur Wasserhaltung bei Tiefbauarbeiten oder Wasserfassungen aufgeschlossen und dadurch miteinander verbunden werden, so dass ein Druckausgleich erfolgen kann. Solche Vertikalströmungen führen vor allem bei der Rückgabe von abgekühltem Wasser bei der Wärmenutzung des Grundwassers mittels Wärmepumpen und bei der Interpretation von Grundwasserverunreinigungen aller Art, insbesondere bei Unfällen mit Chlorkohlenwas-

Bild 1. Blick in eine Kiesgrube mit Wechsellagerung von Kies- und Feinsandschichten sowie Deltalagerung, das heisst schiefgestellten Schichtpaketen. Foto E. Trüeb

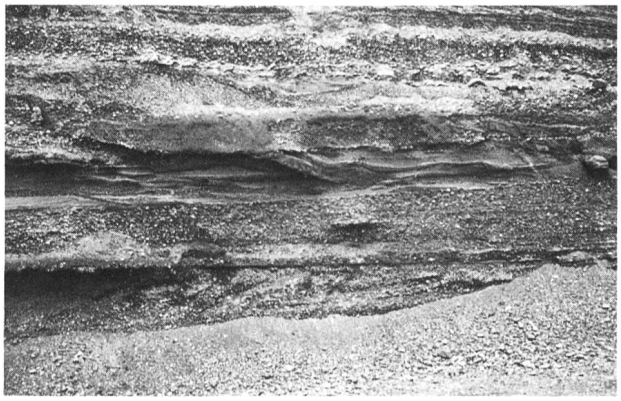


Bild 2. Detailausschnitt aus einem Anriss eines fluvioglazialen Schotters mit einem sogenannten präferentiellen Fliessweg, das heisst einer Schicht aus sandfreiem Kies. Foto R. Schmalz

serstoffen zu Überraschungen, die auch dem erfahrenen Hydrologen oft Kopfzerbrechen bereiten.

Heterogener Grundwasserleiter

Nicht nur im Alpenvorland, aber dort ganz besonders, weist der Grundwasserleiter eine äusserst komplexe Zusammensetzung auf. Schotter, die gletschernah verfrachtet und abgelagert wurden, weisen nicht nur eine Deltalagerung auf, wie sie aus Bild 1 zu erkennen ist. Darüber hinaus ist eine Wechsellagerung von Schichtpaketen ungleicher Kornzusammensetzung festzustellen. Über Schichten aus beinahe reinem Rollkies lagern solche von Sand und Silt, wie dies immer beobachtet werden kann, wenn bei Sedimentationsvorgängen die Strömungsgeschwindigkeit eines geschiebeführenden Flusses langsam geringer wird. Weil der massgebliche Korndurchmesser die Durchlässigkeit eines Schichtpaketes in hohem Masse beeinflusst, bilden sich präferentielle Fliesswege (Bild 2). Darin fliesst das Grundwasser wesentlich schneller als in den schlechter durchlässigen Schichten, wodurch bei der Ausbreitung von Schadstoffen die Längsdispersion abgemindert werden kann. Die Deltalagerung beeinflusst die Querdispersion, weil die präferentiellen Fliesswege in der Regel nach 10 bis 50 m auskeilen und das Grundwasser dadurch gezwungen wird, seitlich auszuweichen, um wieder besser durchlässige Fliesswege zu erreichen.

Der Flowmeter bringt es an den Tag

Flowmeter sind nichts anderes als speziell ausgebildete Woltmannflügel, wie sie seit Jahrzehnten zur Messung des Volumenstromes im Wasserfach verwendet werden. Allerdings brauchte es einigen Aufwand, um einen Flowmeter zu entwickeln, der eine so tiefe Anlaufschwelle besitzt, dass bereits Strömungsgeschwindigkeiten von 5 mm/s zuverlässig erfasst werden können. In Bild 3 ist ein entsprechender Flowmeter mit der zugehörigen Messelektronik dargestellt.

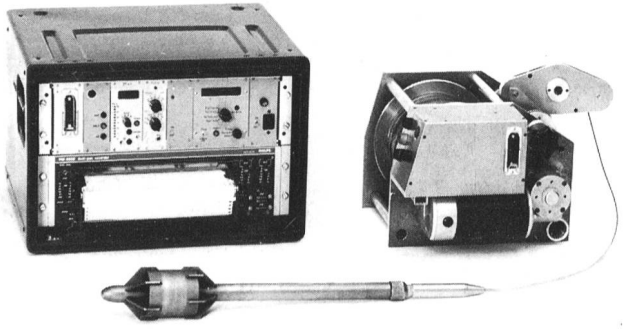
Damit lässt sich der im engen Filterrohr einer Aufschlussbohrung in vertikaler Richtung fliessende Volumenstrom erfassen [1], [2]. Dieser ist oft selbst dann nicht konstant, wenn er nicht durch eine gezielte Wasserentnahme beeinflusst wird. Aus der zum Beispiel pro Laufmeter Bohrung errechenbaren Differenz des Volumenstromes können die radialen Zu- und Wegflüsse quantifiziert werden. Aus Bild 4 sind der in einer Bohrung gemessene Volumenstrom und die daraus ermittelten radialen Zu- und Wegflüsse ersichtlich. Daraus erkennt man, dass im unteren Teil der Bohrung eine nach unten gerichtete Strömung vorherrscht und somit eine radiale Ausströmung auftritt. Die radiale Zuströmung erfolgt hauptsächlich im mittleren Teil der Bohrung und summiert sich schliesslich zur Gesamtentnahme Q_{Z_0} auf. In Bild 5 [3] sind die im Testgebiet Emmental zwischen Burgdorf und Koppigen ermittelten vertikalen Volumenströme für 24 Aufschlussbohrungen dargestellt. Der grösste vertikale Volumenstrom beträgt im unbeeinflussten Zustand 16,7 l/s. Dies entspricht im obersten Bereich des Filterrohrs einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,61 m/s. Gesamthaft ist festzuhalten, dass in 6 Bohrungen eine nach oben gerichtete Strömung, in 11 Bohrungen eine nach unten gerichtete und in 2 Bohrungen eine solche vorherrscht, die sowohl von oben nach unten als auch von unten nach oben gerichtet ist, das heisst, es fliesst dabei Wasser aus den oberen und unteren Schichten nach präferentiellen Fliesswegen, die sich etwa in Profilmitte befinden. In 2 Bohrungen ist auch das Gegenteil der Fall, das heisst, die präferentiellen Fliesswege sind in den oberen und unteren Schichtpaketen anzutreffen, in die das Wasser etwa aus Profilmitte kommend hinauf- bzw. hinunterfliesst. Nur in 3 Bohrungen oder 12,5% aller Bohrungen sind keine Vertikalströmungen festzustellen.

Grundsätzlich ist in den Infiltrationsbereichen eine nach unten gerichtete und in den Exfiltrationsbereichen eine nach oben gerichtete Vertikalströmung in den Aufschlussbohrungen festzustellen. Doch verursacht die Willkür der Schichtanordnung auch Abweichungen von diesem Grundsatz.

Die Bedeutung von Vertikalströmungen

Die erste Feststellung ist an sich trivial. Trotzdem wird ihr oft zu wenig Beachtung geschenkt. Jede Aufschlussbohrung stellt einen massiven Eingriff in das natürliche Bodengefüge dar. Dies muss insbesondere bei der Ausführung von Sanierungsarbeiten bei Ölunfällen und Kontaminationen

Bild 3. Flowmeter im Vordergrund mit Bohrlochmesswinde sowie Steuer- und Messgerät. Foto Büro A. Werner, Burgdorf



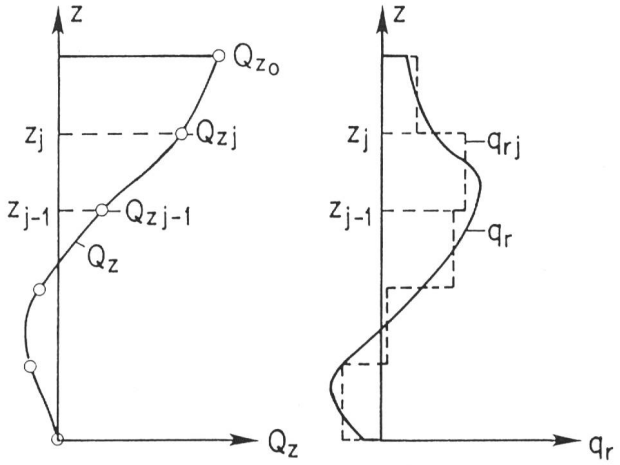
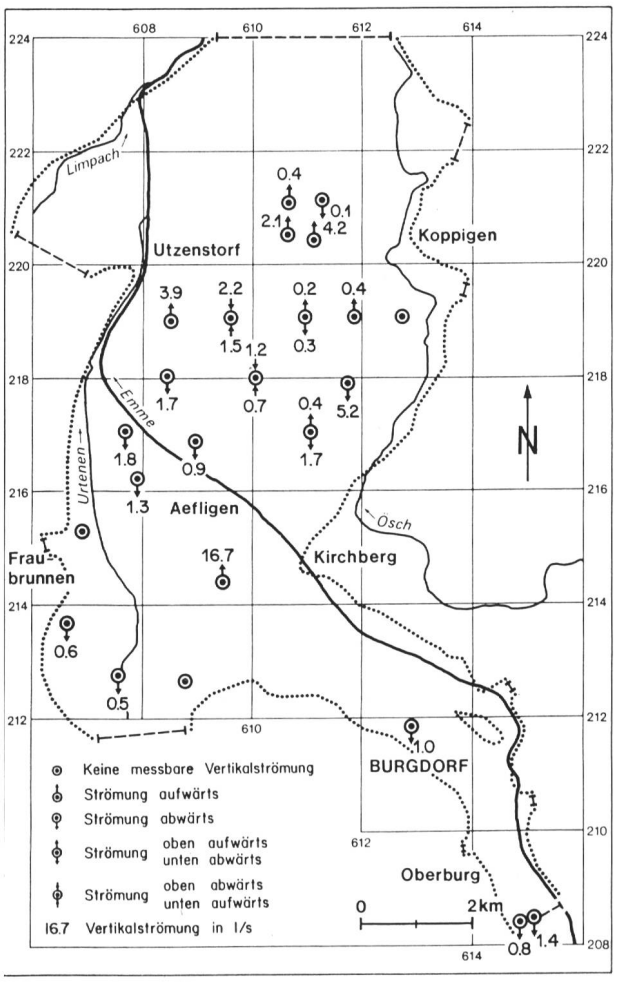


Bild 4. Mit dem Flowmeter ermittelter Volumenstrom Q_z in einer Aufschlussbohrung und daraus berechnete radiale Zu- und Wegflüsse q_{r_z}.

durch Chlorkohlenwasserstoffe sowie der Interpretation von schichtweise entnommenen Proben zur physikalisch-chemischen Untersuchung des Grundwassers vermehrt beachtet werden. Darüber hinaus müssen die Bohrungen gezielt in genau definierten Zonen verfiltert und die übrigen Bereiche sorgfältig gedichtet werden. Zweckmässigerweise wird pro Tiefenzone eine separate Bohrung angeordnet. Bei grosser Trockentiefe müssen gelegentlich aus Kostengründen mehrere Piezometer in dieselbe Bohrung eingebaut werden. Dies hat aber einen hinreichend grossen Bohrdurchmesser zur Voraussetzung, damit eine einwandfreie Schüttung der Dichtungskerne gewährleistet werden kann.

Bild 5. Vertikale Volumenströme Q_z, die im Testgebiet Emmental ermittelt wurden [3].



Vertikalströmungen in Aufschlussbohrungen erschweren Durchlässigkeitsuntersuchungen beträchtlich. Leicht werden Resultate vorgetäuscht, die stark von den tatsächlichen Verhältnissen abweichen. In solchen Fällen kann mit der Flowmeterbefahrung Abhilfe geschaffen werden. Aus den bei Nullfahrt und bei Entnahme gemessenen Volumenströmen und ihren Differenzen kann nach Korrektur der Reibungs- und Impulsverluste auf die den einzelnen Einströmbereichen zuzuordnenden Bereichs-*k*-Werte und daraus durch Bildung des Gewichtsmittels auf den für das ganze Bohrprofil massgeblichen Profil-*k*-Wert geschlossen werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich aber auch in negativer Hinsicht interpretieren. So sind zum Beispiel durchgehend perforierte Aufschlussbohrungen wegen der durch Vertikalströmungen verfälschten Temperaturschichtung ungeeignet, um die Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser zu verfolgen. Dazu sind vielmehr kleinkalibrige Vollrohre mit sorgfältig abgedichteter Stützschicht zu verwenden.

Schlussfolgerung

Gesamthaft betrachtet hat das genauere Studium der durch die Heterogenität des Untergrundes verursachten Vertikalströmungen die Erkundung und Bewirtschaftung des Grundwassers noch komplizierter gemacht. Vor allem wurde offensichtlich, dass Modellvorstellungen von homogenen isotropen Grundwasserleitern und die daraus abgeleiteten Berechnungsverfahren immer nur eine erste Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse zu liefern imstande sind. Um den tatsächlichen Verhältnissen näherzukommen, haben fachmännisch geplante und durchgeführte Felduntersuchungen wiederum vermehrt an Bedeutung gewonnen.

Literatur

[1] *Blau R. V.* et al.: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental. Handbuch zum Nationalen Forschungsprogramm «Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes», GWA Nr. 5, 1984.

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

[3] *Blau R. V.* et al.: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental. Schlussbericht zum Nationalen Forschungsprogramm «Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes», GWA Nr. 9, 1983.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. h.c. *Ernst U. Trüeb,* Eidg. Technische Hochschule Zürich, CH-8093 Zürich-Hönggerberg.