

Eine Untersuchung zum Einfluss voll verfilterter Messstellen auf die Grundwasserbeschaffenheit

Jörg Dehnert, Karin Kuhn, Thomas Grischek, Rosemarie Lankau, Wolfgang Nestler

Kurzfassung

Vor- und Nachteile von voll verfilterten und von tiefenorientiert ausgebauten Messstellen in Porengrundwasserleitern werden in der hydrogeologischen Praxis unterschiedlich bewertet. Obwohl das Regelwerk auf die Gefahren einer Grundwasservermischung im Abstrom von voll verfilterten Messstellen hinweist, werden solche Messstellen viel zu häufig errichtet. Im Beitrag wird eine Übersicht über die Empfehlungen des Regelwerks zur Auswahl geeigneter Messstellentypen gegeben und eine Untersuchung zum Einfluss voll verfilterter Messstellen auf die Grundwasserbeschaffenheit an zwei Messstellenbündeln vorgestellt. Bestandteil der Messstellenbündel sind voll verfilterte Versuchsbrunnen, nach deren Verfüllung sich die Grundwasserbeschaffenheit drastisch änderte. Die mittleren Nitratkonzentrationen im oberen Teil eines Grundwasserleiters gingen innerhalb von sechs Wochen von 90 mg/l auf 14 mg/l zurück. Vom Bau neuer voll verfilterter Messstellen in Porengrundwasserleitern wird abge-

raten, wenn Vertikalströmungen in den Messstellen nicht ausgeschlossen werden können.

Abstract

Advantages and disadvantages of fully screened and depth-orientated observation wells in porous aquifers are diversely evaluated in hydrogeological practice. Although guidelines refer to the risk of groundwater mixing downstream of fully screened wells, installation of fully screened wells continues. This paper includes an overview of guidelines for selection of suitable observation wells as well as results from an investigation on the impact of fully screened wells in two observation well installations. These results indicate that, after filling the fully screened wells, the measured groundwater quality changed drastically. The mean nitrate concentrations in the upper layer of the aquifer decreased from 90 to 14 mg/L within six weeks. Building new fully screened wells in porous aquifers is discouraged if vertical flow in the wells cannot be excluded.

Dr. J. Dehnert, Dipl.-Hydrol. K. Kuhn, Dipl.-Chem. R. Lankau, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Ref. Grundwasser, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden, Telefon: 0351-8928325, Telefax: 0351-8928245, E-Mail: joerg.dehnert@lfug.smul.sachsen.de, karin.kuhn@lfug.smul.sachsen.de, rosemarie.lankau@lfug.smul.sachsen.de

Dipl.-Ing. Th. Grischek, Technische Universität Dresden, Institut für Wasserchemie, 01062 Dresden, Telefon: 0351-4634967, Telefax: 0351-4637271, E-mail: grischek@rcs.urz.tu-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Nestler, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), LB Geotechnik & Wasserwesen, Postfach 120701, 01008 Dresden, Telefon: 0351-4623350, Telefax: 0351-4622195, E-mail: nestlerw@htw-dresden.de

Eingang des Beitrages: 02.02.2001

Eingang des überarbeiteten Beitrages: 05.09.2001

Einleitung

Auch heute noch werden in Porengrundwasserleitern viel zu häufig voll verfilterte Messstellen oder Messstellen mit unangemessen langen Filtern errichtet, um Grundwasserproben zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit zu entnehmen. Das ist verwunderlich, weil das Regelwerk seit Jahren auf die mit voll verfilterten Messstellen verbundenen Nachteile hinweist. Wesentliche Argumente sind:

- Vertikale Potenzialunterschiede in Grundwasserleitern verursachen Vertikalströmungen in Filterrohren und Filterschüttungen, die zur Veränderung einer vertikal differenzier- ten Beschaffenheit im Abstrom von Messstellen führen können.
- Schadstoffe im Grundwasser können in bisher nicht kontaminierte Bereiche des Grundwasserleiters verschleppt werden.
- Ohne den Einsatz aufwendiger Probennahmesysteme können nur zuflussgewichtete Mischproben entnommen werden, deren Nutzen für viele Aufgaben fraglich ist.
- Nachweis und Quantifizierung von Schadstoffen im Grundwasser sind anhand von Mischproben nicht sicher möglich.

- Mischproben sind häufig nicht repräsentativ, weil das hydraulische Kriterium des DVWK (1997) nicht erfüllt werden kann. Schon 1983 beklagte SCHENK, dass voll verfilterte Messstellen vielfach aus Unkenntnis errichtet werden. KRITZNER (1992) stellte die Repräsentativität von Grundwasserproben aus voll und mehrfach verfilterten Messstellen in Frage, weil sich bei inhomogenem Untergrund häufig vertikale Kurzschlussströmungen einstellen. Beispielsweise wurden bei einer Untersuchung von 25 Messstellen in Baden-Württemberg an neun Messstellen natürliche Vertikalströmungen nachgewiesen (BARCZEWSKI et al. 1993). HANDELS (1998) fand solche auf- und abwärtsgerichteten Strömungen bei einer Probennahmekampagne zur Untersuchung einer Rüstungsalast. Die Wirkung voll verfilterter Messstellen im Grundwasserleiter haben BARCZEWSKI et al. (1996) anhand eines Beispiels abgeschätzt: Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $2 \cdot 10^{-4}$ m/s und einem Gefälle von 1 % stellt sich in einer voll verfilterten 4"-Grundwassermessstelle bei einem Druckhöhenunterschied von 1 cm auf 10 m Tiefe und bei Vernachlässigung der Strömungsfokussierung eine vertikale Strömungsgeschwindigkeit ein, die etwa 100.000-fach größer ist als die horizontale Durchströmung der Messstelle. In diesem Beitrag werden eine Übersicht über die Empfehlungen des Regelwerks zur Auswahl geeigneter Messstellentypen gegeben und die teilweise drastischen Wirkungen voll verfilterter Messstellen auf Strömung und Beschaffenheit in Porengrundwasserleitern an einem Beispiel veranschaulicht. Messstellen in Kluft- und Karstgrundwasserleitern werden nicht betrachtet.

Grundwassermessstellen

Der Messstellentyp muss dem Erkundungsziel und der hydrogeologischen Situation entsprechen. Zur Erreichung des Erkundungsziels kann die Gewinnung von Mischwasserproben über größere vertikale Abschnitte des Grundwasserleiters oder von tiefenorientierten Grundwasserproben notwendig sein. Mischwasserproben ermöglichen einen zusammenfassenden Überblick über die Grundwasserbeschaffenheit eines größeren grundwassererfüllten Raumes. Die Mehrheit der hydrogeologischen Aufgaben erfordert jedoch eine tiefenorientierte Beprobung des Grundwasserleiters, beispielsweise die Erkundung der räumlichen Ausdehnung einer Grundwasserkontamination. Die Bedeutung einer sorgfältigen Anpassung von Grundwassermessstellen an die hydrogeologische Situation wird oft unterschätzt. Neben der richtigen Anordnung der Filterlage zur Erreichung des Erkundungsziels kommt es vor allem darauf an, vertikale Strömungsvorgänge in Filter und Filterschüttungen zu unterbinden, weil diese zur Veränderung einer vertikal differenzierten Beschaffenheit und zum Verschleppen von Schadstoffen führen können. Da eine nachträgliche Änderung der Beobachtungskonzeption der Grundwasserbeschaffenheit nur mit großem technischen Aufwand oder überhaupt nicht realisierbar ist (LAWA 1999), nimmt die Wahl des geeigneten Messstellentyps eine Schlüsselfunktion bei der Grundwasserbeobachtung ein. Folgende Messstellentypen können unterschieden werden (DVWK 1997):

- voll verfilterte Messstellen,
- mehrfach verfilterte Messstellen,
- Messstellenbündel,

- Messstellengruppen und
- Sondermessstellen.

Voll verfilterte Messstellen sind über den gesamten Grundwasserleiter verfiltert. *Mehrfach verfilterte Messstellen* verfügen über mehrere, durch Vollrohre voneinander getrennte Filterstrecken, die durch Dichtungen im Ringraum hydraulisch voneinander getrennt sind. Beide Messstellenarten erlauben eine tiefenorientierte Probennahme nur in Verbindung mit technisch aufwendigen Probennahmesystemen, die zur Verhinderung von Vertikalströmungen auf Dauer in den Messstellen verbleiben müssen. Hierzu zählen Packersysteme, Multi-Level-Systeme, Separation-Pumping-Systeme, Baffle-Systeme und Multiport sock sampler-Systeme (LERNER & TEUTSCH 1995). Eine Beschreibung ausgewählter Probennahmetechniken findet sich bei NILSSON et al. (1995 a), SCHIRMER et al. (1995) und KALERIS et al. (1995). Untersuchungen zum Vergleich verschiedener Probennahmesysteme wurden von NILSSON et al. (1995 b) sowie JONES & LERNER (1995) vorgestellt. Die Wirksamkeit solcher Probennahmesysteme ist unterschiedlich, weil Packersysteme über die Filterschüttungen der Messstellen umströmt werden können und auch durch Abdichtungen in den Filterschüttungen eine Umströmung nicht auszuschließen ist. Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Probennahmesystemen ist im Einzelfall schwierig.

Messstellenbündel bestehen aus mehreren innerhalb einer Bohrung in verschiedenen Tiefen installierten Messstellen. Die Entnahmehorizonte aller Messstellen müssen sorgfältig durch Dichtungen voneinander getrennt werden, was nicht immer gelingt. Ein weiterer Nachteil dieser Messstellenart ist der große Bohrlochdurchmesser und die damit verbundene Störung des natürlichen Untergrundes.

Messstellengruppen bestehen aus einzelnen, in separaten Bohrungen installierten Grundwassermessstellen mit unterschiedlichen Ausbautiefen. Diese Messstellenart ist robust und funktionssicher. Der Untergrund wird minimal gestört. Zudem lässt sich die Messstellengruppe gut an eine Schichtung des Grundwasserleiters anpassen.

Sondermessstellen sind Messstellen mit unterschiedlichem Aussehen. Sie können aus im Bohrloch punktförmig angeordneten, verloren eingebauten Förderelementen oder aus verfilterten Messstellen mit installierten Probennahmesystemen bestehen. Sie eignen sich für besonders komplizierte Schichtungen des Grundwasserleiters, die Beprobungsmöglichkeiten in zahlreichen Tiefen erfordern und für Fälle, bei denen der Ort für die Befüllung des Probennahmegefäßes nicht über dem Entnahmepunkt an der Erdoberfläche angeordnet werden kann. Hierzu gehören die unterhalb der Sohlen von Flüssen installierten Kolmationsmessstellen, wo die Proben über Schlauchleitungen zur Befüllung der Probennahmegefäße an das Flussufer gefördert werden (NESTLER et al. 1993) oder Multi-Level-Brunnen (LEUCHS 1988).

Für eine tiefenorientierte Probennahme sind Messstellenbündel, Messstellengruppen und Sondermessstellen geeignet. Bei der Errichtung neuer Messstellen zur langfristigen und routinemäßigen Überwachung des Grundwassers sollte den Messstellengruppen wegen ihrer Robustheit und Funktionssicherheit der Vorzug gegeben werden.

Empfehlungen des Regelwerks zur Wahl des Messstellentyps

In den vergangenen Jahren wurden häufig voll verfilterte Messstellen für unterschiedliche Erkundungsziele errichtet. Nicht selten wurde anschließend festgestellt, dass die Analysenergebnisse von Grundwasserproben aus solchen Messstellen schlecht interpretierbar sind. Die Gründe dafür können u. a. in einer ungenügenden Berücksichtigung der Empfehlungen des Regelwerks zur Wahl des Messstellentyps liegen. Deshalb werden in diesem Abschnitt die Empfehlungen des Regelwerks in Form eines Überblicks zusammenfassend dargestellt:

Nach dem DVWK-Merkblatt 203 „Entnahme von Proben für hydrogeologische Grundwasser-Untersuchungen“ (1982) sind verschiedene Grundwasserstockwerke getrennt zu verfiltern und in Vollwandrohren an die Erdoberfläche zu führen. Es wird darauf hingewiesen, dass auch innerhalb eines Grundwasserleiters erhebliche Unterschiede in der Grundwasserbeschaffenheit auftreten können und darauf zu achten ist, dass an Messstellen kein hydraulischer Kurzschluss über die Filterschüttung entsteht. Bei Grundwassermächtigkeiten ab ca. 20 m wird die Errichtung von Messstellengruppen mit mehreren Einzelmessstellen empfohlen, um einen Ausgleich der Beschaffenheit über das Filterrohr oder die Filterschüttung zu vermeiden. Bei kleineren Grundwassermächtigkeiten soll anhand der Anzahl der vorgesehenen Probennahmen über die Errichtung einer Messstellengruppe oder einer voll verfilterten Einzelmessstelle entschieden werden. Das DVGW-Merkblatt W 121 „Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen“ (1988) empfiehlt die Errichtung von Messstellengruppen mit einzelnen Messstellen zum getrennten Ausbau von Grundwasserstockwerken. Durchbohrte stockwerkstrennende Schichten müssen abgedichtet werden. Es wird weiter empfohlen, auch innerhalb von ausreichend mächtigen Grundwasserstockwerken Messstellengruppen mit flachen und tiefen Messstellen anzulegen. Die Filterlängen sollen sich nach den Aufgabenstellungen sowie nach Lage und Mächtigkeit der maßgeblichen Grundwasserleiter richten. Konkretere Aussagen zu den Filterlängen finden sich nicht. Es wird darauf hingewiesen, dass bei einer Probennahme aus voll verfilterten Messstellen das geförderte Wasser entsprechend den Durchlässigkeitsverhältnissen im Grundwasserleiter zu unterschiedlichen Anteilen aus verschiedenen Schichten stammt. Aus diesen Messstellen können nur mit hohem technischen Aufwand durch eine abschnittsweise Abpackerung der Filterrohre und Schutzbeprobungen schichtspezifische Proben entnommen werden. Beim Verzicht auf die aufwendige Schutzbeprobung werden Packer über die Filterschüttung umströmt, was zur Entnahme von Mischproben führt.

Gleichartige Aussagen enthält die DVWK-Regel 128 „Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben“ (1992). Verschiedene Grundwasserstockwerke sind durch gesonderte Messstellen zu erfassen. Durch den Einbau von Ringraumdichtungen ist sicherzustellen, dass über die meist als hydraulische Kurzschlüsse wirkenden Filterschüttungen keine Strömungsvorgänge erfolgen. Innerhalb eines Stockwerks können bei geringmächtigen und einheitlich aufgebauten Grundwasserleitern voll verfilterte Messstellen errichtet werden. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass das Wasser von Porengrundwasserleitern häufig eine ausgeprägte Schichtung hat und erhebliche vertikal differenzierte Unterschiede in der Beschaf-

fenheit des Grundwassers auftreten. Für eine tiefenspezifische Probennahme sollten einzelne Messbereiche in einem Grundwasserstockwerk als separate Messstellen ausgebaut werden. Das DVWK-Merkblatt 245 „Tiefenorientierte Probennahme aus Grundwassermessstellen“ (1997) geht über die bisherigen Aussagen des Regelwerks hinaus und macht die richtige Auswahl von Messstellenart und -ausbau zu einem Schwerpunkt für die repräsentative Grundwasserprobennahme. Das Merkblatt enthält ausführliche Betrachtungen zur Hydraulik an Grundwassermessstellen, die auf Arbeiten von BARCZEWSKI & MARSCHALL (1990), KALERIS (1992) und KRITZNER (1992) zurückgehen. Es wird darauf hingewiesen, dass an Messstellen mit relativ langen Filterstrecken und an mehrfach verfilterten Messstellen bereits sehr geringe Potenzialdifferenzen zu Vertikalströmungen führen, die eine Vermischung der horizontalen Strömungsanteile verursachen. Das Merkblatt unterscheidet hinsichtlich des Messstellenbaus nicht mehr zwischen der Abfolge mehrerer Grundwasserstockwerke und einem einzelnen Grundwasserleiter, weil die an Messstellen ablaufenden hydraulischen Prozesse davon unabhängig sind und gleichartige Folgen für die Wasserbeschaffenheit haben. An voll verfilterten Messstellen ohne besondere Vorkehrungen entnommene Proben sind Mischproben der Wässer aller verfilterter Schichten und Grundwasserleiter. Vor der Fehlinterpretation der Analysenergebnisse dieser Proben wird gewarnt. Für eine tiefenorientierte Probennahme sind voll verfilterte Messstellen nur in Ausnahmefällen und nur beim Einsatz aufwendiger technischer Systeme geeignet. Dazu muss das Filterrohr abschnittsweise abgepackert und an den darüber- und darunterliegenden Schichten eine Schutzbeprobung durchgeführt werden. Das Merkblatt weist darauf hin, dass beim Vorhandensein oder dem Verdacht auf Vertikalströmungen im Messstellenrohr wirksame Maßnahmen zur Unterbindung der Kurzschlussströmungen und des dadurch verursachten Stofftransports erforderlich sind. Bei der Eignungsprüfung von Messstellen wird die Ermittlung beschaffenheitsbeeinflussender Vertikalströmungen innerhalb der Messstelle im Ruhezustand und während der Beprobung gefordert. Zusammenfassend wird festgestellt, dass bei der Konzeption neuer Messstellen voll verfilterte Messstellen für eine tiefenorientierte Probennahme ungeeignet sind. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bezieht sich in ihren „Empfehlungen zu Konfiguration von Messnetzen sowie zum Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen (qualitativ)“ (1999) auf das DVWK-Merkblatt zur tiefenorientierten Grundwasserprobennahme und stellt fest, dass eine gleichmäßige Verteilung der Wasserinhaltsstoffe im Vertikalprofil eines Grundwasserleiters nicht die Regel sein dürfte. Auch bei homogener Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Grundwasserleiter kommt es an voll verfilterten Messstellen zu Ausgleichsströmungen, die sich auch mit Packern nicht unterbinden lassen. Die LAWA empfiehlt, wegen hydraulischer Kurzschlüsse und der möglichen Gefahr einer Fehlinterpretation von Messwerten, voll verfilterte Messstellen nicht mehr zu errichten. Diese sind nur dort gerechtfertigt, wo als Erkundungsziel eine Mischprobe über den verfilterten Grundwasserleiterteil gefordert wird. Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Regelwerk seit 1982 auf die häufig auftretende vertikal differenzierte Beschaffenheit in Porengrundwasserleitern hinweist und vor einem Ausgleich der Beschaffenheit durch hydraulische Kurzschlüsse über Filterrohre und Filterschüttungen von voll verfilterten Messstellen warnt.

Grundwasserprobennahme aus voll verfilterten Messstellen

Die Entnahme von Mischproben aus voll verfilterten Grundwassermessstellen ist problematisch, weil das hydraulische Kriterium meist nicht sicher bestimmt werden kann. Von repräsentativen Grundwasserproben wird erwartet, dass sie „die in-situ-Verhältnisse eines Grundwasserleiters im Hinblick auf Konzentration und Stoffmuster der Inhaltsstoffe sowie der physikalischen und biologischen Eigenschaften widerspiegeln“ (DVWK 1997). Dazu müssen Grundwassermessstellen abgepumpt werden, bis „das geförderte Wasser dem des umgebenden Grundwasserkörpers entspricht und nicht mehr durch die Messstelle beeinflusst ist“ (DVWK 1992). Zur Bestimmung des Abpumpvolumens sind während des Abpumpvorgangs das hydraulische Kriterium und das Beschaffenheitskriterium zu überwachen. Wenn beide Kriterien erfüllt sind, ist das optimale Abpumpvolumen für eine bestmögliche Repräsentativität der Grundwasserproben erreicht.

Das Beschaffenheitskriterium beinhaltet die Konstanz ausgewählter Leitkennwerte wie elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und Sauerstoffgehalt. Die Konstanz der Leitkennwerte zeigt ein gleichbleibendes Mischungsverhältnis aller durch den Abpumpvorgang erfassten Wässer an. Ein schönes Beispiel diskutiert ZIEGLER (1991).

Das hydraulische Kriterium geht auf die Herkunft des geförderten Wassers ein. Es beinhaltet die Forderung nach einer Grundwasserprobe, in der kein Wasser enthalten sein darf, das sich vor dem Abpumpen im Filterrohr der Messstelle oder im Ringraum aufgehalten hat. Das ist notwendig, weil an einer Grundwassermessstelle Prozesse ablaufen, die die Wasserbeschaffenheit ändern. Dazu gehören Adsorption und Desorption sowie chemische und biologische Reaktionen von Wasserinhaltsstoffen und die Sedimentation von Partikeln. Das hydraulische Kriterium wird auf das Filterrohr und die Filterschüttung bezogen. Es beträgt mindestens das 1,5 fache des Volumens eines Kreiszylinders, der aus der Filterlänge und dem Bohrlochdurchmesser gebildet wird (DVWK 1997). Eine messtechnische Überwachung ist mit dem Leitkennwert Radonaktivitätskonzentration möglich (DEHNERT et al. 1997, 2000).

Bei voll verfilterten Messstellen gilt die Gleichung für das Volumen des Kreiszylinders nur für homogene Grundwasserleiter, bei denen ein gleichmäßiger Grundwasserzufluss über die gesamte Filterlänge erfolgt. Im Regelfall sind Porengrundwasserleiter aber inhomogen und der Grundwasserzufluss ist durchlässigkeitsgewichtet. Die Berechnung des hydraulischen Kriteriums erfordert dann die Kenntnis der Durchlässigkeitsverteilung und eine aufwändige Berechnung z. B. mit Hilfe einer geohydraulischen Modellierung. Ist dieser Aufwand zu hoch oder sind die Durchlässigkeitsverteilungen nicht bekannt, können die Anforderungen an repräsentative Grundwasserproben bzgl. ihrer Herkunft nicht erfüllt werden. Die Grundwasserproben sind dann Mischproben mit unbekanntem Mischungsverhältnis der beteiligten Wässer. Darunter können auch Anteile von Wasser aus dem Filterrohr und der Filterschüttung sein. Das Beschaffenheitskriterium ist in solchen Fällen wenig hilfreich, weil seine Sensitivität mit zunehmendem Abpumpvolumen sinkt. Somit können beide Kriterien bei der Grundwasserprobennahme aus voll verfilterten Messstellen nur bedingt zur

Bewertung der Repräsentativität der Proben herangezogen werden. Ein Beispiel für eine problematische Probennahme aus einer voll verfilterten Messstelle beschreibt HORCHLER (1999), wo sich „voraussichtlich jede beliebige Leitfähigkeitskonstanz zwischen 500 und 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ “ hätte erreichen lassen.

Untersuchungsgebiet

Da den Empfehlungen des Regelwerks zur Wahl des Messstellentyps in der hydrogeologischen Praxis nicht immer gefolgt wird, sollen am Beispiel des Grundwasserleiters von Meißen-Siebeneichen die erheblichen Auswirkungen voll verfilterter Messstellen auf die Grundwasserbeschaffenheit veranschaulicht werden. Das Untersuchungsgebiet (100 mNN) befindet sich im Durchbruchstal der Elbe oberhalb von Meißen (Abb. 1). Der quartäre Grundwasserleiter besteht aus 16 bis 19 m mächtigen, groben Elbeschottern und ist mit Geröllen sowie vereinzelt mit Mittel-, Feinsand- und Schluffeinlagerungen mit Mächtigkeiten bis 0,5 m durchsetzt. Die Unterkante des Grundwasserleiters wird durch den im Karbon gebildeten Meißner Granodiorit begrenzt. Überlagert wird der Grundwasserleiter von einer bis 6 m mächtigen Schluffschicht. Aus Pumpversuchen und Siebanalysen wurde ein repräsentativer Durchlässigkeitsbeiwert von $1,4 \cdot 10^{-3}$ m/s für den Grundwasserleiter ermittelt (HUHLE 1990).

Das Wasserwerk Meißen-Siebeneichen nutzt einen 800 m langen und 200 bis 300 m breiten Uferstreifen im Untersuchungsgebiet zur Rohwassergewinnung. Die Brunnengalerie besteht aus sieben Brunnen. Bei Niedrigwasser der Elbe wurde eine außerhalb des Untersuchungsgebietes liegende zweite Brunnengalerie zugeschaltet. Die Entnahmemenge der Wasserfassung lag 1993 im Mittel bei 3.800 m³/d.

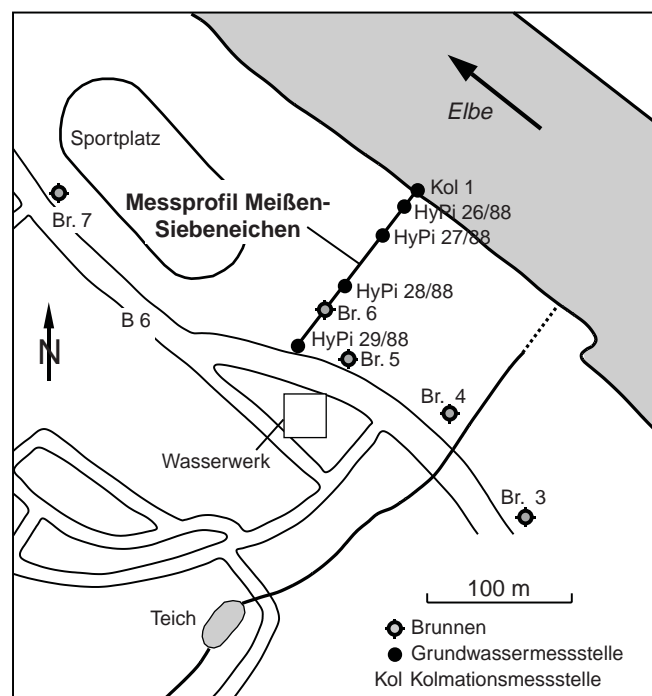


Abb. 1: Lageplan des Untersuchungsgebietes Meißen-Siebeneichen

Messprofil Meißen-Siebeneichen

Zwischen 1987 und 1990 wurden von der damaligen Wasserwirtschaftsdirektion Obere Elbe-Neiße sechs Grundwassermessprofile errichtet (HUHLE 1990). Die zwischen Dresden und Meißen gelegenen Messprofile dienten zur Untersuchung der Uferfiltration bei der Trinkwassergewinnung im Oberen Elbtal (NESTLER 1992). Neben Forschungsarbeiten zur Beschaffenheitsentwicklung des Uferfiltrats sollten auch Fließwege, Fließzeiten und Migrationskennwerte bestimmt werden. Deshalb gibt es an diesen Profilen eine Besonderheit: Bei einigen der tiefenorientiert ausgebauten Messstellenbündel wurde mittig in der Bohrung zusätzlich ein voll verfilterter Versuchsbrunnen gebaut, der später verfüllt werden sollte.

Abbildung 2 zeigt das Messprofil Meißen-Siebeneichen. Das Profil ist 135 m lang und verläuft von der Elbe über den Brunnen 6 des Wasserwerks Meißen-Siebeneichen bis an die Bundesstraße B 6. Es verfügt über eine Kolmationsmessstelle und vier Messstellenbündel mit je vier tiefenorientiert ausgebauten Messstellen. Der Aufbau der Kolmationsmessstelle ist bei NESTLER et al. (1993) dargestellt. Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Messstellenbündels HyPi 28/88. Zur besseren Veranschaulichung wurde in horizontaler Richtung auf eine maßstäbliche Darstellung der kreisförmig um den Versuchsbrunnen angeordneten Messstellen verzichtet. Der Bohrdurchmesser betrug 1.020 mm und wurde mit zunehmender Tiefe auf 920 und 820 mm verringert. Die Grundwassermessstellen wurden mit Hart-PVC-Rohren mit einem Durchmesser von 110 mm ausgebaut und 5, 10, 16 oder 22 m unter Gelände verfiltert. Die Messstellen verfügen über einen 1 m langen Filter und mit Ausnahme der tiefsten Messstelle über ein 1 m langes Sumpfrohr. Der Versuchsbrunnen besteht aus einem horizontal geschlitzten und mit Polyamidgaze umwickelten PVC-Filterrohr mit einem Durchmesser von 315 mm. Der Brunnen wurde von 4,5 bis 21 m unter Gelände verfiltert. Das kiesige Bohrgut wurde wegen seiner hohen Durchlässigkeit als Filtermaterial eingesetzt und der Ringraum des Messstellenbündels mit Bohrgut verfüllt. Die vertikalen Abdichtungen zwischen den Messstellen sind 0,8 m mächtig und be-

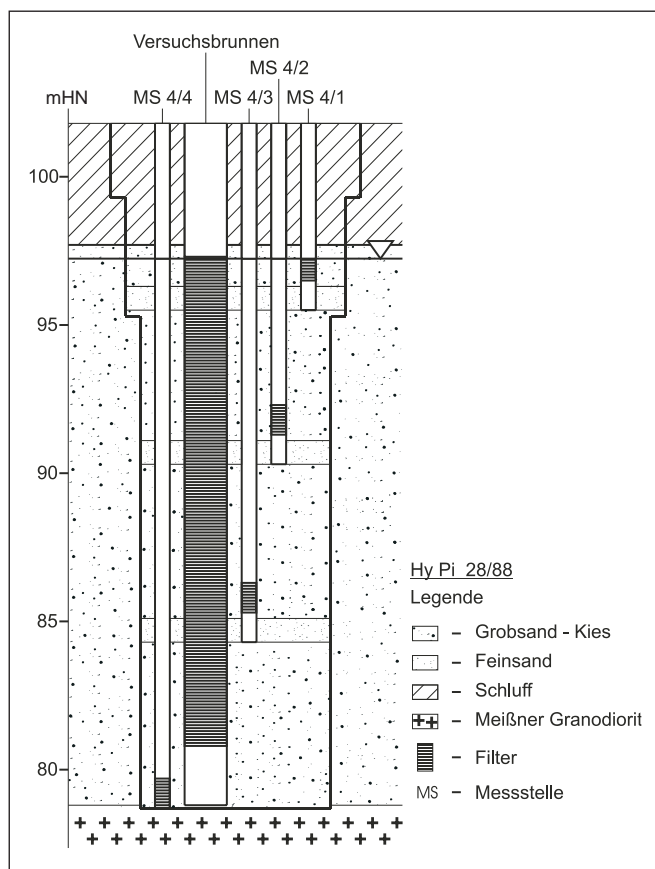


Abb. 3: Messstellenbündel HyPi 28/88, Messprofil Meißen-Siebeneichen

stehen wegen der Migrationsversuche aus gegläutem und gewaschenem Haidaer Feinstsand der Korngröße 0,0 bis 0,4 mm. Die Durchlässigkeit des Feinstsandes beträgt $3,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Der Brunnen 6 wurde 1920 als Kesselbrunnen mit einem Durchmesser von 3.000 mm errichtet. Der Grundwassereintritt erfolgt über eine Kiesschüttung 12 m unter Gelände. Die bis auf

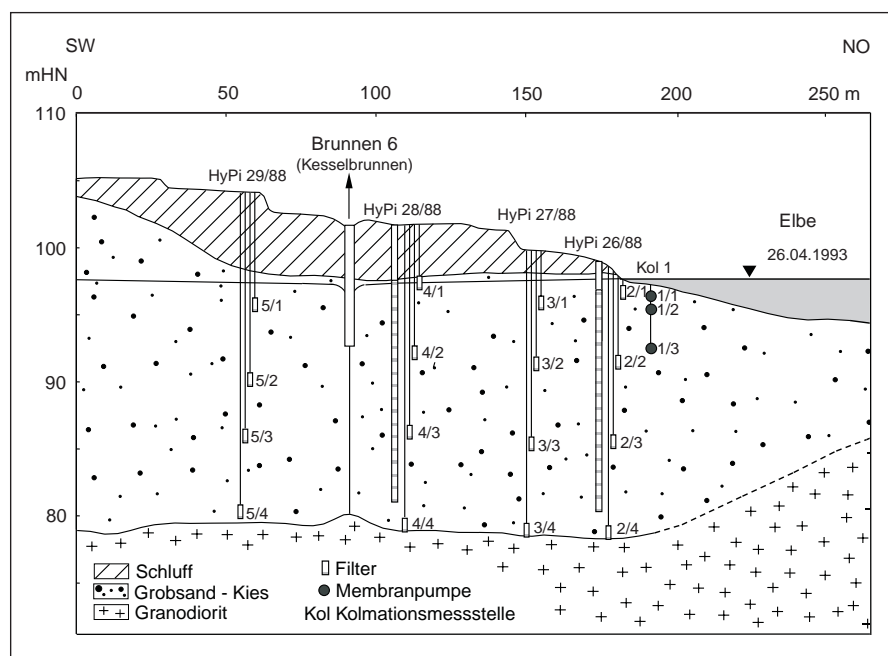


Abb. 2: Messprofil Meißen-Siebeneichen

die Grundwasserleiterunterkante abgeteufte Bohrung wurde bis zur Brunnensohle wieder verfüllt. Der Brunnen förderte nach Angaben des Wasserwerksbetreibers im Jahr 1993 durchschnittlich 1.800 m³/d. Er wurde über den Wasserstand im Reinwasserbehälter gesteuert und war im Mittel 19 Stunden pro Tag in Betrieb.

Untersuchungsergebnisse zu Strömung und Stofftransport am Messprofil Meißen-Siebeneichen wurden von NESTLER et al. (1994, 1998) und NEITZEL et al. (1995, 1998) beschrieben.

Probennahme und Analytik

Im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „Untersuchung der Beschaffendynamik bei der Uferfiltration der Elbe“ wurden am Messprofil Meißen-Siebeneichen von 1991 bis 1994 im Abstand von zwei Wochen regelmäßige Probennahmen durchgeführt und zahlreiche Wasserinhaltsstoffe bestimmt (NESTLER et al. 1994).

Das Abpumpen der Messstellen erfolgte mit einer Unterwassermotorpumpe Grundfos MP1 bei einem Volumenstrom von etwa 25 l/min. Die Pumpe wurde 1 m unterhalb des Grundwasserspiegels eingebaut. Für die Probennahme wurde der Volumenstrom der Pumpe gedrosselt. Die mittleren Abpumpzeiten für die vier Messstellen eines Messstellenbündels betrugen 10, 13, 15 bzw. 20 min. Während des Abpumpvorgangs wurden die Verläufe der Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert und Sauerstoffgehalt mit WTW-Messgeräten im Bypass überwacht.

Nach Filtration der Proben über ein 0,45 µm Cellulose-Acetat-Filter wurden die Nitrat- und Chloridkonzentrationen mittels Ionenchromatographie (Modell 690, Metrohm GmbH, Herisau, Schweiz) und die Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) mittels eines Dohrmann Carbon Analysators (DC190, Rosemount GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt.

Verfüllung der Versuchsbrunnen

Die Verteilung verschiedener Wasserinhaltsstoffe konnte bei Annahme einer ungestörten Grundwasserströmung mit Uferfiltration nicht interpretiert werden. Beispielsweise lag die mittlere Nitratkonzentration im Grundwasser an der zu oberst

verfilterten Messstelle 4/1 des Messstellenbündels HyPi 28/88 bei (90 ± 24) mg/l ($n = 12$). Die mittleren Nitratkonzentrationen in der Elbe betrugen lediglich (28 ± 6) mg/l ($n = 26$) und im landseitig zuströmenden Grundwasser an der zu oberst verfilterten Messstelle des Messstellenbündels HyPi 29/88 (10 ± 2) mg/l ($n = 12$). Gleichzeitig wurden an der am tiefsten verfilterten Messstelle 4/4 des Messstellenbündels HyPi 28/88 hohe Nitratkonzentrationen von (120 ± 7) mg/l ($n = 18$) gefunden. Daher entstand der Verdacht, dass an den Versuchsbrunnen erhebliche Vertikalströmungen auftreten und die natürliche Verteilung der Wasserinhaltsstoffe im Grundwasser stören. Nach Auswertung aller verfügbaren Informationen wurden die Versuchsbrunnen der Messstellenbündel HyPi 26/88 und HyPi 28/88 am 17.05.1993 mit Mittelsand der Korngröße 0,3 bis 0,4 mm verfüllt.

Grundwasserbeschaffenheit nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen

Die Wirkung der Verfüllung der Versuchsbrunnen übertraf alle Erwartungen. Die Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Nitratkonzentrationen im Grundwasser am Messstellenbündel HyPi 28/88 vor und nach der Verfüllung. In Tabelle 1 wurden die mittleren Nitratkonzentrationen von 1992 und 1993 den Nitratkonzentrationen einer Stichtagsmessung drei Tage nach der Verfüllung sowie den mittleren Nitratkonzentrationen von 1993 bis 1996 gegenübergestellt. Die mittleren Nitratkonzentrationen an den weiter oben verfilterten Messstellen 4/1, 4/2 und 4/3 lagen vor der Verfüllung zwischen (45 ± 3) mg/l ($n = 18$) und (90 ± 24) mg/l ($n = 12$). Innerhalb von nur drei Tagen sanken sie auf Konzentrationen von 12 bis 68 mg/l. Bereits drei Wochen nach der Verfüllung entsprachen die Nitratkonzentrationen an diesen Messstellen den in den Folgejahren gemessenen mittleren Nitratkonzentrationen von (2 ± 2) mg/l ($n = 21$) bis (14 ± 6) mg/l ($n = 16$). Die am tiefsten verfilterte Messstelle 4/4 wies dagegen gleichbleibend hohe Nitratkonzentrationen auf. Diese betrugen vor der Verfüllung (120 ± 7) mg/l ($n = 18$) und nach der Verfüllung (118 ± 11) mg/l ($n = 22$).

Die Abbildung 5 zeigt die Nitratverteilung im Grundwasser vor der Verfüllung und sechs Wochen nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen. Die Nitratverteilung im Grundwasser am Mess-

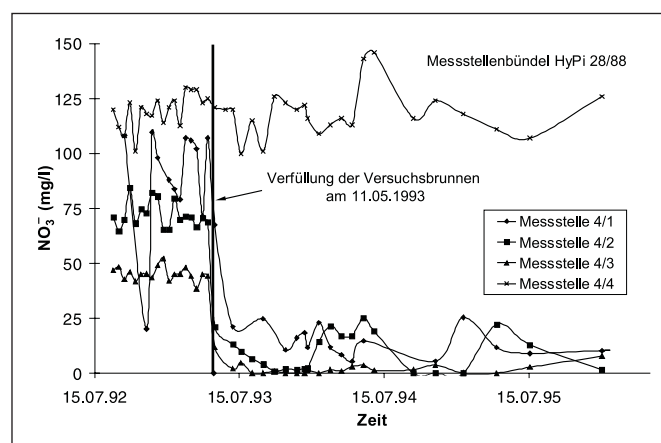


Abb. 4: Verlauf der Nitratkonzentrationen im Grundwasser am Messstellenbündel HyPi 28/88, Messprofil Meißen-Siebeneichen

Tab. 1: Nitratkonzentrationen im Grundwasser am Messstellenbündel HyPi 28/88 vor und nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen, Messprofil Meißen-Siebeneichen

Grundwasser-messstellen (Messstellenbündel HyPi 28/88)	Nitratkonzentration (mg/l)		
	vor der Verfüllung 31.08.1992 –26.04.1993	3 Tage nach der Verfüllung 14.05.1993	nach der Verfüllung 10.06.1993 –15.01.1996
4/1	90 ± 24 ($n = 12$)	68	14 ± 6 ($n = 16$)
4/2	72 ± 6 ($n = 18$)	21	9 ± 8 ($n = 21$)
4/3	45 ± 3 ($n = 18$)	12	2 ± 2 ($n = 21$)
4/4	120 ± 7 ($n = 18$)	121	118 ± 11 ($n = 22$)

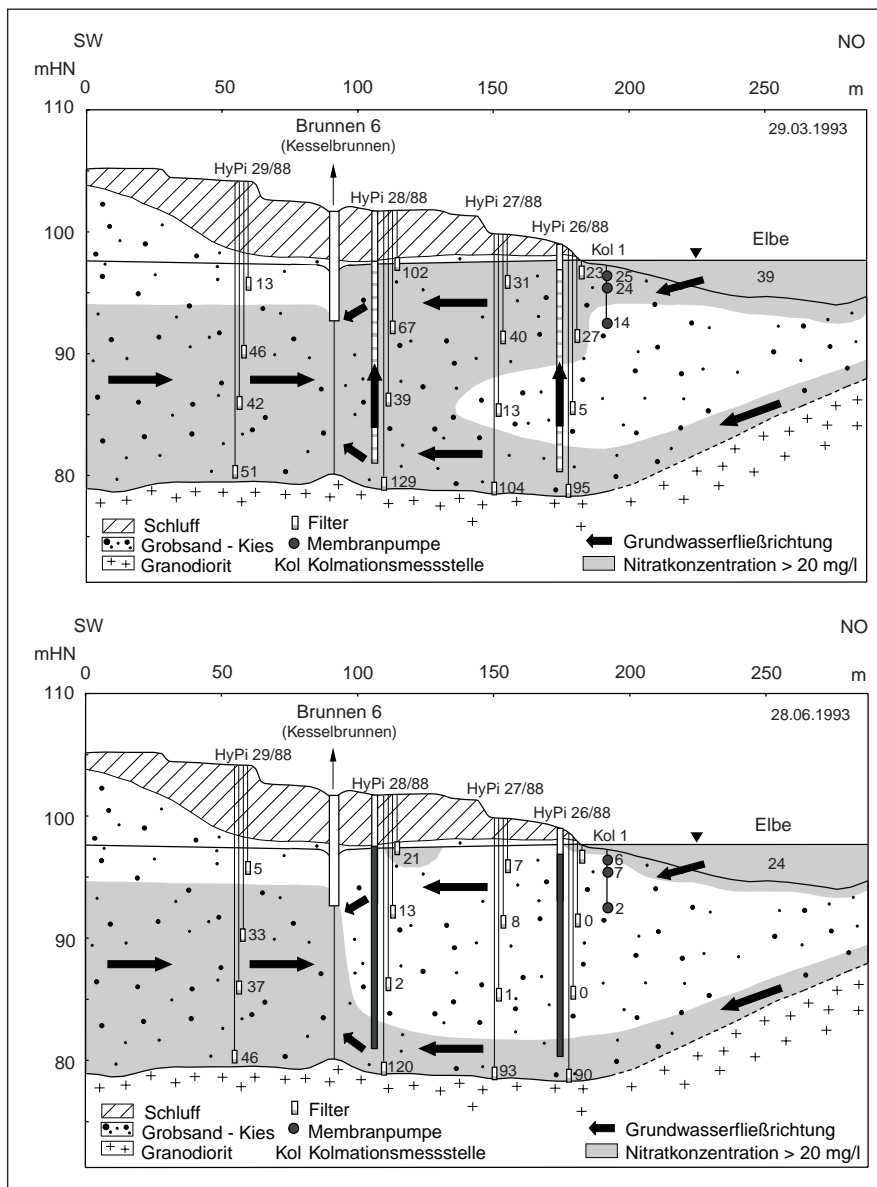


Abb. 5: Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser am Messprofil Meissen-Siebeneichen vor der Verfüllung (oben) und sechs Wochen nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen (unten)

profil Meissen-Siebeneichen hat sich nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen grundlegend verändert und lässt sich seitdem gut interpretieren: Auf den gegenüberliegenden Elbhängen wird Wein angebaut. Dort sind hohe Nitratkonzentrationen im Grundwasser nachweisbar, die auf die Düngung beim Weinanbau zurückzuführen sind. Das stark nitrathaltige Grundwasser kann die Elbe unterströmen und durch den Brunnen 6 des Wasserwerks gefasst werden. Eine Unterströmung der Elbe ist nicht ungewöhnlich und wurde schon für den Raum Torgau nachgewiesen (NESTLER et al. 1996). Die Versuchsbrunnen mit ihren 16,5 m langen Filtern schlossen den Grundwasserleiter über seine ganze Mächtigkeit hydraulisch kurz und ermöglichten den Aufstieg des stark nitrathaltigen Wassers an den Messstellenbündeln HyPi 26/88 und HyPi 28/88. Im Abstrom der Messstellenbündel kam es zu einer Veränderung der vertikal differenzierten Beschaffenheit des Grundwassers. Nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen stellte sich in wenigen Tagen die durch eine ungestörte Grundwasserströmung

verursachte Nitratverteilung am Messprofil Meissen-Siebeneichen ein. Die hohen Nitratwerte bis 100 mg/l im mittleren und oberen Teil des Grundwasserleiters treten nicht mehr auf. Der mittlere Teil des Grundwasserleiters ist weitgehend nitratfrei. Während im unteren Teil des Grundwasserleiters stark nitrathaltiges Wasser die Elbe unterströmt und vom Brunnen 6 gefasst wird, sieht man im oberen Teil des Grundwasserleiters das nitrathaltige Uferfiltrat und die Wirkung der von der Jahreszeit abhängigen Denitrifikation. Die Nitratwerte im Uferfiltrat sind deutlich kleiner als im unteren Teil des Grundwasserleiters und übersteigen nicht mehr den in der Elbe gemessenen Maximalwert von 41 mg/l.

Die Verfüllung der Versuchsbrunnen wirkt sich auch auf die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit, den Summenparameter DOC und die Ionen Chlorid, Calcium, Magnesium, Natrium und Sulfat aus. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Verläufe der Chlorid- und DOC-Konzentrationen am Messstellenbündel HyPi 28/88 vor und nach der Verfüllung der Versuchsbrunnen.

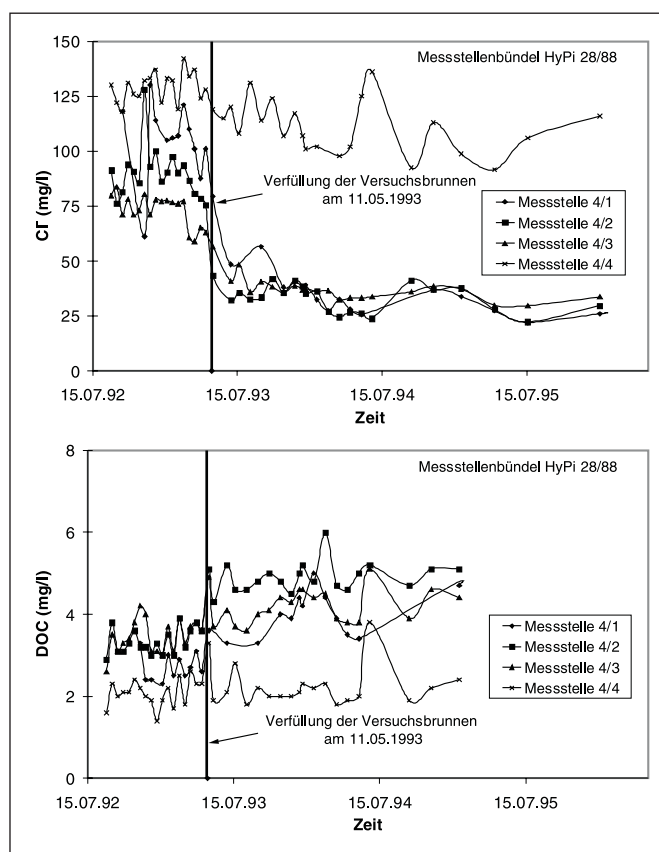


Abb. 6: Verlauf der Chloridkonzentrationen (oben) und der DOC-Konzentrationen (unten) im Grundwasser am Messstellenbündel HyPi 28/88, Messprofil Meißen-Siebeneichen

Zusammenfassung

Grundwassermessstellen müssen an das Erkundungsziel und die hydrogeologische Situation angepasst sein. DVWK, DVGW und LAWA weisen seit 1982 auf eine häufig auftretende, vertikal differenzierte Beschaffenheit in Porengrundwasserleitern hin und warnen vor einem Ausgleich der Beschaffenheit durch hydraulische Kurzschlüsse über Filterrohre und Filterschüttungen von voll verfilterten Messstellen. Vom Bau neuer, voll verfilterter Messstellen in Porengrundwasserleitern wird abgeraten, wenn Vertikalströmungen nicht ausgeschlossen werden können. Besonders an Altlastenstandorten besteht die Gefahr einer Verschleppung von Schadstoffen durch voll verfilterte Messstellen bzw. Messstellen mit langen Filterstrecken. Die Grundwasserprobennahme aus solchen Messstellen ist problematisch, weil das hydraulische Kriterium oft nicht sicher bestimmt werden kann. Die Grundwasserproben sind dann Mischproben mit unbekanntem Mischungsverhältnis der beteiligten Wässer.

Am Beispiel von zwei Messstellenbündeln in Meißen-Siebeneichen wurde gezeigt, welche Folgen das hydraulische Kurzschließen eines Grundwasserleiters durch voll verfilterte Messstellen für die Beschaffenheit des Grundwassers haben kann. Grundwasser aus dem unteren Teil des Grundwasserleiters mit einer mittleren Nitratkonzentration von 120 mg/l stieg an den im Zentrum der Messstellenbündel stehenden voll verfilterten Versuchsbrunnen auf und verteilte sich in deren Abstrom über

den Grundwasserleiter. Nach der Verfüllung der Brunnen kam die aufwärts gerichtete Strömung zum Erliegen und die mittleren Nitratkonzentrationen im oberen Teil des Grundwasserleiters gingen von 90 mg/l auf 14 mg/l zurück.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie für die Förderung des Vorhabens „Untersuchung der Beschaffenheitsdynamik bei der Uferfiltration der Elbe“ (02WT9162/0). Herrn Oese und Herrn Naake vom Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden danken wir für ihr Engagement bei den Probennahmen, Herrn Macheleidt von der HTW Dresden (FH) für seine Mitwirkung bei der Verfüllung der Versuchsbrunnen und Frau Krause vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie für das Zeichnen der Abbildung 3. Herr Dr. Huhle von der Stelle für Gebietsgeologie beim Staatlichen Umweltfachamt Radebeul und Herr Scheerbaum vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie haben uns wertvolle Hinweise gegeben.

Literaturverzeichnis

- BARCZEWSKI, B., MARSHALL, P. (1990): Untersuchungen zur Probenahme aus Grundwassermessstellen.- *Wasserwirtschaft* 80 (10): 506–513.
- BARCZEWSKI, B., GRIMM-STRELE, J., BISCH, G. (1993): Überprüfung der Eignung von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen.- *Wasserwirtschaft* 83 (2): 72–78.
- BARCZEWSKI, B., KRITZNER, W., NITSCHKE, C. (1996): Tiefenorientierte Grundwasserprobennahme zur Messung der Wasserbeschaffenheit.- *Wasserwirtschaft* 86 (9): 446–451.
- DEHNERT, J., NESTLER, W., FREYER, K., TREUTLER, H.C., NEITZEL, P., WALTHER, W. (1997): Radon-222 – ein neuer Leitkenwert zur Bestimmung optimaler Abpumpzeiten von Grundwassermessstellen.- *Grundwasser* 2 (1): 25–33.
- DEHNERT, J., KUHN, K., FREYER, K., TREUTLER, H. C. (2000): Überwachung des hydraulischen Kriteriums bei der Grundwasserprobennahme.- *Wasser und Abfall* 2 (1–2): 24–30.
- DVGW (1988): Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen, Merkblatt W 121.- 19 S.; Eschborn.
- DVWK (1982): Entnahme von Proben für hydrogeologische Grundwasser-Untersuchungen, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, H. 203.- 26 S.; Hamburg, Berlin.
- DVWK (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben, Regeln zur Wasserwirtschaft, H. 128.- 36 S.; Hamburg, Berlin.
- DVWK (1997): Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, H. 245.- 13 S.; Bonn.
- HANDELS, S. (1998): Projektspezifische Grundwasserprobennahme – Widerspruch zur Anwendung gängiger Richtlinien? - *Wasser Abwasser Praxis* 7 (3): 15–18.
- HORCHLER, D. (1999): Besondere Grundwassermessstellen: Interpretation einer nicht alltäglichen Leitfähigkeitsganglinie bei der Grundwasserprobennahme.- *altlasten-spektrum* 8 (1): 48–49.
- HUHLE, K. (1990): Ergebnisbericht VE Pirna-Mühlberg II/Messprofile.- 31 S., Hydrogeologie GmbH, NL Dresden, unveröff.
- JONES, I., LERNER, D.N. (1995): Level-determined sampling in an uncaused borehole.- *J. Hydrology* 171: 291–317.
- KALERIS, V. (1992): Strömungen zu Grundwassermessstellen mit langen Filterstrecken bei der Gewinnung durchflussgewichteter Mischproben.- *Wasserwirtschaft* 82 (1): 5–11.

- KALERIS, V., HADJITHEODOROU, C., DEMETRACOPOULOS, A.C. (1995): Numerical simulation of field methods for estimating hydraulic conductivity and concentration profiles.- J. Hydrology 171: 319–353.
- KRITZNER, W. (1992): Verfahren und Techniken zur Entnahme repräsentativer teufenorientierter Grundwasserproben.- Wasserwirtschaft 82 (1): 13–17.
- LAWA (1999): Empfehlungen zu Konfiguration von Messnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen (qualitativ).- 32. S.; Schwerin.
- LERNER, D.N., TEUTSCH, G. (1995): Recommendations for level-determined sampling in wells.- J. Hydrology 171: 355–377.
- LEUCHS, W. (1988): Vorkommen, Abfolge und Auswirkungen anoxischer Redoxreaktionen in einem pleistozänen Grundwasserleiter, Bes. Mitt. dt. gewässerkdl. Jb. Nr. 52, 106 S., Landesamt für Wasser und Abfall des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- NEITZEL, P., NESTLER, W., GRISCHEK, T., DEHNERT, J. (1995): Analytischer Nachweis und Verhalten von Pflanzenschutzmitteln mit organisch gebundenem Stickstoff in der Oberelbe und bei der Uferfiltration.- Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 44 (1): 52–59.
- NEITZEL, P., ABEL, A., GRISCHEK, T., NESTLER, W., WALTHER, W. (1998): Verhalten von Arylsulfonaten bei der Uferfiltration und unter Laborbedingungen.- Vom Wasser 90: 245–271.
- NESTLER, W. (1992): Monitoringsystem zur Überwachung des Uferfiltrats.- Die Geowissenschaften 10 (2): 49–53.
- NESTLER, W., KRITZNER, W., GRISCHEK, T., DEHNERT, J. (1993): Das Beschaffenheitsüberwachungssystem für das Uferfiltrat der sächsischen Elbe, Konzeption und Erfahrungen bei Entwurf, Bau und Betrieb.- Wasser & Boden 45 (9): 707–728.
- NESTLER, W., NEITZEL, P., GRISCHEK, T., DEHNERT, J. (1994): Untersuchung der Beschaffenheitsdynamik bei der Uferfiltration der Elbe.- Abschlussbericht zum BMFT-Forschungsprojekt 02 WT 9162/o, 123 S., Technische Universität Dresden, unveröff.
- NESTLER, W., DEHNERT, J., NEITZEL, P., GRISCHEK, T., NITZSCHE, I. (1996): Untersuchungen zur Unterströmung der Elbe.- Wasser & Boden 48 (5): 53–58.
- NESTLER, W., WALTHER, W., JACOBS, F., TRETTIN, R., FREYER, K. (1998): Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe.- 204 S., UFZ-Bericht Nr. 7/1998, ISSN 0948-9452.
- NILSSON, B., JAKOBSEN, R., ANDERSEN, L.J. (1995 a): Development and testing of active groundwater samplers.- J. Hydrology 171: 223–238.
- NILSSON, B., LUCKNER, L., SCHIRMER, M. (1995 b): Field trials of active and multi-port sock samplers in gravel-packed wells.- J. Hydrology 171: 259–289.
- SCHENK, V. (1983): Erfahrungen beim Bau tiefer Grundwassermessstellen und bei der Bestimmung des Probenahmezeitpunktes.- bbr 34 (2): 51–56.
- SCHIRMER, M., JONES, I., TEUTSCH, G., LERNER, D.N. (1995): Development and testing of multi-port sock samplers for groundwater.- J. Hydrology 171: 319–353.
- ZIEGLER, H. (1991): Sachgerechte Probenahme zur exakten Kontrolle der Grundwasserqualität.- WLB Wasser, Luft und Boden 35 (6): 38.

