

Bestimmung geeigneter Förder-raten bei der Grundwasser-probennahme mithilfe von Partikel- und Radonmessungen

Jörg Dehnert, Peter L. Neitzel, Uwe Döring, Rosemarie Lankau,
Petra Schneider, Klaus Freyer, Karin Kuhn

Kurzfassung

Bei der Grundwasserprobennahme mit Pumpen empfehlen verschiedene Autoren wegen erhöhter partikelgebundener Stoffgehalte und möglicher Entgasungen die Anwendung kleiner Förderraten bis 0,5 l/min. Solche Förderraten führen zu einem hohen Zeitaufwand für die Probennahme. Aus diesem Grund wurde untersucht, welche Förderraten für repräsentative Grundwasserprobennahmen im Lockergestein geeignet sind. Dazu wurden bei Pumpversuchen an Grundwassermessstellen kontinuierlich Proben entnommen und entweder Anzahl, Volumen und Oberfläche der Partikel bestimmt oder die Aktivitätskonzentration des Edelgases Radon-222 gemessen. Die Partikelkennwerte erreichten schon nach Abpumpvolumen von wenigen hundert Litern Plateauwerte, die von den Förderraten unabhängig waren. Die Radonaktivitätskonzentration war von den Förderraten ebenfalls unabhängig. Daraus folgt für eine sachgerechte Probennahme, dass größere Förderraten die Repräsentativität von Grundwasserproben nicht gefährden, wenn die Ergiebigkeit der Grundwasserleiter unter Berücksichtigung des Messstellenausbaus nicht überschritten wird.

Abstract

Optimisation of pumping rates for ground water sampling based on suspended solids and radon measurements

During the last years various authors recommended low-flow purging and sampling ($\leq 0,5$ l/min) for ground water sampling due to increased transport of particle bound compounds and the possibility of degasification. Low-flow sampling needs more sampling time than conventional sampling techniques. The aim of the study was the evaluation of effects of different pumping rates for the representativeness of ground water samples. Pumping tests were performed using different pumping rates including continuous ground water sampling. Following parameters of the ground water samples were investigated: amount, volume and surface area of the solid particles or radon activity concentration. The parameters of solid particles reached plateau values even after some hundred litres of abstracted volume. These plateau values, as well as the measured radon activity concentrations, did not depend on the pumping rates. It can be concluded from the investigation results, that the variability of the pumping rate does not affect the representativeness of ground water samples if the pumping rates do not exceed the safe yield of the aquifer taking into consideration the construction of the observation wells.

Dr. J. Dehnert, Dipl.-Chem. R. Lankau, Dipl.-Hydrol. K. Kuhn,
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
Referat Grundwasser, Altlasten,
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden,
Telefon: 0351-8928-325, Telefax: 0351-8928-245,
E-Mail: joerg.dehnert@lfug.smul.sachsen.de,

Dr. P.L. Neitzel, Dipl.-Geol. P. Schneider,
Hydroisotop-Piewak GmbH,
Oberfrohnauer Str. 84, 09117 Chemnitz,

U. Döring,
Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft,
Dresdner Str. 78 C, 01445 Radebeul,

Dr. K. Freyer,
UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Analytik,
Postfach 2, 04301 Leipzig,

Eingang des Beitrages: 12.03.2003

Eingang des überarbeiteten Beitrages: 04.04.2003

Einleitung

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) betreibt zwei landesweite Grund- und 23 Sondermessnetze mit insgesamt 1.748 Messstellen zur Grundwasserbeobachtung. An 402 Messstellen werden ein- oder zweimal jährlich Proben zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit entnommen. Die Probennahmen werden im Auftrag des LfUG von der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft (UBG) durchgeführt. Die Messergebnisse gehen in Auswertungen der Umweltverwaltung des Freistaates Sachsen ein und werden als Stützstellen für weitere Messnetze verwendet. An die Repräsentativität der Messergebnisse werden daher hohe Anforderungen gestellt. Außerdem müssen die Messnetze effektiv betrieben werden, um mit den vorhandenen Mitteln sämtliche Beobachtungsaufgaben erfüllen zu können. Dazu zählen neben der allgemeinen Grundwasser-

beobachtung oder der Überwachung von Grundwasserschadensfällen auch ganz spezielle Aufgaben, wie z. B. die Untersuchung der Auswirkungen der Sächsischen Schutz- und Ausgleichsverordnung (SächsSchAVO) auf das Grundwasser in Wasserschutzgebieten. Aus diesen Gründen sollen die Kenntnisse über eine repräsentative und gleichzeitig effektive Grundwasserprobennahme im LFUG vertieft und von der UBG angewendet werden.

Bekanntlich müssen Grundwassermessstellen vor der Entnahme repräsentativer Pump- oder Schöpfproben abgepumpt werden. Die Dauer des Abpumpens ist ein wesentlicher Bestandteil des Zeitaufwandes für die Probennahmen. Sie hängt hauptsächlich von den Förderraten der Pumpen ab, die durch die Ergiebigkeit der Grundwasserleiter, den Messstellenausbau und die Leistungsfähigkeit der Pumpen nach oben begrenzt sind. Wenn die Ergiebigkeit der Grundwasserleiter und der Messstellenausbau es zulassen, sind mit den häufig eingesetzten Pumpen Grundfos MP 1 Förderraten bis 33 l/min möglich. Änderungen der Förderraten während des Abpumpens beeinflussen die hydraulischen Verhältnisse an den Messstellen und verursachen Druckänderungen in den Probennahmesystemen. Diese können verschiedene, schwer kontrollierbare Auswirkungen auf die Probennahme haben, z. B. die Leitkennwerte ändern. Aus diesem Grund werden die Förderraten beim Probennahmeregime der UBG auf einen möglichst großen Wert eingestellt und bis zum Ende der Probennahme konstant gehalten. Die Grundwasserproben werden unmittelbar hinter der Steigleitung der Pumpe über einen permanent geöffneten Bypass aus dem Förderstrom entnommen, wobei der Fluss durch den Bypass auch bei größeren Förderraten höchstens 1 l/min beträgt.

Verschiedene Autoren empfehlen für die Grundwasserprobennahme kleine Förderraten bis maximal 0,5 l/min, um erhöhte partikelgebundene Stoffgehalte und eine mögliche Entgasung der Proben zu vermeiden. Damit trat die Frage auf, ob die nach dem Probennahmeregime der UBG mit Förderraten bis 33 l/min entnommenen Grundwasserproben repräsentativ sind. Falls das nicht der Fall ist, müsste das Probennahmeregime geändert werden. Die Anwendung kleiner Förderraten würde jedoch den Zeitaufwand für die Beprobung der Messnetze deutlich erhöhen und eine Kapazitätserhöhung bei der UBG erforderlich machen. Um diese Frage zu beantworten, wurde die Fachliteratur hinsichtlich der angewendeten Förderraten bei der Grundwasserprobennahme gesichtet. Dabei zeigte sich, dass in der Literatur unterschiedliche Auffassungen vertreten werden und eine eindeutige Aussage über zulässige Förderraten für eine repräsentative Grundwasserprobennahme nicht abgeleitet werden konnte. Aus diesem Grund wurden eigene Untersuchungen zur Bestimmung optimaler Förderraten bei der Probennahme durchgeführt. Grundwassermessstellen im Lockergestein wurden mit unterschiedlichen Förderraten abgepumpt und das Auftreten von Partikeln im Förderstrom der Pumpen bzw. das Verhalten des im Wasser gelösten, leicht flüchtigen Edelgases Radon-222 untersucht. Die Grundwasserprobennahme in Kluft- und Karstgrundwasserleitern wird nicht betrachtet.

Förderraten in der Literatur

Die Wahl geeigneter Förderraten bei der Grundwasserprobennahme wird in der Literatur konträr diskutiert. Ein Teil der Autoren empfiehlt kleine Förderraten bis 0,5 Liter pro Minute,

um die Mobilisierung immobiler Partikel mit daran adsorbierten Wasserinhaltsstoffen und ein mögliches Entgasen leichtflüchtiger Stoffe aus Grundwasserproben zu vermeiden (PULS & BARCELONA 1989, BARCELONA et al. 1990, PULS et al. 1991, PULS & POWELL 1992 u. a.). Andere Autoren sehen durch zu kleine Förderraten die Repräsentativität von Grundwasserproben gefährdet, weil Sauerstoff durch Schläuche in die Proben diffundieren kann und die Proben durch Temperaturänderungen altern können (WILSON 1995). Außerdem erhöht sich der Zeitaufwand für die Probennahme beträchtlich, wodurch die Kosten steigen. In der Literatur finden sich zu Förderraten bei der Grundwasserprobennahme sehr unterschiedliche Angaben, was die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen:

HOEHN & von GUNTEN (1989) sowie BERTIN & BOURG (1994) arbeiteten bei Radonmessungen mit Förderraten unter 1 l/min und auch HOFMANN et al. (1998) gaben für Partikelmessungen Förderraten von 1 l/min an. RYAN & GSCHWEND (1990) benutzten bei Untersuchungen zur Mobilisierung von Kolloiden in Grundwässern Förderraten von 0,1 l/min. Noch kleinere Förderraten von 0,1 bis 0,01 l/min verwendeten MCCARTHY & SHEVENELL (1998) bei Probennahmen in einem Karstgrundwasserleiter. KALERIS (1992 a, 1992 b) dagegen bezeichnet in zwei Arbeiten zur Grundwasserprobennahme Förderraten von 6 l/min und an anderer Stelle Förderraten im Bereich von 2 bis 30 l/min als üblich. Nach TOUSSAINT (1997) sind für das Abpumpen von Messstellen auch Förderraten von mehr als 60 l/min möglich. Für die Entnahme der Proben empfiehlt er unter Bezugnahme auf NIELSEN & YEATES (1985) eine Drosselung auf 0,1 l/min und darunter.

Empfehlungen des Regelwerks

Auch die Empfehlungen des Regelwerks sind unterschiedlich. In den USA dominieren seit vielen Jahren Empfehlungen für kleine Förderraten bis 0,5 l/min. So sollen nach dem von der US-EPA finanzierten „Practical Guide for Ground-Water Sampling“ die Förderraten so klein wie möglich sein, um das Strömungsfeld wenig zu stören und die Beimischung von Wasser aus dem Standrohr zu minimieren (BARCELONA et al. 1985). Beispielhaft werden Förderraten von 0,5 l/min für das Abpumpen von Messstellen und 0,1 l/min für die Entnahme der Proben angegeben.

Der gleiche Ansatz wird in einer Regel für die Grundwasserprobennahmen zur Bestimmung von Metallionen verfolgt (US-EPA 1989). Die Förderraten sollen der natürlichen Grundwasserströmung möglichst nahe kommen. Es wird darauf hingewiesen, dass dies in vielen Fällen nicht möglich ist oder unpraktisch sei und sich Förderraten von 0,1 l/min bewährt haben.

Im „RCRA Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance“ der US-EPA wird die Grundwasserprobennahme ausführlich dargestellt (US-EPA 1992). Es wird darauf verwiesen, dass die Meinungen über das Abpumpen von Grundwassermessstellen in der Fachwelt weit auseinander gehen und der US-EPA-Leitfaden den Auffassungen von PULS und BARCELONA folgt, z. B. BARCELONA et al. (1985) und PULS & POWELL (1992). Danach sollen die Förderraten idealerweise weniger als 0,2 bis 0,3 l/min betragen.

Im Regelwerk der American Society for Testing and Material (ASTM) werden verschiedene Methoden zum Abpumpen von Grundwassermessstellen beschrieben (ASTM 1999). Dabei sollen die Förderraten so gewählt werden, dass die Wasserspiegelabsenkungen in den Messstellen minimiert werden.

1996 empfahl die US-EPA in einem Papier zur Beprobung kontaminierter Grundwässer die Anwendung der nun als „Low-Flow (Minimal Drawdown)“ bezeichneten Probennahmemethode mit Förderraten kleiner 0,5 l/min (US-EPA 1996). Das „Low-Flow“ bezieht sich auf die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers am Pumpeneinlauf bzw. im Grundwasserleiter in unmittelbarer Nähe des Filters. Dadurch soll die hydraulische Beanspruchung des Grundwasserleiters minimiert werden. Die Pumpe soll in der Filtermitte oder kurz darüber eingebaut werden. Indikator ist die Wasserspiegelabsenkung in der Messstelle, die 0,1 m nicht überschreiten soll. Die Förderraten sind abhängig von den hydrogeologischen Bedingungen und sollen typischerweise zwischen 0,1 und 0,5 l/min liegen. Als Vorteile werden genannt:

- Repräsentativität der Proben hinsichtlich gelöster und kolloidal gebundener Wasserinhaltsstoffe
- Minimierung der Probennahmeeinflüsse durch minimale Störung am Entnahmepunkt der Probe
- Verminderung des subjektiven Einflusses des Probennehmers
- Verringerung der hydraulischen Beanspruchung des Grundwasserleiters
- geringere Mischung von Grundwasser und Wasser aus dem Standrohr
- Verminderung der zu filtrierenden Anteile in der Probe
- kleinere Abpumpvolumen, sinkende Kosten für die Entsorgung kontaminierter Wässer und kürzere Probennahmezeiten
- bessere Probenkonsistenz und Minderung der probennahmebedingten Variabilität der Proben.

Auch in der neuesten Fassung des „Environmental Investigations Standard Operating Procedures and Quality Assurance Manual“ (EISOPQAM) wird die Low-Flow-Methode empfohlen, gleichzeitig aber darauf hingewiesen, dass es auch andere Methoden gibt, die akzeptiert werden können (US-EPA 2001). Obwohl die US-EPA mit ihrem Regelwerk seit Jahren dem Low-Flow-Ansatz folgt, haben sich diese Empfehlungen lange Zeit nicht durchsetzen können. So schreiben CREASEY & FLEGAL (1999) „... however, that proposal has not yet been widely adopted“, was sich mit dem größeren Zeitaufwand für die Low-Flow-Probennahme und mit Unstimmigkeiten in den vorgelegten Ergebnissen erklären lässt. Beispielsweise wurden Schwermetallgehalte in Grundwasserproben bei kleinen Förderraten von 0,2 l/min untersucht und gefunden, dass die Konzentrationen von Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn um den Faktor 2 bis 1.000 niedriger waren als bei Grundwasserprobennahmen eines Ingenieurbüros mit größeren Förderraten (CREASEY & FLEGAL 1999). Die vom Ingenieurbüro verwendeten Förderraten und die Dauer des Abpumpens wurden jedoch nicht angegeben, sodass eine Bewertung der Ergebnisse schwierig ist. Demgegenüber haben POHLMANN et al. (1994) im Rahmen eines EPA-Projektes Probennahmen mit Förderraten von 1 l/min und 0,3 l/min verglichen und festgestellt, dass die Metallkonzentrationen in gefilterten Proben gleich waren. Nur bei ungefilterten Proben wiesen die bei Förderraten von 1 l/min entnommenen Proben geringfügig höhere Metallkonzentrationen auf. In den letzten Jahren fand die Low-Flow-Probennahmemethode jedoch zunehmend Anerkennung in den USA. Auch die Industrie hat sich darauf eingestellt und bietet heute verschiedene Low-Flow-Probennahmesysteme an.

In Deutschland finden sich im Regelwerk zur Grundwasserprobennahme nur bei der LAWA (1999) konkrete Empfehlungen zu Förderraten der Pumpen. Die Förderraten sollen wäh-

rend des Abpumpens der Messstellen zwischen 6 und 30 l/min liegen, um turbulentes Fließen und eine Versteilung der Strömungsgradienten im Nahbereich der Messstellen zu vermeiden. Außerdem sind die Förderraten so einzustellen, dass die Absenkung des Grundwasserspiegels in den Messstellen nicht mehr als 10 % der Grundwassermächtigkeit bzw. maximal 2 m beträgt. Beim Befüllen der Probennahmegefäße sollen die Förderraten auf 1 bis 5 l/min reduziert werden. Alternativ können die Proben ohne Reduzierung der Förderraten auch über einen Bypass entnommen werden.

In der DVWK-Regel 128 wird lediglich ausgeführt, dass der Förderstrom die Ergiebigkeit des zu beprobenden Grundwasserleiters unter Berücksichtigung des Messstellenausbaus nicht überschreiten darf (DVWK 1992). Die gleiche Empfehlung findet sich im DVWK-Merkblatt 245 verbunden mit dem Zusatz, dass die Wasserspiegelabsenkung in der Messstelle minimiert und anschließend konstant gehalten werden soll (DVWK 1997). Ähnlich äußert sich das DVGW-Merkblatt W 112, welches „aus zeitlichen Gründen“ den Verhältnissen angepasste, erhöhte Förderraten für das Abpumpen von Messstellen erlaubt (DVGW 2001). Die Absenkung des Wasserspiegels darf dabei 1/10 bis maximal 1/3 der Wassersäule nicht überschreiten und die Förderraten sollen vor der Entnahme der Proben entsprechend den hydraulischen Bedingungen gedrosselt werden.

Theorie

Problematisch an der Low-Flow-Probennahme sind die geringen Abpumpvolumen. Die Messstellen werden wie bei konventionellen Probennahmemethoden bis zur Konstanz der Leitkenwerte pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Redoxpotenzial, Temperatur und Trübung abgepumpt (US-EPA 1996). Ein Mindestvolumen wird nicht vorgegeben. Bei Probennahmen von MCCARTHY & SHEVENELL (1998) beträgt das Abpumpvolumen beispielsweise im Mittel nur 20 % des Filtervolumens. Deshalb ist zu befürchten, dass sich bei der Entnahme der Proben Wasser aus der Filterschüttung und dem Standrohr mit veränderter Beschaffenheit beimischen kann. Um das zu verhindern, hat der DVWK im deutschen Regelwerk neben der Konstanz der Leitkenwerte (Beschaffenheitskriterium der Probennahme) auch ein abzupumpendes Mindestvolumen (hydraulisches Kriterium der Probennahme) festgelegt (DVWK 1997). Das hydraulische Kriterium beträgt mindestens das 1,5fache des Volumens eines Kreiszylinders, der aus der Filterlänge und dem Bohrlochdurchmesser der Messstelle gebildet wird. Würde man mit einer nach der Low-Flow-Probennahmemethode idealen Förderrate von 0,3 l/min das hydraulische Kriterium einhalten wollen, so müsste man eine 4,5“-Messstelle mit einem Bohrdurchmesser von 377 mm und einer Filterlänge von 1 m über 9 Stunden abpumpen. Bei einer gerade noch zulässigen Förderrate von 0,5 l/min müsste immerhin noch 5,5 Stunden gepumpt werden. Bei einem 2 m langen Filter verdoppeln sich die Abpumpzeiten. Der Abpumpvorgang würde dann bei idealer Förderrate 18,5 Stunden dauern. Bei solchen Förderraten entstehen hohe zusätzliche Kosten für die Grundwasserbeobachtung. Das ist einer der Gründe, warum in Deutschland überwiegend nach der herkömmlichen Grundwasserprobennahmemethode gearbeitet wird.

Während das Prinzip der Low-Flow-Probennahme darin besteht, durch niedrige Förderraten die natürliche Grundwasserströ-

mung nicht zu stören, geht der Ansatz einer herkömmlichen Probennahme davon aus, dass hohe Förderraten die Grundwasserströmung zwar stören, dies aber die Repräsentativität der Grundwasserproben nicht beeinflusst, wenn ein hinreichendes Wasservolumen abgepumpt wird. Das soll mit der folgenden Abschätzung verdeutlicht werden: Im Sinne einer Worst-case-Betrachtung wird die Grundwasserfließgeschwindigkeit in einem 2 m mächtigen, homogenen, isotropen und gespannten Grundwasserleiter mit einer effektiven Porosität von 0,2 an einer voll verfilterten 4,5"-Messstelle während des Abpumpens mit dem Modell eines stehenden Kreiszylinders bei stationärer Strömung bestimmt. Die Abstandsgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$[1] \quad v_a = \frac{q}{2 \cdot n_e \cdot \pi \cdot r \cdot l_f}$$

mit v_a = Abstandsgeschwindigkeit

q = Förderrate

n_e = effektive Porosität

r = Radius

l_f = Filterlänge.

Sie nimmt mit abnehmender Entfernung zur Messstelle umgekehrt proportional zu. Abbildung 1 zeigt für dieses Modell die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers als Funktion der Entfernung von der Messstelle für verschiedene Förderraten. Abbildung 2 veranschaulicht die Reichweite eines Abpumpvorgangs im Grundwasserleiter, wobei unter Reichweite die Abstände von den Aufenthaltsorten aller Teilchen der Grundwasserprobe vor Beginn des Abpumpens zur Messstellenachse verstanden wird. Bei einem Bohrdurchmesser von 0,377 m beträgt das hydraulische Kriterium der Probennahme für diese Messstelle 334 l. Wasser, das bei Erreichen des hydraulischen Kriteriums aus dem Förderstrom der Pumpe entnommen wird, befand sich bei Beginn des Abpumpvorgangs 0,50 m von der Messstellenachse entfernt. Wird für das Abpumpen die größtmögliche mit einer Grundfospumpe erreichbare Förderrate von 33 l/min verwendet, beträgt die Abstandsgeschwindigkeit an dieser Stelle trotzdem nur 2,6 cm/min. Bis zum Eintritt des Wassers in den Filter wächst sie auf 23 cm/min an. Daraus lässt sich für einen Abpumpvorgang mit größeren Förderraten folgendes Szenario ableiten: Betrachtet man die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers vom Grundwasserleiter bis zur Messstellenachse, so steigt diese und damit auch

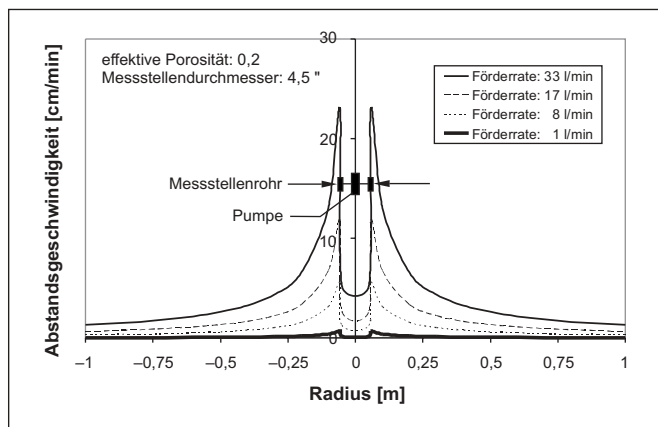


Abb. 1: Abstandsgeschwindigkeit in einem 2 m mächtigen, homogenen, isotropen und gespannten Grundwasserleiter während des Abpumpens einer voll verfilterten Grundwassermessstelle (Zylindermodell) bei stationärer Strömung

die Scherrate mit abnehmender Entfernung zur Messstellenachse an. Der Punkt, wo die Grundwasserfließgeschwindigkeit so groß wird, dass adsorbierte Partikel tatsächlich abgeschert werden, wird jedoch erst nahe der Messstelle erreicht. Beim Einschalten der Pumpe kommt es daher im Grundwasserleiter nur in unmittelbarer Messstellennähe und in der Filterschüttung zur hydraulischen Mobilisierung vorher mobiler Partikel durch Abscheren adsorptiv gebundener Partikel vom Korngerüst des Grundwasserleiters. Nachfließendes Grundwasser transportiert die mobilisierten Partikel zur Pumpe, wo sie mit dem abgepumpten Wasser aus dem Grundwasserleiter entnommen werden. Da bei konstanter Förderrate keine neuen Partikel mobilisiert werden, spült das nachfließende Grundwasser die beim Einschalten der Pumpe mobilisierten Partikel aus dem Grundwasserleiter aus, sodass sich die für den jeweiligen Grundwasserleiter typische Partikelhintergrundkonzentration einstellt. Nach dem Einschalten der Pumpe muss es daher im Förderstrom zu einem steilen Anstieg der Partikelzahl kommen, die im Verlauf des Abpumpvorgangs auf die Partikelhintergrundkonzentration abfällt. Aufgrund dieser hydraulischen Abschätzung ist auch zu erwarten, dass die Partikelzahlen im Förderstrom der Pumpe nach einem Abpumpvolumen von wenigen hundert Litern für alle Förderraten den gleichen Plateauwert erreichen. Wenn dieser erreicht ist, können repräsentative Grundwasserproben entnommen werden. Voraussetzung für das Erreichen der Partikelhintergrundkonzentration ist eine konstante Förderrate. Wird die Förderrate erhöht, kommt es zur erneuten Mobilisierung von Partikeln.

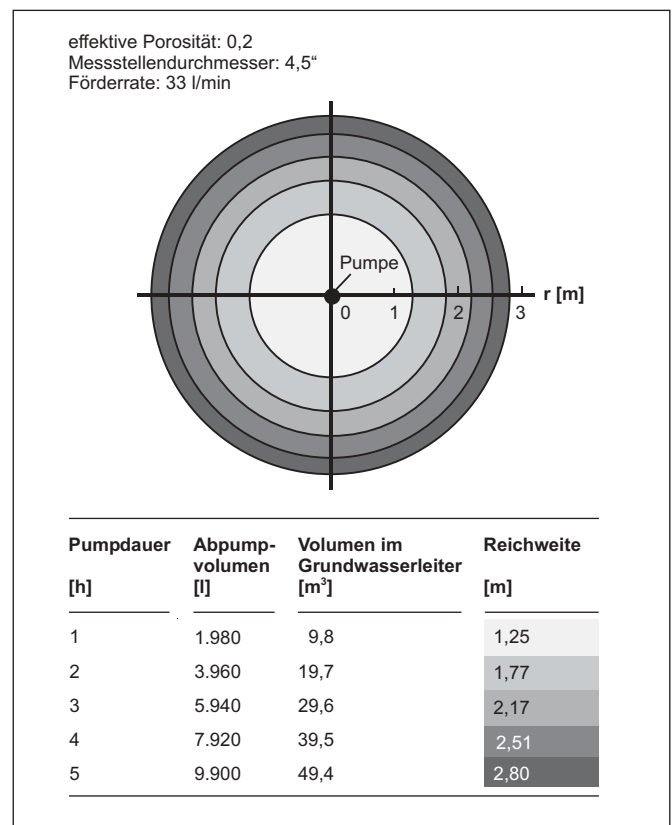


Abb. 2: Reichweite eines Abpumpvorgangs an einer voll verfilterten Messstelle in einem 2 m mächtigen, homogenen, isotropen und gespannten Grundwasserleiter (Zylindermodell)

Das zeigt eine Arbeit von HOFMANN et al. (1998). Die Bearbeiter untersuchten das Partikeldargebot eines Grundwasserleiters und erhöhten zur Gewinnung mobilisierbarer Partikel nach längerem Abpumpen von Messstellen die Förderraten von 1 l/min auf 15 l/min. 5 min nach der Erhöhung der Förderrate wurde eine deutliche Partikelmobilisierung beobachtet, 5 h später ließ sich nur noch eine geringe Mobilisierung feststellen. Außerdem wurde gezeigt, dass die Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe Fe, SiO₂, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, As und Zn nach 5-stündigen „Schockbeprobungen“ mit Förderraten von 15 l/min meist mit den Konzentrationen von bis zu 72-stündigen „Langzeitbeprobungen“ mit Förderraten von 1 l/min übereinstimmen oder kleiner sind (HOFMANN 1998).

Messung von Partikeln bei verschiedenen Förderraten

RYAN & ELIMELECH (1996) sind in ihrem Review-Beitrag zu Mobilisierung und Transport von Kolloiden im Grundwasser auch auf die Probennahme eingegangen. Sie weisen darauf hin, dass hohe Förderraten bekanntermaßen Partikel mobilisieren, die Effekte aber noch nicht abschließend aufgeklärt sind. MARRE & WALTHER (2001) untersuchten die Partikelkonzentration bei kleinen Förderraten zwischen 0,35 und 0,015 l/min und erreichten die Partikelhintergrundkonzentration in der Regel nach 8 bis 15 Stunden Förderung.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, ob sich auch bei höheren, konstanten Förderraten eine gleich bleibende Partikelhintergrundkonzentration im Förderstrom der Pumpe einstellt, und wenn das der Fall ist, nach welchen Abpumpvolumen repräsentative Grundwasserproben entnommen werden können.

Messverfahren

Die Partikelmessung erfolgte mit einem Coulter®-Multisizer-II-Instrument und wurde von NEITZEL et al. (2002) beschrieben. Das Gerät arbeitet nach der Electrical Sensing Zone (ESZ)-Methode, einem hochauflösenden Partikeleinzeldrehverfahren. Bei diesem Analysenverfahren wird die Änderung des elektrischen Widerstands beim Durchgang der Partikel durch eine sensitive Messzone bestimmt. Dabei wird die partikelhaltige Probe in eine gesättigte membranfiltrierte NaCl-Lösung („Isoton“) injiziert und mit dieser unter leichtem Vakuum durch eine Kapillare gesaugt, die am Ende über eine kleine Öffnung verfügt. Im nachfolgenden Detektor wird die Widerstandsänderung ΔR über die direkte Impulshöhe ermittelt, wobei ΔR in Abhängigkeit vom spezifischen Widerstand des Elektrolyten direkt proportional zum Partikelvolumen und indirekt proportional zum Quadrat des Kapillarquerschnitts ist. Die Zählereignisse werden zur Ermittlung der Größenverteilung in 256 Kanälen summiert. Für die vorliegende Arbeit wurde der Summenwert aller Kanäle für die Partikelkennwerte Anzahl, Volumen und Oberfläche verwendet. Das Verfahren ermöglicht die Analyse von anorganischen und organischen einschließlich mikrobiellen Partikeln. Der Messbereich einer Kapillare liegt zwischen 2 % und 60 % des Kapillardurchmessers. Es können Kapillaren von 20 µm, 100 µm und 240 µm Durchmesser eingesetzt werden, sodass ein Messbereich für die Partikelgröße zwischen 0,4 µm und 144 µm erreicht wird.

Die Partikelmessungen für die vorliegenden Untersuchungen wurden mit einer 20 µm-Kapillare durchgeführt. Der Messbereich lag zwischen 0,5 und 12 mm. Der Gesamtfehler der analytischen Labormethode wurde mit kleiner 10 % bestimmt (NEITZEL et al. 2002).

Versuchsdurchführung

Es wurden 19 Pumpversuche an Grundwassermessstellen im Lockergestein in Wildenhain, Dresden-Tolkewitz, Kodersdorf, Fichtenberg, Hartha, Deschka und Torgau durchgeführt. Die Messstellen- und Versuchskennwerte der Versuche Nr. 1 bis 20 enthält Tabelle 1. Versuch Nr. 5 musste wegen eines Pumpendefekts abgebrochen werden. Bei den Versuchen wurden das Abpumpvolumen und die Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Redoxpotenzial und Sauerstoffgehalt kontinuierlich gemessen. Die Durchfluss- und Volumenmessung erfolgte durch Ultraschallmessungen mit einem Wärmehöher Siemens Ultraheat 2WR4 mit einem Nenndurchfluss Q_n von 1,5 m³/h und einer Genauigkeit von 0,0125 l/min. Mit diesem Messgerät wurden auch die Förderraten der Pumpe eingestellt und überwacht. Die Leitkennwerte wurden mit Geräten der Serie 340 der Firma WTW GmbH Weilheim in einer Durchflussmesszelle der Firma UIT GmbH Dresden gemessen und mit einem Intervall von 4 s aufgezeichnet. Aus dem Förderstrom wurden Proben entnommen und Partikelzahl und -volumen mit einem Coulter®-Multisizer-II-Instrument bestimmt. Aus dem Partikelvolumen wurde mit der geräteeigenen Software Coulter AccuComp® die Oberfläche der Partikel berechnet und anschließend der Verlauf aller drei Partikelkennwerte als Funktion des Abpumpvolumens untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Versuchsauswertung wurde schwerpunktmäßig die Partikeloberfläche betrachtet, weil diese bzgl. des partikulären Stofftransports und damit hinsichtlich einer möglichen Beeinträchtigung der Repräsentativität von Grundwasserproben am aussagefähigsten ist.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen beispielhaft an Messstellen in Hartha und Dresden-Tolkewitz den Verlauf von Partikelzahl, -volumen und -oberfläche sowie den Verlauf der Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotenzial, pH-Wert und Sauerstoffkonzentration im Förderstrom einer Unterwassermotorpumpe während eines Pumpversuches. Wie erwartet wiesen die Partikelkennwerte nach dem Einschalten der Pumpe hohe Werte auf, die nach einem Abpumpvolumen von wenigen hundert Litern auf Plateauwerte fielen, die fast zwei Größenordnungen niedriger lagen. So fiel an der Messstelle in Hartha die Partikeloberfläche nach einem Abpumpvolumen von nur 90 l von $53,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$ auf einen Plateauwert von $(1,36 \pm 0,53) \cdot 10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$ ($n = 15$). Ein ähnliches Verhalten zeigte die Messstelle in Dresden-Tolkewitz. Hier stieg die Partikeloberfläche nach dem Einschalten der Pumpe von $52,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$ kurzzeitig auf $161 \cdot 10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$. Anschließend fiel sie nach einem Abpumpvolumen von nur 450 l auf einen Plateauwert von $(1,28 \pm 0,96) \cdot 10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$ ($n = 33$).

An den Messstellen in Hartha, Dresden-Tolkewitz und Wildenhain wurden je Messstelle drei bis vier Pumpversuche mit Förderraten zwischen 4 und 20 l/min durchgeführt. Abbildung 5 zeigt den Verlauf des Kennwerts Partikeloberfläche während

Tab. 1: Messstellen- und Versuchskennwerte

Versuchsnummer	1	14	19	2	8	13	20	12	16	3	4
Datum	16.09.1999	17.05.2000	30.11.2000	21.09.1999	31.01.2000	10.05.2000	28.05.2001	08.05.2000	06.07.2000	22.09.1999	27.09.1999
Messstelle	46466001	46466001	46466001	49484012	49484012	49484012	49484012	47556002	47556002	47556004	45456415
Untersuchungsgebiet	Wildenhain	Wildenhain	Wildenhain	Tolkewitz	Tolkewitz	Tolkewitz	Tolkewitz	Deschka	Deschka	Kodersdorf	Fichtenberg
Messstellendurchmesser innen [m]	0,102	0,102	0,102	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,125	0,160
Bohrdurchmesser [m]	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,419	0,419	?	0,620
Geländehöhe [mNN]	119,10	119,10	119,10	111,30	111,30	111,30	111,30	173,90	173,90	177,20	94,40
Messpunkthöhe [mNN]	119,91	119,91	119,91	112,22	112,22	112,22	112,22	174,70	174,70	178,20	95,28
Oberkante Filter [m unter MP]	8,96	8,96	8,96	13,12	13,12	13,12	13,12	9,10	9,10	10,1	12,88/29,08
Unterkante Filter [m unter MP]	10,96	10,96	10,96	15,12	15,12	15,12	15,12	11,10	11,10	12,1	14,88/31,08
Ausbautiefe Messstelle [m unter MP]	10,96	10,96	10,96	16,12	16,12	16,12	16,12	12,75	12,75	20,50	32,88
Filtersumpf [m]	–	–	–	1	1	1	1	1,65	1,65	?	1,80
Mächtigkeit Filterschüttung [m]	2	2	2	2	2	2	2	5	5	?	4/10
Geolog. Ansprache Filterbereich	U, fg, mG	U, fg, mG	U, fg, mG	fg, mG, U	fg, mG, U	fg, mG, U	fg, mG, U	mS, gS	mS, gS	?	gG, mS, gS
Anfangswasserstand [m unter MP]	2,18	5,21	5,45	2,29	2,57	2,02	2,74	4,98	5,10	4,70	7,95
Endwasserstand [m unter MP]	2,18	5,63	7,74	2,57	2,70	2,13	(2,72)	5,00	5,20	4,74	7,94
Einbaort Pumpe [m unter MP]	8,0	8,50	8,50	12,0	12,0	12,0	11,7	8,90	8,80	10,0	12,0
Förderrate Pumpe [l/min]	16,7	3,6	17,7	20,0	13,6	7,0	7,5	4,2	16,8	16,0	20,0

Versuchsnummer	6	7	9	15	10	18	11	17	F1	F2
Datum	08.11.1999	18.11.1999	01.03.2000	23.05.2000	18.04.2000	12.07.2000	18.04.2000	10.07.2000	10.11.1994	13.11.1996
Messstelle	49430001	49430001	49430001	49430001	MS 1/1	MS 1/1	MS 1/1	MS 1/1	MS 4/5	MS 4/5
Untersuchungsgebiet	Hartha	Hartha	Hartha	Hartha	Messprofil Torgau-Ost I	Messprofil Torgau-Ost I	Messprofil Torgau-Ost I	Messprofil Torgau-Ost II	Messprofil Torgau-Ost II	Messprofil Torgau-Ost II
Messstellendurchmesser innen [m]	0,115	0,115	0,115	0,115	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114
Bohrdurchmesser [m]	0,219	0,219	0,219	0,219	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377	0,377
Geländehöhe [mNN]	276,90	276,90	276,90	276,90	82,90	82,90	83,60	83,60	84,50	84,50
Messpunkthöhe [mNN]	277,70	277,70	277,70	277,70	83,57	83,57	84,53	84,53	85,07	85,07
Oberkante Filter [m unter MP]	9,30	9,30	9,30	9,30	9,27	9,27	11,43	11,43	42,90	42,90
Unterkante Filter [m unter MP]	10,40	10,40	10,40	10,40	10,27	10,27	12,43	12,43	43,90	43,90
Ausbautiefe Messstelle [m unter MP]	10,40	10,40	10,40	10,40	10,77	10,77	12,93	12,93	44,40	44,40
Filtersumpf [m]	–	–	–	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mächtigkeit Filterschüttung [m]	3,10	3,10	3,10	3,10	4,6	4,6	2,0	2,0	4,2	4,2
Geolog. Ansprache Filterbereich	T, Felszersatz, mS	T, Felszersatz, mS	T, Felszersatz, mS	T, Felszersatz, mS	mS, mG	mS, mG	mS, mG	mS, mG	gS, mS, fg, U	gS, mS, fg, U
Anfangswasserstand [m unter MP]	8,35	8,38	7,56	6,90	3,46	6,44	3,97	6,08	7,36	6,14
Endwasserstand [m unter MP]	8,45	8,55	7,65	7,21	4,01	6,50	4,24	6,17	7,36	6,14
Einbaort Pumpe [m unter MP]	9,35	9,35	9,50	9,50	7,50	7,50	10,50	10,50	9,00	8,00
Förderrate Pumpe [l/min]	10,0	8,0	4,0	15,0	19,5	6,3	19,7	3,3	2 bis 32	12 bis 32

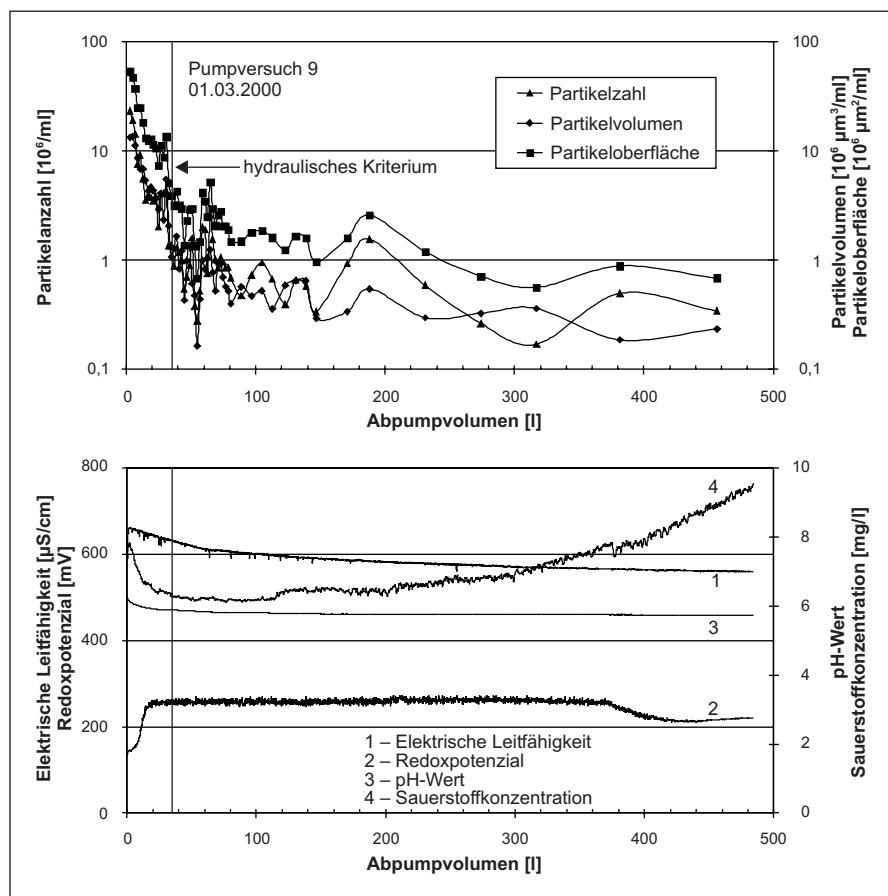


Abb. 3: Verlauf von Partikelzahl, Partikelvolumen und Partikeloberfläche (oben) und der Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotenzial, pH-Wert und Sauerstoffkonzentration (unten) im Förderstrom einer Unterwassermotorpumpe an der Messstelle 49430001 in Hartha

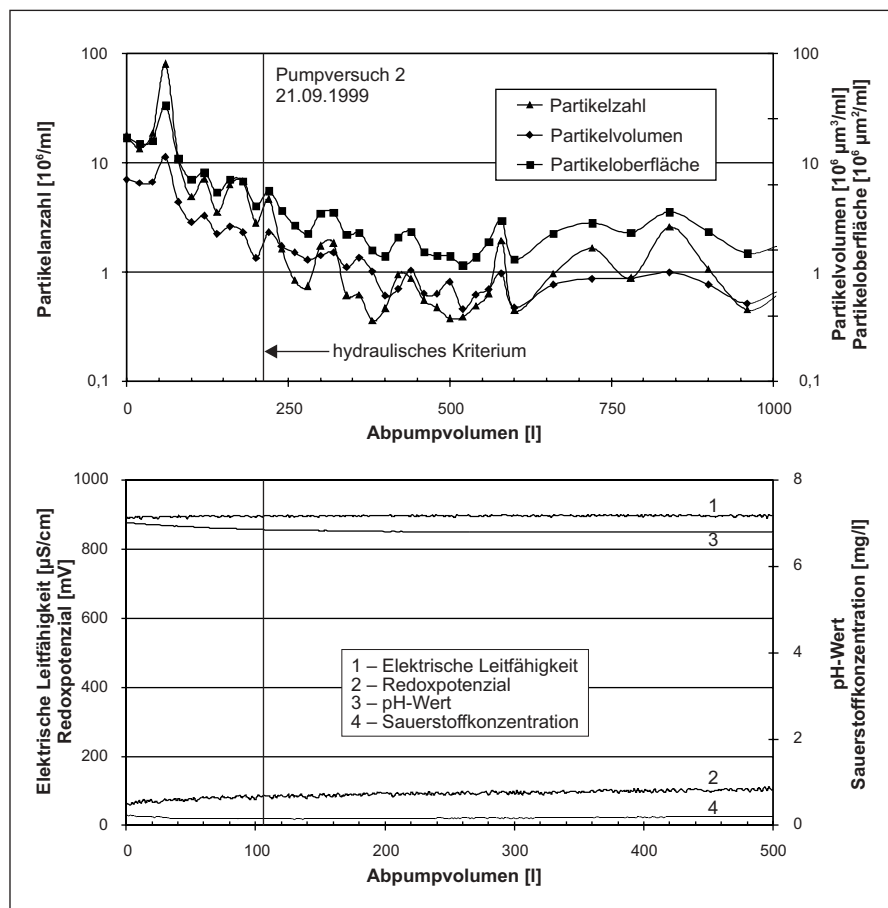


Abb. 4: Verlauf von Partikelzahl, Partikelvolumen und Partikeloberfläche (oben) sowie der Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotenzial, pH-Wert und Sauerstoffkonzentration (unten) im Förderstrom einer Unterwassermotorpumpe an der Messstelle 49484012 in Dresden-Tolkewitz

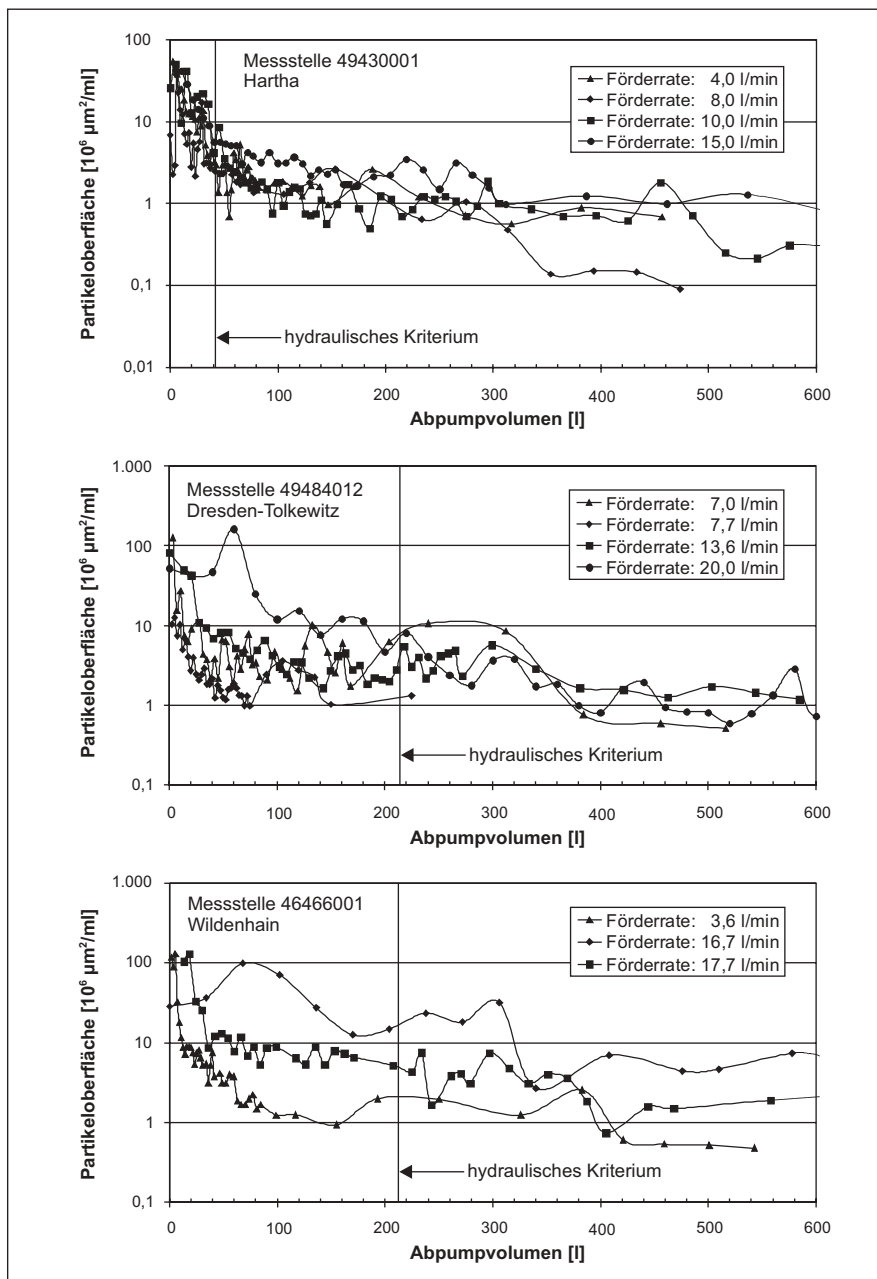


Abb. 5: Abhängigkeit der Partikeloberfläche in Grundwasserproben von der Förderrate einer Unterwassermotorpumpe an den Messstellen in Hartha (oben), Dresden-Tolkewitz (Mitte) und Wildenhain (unten)

der Pumpversuche. Erwartungsgemäß wurden bei allen Förderraten zwar nicht gleiche, jedoch in der Dimension ähnliche Plateauwerte bei ähnlichen Abpumpvolumen erreicht. Tabelle 2 fasst die Versuchsergebnisse zusammen. Die Ausweisung der Plateaus erfolgte auf der Grundlage eines makroskaligen Maßstabes, der anhand des Fallens der Partikelkennwerte während der Versuche über zwei Größenordnungen festgelegt wurde und mit den üblichen Maßstäben zur Bestimmung der Konstanz der Leitkennwerte der Grundwasserprobennahme vergleichbar ist. Bei 15 von 19 Versuchen konnten Plateaus der Partikelkennwerte bestimmt werden. Die Abpumpvolumen beim Erreichen der Plateauwerte lagen mit Ausnahme der Messstelle in Fichtenberg zwischen 70 und 500 l. Damit stellten sich die Plateaus der Partikelkennwerte in der Regel bis zum Erreichen des dreifachen hydraulischen Kriteriums der Probennahme ein.

Hydraulisches Kriterium und Beschaffenheitskriterium der Grundwasserprobennahme sowie das Abpumpvolumen bis zur Konstanz der Partikelkennwerte liegen im gleichen Größenbereich. Das bedeutet auch, dass das Volumen bis zur Einstellung der Konstanz der Partikelkennwerte bezogen auf den bei der Probennahme üblichen makroskaligen Maßstab unabhängig von der Förderrate ist. Das entspricht den Prognosen, die aus den hydraulischen Betrachtungen zur Verteilung der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers an Messstellen bei Probenahmen abgeleitet wurden. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass bei Verwendung größerer Förderraten bei der Probennahme sowie Einhaltung von hydraulischem Kriterium und Beschaffenheitskriterium auch die Partikelhintergrundkonzentration erreicht wird und die Grundwasserproben repräsentativ sind.

Messstelle/ Untersuchungs- gebiet	Versuch Nr.	Förderrate (l/min)	Abpumpvolumen bei Erreichen des Plateauwertes der Partikeloberfläche (l)	Hydraulisches Kriterium nach DVWK (1997) (l)	Bemerkungen
46466001 Wildenhain	14 1 19	3,6 16,7 17,7	140 450 500	213	
49484012 Tolkewitz	13 20 8 2	7,0 7,5 13,6 20,0	380 150 380 450	213	
49430001 Hartha	9 7 6 15	4,0 8,0 10,0 15,0	90 360 100 310	41	ungenügende Probenanzahl
47556002 Deschka	12 16	4,2 16,8	– –	276	Messstellendefekt vermutet Messstellendefekt vermutet
MS 1/1 Messprofil Torgau-Ost I	18 10	6,3 19,5	200 300	112	
MS 1/1 Messprofil Torgau-Ost II	17 11	3,3 19,7	– 70	112	ungenügende Probenanzahl
47556004 Kodersdorf	3	16,0	–	–	nahe Brunnen, Bohrdurchmesser unbekannt
45456415 Fichtenberg	4	20,0	800	–	zweifach verfiltert

Tab. 2: Abpumpvolumen bei Erreichen der Plateauwerte der Partikeloberfläche

Bei der zweifach verfilterten Messstelle in Fichtenberg wurde das Plateau erst nach dem Abpumpen von 800 l Wasser erreicht, was auf den zweiten Filter zurückzuführen ist. Dieser Versuch ist ein weiterer Hinweis darauf, dass mehrfach verfilterte Messstellen ebenso wie voll verfilterte Messstellen für Grundwasserprobennahmen nur bedingt geeignet sind (DEHNERT et al. 2001).

Bei einer Maßstabsverkleinerung wird aus den logarithmischen Darstellungen der Versuchsergebnisse sichtbar, dass die Partikelkennwerte an einigen Messstellen geringfügig weiter sinken. Für die Partikeloberfläche betrifft das den Bereich unterhalb von $10^6 \text{ mm}^2/\text{ml}$. Daraus folgt für Sonderuntersuchungen z. B. zum Auftreten und zur Mobilisierung der Partikel selbst, dass

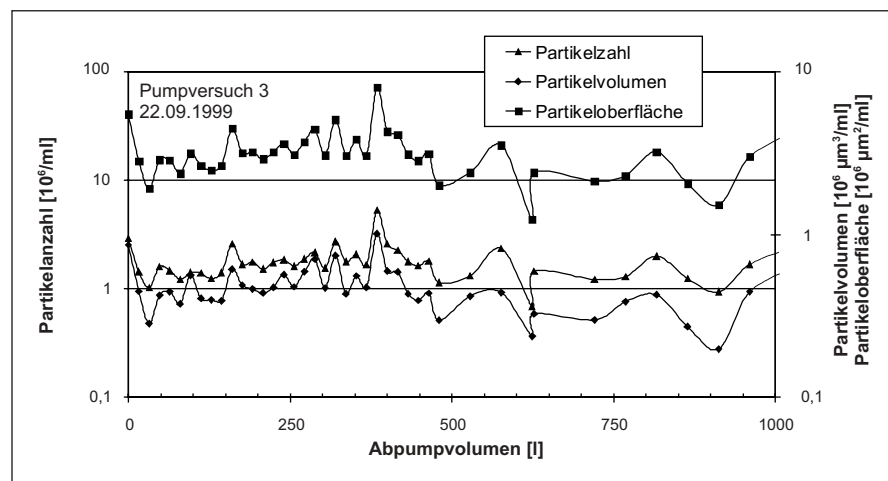


Abb. 6: Verlauf von Partikelzahl, Partikelvolumen und Partikeloberfläche im Förderstrom einer Unterwassermotorpumpe an der Messstelle 47556004 in Kodersdorf

die Partikelhintergrundkonzentration für kleinere Maßstäbe noch nicht ganz erreicht ist und der Abpumpvorgang für solche Untersuchungen weiter ausgedehnt werden muss. Bei vier Versuchen konnten keine Plateauwerte der Partikelkennwerte bestimmt werden. Dafür gab es verschiedene Gründe. Bei Versuch 17 an der Messstelle in Torgau reichte die Probenanzahl im letzten Kurvenabschnitt zur Ausweisung eines Plateaus nicht aus. An der Messstelle in Deschka (2 Versuche) traten permanente Schwankungen der Partikelkennwerte auf. Da hier bei einem Abpumpvolumen von 500 l ein unerwarteter Anstieg des pH-Wertes mit einem Abfallen der Partikelkennwerte korrelierte, wird als Ursache ein Messstellendefekt angenommen. Dieser führte zur Durchströmung des Standrohres, wodurch über einen längeren Versuchsabschnitt mit Partikeln angereichertes Standwasser mitgeführt wurde. An der Messstelle in Kodersdorf befand sich 20 m von der Messstelle entfernt ein Brunnen, der zur Trinkwasserversorgung genutzt wird und wahrscheinlich das Partikelbildungspotential verringerte. Abbildung 6 zeigt den Verlauf von Partikelzahl, -volumen und -oberfläche an der Messstelle in Kodersdorf. Da die typischerweise hohen Partikelkennwerte bei Versuchsbeginn fehlen, wurde auf die Ausweisung eines Plateaus verzichtet.

Messung von Radon-222 bei verschiedenen Förderraten

Eignung, Herkunft und Auftreten

Das Edelgas Radon-222, im Folgenden als Radon bezeichnet, ist für Untersuchungen zur Flüchtigkeit gelöster Wasserinhaltsstoffe bei der Probennahme gut geeignet. Das natürliche Isotop ist ein leicht flüchtiges Edelgas mit einem Verteilungskoeffizienten Wasser-Luft von 0,34 bei 10 °C (PHILIPSBORN 1998). Das bedeutet, dass ein Gleichgewicht zwischen den Radonaktivitätskonzentrationen in Wasser und Luft besteht, wenn die Konzentration in der Luft etwa dreimal so groß ist wie im Wasser. Da Luft kaum Radon enthält, haben radonhaltige Grundwasserproben mit Luftkontakt das Bestreben, schnell zu entgasen. Der zweite Grund für die Eignung des Radons ist die permanente Anwesenheit des Edelgases in fast allen Grundwässern in geogen bedingt unterschiedlichen Konzentrationen. Ursache ist der Zerfall des Mutterisotops Radium-226 im Korngerüst der Grundwasserleiter. Durch Rückstoßeffekte beim Alpha-Zerfall und Diffusion an der Kornoberfläche gelangt ein Teil des entstehenden Radons kontinuierlich ins Grundwasser. Zu Radonaktivitätskonzentrationen im Grundwasser gibt es zahlreiche Untersuchungen. Beispielsweise betragen nach RAFF & HABERER (1998) die mittleren Radonaktivitätskonzentrationen im Raum Mainz und Wiesbaden 0,9 Bq/l für Wässer aus quartären Flussablagerungen, 17 Bq/l für Wässer aus anderen Sedimentgesteinen und 141 Bq/l für Wässer aus verschiedenen Ryolithen. Im Grundwasser des Ruhrtales wurde die Radonaktivitätskonzentration von WILLME et al. (1995) mit 27,7 Bq/l bestimmt. In Grundwässern aus zwei Wechsellagerungen pleistozäner Sande und Kiese bei Torgau liegen sie im Mittel bei 7,7 und 41,8 Bq/l (DEHNERT et al. 1999).

Versuchsdurchführung

Anhand des Edelgases Radon wurde untersucht, ob die Konzentrationen leicht flüchtiger Wasserinhaltsstoffe in Grundwasserproben von den Förderraten der Pumpen abhängen. Die Versu-

che wurden an der Grundwassermessstelle 4/5 des Messprofils Torgau-Ost II durchgeführt (DEHNERT 1998). Die Messstellen- und Versuchskennwerte der Versuche F1 und F2 enthält Tabelle 1. Bei Versuch F1 wurde die Messstelle vor Versuchsbeginn zwei Stunden abgepumpt. Danach wurde die Frequenz der Pumpe von 108 Hz in Schritten von 30 Hz bis auf 400 Hz erhöht. Das entsprach einer nichtlinearen Erhöhung der Förderrate von 3 auf 32 l/min. Die Förderrate wurde jeweils zwischen 4 und 10 Minuten konstant gehalten und dann eine Grundwasserprobe entnommen. Die Radonaktivitätskonzentrationen wurden im UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH nach einem dort entwickelten Flüssigszintillationsverfahren bestimmt (FREYER et al. 1997).

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 7 zeigt die Radonaktivitätskonzentrationen der Grundwasserproben als Funktion der Förderrate. Es wurde keine Abhängigkeit festgestellt. Aus allen Grundwasserproben konnte ein mittlerer Ergebniswert für die Radonaktivitätskonzentration von $(66,3 \pm 1,1)$ Bq/l ($n = 11$) ermittelt werden. Eine Wiederholung des Versuches zwei Jahre später an derselben Grundwassermessstelle (Versuch F2) mit sechs Förderraten zwischen 12 und 32 l/min bestätigte das Versuchsergebnis: Die mittlere Radonaktivitätskonzentration lag bei $(64,7 \pm 1,9)$ Bq/l ($n = 6$). Aus den Versuchen konnte abgeleitet werden, dass unterschiedliche Förderraten die Radonaktivitätskonzentrationen von Grundwasserproben nicht beeinflussen. Inwieweit dies uneingeschränkt auch für andere leichtflüchtige Wasserinhaltsstoffe gilt, ist noch offen. Allerdings ist anzunehmen, dass sich diese nicht wesentlich anders verhalten als das Radon, zumindest dann, wenn sie ähnlich oder weniger flüchtig sind. Deshalb wird zunächst davon ausgegangen, dass die Förderraten der Pumpen bei Grundwasserprobennahmen wegen möglicher Entgasungen von Wasserinhaltsstoffen nicht verringert werden müssen.

Weitere Untersuchungen zum Verhalten anderer leichtflüchtiger Wasserinhaltsstoffe sind vorgesehen. Die Schwierigkeit solcher Versuche z. B. mit LHKW besteht aber darin, dass die LHKW-Konzentration im Grundwasser während des Versuches konstant sein muss und man eine solche Konstanz im Unterschied zur Radonaktivitätskonzentration nicht voraussetzen kann. Während Radon durch Zerfall des Mutterisotops Radium-226 im Korngerüst der Grundwasserleiter ständig neu gebildet wird

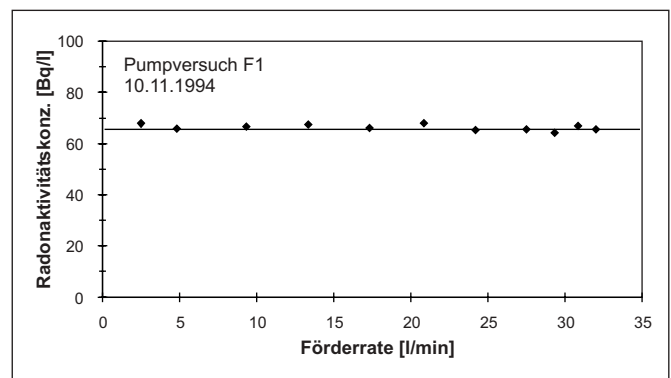


Abb. 7: Abhängigkeit der Radonaktivitätskonzentration in Grundwasserproben von der Förderrate einer Unterwassermotorpumpe, Messstelle 4/5, Torgau-Ost II (aus DEHNERT 1998, geändert)

und permanent in das Grundwasser gelangt, fließen Schadstoffe wie LHKW oder BTEX im Porengrundwasserleiter auf bevorzugten Fließwegen. Bei längerem Abpumpen von Grundwassermessstellen ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Konzentrationsänderungen im Förderstrom der Pumpe für solche Schadstoffe sehr viel größer als für Radon.

Zusammenfassung

Die Angaben in der Literatur zu Förderraten bei der Grundwasserprobennahme reichen von 0,01 bis 60 l/min. Das Regelwerk enthält unterschiedliche Empfehlungen. Während die US-EPA eine Low-Flow-Probennahme mit Förderraten kleiner 0,5 l/min empfiehlt, spricht sich die LAWA im deutschen Regelwerk für Förderraten zwischen 6 und 30 l/min aus.

Anhand von 19 Pumpversuchen an Grundwassermessstellen im Lockergestein wurde das Verhalten von Partikelzahl, -volumen und -oberfläche bei Förderraten zwischen 3 und 20 l/min untersucht. Die Ergebnisse bestätigen die Arbeitsthese des Vorhabens: Die Partikelkennwerte im Förderstrom der Pumpen fielen nach Abpumpvolumen von wenigen hundert Litern um fast zwei Größenordnungen und erreichten Plateauwerte, die von der Förderrate unabhängig waren. Bei einer Verkleinerung des für die Grundwasserprobennahme üblichen makroskaligen Maßstabs zur Bestimmung der Konstanz der Leitkennwerte können die Partikelkennwerte geringfügig weiter sinken. Für Sonderuntersuchungen z. B. zum Auftreten und zur Mobilisierung der Partikel selbst muss der Abpumpvorgang daher ggf. verlängert werden.

Mithilfe von zwei weiteren Pumpversuchen wurde das Verhalten der Radonaktivitätskonzentration bei verschiedenen Förderraten untersucht. Die Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration bei elf verschiedenen Förderraten zwischen 3 und 32 l/min ergab keine Abhängigkeit von der Förderrate.

Aus den Untersuchungen zum Verhalten der Partikel und der Radonaktivitätskonzentration folgt für eine sachgerechte Probennahme, dass größere Förderraten die Repräsentativität von Grundwasserproben nicht gefährden, wenn die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters unter Berücksichtigung des Messstellenausbaus nicht überschritten wird.

Anmerkung

Die Arbeiten wurden vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie finanziert (Vorhaben Q2-8802.3521/17 und 13-8802.3522/58-1). Die Autoren danken Frau Grohmann, Herrn Jäger, Herrn Schumann und Herrn Stötzner von der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft für die aufwändigen Grundwasserprobennahmen und Herrn Eckardt vom Fachbereich Umweltlabor/Umweltmessung der C & E GmbH in Chemnitz-Grüna für die Partikelmessungen. Frau Krause vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie und Herr Griesmann haben uns bei der Datenbearbeitung unterstützt. Den Reviewern danken wir für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Hinweise.

Literaturverzeichnis

- ASTM (1999): Standard guide for sampling ground water monitoring wells.- In: ASTM standards on ground water and vadose zone investigations: Drilling, sampling, geophysical logging, well installation and decommissioning.- 2nd Edition, ISBN 0-8031-2718-9, West Conshohocken, PA.
- BARCELONA, M.J., WEHRMANN, H.A., KEELY, J.F., PETTYJOHN, W.A. (1990): Contamination of ground water: Prevention, assessment, restoration.- Pollution Technology Review Nr. 184.- 213 S.; Park Ridge, NJ.
- BARCELONA, M.J., GIBB, J.P., HELFRICH, J.A., GARSKE, E.E. (1985): Practical guide for ground water sampling.- ISWS contract report 374, Illinois State Water Survey, Champaign, Illinois.
- BERTIN, C., BOURG, A.C.M. (1994): Radon-222 and chloride as natural tracers of the infiltration of river water into an alluvial aquifer in which there is significant river/ground water mixing.- Environ. Sci. Technol. 28: 794-798.
- CREASEY, C.L., FLEGAL, A.R. (1999): Elemental analysis of ground water: demonstrated advantage of low-flow sampling and trace-metal clean techniques over standard techniques.- Hydrogeol. J. 7 (2): 161-167.
- DEHNERT, J. (1998): Radon-222 als natürlicher Tracer bei der Grundwasserprobennahme und bei der Uferfiltration.- Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau.- 157 S.
- DEHNERT, J., NESTLER, W., FREYER, K., TREUTLER, H.C. (1999): Messung der Infiltrationsgeschwindigkeit von Oberflächenwasser mit Hilfe des natürlichen Isotops Radon-222.- Grundwasser 4 (1): 18-30.
- DEHNERT, J., KUHN, K., GRISCHEK, T., LANKAU, R., NESTLER, W. (2001): Eine Untersuchung zum Einfluss voll verfilterter Messstellen auf die Grundwasserbeschaffenheit.- Grundwasser 6 (4): 174-182.
- DVWK (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben.- DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, H. 128.- 36 S.; Hamburg, Berlin.
- DVWK (1997): Tiefenorientierte Probennahme aus Grundwassermessstellen.- DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, H. 245.- 13 S.; Bonn.
- DVGW (2001): Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser.- Technische Mitteilung Merkblatt W 112.- 14 S.; Bonn.
- FREYER, K., TREUTLER, H.C., DEHNERT, J., NESTLER, W. (1997): Sampling and measurement of radon-222 in water.- J. Environ. Radioactivity 37 (3): 327-337.
- HOEHN, E., VON GUNTEN, H.R. (1989): Radon in groundwater: A tool to assess infiltration from surface waters to aquifers.- Water Resour. Res. 25: 1795-1803.
- HOFMANN, T. (1998): Kolloidale und suspendierte Partikel, Herkunft, Transport und Relevanz von mobilen Festphasen im Hinblick auf die künstliche Grundwasseranreicherung. Veröff. des Instituts für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH Nr. 56.- 226 S.; Dortmund.
- HOFMANN, T., SCHÄFER, T., SCHENK, D., SCHÖTTLER, U. (1998): Bedeutung kolloidaler und suspendierter Partikel bei der künstlichen Grundwasseranreicherung.- Vom Wasser 91: 29-45.
- KALERIS, V. (1992 a): Strömungen zu Grundwassermessstellen mit langen Filterstrecken bei der Gewinnung durchflussgewichteter Mischproben.- Wasser & Boden 44 (1): 5-11.
- KALERIS, V. (1992 b): Strömungen zu Grundwassermessstellen mit langen Filterstrecken bei der Beprobung mit Hilfe von Packern.- Wasser & Boden 44 (8): 497-503.
- LAWA (1999): Empfehlungen zu Konfiguration von Meßnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen (qualitativ).- 32 S.; Schwerin.

- MCCARTHY, J., SHEVENELL, L. (1998): Obtaining representative ground water samples in a fractured and karstic formation.- *Ground Water* **36** (2): 251–260.
- MARRE, D., WALTHER, W. (2001): Charakterisierung der natürlichen Partikelfracht unterschiedlicher Grundwässer.- In: Fall, M., Merkel, B. (Hrsg.): Kontamination aus der Nutzung von Ressourcen – Probleme und Lösungen.- *Wissenschaftliche Mitteilungen* **18**. Proceedingsband des Geo-Umweltkolloquiums des Graduiertenkollegs „Geowissenschaftliche und geotechnische Umweltforschung“ an der TU Bergakademie Freiberg, Dezember 2001: 160–165.
- NEITZEL, P.L., SCHNEIDER, P., ECKARDT, L., KUHN, K., LANKAU, R., DEHNERT, J. (2002): Analytische Erprobung der Electrical Sensing Zone (ESZ)-Methode für die Quantifizierung von Partikeln in Grund-, Oberflächen- und Modellwasser – Labor- und Felduntersuchungen.- *Vom Wasser* **98**: 91–116.
- NIELSEN, D.M., YEATES, G.L. (1985): A comparison of sampling mechanisms available for small-diameter ground water monitoring wells.- *Ground Water Monitoring Review* **5**: 83–99; Dublin/Ohio.
- PHILIPSBORN, H. (1998): Strahlenschutz – Radioaktivität und Strahlungsmessung; 6. unveränderte Auflage; Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.- 218 S.; München.
- POHLMANN, K.F., ICOPINI, G.A., MCARTHUR, R.D., ROSAL, C.G. (1994): Evaluation of sampling and field-filtration methods for the analysis of trace metals in ground water.- Project Summary, EPA /600/SR-94/119, Environmental Monitoring Systems Laboratory; Las Vegas.
- PULS, R.W., BARCELONA, M.J. (1989): Filtration of ground water samples for metals analysis.- *Hazard. Waste & Hazard. Mater.* **6** (4): 385–393.
- PULS, R.W., POWELL, R.M., CLARK, D.A., PAUL, C.J. (1991): Facilitated Transport of Inorganic Contaminants in Ground Water: Part II. Colloidal Transport, EPA/600/M-91/040.
- PULS, R.W., POWELL, R.M. (1992): Acquisition of representative ground water quality samples for metals.- *Ground Water Monit. Rev.* **12** (3): 167–176.
- RAFF, O., HABERER, K. (1998): Radon-222 in ground water in the german Rhine-Nahe-Area.- *Vom Wasser* **90**: 311–317.
- RYAN, J.N., GSCHWEND, P.M. (1990): Colloid mobilization in two atlantic coastal plain aquifers: Field studies.- *Water Resour. Res.* **26**: 307–322.
- RYAN, J.N., ELIMELECH, M. (1996): Colloid mobilization and transport in ground water.- *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects* **107**: 1–56.
- US-EPA (1989): Superfund ground water issue, ground water sampling for metals analysis.- EPA/540/4-89/001, Office of Research and Development, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- US-EPA (1992): RCRA ground water monitoring: Draft technical guidance.- EPA 530R-93-001, Office of Solid Waste, Washington, DC.
- US-EPA (1996): EPA ground water issue – Low-Flow (minimal draw-down) ground-water sampling procedures.- EPA/540/S-95/504, Office of Research and Development, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- US-EPA (2001): Environmental investigations standard operating procedures and quality assurance manual (EISOPQAM).- US-EPA, Region 4, Athens, Georgia.
- TOUSSAINT, B. (1997): Probennahme von Grundwasser im Rahmen der Qualitätssicherung.- In: BEUDT, J. (Hrsg): Grundwasser-Management, Schutz – Reinigung – Sanierung: 53–74; Berlin, Heidelberg.
- WILLME, U., SCHULTE-EBBERT, U., HOEHN, E. (1995): Bestimmung von Grundwasserverweilzeiten mit geogenem ²²²Radon bei künstlicher Grundwasseranreicherung und Uferfiltration in einer Trinkwassergewinnungsanlage.- *gwf Wasser Abwasser* **136**: 234–241.
- WILSON, N. (1995): Soil water and ground water sampling.- 208 S.; London, Tokyo.

