

### 5.3 Radon-222 als neuer Leitkenwert zur Bestimmung optimaler Abpumpzeiten von Grundwassermeßstellen

J. Dehnert (HTW), K. Freyer (UFZ), H. C. Treutler (UFZ), W. Nestler (HTW)

#### Einleitung

Der Schutz des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung, die Überprüfung von Altlastenverdachtsflächen und die Untersuchung und Sanierung von Schadensfällen machen die Gewinnung einer ständig steigenden Anzahl von Grundwasserproben notwendig. Die richtige Abpumpzeit einer Grundwassermeßstelle ist für die Repräsentanz einer Grundwasserprobe maßgeblich. Wenn die Abpumpzeit zu kurz bemessen wird, enthält die Grundwasserprobe Anteile von Standwasser aus der Meßstelle. Bei einer zu langen Abpumpzeit können Grundwässer mit anderer Beschaffenheit aus anderen Horizonten herangezogen werden und sich beimischen. Gemäß einer im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entstandenen Erfindung kann die natürliche Radonaktivitätskonzentration des Grundwassers zur Unterscheidung von Grund- und Standwasser im Förderstrom einer Pumpe beim Abpumpen einer Grundwassermeßstelle eingesetzt werden (DEHNERT et al. 1996, 1997). Die natürliche Radonaktivitätskonzentration ist ein nützlicher, zusätzlicher Leitkenwert für die Bestimmung optimaler Abpumpzeiten von Grundwassermeßstellen bei der repräsentativen Grundwasserprobenahme.

#### Herkömmliche Bestimmung von Abpumpzeiten

Von einer repräsentativen Grundwasserprobe muß erwartet werden, daß sich in ihr die in-situ-Verhältnisse des Grundwasserleiters an einem konkreten Ort zu einer konkreten Zeit im Hinblick auf Konzentration und Stoffmuster der Grundwasserinhaltsstoffe sowie der physikalischen und biologischen Eigenschaften widerspiegeln. Über die Durchführung einer repräsentativen Grundwasserprobenahme bestehen in der Fachwelt unterschiedliche Auffassungen. Eine Sichtung der Regeln der Technik ergibt folgendes Bild: Ursprünglich sollte auf Empfehlung des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. bis zur Konstanz von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit abgepumpt werden (DvWK, 1981, DvWK, 1982). Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. empfahl 1988, bis zur Konstanz von pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und Temperatur abzupumpen (DVGW, 1988). Die gleiche Vorschrift ist in der DIN 38402 verankert (DIN, 1986). Seit 1992 wird als „Orientierungsgröße“ für die repräsentative Probenahme nur noch die Konstanz der elektrischen Leitfähigkeit empfohlen, die bekannten Faustregeln wie dem mehrfachen Austausch des Rohrinhaltes vorgezogen werden soll. Zusätzlich wurde die Beobachtung von Temperatur, pH-Wert und Trübung vorgeschlagen (DvWK, 1992). Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser empfahl 1993 die „annähernde“ Konstanz der elektrischen Leitfähigkeit als Kriterium für eine repräsentative Probenahme bei gleichzeitigem mindestens dreifachen Austausch des Standwassers im Rohr der Meßstelle (LAWA, 1993). Der DvWK hat 1997 ein neues Merkblatt zur tiefenorientierten Probenahme aus Grundwassermeßstellen veröffentlicht (DvWK, 1997). Die dort neu gegebene Empfehlung für die Probenahme aus Grundwassermeßstellen basiert nicht mehr auf dem Standwasser als Bezugsvolumen, sondern auf dem Wasser im Filterrohr und in der

Filterschüttung und reduziert das bisher empfohlene Abpumpvolumen drastisch:

„Die GwProbennahme darf erst nach Erreichen folgender Bedingungen durchgeführt werden:

1. mehr als einmaliger Erneuerung des Volumens des Filterrohrs und der Filterschüttung (Empfehlung mindestens 1,5) und
2. bei Konstanz der Leitkennwerte über einen Zeitraum von 5 Minuten, d.h. einer Schwankungsbreite des Meßwertes z.B. von

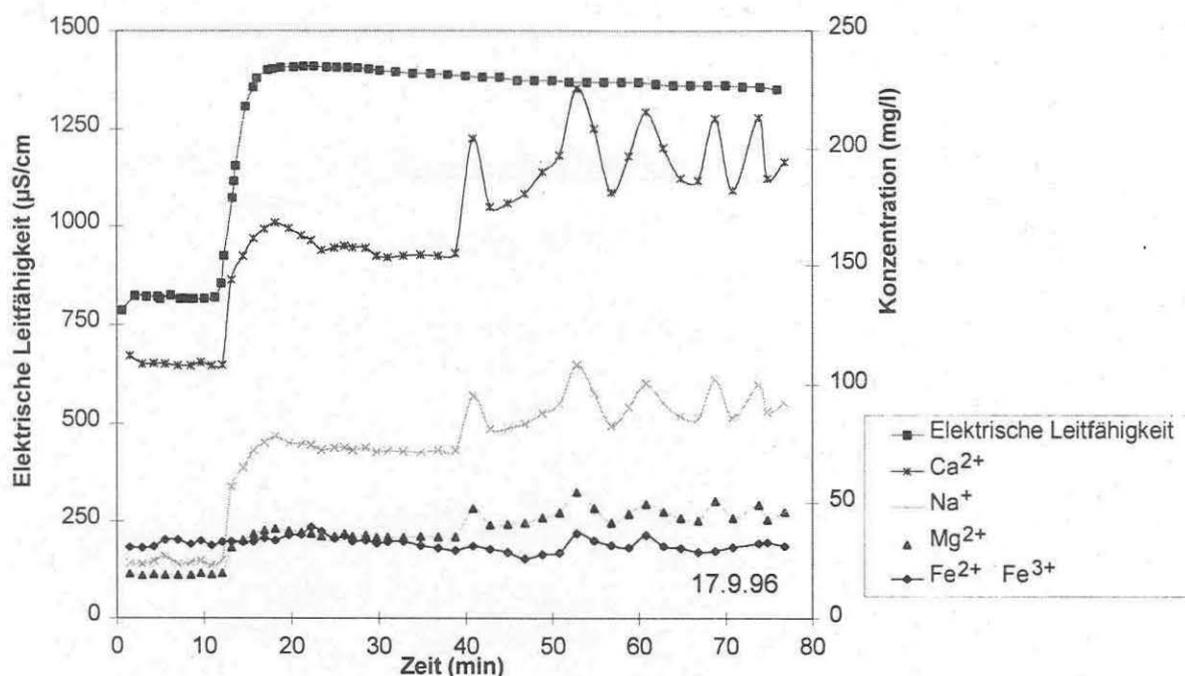
LF..  $\pm$  0,5 %;  
T....  $\pm$  0,1 K;  
pH..  $\pm$  0,1;  
O<sub>2</sub>..  $\pm$  0,1 mg/l.

Bei Meßstellen, bei denen während des Abpumpvorganges die o.g. Bedingungen nicht erfüllt werden, ist ein meßstellenspezifisches Abbruchkriterium festzulegen.“

Einerseits trägt der DVWK mit diesem neuen Merkblatt der Erkenntnis Rechnung, daß übermäßige Abpumpzeiten vermieden werden müssen, andererseits ist das in diesem Kriterium neu genannte Mindestvolumen zu hinterfragen.

### Langes Abpumpen

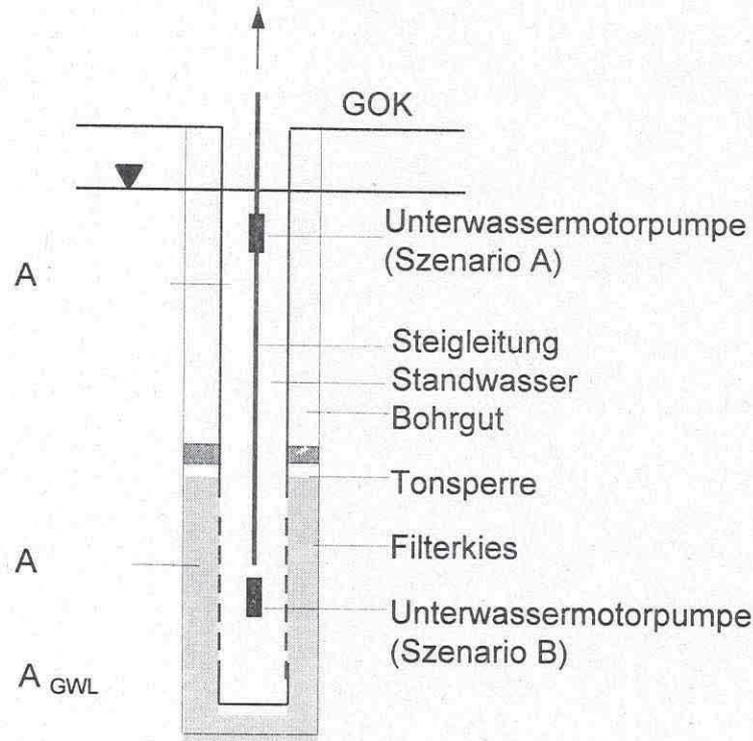
Ein zu langes Abpumpen einer Grundwassermeßstelle gefährdet die Repräsentanz einer Grundwasserprobe ebenso wie ein zu kurzes Abpumpen. Im folgenden Beispiel erreichten nach dem Abpumpen des Standwassers (Pumpeneinbau 1,8 m unter dem Grundwasserspiegel) sowohl die elektrische Leitfähigkeit als auch die Konzentrationen einzelner Ionen im Förderstrom der Pumpe einen Plateauwert. Nach 38 Minuten zeigten korrelierbare Schwankungen der Konzentrationen mehrerer Ionen die Beimischung eines Grundwassers mit anderer Beschaffenheit an. Die elektrische Leitfähigkeit reagierte auf die kurzzeitigen Schwankungen der Ionenkonzentrationen nicht, so daß anhand dieses Leitkennwertes das Eintreffen dieses Grundwassers an der Filterlage nicht erkannt werden konnte (Abb. 5.3-1).



**Abb.5.3-1:** Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit und der Konzentration ausgewählter Ionen im Förderstrom der Pumpe während des Abpumpens der Meßstelle 7/5, Torgau-Ost I, am 17.9.96, Pumpe 1,8 m unter dem Grundwasserspiegel (aus DEHNERT, 1998)

### Theorie

Radon-222, im folgenden als Radon bezeichnet, ist ein radioaktives Edelgas. Es entsteht innerhalb der natürlichen Zerfallsreihe des Uran-238 durch Zerfall des Mutterisotops Radium-226 und tritt durch Rückstoßeffekte beim Alpha-Zerfall aus Fest- und Lockergesteinen aus oder gelangt durch Diffusion an der Kornoberfläche in die flüssige Phase. Die Radonemanation eines Mineralkorns ist abhängig von der Konzentration des Mutterisotops Radium-226, der Korngröße und der Form der Kornoberfläche. An einer Grundwassermeßstelle treten drei charakteristische Radonaktivitäten auf: Das Grundwasser verfügt über die durch die Emanation des Korngerüsts des Grundwasserleiters hervorgerufene Aktivität  $A_{\text{GWL}}$ .



**Abb. 5.3-2:** Aufbau und charakteristische Radonaktivitäten an einer Grundwassermeßstelle (aus DEHNERT et al., 1997)

Die Aktivität  $A_{\text{Filter}}$  des Wassers im Porenraum des Filterkieses wird von der Emanation des eingebauten Filterkieses mitbestimmt. Die Aktivität im nicht verfilterten Standrohr der Grundwassermeßstelle  $A_{\text{Standwasser}}$  geht gegen Null, weil im Standwasser kein Radon gebildet wird (Abb. 5.3-2). Wenn durch eine Probenahme Grundwasser mit der Aktivität  $A_{\text{GWL}}$  in das Standrohr gelangt, sinkt die Radonaktivität entsprechend der Gleichung für den radioaktiven Zerfall

$$A_t = A_e e^{-\lambda t}$$

$A_t$  = Radonaktivität zum Zeitpunkt  $t$   
 $A_e$  = Radonaktivität im Gleichgewicht  
 $\lambda$  = radioaktive Zerfallskonstante,  $\lambda_{\text{Rn}} = 0,18 \text{ d}^{-1}$

in kurzer Zeit wieder auf einen Wert nahe Null ab. Schon 26 Tage nach einer Probenahme beträgt die Aktivität im Standwasser nur noch 1 % des Ausgangswertes. Radon ist aufgrund seiner Halbwertszeit und seiner permanenten natürlichen Anwesenheit im Grundwasser ein idealer Leitkennwert zur Bestimmung des Standwasseranteils im Förderstrom einer Pumpe. Die Konzentration des Radons im Wasser ist der gemessenen Aktivität proportional. Mißt man die Radonaktivitätskonzentration des abgepumpten Wassers, so beginnt diese bei nahe Null und nähert sich entsprechend dem Mischungsverhältnis von Grund- und Standwasser einem Plateauwert. Anhand einer solchen Kurve kann unter Hinzuziehung des Verlaufes der bisher verwendeten Leitkennwerte

elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur sowie eines sinnvollen Volumenkriteriums der Zeitpunkt für die repräsentative Grundwasserprobenahme objektiv und reproduzierbar bestimmt werden.

### Meßmethodik

Zur Messung der Radonaktivitätskonzentration wurde ausgehend von einer von HORIUCHI und MURAKAMI (1981) beschriebenen Methode auf der Basis der Flüssigszintillationsspektrometrie eine spezielle Meßmethodik erarbeitet (FREYER et al., 1997). Diese beinhaltet eine detaillierte Vorschrift für die Probenahme, den Transport der Probe und die Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration im Labor. Der Zählfehler betrug  $< \pm 5 \%$  für Zählraten zwischen 40 und 8000 cpm. Der Gesamtfehler des Verfahrens wird auf  $< \pm 10 \%$  geschätzt. Die Kalibrierung erfolgte mit einer wässrigen Ra-226-Standardlösung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig. Der Kalibrierfaktor ergab sich zu  $(8,3 \pm 0,6) 10^{-3}$  Bq/cpm.

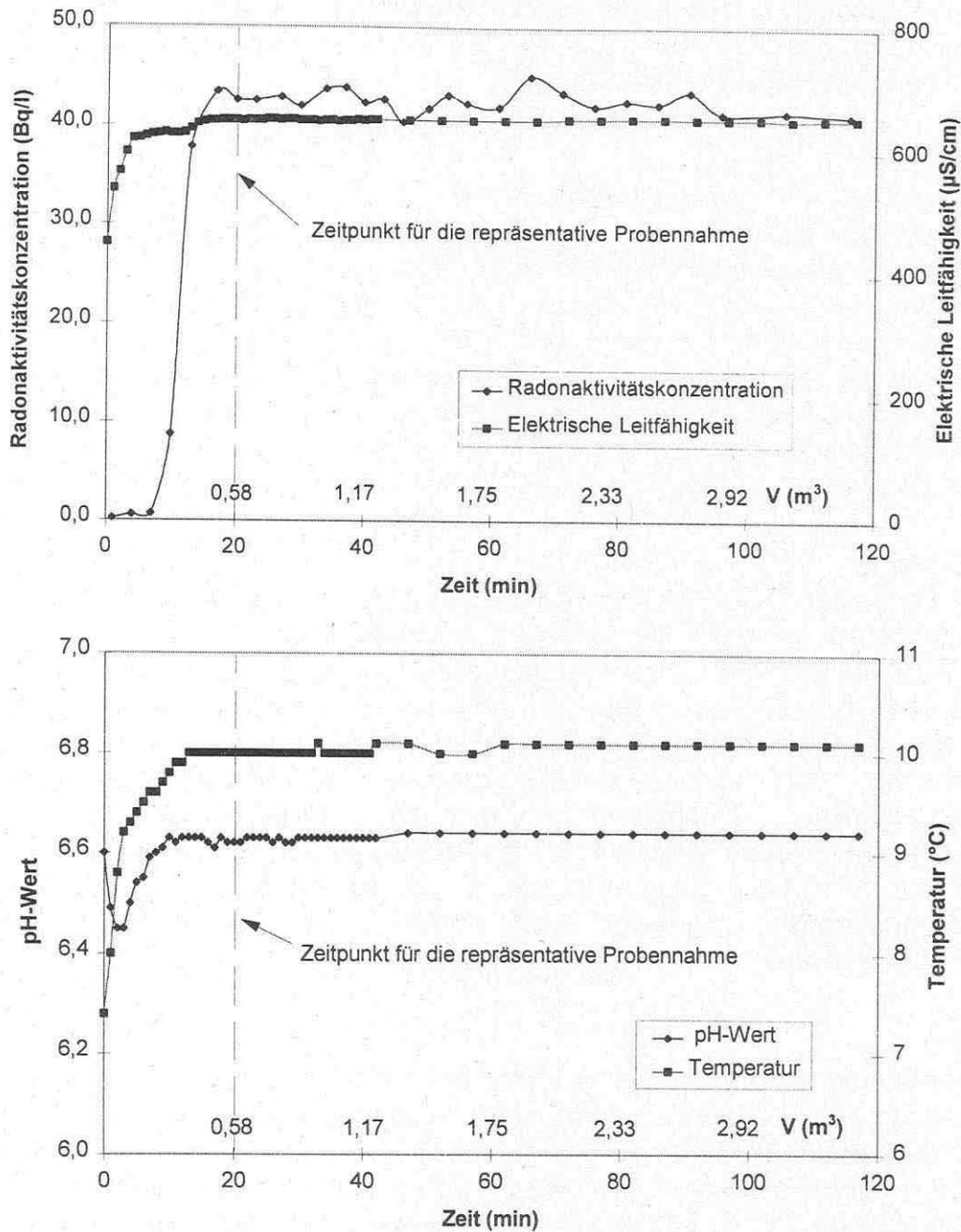
### Feldversuche

Es wurden zahlreiche Feldversuche durchgeführt, von denen hier zwei ausgewählte Beispiele diskutiert werden. Bei Versuch 1 wurde die Pumpe 1 m unter der Grundwasseroberfläche in eine Grundwassermeßstelle mit einer stehenden Wassersäule bis zur Filteroberkante von 37,90 m eingebaut. Bei einer konstanten Förderleistung der Pumpe von  $1,75 \text{ m}^3/\text{h}$  wurden im Abstand von drei Minuten Proben zur Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration genommen. Die Kennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert wurden im Abstand von 1 min aufgezeichnet. Der Versuch dauerte 117 min (Abb. 5.3-3).

Der Versuch 2 wurde unter ähnlichen Bedingungen an einer anderen Grundwassermeßstelle durchgeführt, wobei elf Tage zuvor bereits eine Probenahme erfolgt war (Abb. 5.3-4).

### Ergebnisse

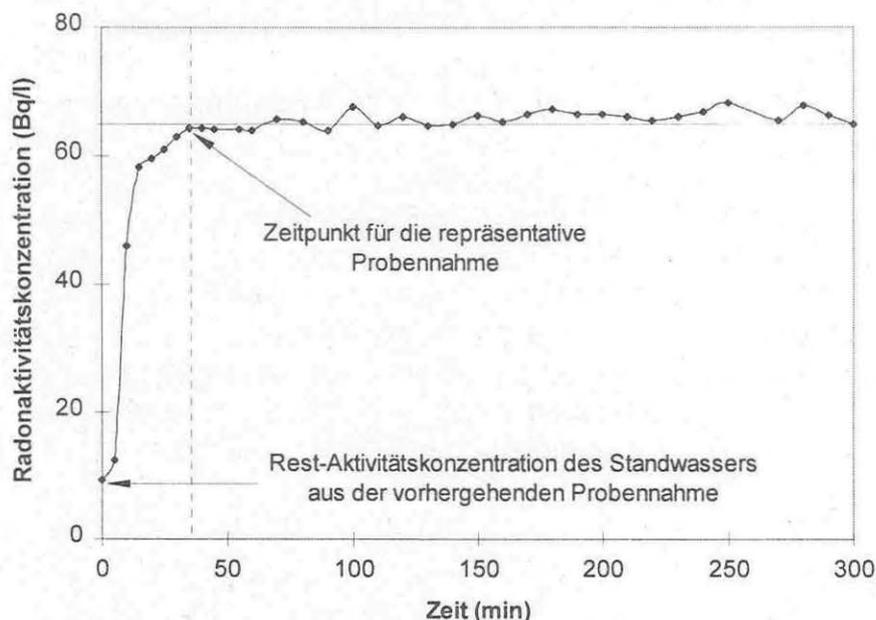
Bei beiden Versuchen mußte vor der repräsentativen Probenahme das gesamte Standwasser in der Grundwassermeßstelle ausgetauscht werden. Bei Versuch 1 begann die Radonaktivitätskonzentration erwartungsgemäß bei nahe Null ( $0,2 \text{ Bq/l}$ ) und stieg bis zu einem Plateauwert von  $(42,6 \pm 1,0) \text{ Bq/l}$  ( $n=23$ ) an. Der Verlauf dieser Kurve ist ein Maß für das Verhältnis von Standwasser zu Grundwasser im Förderstrom der Pumpe. Standwasserfreie Grundwasserproben konnten nach 20 min bei einem Abpumpvolumen von  $0,58 \text{ m}^3$  entnommen werden. Das Standwasser in der Meßstelle war zu diesem Zeitpunkt 1,5 mal ausgetauscht worden. Die elektrische Leitfähigkeit stieg in zwei Schritten von  $450 \text{ } \mu\text{S/cm}$  auf einen ersten Plateauwert von  $(628 \pm 1) \text{ } \mu\text{S/cm}$  ( $n=6$ ) und weiter auf den endgültigen Plateauwert von  $(651 \pm 1) \text{ } \mu\text{S/cm}$  ( $n=42$ ) an. Der Hauptanstieg der elektrischen Leitfähigkeit begann unmittelbar nach Beginn des Abpumpens der Grundwassermeßstelle und lag deutlich vor dem Anstieg der Radonaktivitätskonzentration. Bei alleiniger Verwendung der elektrischen Leitfähigkeit



**Abb. 5.3-3:** Verlauf von Radonaktivitätskonzentration und elektrischer Leitfähigkeit (oben) sowie pH-Wert und Temperatur (unten) im Förderstrom der Pumpe während des Abpumpens der Meßstelle 10/5, Torgau-Ost II, Pumpe 1 m unter dem Grundwasserspiegel (aus DEHNERT et al., 1997, geändert)

zur Beurteilung eines Abpumpversuches kann ein solches Zwischenplateau falsch interpretiert werden. Die Plateaus von pH-Wert und Temperatur stellten sich gemeinsam mit dem ersten Plateau der elektrischen Leitfähigkeit ein, so daß diese Kennwerte keinen Beitrag zur Bestimmung des Zeitpunktes für die repräsentative Probenahme leisten konnten. Da der Anfang des Plateaus der Radonaktivitätskonzentration mit dem

Erreichen des zweiten Plateaus der elektrischen Leitfähigkeit zusammenfiel, konnte der Zeitpunkt für die repräsentative Probenahme eindeutig festgelegt werden. Eine repräsentative Grundwasserprobenahme sollte unter den genannten Versuchsbedingungen nach einer Abpumpzeit von 20 min bei einem Abpumpvolumen von  $0,58 \text{ m}^3$  erfolgen.



**Abb.5.3-4:** Verlauf der Radonaktivitätskonzentration im Förderstrom der Pumpe während des Abpumpens der Meßstelle 4/5, Torgau-Ost II, die elf Tage zuvor schon einmal abgepumpt wurde (aus DEHNERT et al., 1997, geändert)

Die gute Reproduzierbarkeit des Leitkennwertes Radonaktivitätskonzentration kommt auch darin zum Ausdruck, daß dieser Kennwert innerhalb weniger Tage an derselben Meßstelle bei weiteren Probenahmen erneut zur Bestimmung der optimalen Abpumpzeit eingesetzt werden kann. Da die Radonaktivitätskonzentration entsprechend dem radioaktiven Zerfallsgesetz an allen Punkten im Standrohr der Grundwassermeßstelle nach einer Probenahme beschaffenheitsunabhängig abnimmt, ergibt sich ein ähnlicher Kurvenverlauf mit zeitgleichem Anstieg und gleichem Plateauwert.

Bei Versuch 2 wurde ein Abpumpversuch an einer Meßstelle durchgeführt, an der elf Tage zuvor bereits eine Probenahme erfolgt war. Die Anfangsaktivitätskonzentration lag nicht bei Null, sondern bei  $9,4 \text{ Bq/l}$  (Abb. 5.3-4). Trotzdem konnte das Plateau der Radonaktivitätskonzentration mit  $(65,7 \pm 1,2) \text{ Bq/l}$  ( $n=28$ ) und daraus der Zeitpunkt für die repräsentative Probenahme sicher bestimmt werden. Es war sogar möglich, den Zeitpunkt der vorangegangenen Probenahme mit Hilfe des radioaktiven Zerfallsgesetzes zu überprüfen.

Der neue Leitkennwert „Radonaktivitätskonzentration“ ist streng reproduzierbar, beschaffenheitsunabhängig und nach wenigen Tagen erneut einsetzbar.

### Neue Durchflußmeßzelle

Für das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte Verfahren zur Bestimmung optimaler Abpumpzeiten von Grundwassermeßstellen mit Hilfe der natürlichen Radonaktivitätskonzentration wurde dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH ein Patent erteilt (DEHNERT et al., 1997). Auf diesem Schutzrecht aufbauend soll im Rahmen eines neuen Forschungsvorhabens ein marktfähiges Produkt entwickelt werden: Vorgesehen ist die Konstruktion und Erprobung einer neuen mikroprozessor-gesteuerten Durchflußmeßzelle, die neben der Radonaktivitätskonzentration den Durchfluß und die üblichen Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert mißt. Mit dieser neuen Durchflußmeßzelle und der zugehörigen Software soll aus dem Verlauf der natürlichen Radonaktivitätskonzentration und dem Verlauf der herkömmlichen Leitkennwerte elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert unter Berücksichtigung eines Volumenkriteriums die optimale Abpumpzeit von Grundwassermeßstellen sicher und reproduzierbar bestimmt werden. Mit einer solchen Durchflußmeßzelle kann die Probenahme aus Grundwassermeßstellen objektiviert, die Repräsentanz der Grundwasserproben erhöht und die Abpumpzeiten gesenkt werden, was die Kosten der Probenahme reduziert.

# **Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe**

Gemeinsamer Abschlußbericht  
zum Verbundforschungsvorhaben des Bundesministeriums  
für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie  
(02 WT 9454)

Leitung des Verbundvorhabens  
W. Nestler

## **Teilprojekt 1:**

### **Charakterisierung der Mischungsverhältnisse im Grundwasserleiter/Verhalten der Summenparameter AOS und DOC bei der Uferfiltration**

W. Nestler (Projektleiter), J. Dehnert, T. Grischek  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, LB Geotechnik & Wasserwesen  
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

## **Teilprojekt 2:**

### **Verhalten von Einzelstoffen (Sulfonsäuren und halogenierten Carbonsäuren) bei der Uferfiltration**

W. Walter (Projektleiter), P. Neitzel  
Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft  
Mommsenstraße 13, 01062 Dresden

## **Teilprojekt 3:**

### **Dreidimensionale Beobachtung von Strömungsprozessen im Grundwasserleiter mittels geoelektrischer Computertomographie**

F. Jacobs (Projektleiter), C. Reißmann  
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie  
Augustusplatz 10 - 11, 04109 Leipzig

## **Teilprojekt 4:**

### **Entwicklung und Anwendung isopenanalytischer Methoden zur Beurteilung von Herkunft und Bewegung von Grundwasser und Inhaltsstoffen**

R. Trettin, K. Freyer (Projektleiter)  
H.C. Treutler, G. Mallén, G. Strauch  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Hydrogeologie, Hallesche Straße 44, 06246 Bad Lauchstädt  
Sektion Analytik, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig