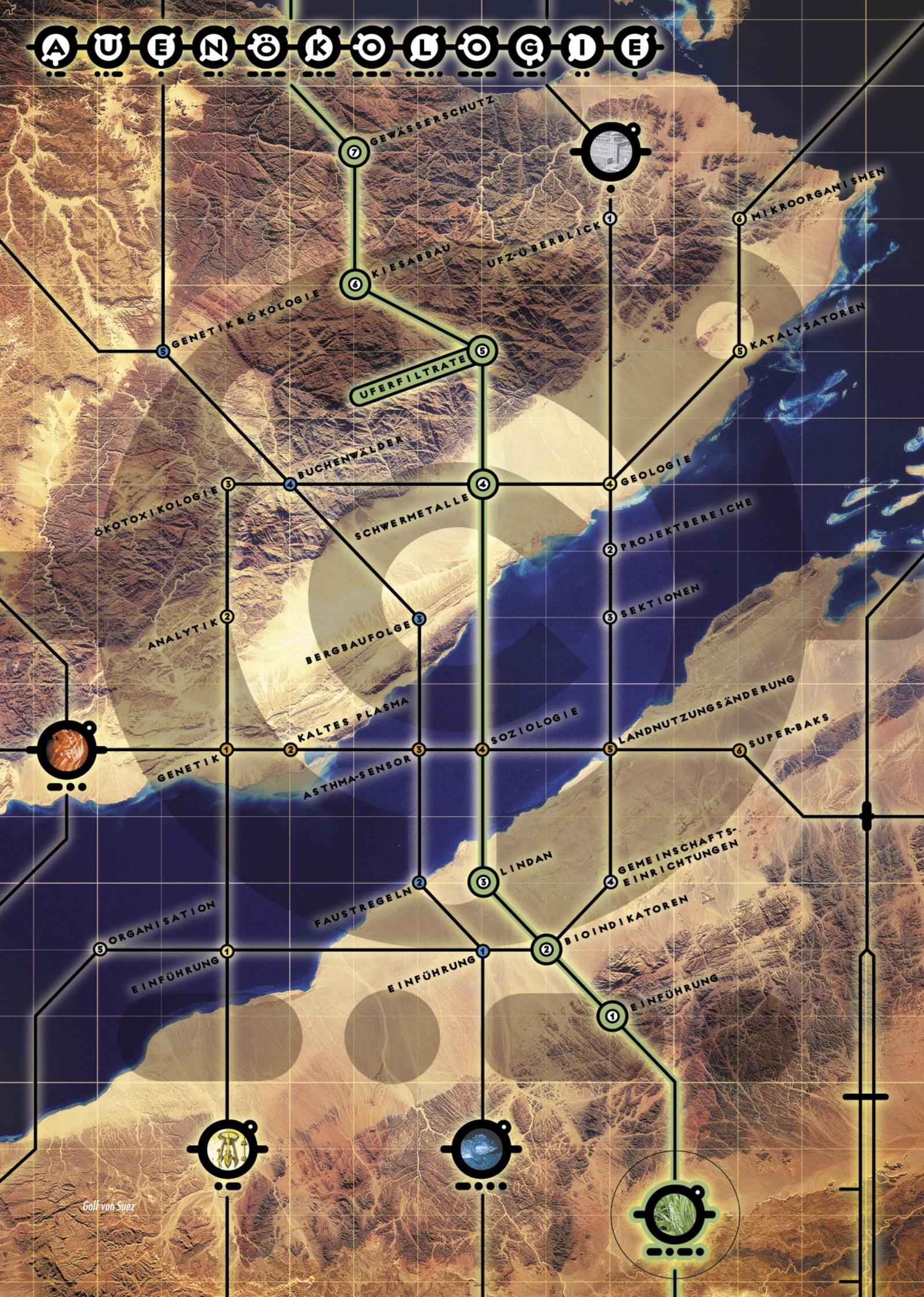


# A U E N Ö K O L O G I E





# UFERFILTRATE – EINE UNVERZICHTBARE TRINKWASSERQUELLE

Rolf Trettin, German Mallén

In Deutschland werden etwa 30% des Wasserbedarfs direkt oder indirekt aus Oberflächenwasser gedeckt. Bei indirekter Gewinnung durch Uferfiltration gibt das Gewässer entgegen seiner natürlichen Funktion als Vorfluter Wasser über den Grundwasserleiter an die Förderbrunnen ab. Brunnen, die nicht in einer Insellage stehen, fördern immer eine Mischung aus regional gebildetem Grundwasser und Oberflächenwasserinfiltraten. Die Rohwasserqualität hängt demnach sowohl von den Verhältnissen im Grundwassereinzugsgebiet als auch der Oberflächenwasserqualität und den Prozessen zwischen Gewässer und Brunnen ab. Ein Wasserwerksunternehmen sollte diese drei Dinge möglichst genau kennen, um im Belastungsfall rechtzeitig und richtig reagieren beziehungsweise geeignete Vorsorge-maßnahmen treffen zu können. Zwar gehen der Installation von Wasserwerksbrunnen Abschätzungen voraus, jedoch können diese höchstens so genau sein wie die aus wenigen Testbohrungen gewonnenen Kenntnisse es zulassen.

Hydrogeologen des UFZ wollen deshalb mehr über den Uferfiltrationsprozess erfahren und nutzen dazu unter anderem Isotopenverfahren. Als Beispielgebiet dient ihnen der Wasserwerksbereich Torgau-Ost an der mittleren Elbe.

## *Das Untersuchungsgebiet*

Hydrogeologisch gesehen befindet sich das Untersuchungsgebiet in der sogenannten Elbtalwanne, einer Rinne-Struktur zwischen Dessau und Riesa, die in der Elstereiszeit angelegt wurde. Die etwa 50m mächtige Füllung mit Sanden und Kiesen des Holozäns und Pleistozäns bildet dort einen guten Grundwasserleiter (Aquifer). Durch tertiäre Tone wird



*Bild 1: Einrichtung ufernaher Messstellen für Infiltrationsuntersuchungen im Profil Torgau-Ost I. (Foto: Rolf Trettin, UFZ)*

dieser nach unten abgedichtet. Zur Untersuchung der Uferfiltrationsprozesse dienen zwei zu Forschungszwecken geschaffene Messprofile. Jedes Profil folgt einer angenommenen Fließrichtung und besteht aus einer Kette von Messstellen mit jeweils bis zu fünf Beprobungshorizonten (vergleiche Bild 3). Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf Profil I. Im Gegensatz zu Profil II existiert dort im unteren Aquiferbereich eine dünne Schluffschicht.

Folgende Fragen sind für die Wissenschaftler interessant:

- Wie lange dauert es, bis das Flusswasser die Brunnen erreicht?
- Welche chemischen Prozesse laufen während der Untergrundpassage ab?
- Gelangt von der Flussseite nur Uferfiltrat oder auch ostelbisches Grundwasser zu den Brunnen?
- Welche Untersuchungsmethoden sind besonders geeignet?
- Was ergibt sich daraus für den Wasserwerksbetreiber?

## *Umweltisotope als Tracer*

Isotope sind die unterschiedlichen Atome eines Elementes, die die gleiche Anzahl an Protonen und Elektronen aufweisen und damit die gleiche Ordnungszahl haben. Bedingt durch unterschiedliche Neutronenzahlen besitzen sie jedoch verschiedene Massenzahlen. Isotope werden durch die Angabe dieser Massenzahl gekennzeichnet, zum Beispiel  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$  für die natürlich vorkommenden Isotope des Kohlenstoffs. Die meisten Elemente kommen als natürliches Isotopengemisch vor. Neben stabilen Isotopen gibt es eine Vielzahl von instabilen, radioaktiven Isotopen, von denen die meisten künstlich durch Kernreaktionen erzeugt werden.

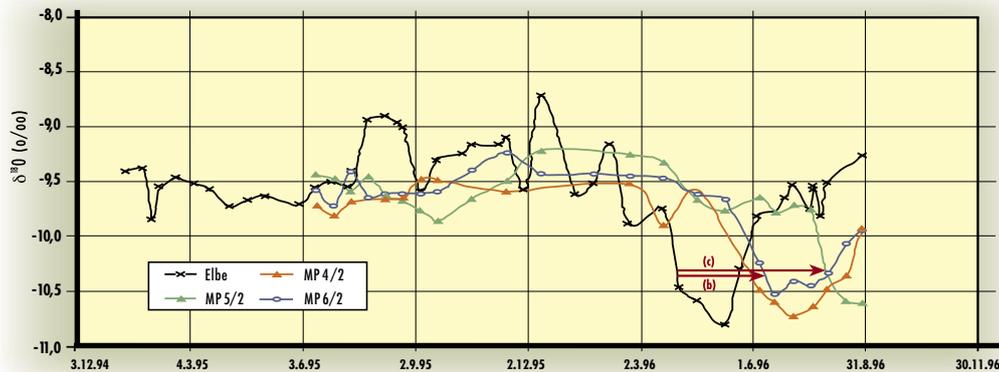


Bild 2:  $\delta^{18}\text{O}$ -Variation in der Elbe und in Messpunkten des Teufensbereichs 2. Man erkennt deutlich, dass das Elbewasser die Messstelle 5 (siehe Pfeil c) erst nach Eintreffen an der von der Elbe weiter entfernten brunnennahen Messstelle 6 (siehe Pfeil b) erreicht.

Sowohl radioaktive als auch stabile Isotope können als Tracer, das heißt als »Spürmittel« eingesetzt werden.

Künstliche radioaktive  $^{14}\text{C}$  zum Beispiel Anwendung bei der Tumorsuche in der medizinischen Diagnostik. Das natürliche radioaktive  $^{14}\text{C}$  wird zum Beispiel bei der Altersbestimmung in der Archäologie verwendet. Als natürliche Tracer des Wasserkreislaufs spielen unter anderem die radioaktiven Isotope des Wasserstoffs ( $^3\text{H}$ ), des Kohlenstoffs ( $^{14}\text{C}$ ), des Radons ( $^{222}\text{Rn}$ ), des Argons ( $^{39}\text{Ar}$ ) oder des Kryptons ( $^{85}\text{Kr}$ ) eine Rolle.

Stabile Isotope helfen unter anderem Stoffwechselwege aufzuklären, Stoffquellen und Stoffströme zu kennzeichnen oder Umsetzungsprozesse anzuzeigen. Von besonderer Bedeutung in der Hydrologie sind die relativen Konzentrationen der stabilen Isotope des Wasserstoffs ( $^2\text{H}$ ), des Kohlenstoffs ( $^{13}\text{C}$ ), des Stickstoffs ( $^{15}\text{N}$ ), des Sauerstoffs ( $^{18}\text{O}$ ) und des Schwefels ( $^{34}\text{S}$ ) im jeweiligen Isotopengemisch.

Kennzeichnend für die Isotopenzusammensetzung eines Stoffes ist der Häufigkeitsquotient  $R$ , der sich aus den Konzentrationen von zwei Isotopen eines Elementes  $X$  in einer Probe  $P$  mit den Massenzahlen  $A$  und  $B$  [ $R_p = \frac{A^X/B^X}{P}$ ] ergibt. Dabei bezeichnet  $A^X$  gewöhnlich ein seltenes, schwereres und  $B^X$  das am häufigsten vorkommende Isotop des betrachteten Elementes. Diese Verhältniszerte kann man massenspektrometrisch sehr genau messen.

Sie sind gewöhnlich sehr klein und schlecht zu merken. Angesichts dieser relativ geringen Variation stabiler Isotope in der Natur und aus messtechnischen Gründen wird in der Praxis nicht  $R_p$  benutzt, sondern die in Promille angegebene Abweichung des Verhältnisses der Probe von demjenigen einer international festgelegten Standardsubstanz [ $\delta^B X = (R_p/R_{\text{Std}} - 1) 1000$ ].

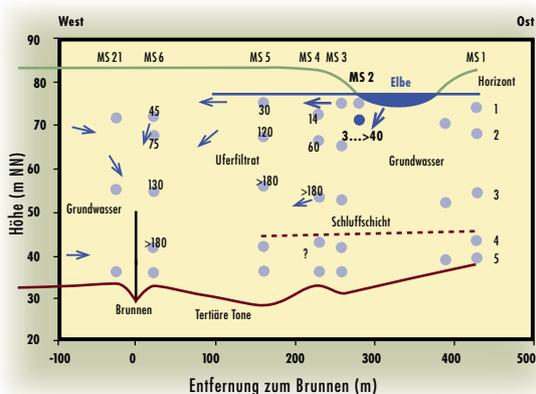
### Aufklärung der Fließprozesse zwischen Fluss und Brunnen

Zur Erfassung der Fließdynamik ist ein natürlicher, möglichst konservativer Tracer, das heißt ein chemisch unbeeinträchtigt und wie das Wasser transportierter Stoff geeignet. Die Konzentration des Tracers im Flusswasser muss zeitlich veränderlich sein. Ideale Tracer sind zum Beispiel  $\delta^{18}\text{O}$  oder  $\delta\text{D}$  ( $\text{D} = ^2\text{H} = \text{Deuterium}$ ), da beide Parameter das Wassermolekül selbst kennzeichnen. Ihr zeitlicher Gang im Flusswasser ergibt sich unter anderem aus den jahreszeitlich schwankenden Bildungsbedingungen des im Abfluss integrierten Niederschlags- und Grundwassers. Er überträgt sich auf das Uferfiltrat und kann in den Messstellen mehr oder weniger stark verzögert und gedämpft wiedergefunden werden. Aus der Verzögerung lassen sich Fließzeiten bestimmen. Die zeitliche Variation dieser  $\delta$ -Werte wurde bereits häufig zu Uferfiltrationsstudien an anderen Flüssen genutzt. Die Untersuchungen der UFZ-Hydrogeologen ergaben, dass auch an der mittleren Elbe ausreichende Variationen vorliegen. Im Unterschied zu Flüssen, die in größerem Maße von der Entwässerung kühlerer Hochflächen profitieren (Abflüsse der Alpen) und dadurch besonders niedrige  $\delta$ -Werte erreichen können, lässt sich das durchschnittliche Elbewasser jedoch nicht vom regionalen Grundwasser der Elbtalwanne abheben. Bild 2 zeigt den  $\delta^{18}\text{O}$ -Gang, wie er in der Elbe und den Grundwassermessstellen der zweiten Beprobungsetage beobachtet wurde. Von großer Bedeutung sind Leitereignisse wie die Schneeschmelze im Frühjahr, die eine starke Erniedrigung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte bewirkt.

In Bild 3 sind die aus der Kurvenverschiebung ermittelten Fließzeiten für einzelne Messpunkte des Profils I wiederge-



geben. Aus der Verteilung sieht man die starke Abhängigkeit der Fließzeiten vom Weg des Uferfiltrates. Auf der obersten Fließbahn benötigt das Wasser nur zirka 45 Tage während es auf tieferen Bahnen bis zu einem Jahr unterwegs ist. Dies sind jedoch nur Mittelwerte. Bei genauerer Betrachtung erweisen sich sowohl die Fließzeiten als auch der Ort der Infiltration (Ufer und/oder Flussbett) noch vom Wasserstandsgang der Elbe abhängig. In den Teufenbereichen 4 und 5 (außer 6/4) gibt es keine auswertbaren  $\delta^{18}\text{O}$ -Variationen, was auf fehlenden Uferfiltratanteil hinweist, dies aber nicht beweist.

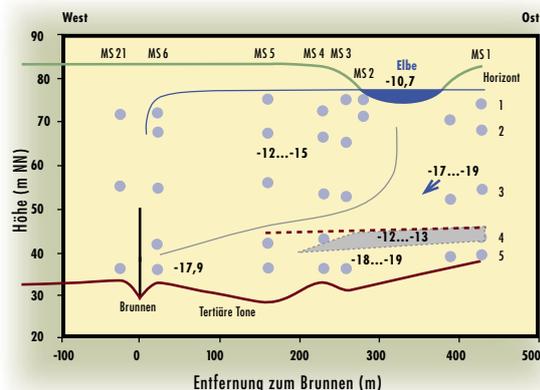


**Bild 3:** Mittlere Fließzeiten des Uferfiltrates zwischen der Elbe und den Messpunkten (Punkte) im Messprofil I in Tagen (ermittelt aus der  $\delta^{18}\text{O}$ -Variation in der Elbe von 1996). An der unteren Entnahmestelle von MS 2 wird die insbesondere in Böschungsnähe stark variable Fließzeit deutlich. Das beruht auf einer starken Abhängigkeit der Exfiltrationsbedingungen vom Wasserstandsgang der Elbe.

### Das Wasser im unteren Niveau – Elbeunterströmung

Mit Hilfe von Tritium ( $^3\text{H}$ ) stellt man leicht fest, dass das Wasser nahe der Aquiferbasis (Niveau 5) unter der Elbe kein Uferfiltrat sein kann. Diese Aussage beruht auf der Tatsache, dass das Wasser fast kein Tritium enthält. Es muss daher weitgehend aus der Zeit vor den großen Kernwaffentests um 1960 stammen, von denen seither der Tritiumgehalt in Niederschlägen und damit auch im Grundwasser maßgeblich beeinflusst wird. Das Wasser in Schicht 4 und darüber enthält Tritium und ist daher bedeutend jünger.

Als weiterer Tracer bietet sich der im Wasser gelöste organische Kohlenstoff (DIC) an. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des in der karbonatarmen Elbtalwanne gebildeten Grundwassers liegen im Durchschnitt deutlich unter denen des Elbewassers.



**Bild 4:** Verteilungsbild der mittleren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Messprofil I (Zahlenangaben in Promille bezogen auf den Standard PDB)

ers. In Bild 4 sind die Verhältnisse angedeutet. Als sehr günstig erweist sich der Umstand, dass im Grundwasser östlich der Elbe die Schicht 4 durch höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte herausfällt und dadurch in Richtung der Brunnen verfolgt werden kann. Dieses Wasser bildet eine den uferfiltratbeeinflussten Raum begrenzende Fahne, bis sich die Markierung infolge von Mischungsprozessen in Brunnennähe verliert. Des Weiteren wird deutlich, dass ostelbisches Grundwasser aus dem Teufenbereich 4 und 5 bis zu den Brunnen gelangt. Dies ist im Profil II nicht so, so dass entlang der Elbe mit wechselnden Verhältnissen gerechnet werden muss.

### Was passiert auf dem Fließweg ?

Bereits bei der Passage des Gewässergrundes beziehungsweise auf den ersten Dezimetern im Aquifer treten chemische Veränderungen im Wasser ein. Beim  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  merkt man dies an einem leichten Abfall, der sich aus der Zufuhr von  $^{13}\text{C}$ -ärmerem Zersetzungs- $\text{CO}_2$  aus dem partiellen Abbau von gelöstem organischem Kohlenstoff ergibt. Eine Betrachtung des als Sulfat im Wasser gelösten Schwefels ist ebenfalls aufschlussreich (Bild 5). Zunächst stellt man fest, dass sich Schicht 5 bezüglich des Sulfat- und  $\delta^{34}\text{S}$ -Gehaltes deutlich vom darüberliegenden Grundwasser abhebt. Betrachtet man die Messstelle 4, findet man unterhalb der Schluffschicht eine Zone mit ca. 2,2‰. In den Messniveaus 3 und 2, beziehungsweise im Bereich der unteren Uferfiltratfahne sind die Werte gegenüber der Elbe bei leicht erhöhtem Sulfatgehalt wie auch gegenüber den ostelbischen Grundwässern deutlich reduziert. Dies weist auf die Oxidation von sedimentärem (sulfidischem) Schwefel hin. Sulfidischer Schwefel besitzt gewöhnlich re-

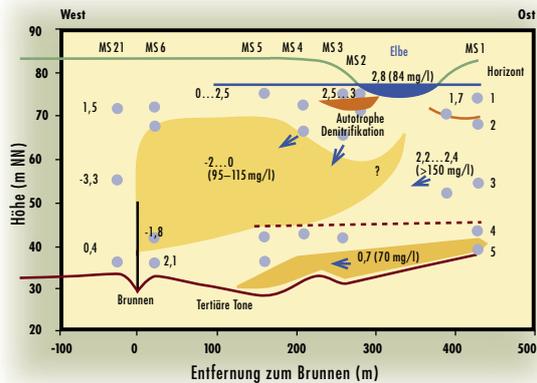


Bild 5: Verteilungsmuster der mittleren  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte und Sulfatgehalte (in Klammern), Zahlenangaben in ‰ (Promille) bezogen auf den Standard CDT beziehungsweise mg/l.

lativ niedrige  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte, die sich bei der Oxidation zu Sulfat kaum verändern, aber die Mischung beeinflussen. Dies und das Verschwinden des aus der Elbe eingetragenen Nitrats im absteigenden Wasser kennzeichnet die etwa im Niveau 2 einsetzende sogenannte autotrophe Denitrifikation. Im obersten Niveau ist dieser Effekt beim Schwefel nicht zu bemerken. Betrachtet man Nitrat in unmittelbarer Ufernähe genauer (es gibt hier noch zusätzliche Messstellen), so stellt man fest, dass es auch auf der obersten Fließbahn bereits in Ufernähe abgebaut wird. Dies wird durch die erwartete Erhöhung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte begleitet. Der Abbau erfolgt jedoch, da hier Sulfide nicht mehr existieren, nach einem anderen Mechanismus. Mit größerer Entfernung von der Böschung kommt neues Nitrat wie auch Sulfat mit dem Sickerwasser hinzu, so dass die Verhältnisse unübersichtlich werden. Auch die Sulfatergebnisse lassen sich nicht auf das Profil II übertragen. Ein Grund hierfür wird in der wesentlich höheren Förderleistung der Brunnen im Profil I gesehen.

## Schlussbemerkungen

Das Beispiel zeigt, dass man mit komplexen Isotopenuntersuchungen ein genaues Bild wesentlicher Vorgänge bei der Uferfiltration erhalten kann. Daneben lassen sich Fließzeiten auch mit Hilfe hydrochemischer Untersuchungen (Betrachtung der variierenden Chloridkonzentration in der Elbe) ermitteln. Auch können der Uferfiltratraum sowie das Mischungsverhältnis von Grundwasser und Flusswasser mit einigen hinreichend persistenten organischen Kontaminanten, die im Grundwasser praktisch nicht vorkommen, bestimmt werden. In der Regel wird man isotopenanalytische und hydrochemische Untersuchungen verbinden, um den jeweils günstigsten Ansatz für die Nutzung natürlicher Markierungen zu finden – vor allem aber, um das System als Ganzes zu begreifen. Daraus wiederum erhält der Wasserwerksbetreiber die nötigen Informationen für eine effektive Überwachung der Uferfiltrationsprozesse beziehungsweise der Wasserqualität.

### Literatur

W. Nestler, W. Walther, F. Jacobs, R. Trettin und K. Freyer: Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe. UFZ-Bericht Nr. 7/1998, 203 S.



## *English Abstract*

### *Bank filtrate – an indispensable source of drinking water*

Rolf Trettin, German Mallén

Natural isotopes are valuable tracers for revealing bank filtration processes. An example is given concerning the situation in a water supply area at the middle course of the River Elbe. Besides  $\delta^{18}\text{O}$ , a well-known tracer for estimating residence times and mixing ratios,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  were also used to highlight biochemical reactions along the flow paths and to demonstrate that groundwater can pass through the aquifer below the river bed.  $\delta^{13}\text{C}$  was found to be particularly suitable for distinguishing river water from groundwater. Depending on the flow paths, different kinds of denitrification can be observed by studying nitrate,  $\delta^{15}\text{N}$ , sulphate and  $\delta^{34}\text{S}$ .