

4.2.2 Identifizierung von Strömungsprozessen im Bereich der Uferfiltration mit Hilfe isotopenanalytischer Verfahren R. Trettin (UFZ)

Vorbemerkungen

Für die Bestimmung dynamischer Faktoren bei der Bewegung von Uferfiltrat vom Fluß zur Fassung sind ausreichende zeitliche Variationen der Meßparameter im Flußwasser erforderlich. Soll zusätzlich die Platznahme der Uferfiltrate im Aquifer untersucht werden, so genügen hinreichende Differenzen zwischen der Signatur von Fluß- und örtlichem Grundwasser. Speziell für die tracertechnische Entscheidung über die Flußunterquerung wäre ein sicherer Indikator ein Stoff, der nur auf der anderen Flußseite zu finden ist - ein Umstand der in der Praxis kaum auftritt. Wichtig ist in jedem Fall ein konservatives Verhalten während der Aufenthaltszeit im Raum zwischen Fluß und Fassung. Dieses besitzen die Isotope des Wassers. Bei allen anderen muß prinzipiell und insbesondere bei Milieuwechsel mit der Möglichkeit von stofflichen Veränderungen und damit auch Isotopenvariationen gerechnet werden, die die tracertechnischen Eigenschaften in Bezug auf Strömung verschlechtern oder verbessern können. Diese betreffen die Flußbettpassage, den Fließweg im Aquifer und die Wechselwirkung mit dem Grundwasser. Die Ergebnisse mit Isotopen in Wasserinhaltsstoffen werden deshalb in diesem Kapitel nur kurz und strömungsbezogen behandelt. Isotopenvariationen und Beschaffenheit des Wassers sind als Einheit zu erfassen und zu bewerten, auch wenn an dieser Stelle die Isotopenseite hervorgehoben wird.

Tritiumkonzentrationswerte liegen für die Elbe seit 1991 vor. Waren es anfangs im Jahresmittel noch rund 20 TU, so sind sie seither auf gegenwärtig rund 14 TU gefallen. Es existieren zwar zeitliche Variationen, jedoch ist Tritium als Zeitindikator im Uferfiltrat der Elbe nicht relevant.

Eine besondere Stütze ist auch an der Elbe $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, das bereits an anderen Flußsystemen wie z.B. Rhein (SONTHEIMER 1991) oder Lech (Maloszewski & Trimborn 1997) erfolgreich verwendet wurde. Typisch für das Untersuchungsgebiet ist, daß es kaum Differenzen zwischen der mittleren $\delta^{18}\text{O}$ -Zusammensetzung des Elbewassers und des landseitigen Grundwassers gibt. Betrachtet man Profil I, so liegen diese Mittelwerte im Bereich $-9,5 \pm 0,1 \text{ ‰}$, so daß Unterscheidungen nur über die Fluktuationen möglich sind. Aus Abb. 4.2.2-1 folgt, daß diese im groben Verlauf und erwartungsgemäß mit den Flußwasserständen korreliert sind, daß aber darüberhinaus selbst das Frühjahr mit verstärkter Hochwasserneigung von Jahr zu Jahr sehr verschiedene und stark strukturierte Ganglinien aufweisen kann. Will oder muß man kleinere und/oder schmalere Peaks als Marker im Aquifer verwenden, so bedeutet dies - falls Laufzeit und Dispersion die Auflösbarkeit von Einzelereignissen und Fließzeiten zulassen (SONTHEIMER 1991) - eine sehr hohe Probenahmefrequenz. Im Projektzeitraum wurden Fließzeitexperimente begrenzt durch Brunnenabschaltungen zum Einbau stärkerer Pumpen und Abschaltung von Mai 95 bis Aug. 96 und im Profil II bis Jun. 97 durchgeführt. Bereits von 1993/94 existiert eine Meßreihe mit monatlichem Probenahmeabstand. Dieser wurde 1995/96 auf in der Regel 14 Tage verkürzt. Dies ist immer noch lang, jedoch stand als Hauptbezug für die Auswertung das relativ kräftige Elbe-Minimum vom April 1995 zur Verfügung.

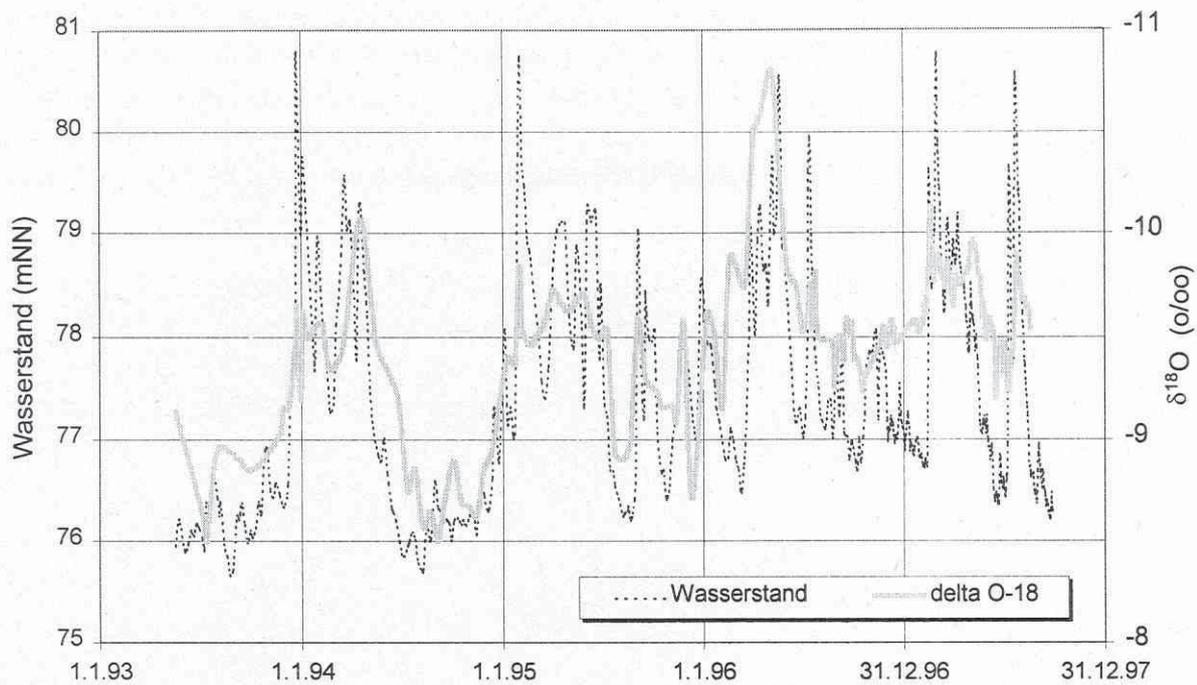


Abb. 4.2.2-1: Wasserstands- und $\delta^{18}\text{O}$ -Ganglinien der Elbe 1993 bis 1997

$\delta^{18}\text{O}$: Fließfaden und -zeiten im Profil I

Für die Uferfiltration sind sowohl der Übertritt des Wassers in den Aquifer wie auch die Bewegung zum Brunnen relevant. Für ufernahe Beobachtungen eignet sich z.B. die Kolmationsmeßstelle 2/3, die sich etwa 5 m unter der ufernahen Flußsohle befindet

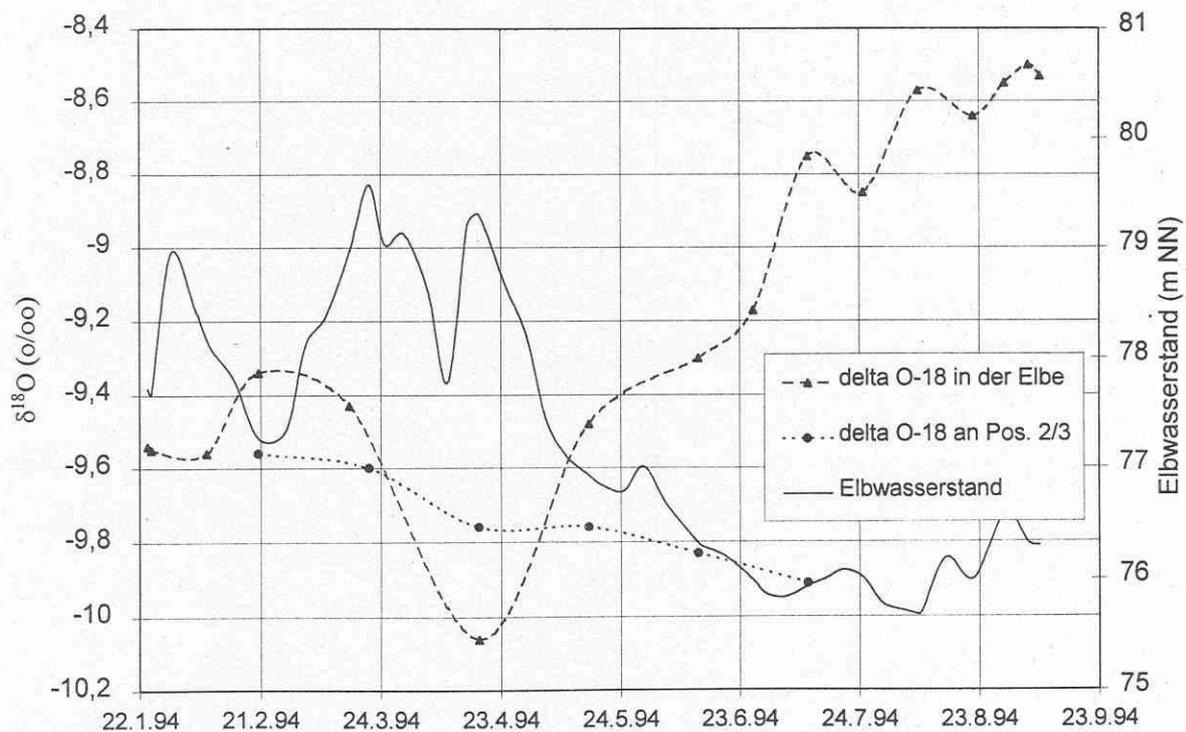


Abb. 4.2.2-2: Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in Elbe und Meßpunkt I-2/3

Für den Fall schwankender und sinkender Wasserstände gelangt Elbewasser nur mit großer Verzögerung in den Bereich von 2/3. Eine weitere Meßreihe von 1995 zeigt, daß hingegen während eines schnellen Elbwasseranstieges die Meßstelle ebenfalls schnell und danach wieder stark verzögert reagiert. Dieser Befund kennzeichnet einen in der Regel nur sehr flachen Grundwasserabstieg durch das ufernahe Elbebett.

Zwecks Bestimmung der Laufzeiten von der Elbe zum Bezugsbrunnen 22 wurden im oben genannten Zeitfenster 1995/96 Ganglinien in den Meßpunkten 4/1...3, 5/1...3 und 6/1...4 aufgenommen. Die Meßstellen 3/4...5 und 4/4...5 weisen keine signifikanten zeitlichen Schwankungen auf. Diese wie auch die landseitigen Meßstellen 21/1...3 und 1/1...5 wurden nur in größeren Abständen kontrolliert.

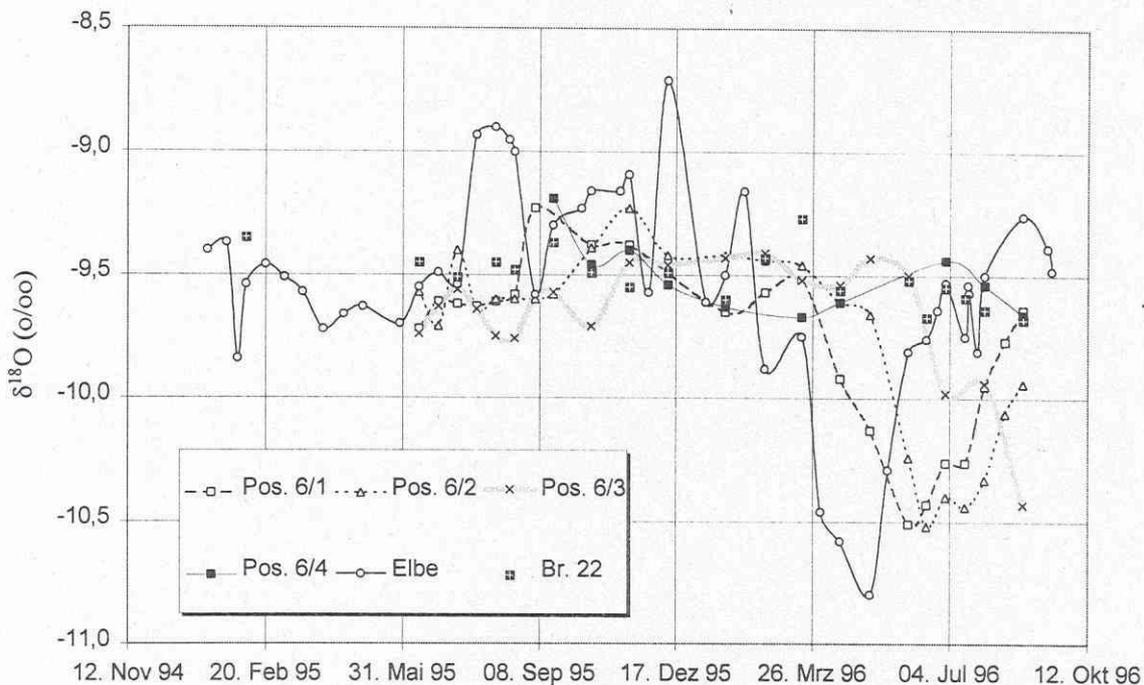


Abb. 4.2.2-3: $\delta^{18}\text{O}$ -Ganglinien der Elbe, den Meßstellen am Punkt 6 und im Br.22

Die Ermittlung von Laufzeiten erfolgt nach Digitalisierung der Elbekurve durch Verschiebung der Meßwertreihe und visuelle Beurteilung oder Minimierung der Summe der quadratischen Abweichungen. Da Laufzeiten (und Pfade) von den Infiltrations- und Förderbedingungen abhängen, läßt sich eine gewisse Ungenauigkeit auch bei geringer Dämpfung des Elbesignals nicht vermeiden.

Tab. 4.2.2-1: Anhand der $\delta^{18}\text{O}$ -Meßreihe 5/95-8/96 bestimmte Fließzeiten zwischen Elbe und Meßpunkten im Profil I in Tagen (Förderleistung $250 \text{ m}^3/\text{h}$)

Teufenlage Bohrpunkt	4	5	6
1	14 ± 3	30 ± 5	45 ± 5
2	60 ± 6	120 ± 10	75 ± 8
3	> 180	> 180	130 ± 10
4	> 180	-	-

Die Ergebnisse in Tab. 4.2.2-1 benutzen als wesentliche Markierung das Frühjahrsminimum von 1996, das mit einer Infiltration bei höherem Wasserstand verbunden ist. Entsprechend gibt es die schnellste Fließbahn im obersten Teufenniveau. Nach unten hin nimmt die Fließzeit stark ab. In 4/3, 5/3 und 6/4 wurde der Elbepeak zum Versuchsende noch nicht erfaßt. Es werden Meßzeiten von wenigstens einem Jahr benötigt. Während Elbewasser bereits den MP 6/1 (und damit auch den Brunnen) erreicht hat, ist es noch nicht in 4/2. Weiterhin wird 5/2 später erreicht als 6/2. Dies deutet darauf hin, daß 6/2 aus einer höheren Stromröhre bedient wird. Ähnlich ist das Ergebnis auch im Teufenniveau 3. Besondere geologische Umstände, die für eine schlechtere Anbindung von 5 in den Grundwasserstrom sprechen könnten, wurden nicht gefunden.

Wie aus Abb. 4.2.2-3 zu sehen ist, reagiert der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert für den Brunnen 22 nicht signifikant auf das Eintreffen des Elbewassers am Meßpunkt 6. Im Vergleich zu 1993/94 wird vielmehr ein etwas niedrigerer bzw. leicht sinkender $\delta^{18}\text{O}$ -Wert beobachtet. Bei einer Förderquote an Uferfiltrat von $\geq 50\%$ und dem relativ breiten Frühjahrsminimum hätte man wenigstens Anfang Juli ein deutliches Signal erwartet. Wegen der zentralen Lage des MP 6 vor dem Mittelbrunnen der Fassung VI wird die beprobte Aquiferscheibe gegenüber mehr randlichen Bahnsegmenten schneller durchflossen. Die laterale, die vertikale Geschwindigkeitsverteilung und das landseitige Grundwasser, in dem größere zeitliche Variationen nicht festgestellt wurden, dämpfen das Brunnensignal wobei überraschend wenig schnelles Uferfiltrat im Einzug des Brunnens 22 enthalten ist.

Im September 1996 wurde eine Stichtagsbeprobung im Infiltrationsprofil während eines kleineren Hochwassers durchgeführt, das allerdings nur eine geringe $\delta^{18}\text{O}$ -Variation besaß. Trotz der geringen Profilausdehnung und dadurch stark nivellierten Werte zeigten wesentlich niedrigere Werte im Meßpunkt 18/1 isoliert ein deutlich älteres Wasser. Dieses könnte aus einer tieferen Lage bzw. langsameren Strombahn hochgedrückt worden sein. Dadurch zeigt sich, daß selbst auf den obersten Metern inhomogene Strömungsverhältnisse zu beachten sind.

Fließpfade und -zeiten im Profil II

In der Fassung VIII wurden der Bezugsbrunnen 33 für Profil II und jeweils ein seitlicher Brunnen betrieben. Die durchgeführten $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen hatten orientierenden Charakter. Beprobte wurden in etwa monatlichen Abständen die brunnennahen Meßstellen 5/1 bis 5 sowie mehrfach das Gesamtprofil.

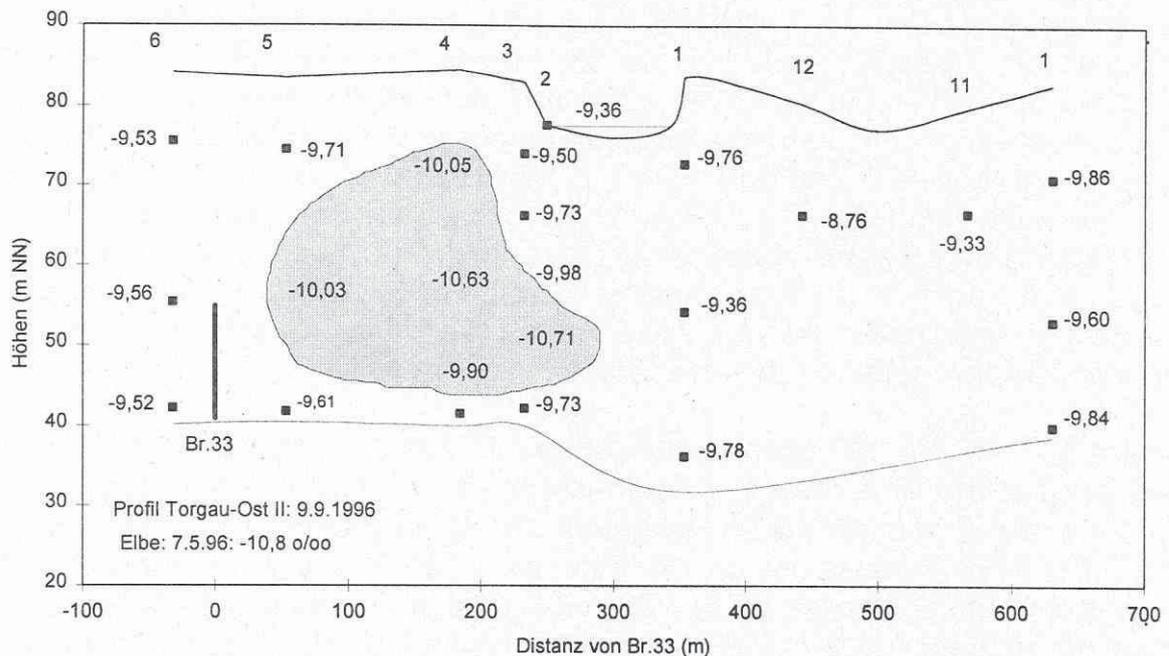


Abb. 4.2.2-4: $\delta^{18}\text{O}$ -Werteverteilung in ‰ für die Stichtagsmessung im Profil II am 9.9.1996 (Bereich mit ≤ -10 ‰ hervorgehoben)

Die Ergebnisse zeigen gegenüber Profil I eine andere Charakteristik der Strömungsverhältnisse. Im Beispiel ist deutlich die Position des Frühjahrshochwassers der Elbe im Aquifer zu erkennen. Es existiert ein steiler Flußwasserabstieg, der wohl zur Zeit des Hochwassers forciert wird.

Die hier nicht dargestellten Ganglinien für 5/3 und 5/4 zeigen das Elbeminimum nach ca. einem halben bzw. einem Jahr. Die Peaks in 5/3 sind bereits stark gedämpft. Meßstelle 5/1 reagiert nicht auf den Elbegang.

Relativ niedrige Werte im Osten (MP 10) wie auch an der Aquiferbasis sprechen für eine zeitweilige linkselbische Grundwasserbeeinflussung wohl zu Hochwasserzeiten über den Altarm. Der höhere Wert im Meßpunkt 12 kennzeichnet die Versickerung von verdunstungsbeeinflusstem Wasser aus dem Altarm.

Tritium

Die bereits früher gefundene und im Projektzeitraum kontrollierte Tritiumkonzentration zeigt im Profil I eine stabile Schichtung derart, daß rechtselbisch im Niveau 5 nahezu tritiumfreies Wasser ($\leq 0,5 \dots 2$ TU) gefunden wird. Dies gilt auch noch für Meßpunkt 4/5, während in 5/5 und 6/5 ein Mischwasser vorliegt, an dem Altwasser 1993 zu rund 40 % beteiligt war. Im gesamten Niveau 4 schließen höhere Konzentrationen an den darüberliegenden Bereich und die Elbe an, wobei nicht entschieden werden kann, ob Niveau 4 Uferfiltrat oder rechtselbisches Grundwasser führt. Bei Abschaltung der Fassung im September 1994 und Einstellung exfiltrierender Verhältnisse sank die Tritiumkonzentration unter dem linken Elbeufer (4/4, 3/4) entsprechend des aufsteigenden alten Wassers, was eine Durchdringung der oberhalb Niveau 4 bestehenden dünnen Schluffschicht erfordert.

Im Profil II wurden tritiumarme Wässer nur bis 93/94 im Mittelpegel der Meßstelle 10 nachgewiesen. Dann verschwand dieses Vorkommen.

Die bereits beschriebene Elbewasserinfiltration in den gesamten mittleren Profilbereich wird durch Tritium bestätigt.

In 10/5 lagen die ^3H -Gehalte zwischen 1992 und 1996 stets über 24 (z.T. über 30) TU, so daß hier kein (ganz) junges Grundwasser vorliegt. Dies wird auch durch ^{85}Kr bestätigt. Die Anwendung des Piston-Flow-Modells lieferte im Herbst 1995 eine Verweilzeit von ca. 20 Jahren. Auch in Brunnennähe (6/5) wurden zeitweilig gegenüber der Elbe erhöhte Tritiumgehalte gemessen.

Gelöste Stoffe: $^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ und $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ in den Profilen I und II

Wie Tab.4.2.2-2 erkennen läßt, lassen sich im Profil I auch $^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ und $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ zur Abgrenzung von Wasserströmen nutzen. Dabei ergänzen sich beide Isotope in Bezug auf das im Osten befindliche Grundwasser, wobei ^{13}C die Schicht 4 und ^{34}S die Teufe 5 hervorhebt. Entsprechend wird es möglich, die Verbreitung der damit verbundenen Wassertypen nach Westen zu verfolgen. Reaktive Veränderungen sind dabei frühestens bei Mischung mit Uferfiltrat zu erwarten. Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Elbe wiederum liefert einen erfolgversprechenden Indikator für den Verbreitungsraum des Uferfiltrates im Aquifer.

Tab. 4.2.2-2: Mittelwerte für die Abgrenzung von Uferfiltrat und ostelbischem Grundwasser mittels $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{34}\text{S}$ im Testprofil Torgau-Ost I

Meßstelle	HCO_3 (mg/l)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	SO_4 (mg/l)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰ CDT)
Elbe	100	-10,7	84	2,8
1/1	52	-19,1	306	1,6
1/2	55	-18,8	219	2,4
1/3	64	-18,9	140	2,2
1/4	64	-12,3	197	2,2
1/5	81	-18,3	70	0,6

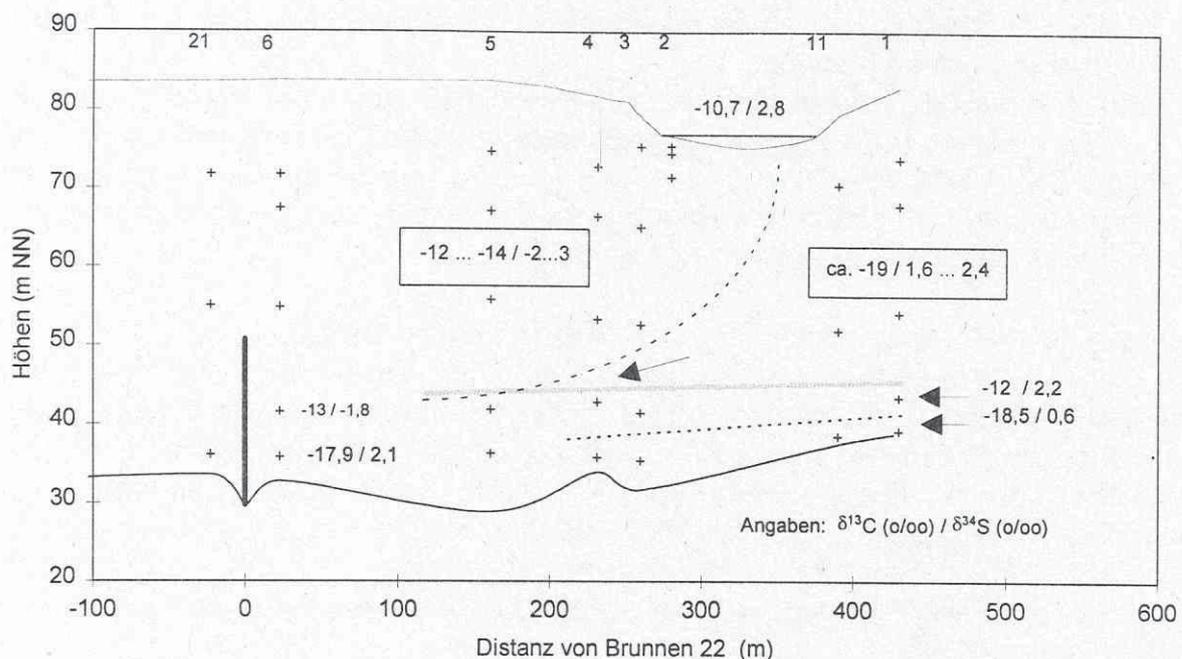


Abb. 4.2.2-5: Schematische Verteilung mittlerer $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im Profil I

Die $\delta^{13}\text{C}$ - wie auch die $\delta^{34}\text{S}$ -Verteilung lassen rechtselbisches Grundwasser in den oberen drei Teufen des Bohrpunktes 3 nicht erkennen. Dies trifft nicht nur für die Mittelwerte sondern auch für die ausgewerteten 4 Stichtagsmessungen zu. Die Meßwerte in diesem Vertikalprofil und östlich davon sind dem Uferfiltrat zuzuordnen. Eine nähere Erklärung der hier und im weiteren Strom zur Fassung gegenüber der Elbe auftretenden chemischen und isotopischen Veränderungen erfolgt im Kapitel 6. Die vergleichsweise niedrigen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in der Altwasserlamelle bleiben schichtgebunden bis zum Meßpunkt 4/5 erhalten.

Auf dem weiteren Fließweg verändert sich die Schwefelisotopensignatur des Sulfats in Filtertiefe 5 durch dispersive Vermischung der beiden unteren Grundwasserschichten und in Filtertiefe 4 durch Zusickerung rechtselbischen Grundwassers und Uferfiltrats von oberhalb der Schluffschichten.

Die höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der unter dem Zwischenstauer befindlichen Meßstelle 1/4 setzen sich noch bis zum MP 3/4 fort. MP 4/4 liegt etwas höher unmittelbar unter der Schluffschicht und empfängt bereits Wasser von oben. Dieses Wasser stammt noch aus dem Osten und bildet eine in Richtung Brunnen auskeilende Fahne, die zwischen den MP 5/4 und 5/5 auf die Altwasserlamelle trifft. 5/4 ist offensichtlich bereits leicht durch Uferfiltrat beeinflusst.

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in Profil II zeichnen den potentiell uferfiltratführenden Raum unter und links der Elbe mit Werten zwischen -13 und -16 ‰ nach. Das Verteilungsbild spricht für eine Uferfiltratbeeinflussung bis in das 5. Niveau (z.B. MP 3/5: -13,2 ‰). Auch im Profil II nimmt $\delta^{13}\text{C}$ bereits bei der Flußbettpassage bei kaum variablem Bikarbonatgehalt etwas ab. MP 5/1 mit -18 ‰ zeigt auch hier keinen Anschluß an das Uferfiltrat.

In MP 10/3, 10/5 rechts vom Altarm sowie 1/5 wurden mit ca. -19 ‰ ähnliche Werte wie auch im rechtselbischen Grundwasser im Profil I gemessen.

Gelöste Stoffe: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ im Profil I

In der Elbaue mit ihren überwiegend karbonatfreien silikatischen Sedimenten könnte das Isotopenverhältnis des gelösten Strontiums ein nützlicher Indikator sein.

In der Elbe schwankte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bei 0,2 .. 0,45 mg Sr /l in 20 Proben aus dem Zeitraum 91-96 zwischen 0,7102 und 0,712 (Mittelwert 0,71115). Es existiert eine leichte Abhängigkeit vom Elbwasserspiegel. Nicht uferfiltratbeeinflusste Grundwassermeßstellen ergaben bei ähnlichen Sr-Gehalten 0,7087...0,711. Dies ist eine relativ ungünstige Situation für die Indikation von Uferfiltrat im Grundwasser, da die Wertebereiche partiell überlappen.

In allen Tiefenprofilen sinken die Werte von oben nach unten. MP 4/1 wies bei vier verschiedenen Beprobungen die gleichen Werte etwas unterhalb des durchschnittlichen Elbewertes auf. Damit setzt bereits in/naher der Kolmationszone eine Veränderung ein, die in dem Bereich, in dem auch Beschaffenheitsänderungen auftreten, fortgesetzt wird. Ähnliche Isotopen-Verhältnisse wie in 4/1 werden auch in 4/2, 5/1, 6/1...3 gemessen, d.h. im Bereich der kürzeren Verweilzeiten. Die Werte zu 4/3, 4/4 und noch mehr 4/5 sind deutlich abgesetzt. Damit ist im $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verteilungsbild die Begrenzung des Uferfiltrates nicht eindeutig erkennbar.

Der herausfallend niedrige Wert für MP 7/5 stimmt qualitativ gut mit der hier diskutierten Zumischung von Liegendwasser aus Zechsteinrelikten überein (vergl. z.B. Koepnick u.a. 1985) und bildet eine weitere Stütze für diese These.

Tab. 4.2.2-3: Sr-Gehalte (mg/l) und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse im Testprofil Torgau-Ost I (Stichtagsmessungen vom 16.4.1996, Werte anderer Beprobungen in Klammern, Meßfehler des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses i.a. unter $\pm 0,00002$)

Meßpunkt Tiefenniveau	1	Elbe	4	5	6	Br.22	21	7
1	(0,7102) (0,51)	0,712 0,24	0,71104 0,26	(0,7106) 0,27	0,7108 0,28		0,7113 0,18	
2			0,71103 0,29		0,7106 0,25			
3			0,70964 0,24		0,7105 0,24		0,7106 0,32	(0,7104) (0,38)
4			0,70961 0,34		0,7099 0,20	(0,7100) 0,30		
5	(0,7095) (0,21)		0,70933 0,22		0,7094 0,28		0,7099 0,53	(0,7087) (3,2)

Ähnliche Sedimente wie in der Elbaue liegen auch in der Flußbaue der Mulde etwa 20 km westlich vom Untersuchungsgebiet. In der Mulde wurde jedoch ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis um 0,714 gemessen, so daß in den hier angesiedelten Fassungs-bereichen bessere Differenzierungsmöglichkeiten bestehen sollten.

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