

4.1.2 Indikationen zur Grundwasserschichtung, -herkunft und -dynamik mittels Isotopenmethoden

R. Trettin (UFZ)

Vorbemerkungen

Bei der qualitativen Altersindikation mit Tritium betrachtet man die Grundwasserkonzentrationen in Relation zum grundwasserwirksamen Tritiuminventar des Niederschlages. Im Jahresdurchschnitt von 1996 lag die Konzentration im Niederschlag der für repräsentativ angenommenen eigenen Station Leipzig (ca. 50 km westlich von Torgau) bei rund 12 TU. Berücksichtigt man nur das hydrologische Halbjahr, so erhält man rund 10 TU. Aus dem Zeitverlauf von Input- und Abklingkurve folgt, daß nach 1957 gebildete und nicht durch saisonale Effekte dominierte Grundwässer im Untersuchungsgebiet 1996 mindestens 9-10 TU aufweisen müssen. Ist die Konzentration kleiner, so bedeutet dies die Beteiligung oder Dominanz von mindestens 40 Jahre alten Bildungen.

Für oberflächennahe Grundwässer im Torgauer Raum sind Tritiumkonzentrationen von rund 12-15 TU typisch. Obwohl keine Zeitreihen verfolgt wurden ist doch davon auszugehen, daß diese Proben in der Regel bereits eine breitere Mischung relativ junger Wässer einschließen. Daneben treten noch immer deutlich erhöhte Konzentrationen auf, die auf Anteile aus den 60er bis frühen 80er Jahren hinweisen.

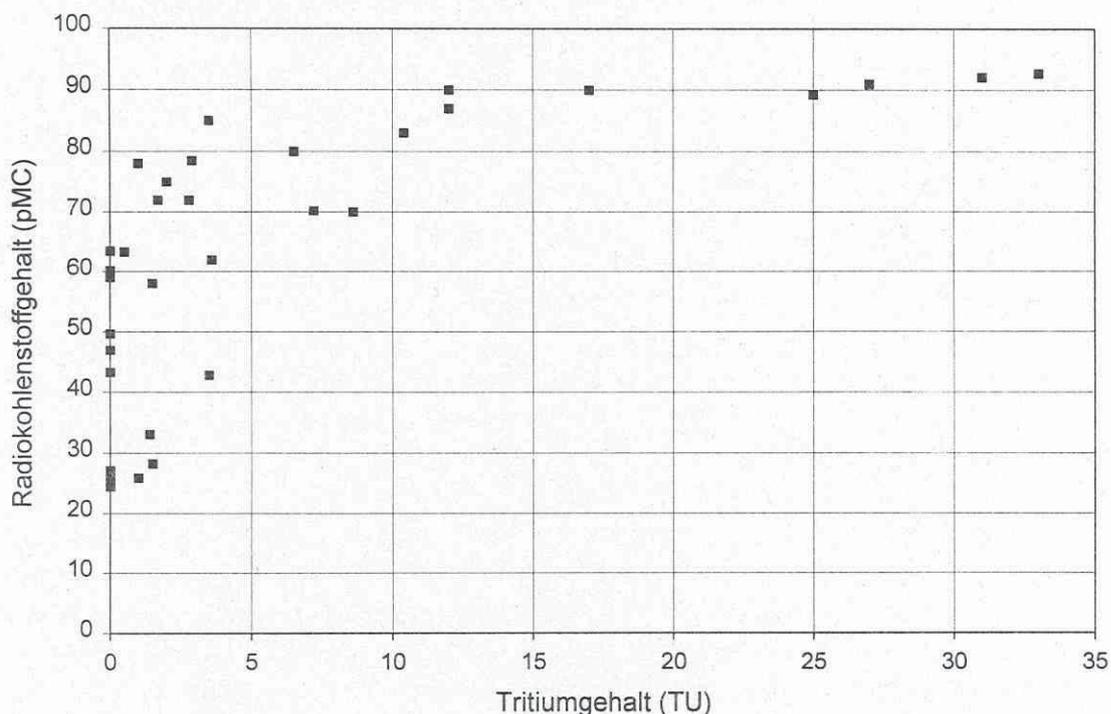


Abb.4.1.2-1: Gegenüberstellung der Tritium- und Radiokohlenstoffgehalte für Grundwasserproben aus den Fassungsbereichen Torgau-Ost und Mockritz (Datenbasis 1991 bis 1996)

Bei stabilen Isotopen leichter Elemente wird üblicherweise das Verhältnis zwischen zwei Nukliden ^xN und ^yN bestimmt und als relative Abweichung zu demjenigen eines international verbindlichen Standards. $\delta^x\text{N} = ((^x\text{N}/^y\text{N})_{\text{Probe}} / (^x\text{N}/^y\text{N})_{\text{Stand.}} - 1) \cdot 1000$ in Promille angegeben. Verwendet wurden als Standardsubstanzen in der üblichen Abkürzung SMOW für $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H} = \delta\text{D}$, PDB für $\delta^{13}\text{C}$ und CDT für $\delta^{34}\text{S}$.

Der Sauerstoff-18-Gehalt im Grundwasser wird primär durch die Niederschlagsbildungsbedingungen bestimmt. Modifiziert werden kann dieser sekundär durch die Versickerungsbedingungen, postgenetische Effekte im Aquifer (im Untersuchungsgebiet nicht relevant) oder Mischung (z.B. Infiltration verdunstungsbeeinflusster Oberflächenwässer).

Man erwartet, daß saisonale Effekte zumindest im tieferen Grundwasser nivelliert sind. Im Torgauer Raum treten gehäuft $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen -9,3 und -9,6 ‰ auf. In diesem Bereich liegen auch die meisten älteren Wässer. Daneben wurden jedoch auch Werte bis -10 und -7 ‰ gefunden.

Die nachfolgend beschriebenen Stichtagsmessungen erfassen Augenblickszustände, so daß ungewöhnliche Verhältnisse nicht in jedem Fall auffallen und herausfallende Werte zeitlichen Veränderungen unterworfen sein können. Dies ist besonders bei Jungwässern und in Brunnennähe zu beachten. Die Aufenthaltszeit tritiumarmer Proben wurde z.T. mit Radiokohlenstoff hinterfragt. Für Abschätzungen kann von einem $^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Anfangsgehalt um 70 pMC ausgegangen werden, wie eine Gegenüberstellung aller Tritium- und ^{14}C -Daten (Abb.4.1.2-1) nahelegt. Eine eingehende neuere Darstellung wesentlicher isotopenhydrologischer Grundprinzipien und Anwendungsbeispiele findet sich z.B. in CLARK UND FRITZ (1997).

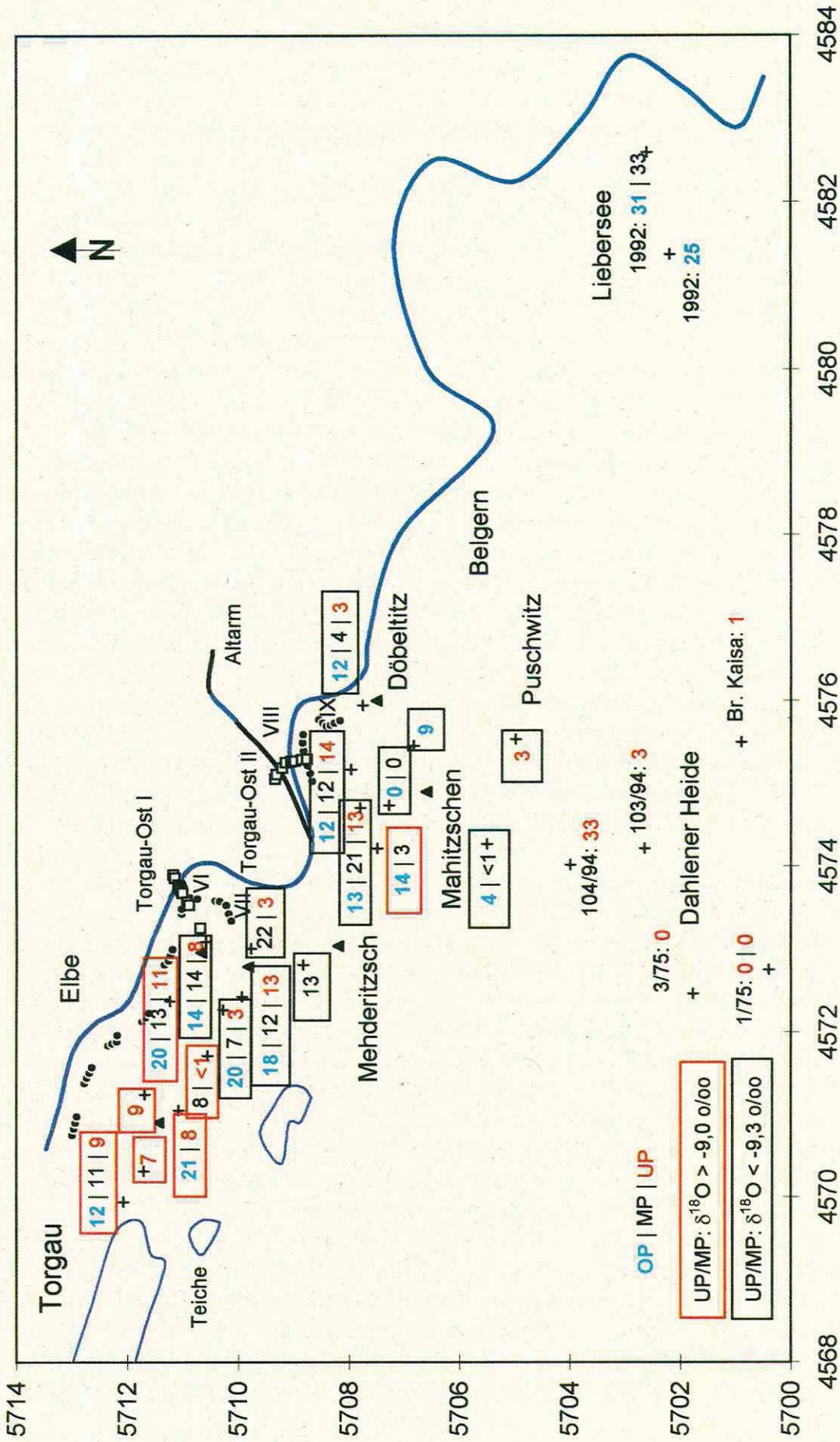
Wasserwerksbereich Torgau-Ost

Abb. 4.1.2-2 zeigt die in den Jahren 1995 bis 1997 gewonnenen Tritiumgehalte und einige Altdaten anhand einer Verbreitungskarte. Im ehemaligen Vorbehaltsgebiet Liebersee wird Kiesabbau betrieben. Die entsprechend der Filterteufenzuordnung (blau: < 20 m, schwarz: 20 - 40 m, rot: > 40 m u. Gelände) farbig dargestellten Tritiumgehalte variieren zwischen 0 und 33 TU und zeigen so einen breiten Verweilzeitbereich der von den Wasserwerken tatsächlich oder potentiell angezogenen Grundwässer. Bei rot umrahmten Daten traten in unterer oder auch mittlerer Teufe (im Sprachgebrauch entsprechend obiger Teufenzuordnung) gegenüber den Erwartungswerten signifikant erhöhte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf.

Unter den Höhen der Dahleiner Heide führt der durch tertiäre Überschiebungen nach oben geschirmte Grundwasserleiter 1.8 (fQEv) altes, gut geschütztes Wasser, das z.B. bei Kaisa für die örtliche Versorgung genutzt wird. Nach Radiokohlenstoff (ca. 27 pMC) ist dieses Wasser im Mittel mehr als 5000 Jahre alt. Dieser Befund wird durch $^{14}\text{C}_{\text{DOC}}$ (Meßstelle 3/75: 33 pMC) bestätigt (vergl. auch GEYER u.a. 1993). Pleistozäne Anteile wurden nicht beobachtet. Am hangab liegenden Meßpunkt 104/94 (33 TU) fehlt diese Bedeckung. Das Wasser ist durch den Bombenpeak beeinflusst und verweist auf Verweilzeiten von > 20 Jahren. Wegen des im Liegenden beobachteten Druckdefizites werden geologische Fenster genutzt. 104/94 liegt in einem militärischen Altlastgebiet. Im Übergangsbereich zur Aue bei 520/94 mit bereits reiner quartärer Schichtenfolge wurden im Grundwasserleiter 1.6 (gfQEn) in 28 m u. Gel. ca. 63 pMC gemessen. Dieses Wasser ist alt im Sinne von Jahrhunderten. Es steht jedoch nicht im direkten Zusammenhang mit den alten Wässern im Grundwasserleiter 1.8.

Heterogene Verhältnisse bestehen im Vorfeld der Fassungen VIII und IX. Am Meßpunkt 503/93 (0|0 TU) residieren in beiden Teufen ältere Wässer, die durch eine Barriere die Elbtalwanne erreichen und aufsteigen. Mit $^{14}\text{C}_{\text{DOC}}$ und $^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ von jeweils ca. 50 pMC ist auch dieses Wasser bereits in ^{14}C gealtert. Durch $\delta^{34}\text{S}=18,5$ ‰ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}=-21$ ‰ PDB CDT wird eine deutliche Beeinflussung durch Sulfatreduktion

Abb.4.1.2-2: Verteilung der Tritiumgehalte(TU) in Grundwässern von Torgau-Ost mit Hinweisen auf $\delta^{18}O$



angezeigt. Die beiden angrenzenden Meßstellen weisen im jeweils unteren Pegel zumindest anteilig tritiumaltes Wasser aus. Nahe der Fassung VIII ist diese Stockwerksgliederung aufgehoben. Eine solche existiert aber in 510/94 bei Döbeltitz. Nahe der Ortslage Döbeltitz keilen saaleiszeitliche z.T. grundwasserführende Ablagerungen unter Anschluß an die Wannenfällung aus. Entsprechend könnten sowohl Zuflüsse aus diesen Schichten wie auch aus dem Osten bzw. dem Raum unter der Elbe für diesen Meßpunkt eine Rolle spielen. Die erhöhten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in 518/94 könnten meßstellenbedingt sein und bedürfen weiterer Beobachtungen.

Im nordwestlichen Vorfeld existiert eine nach Westen ausgreifende Rinnenstruktur (Beckwitzer Rinne), wobei die Erosionstiefe z.T. den Grundwasserleiter 1.8 erreicht und ein hydrologischer Anschluß zur südlichen Hochfläche hergestellt wird. Bei den untersuchten Gütepegeln fallen für die nördliche Gruppe 511/94 bis 514/94 im unteren Teufenbereich Mischwässer mit partieller Altwasserbeeinflussung (Alter > 40 Jahre) und erhöhtem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert auf. Von den erhöhten Werten sind, soweit untersucht, auch einige Mittelpegel betroffen. Eine Fortsetzung des Effektes nach Osten hin wurde in 505/94 beobachtet. Eine Gegenüberstellung von $\delta^{18}\text{O}$ und δD weist darauf hin, daß es sich um eine Beeinflussung durch eingedampfte Wässer handelt. Eine Analyse des im Grundwasser gelösten Gases zeigte eine herausfallend hohe Methankonzentration in 514/94u. Es wird gefolgert, daß dieser Untersuchungsbereich durch Infiltration aus den Teichen zwischen Torgau und Bennewitz beeinflusst wird. Nicht klar ist dabei das Altersspektrum dieser Beimischung. In 515/94u wurde zwar noch ein erhöhter $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aber kaum Tritium gemessen. Sowohl DIC als auch DOC lieferten bei ^{14}C etwa 60 pMC. Zumindest an dieser Meßstelle muß eine Kontamination durch Oberflächenwasser mindestens 40 Jahre zurückliegen. Die hydrochemischen Beobachtungen machen deutlich, daß im oberflächennahen Grundwasser einiger der östlichen GWBR auch lokale Oberflächenwasserkommunikationen zu betrachten sind. Insgesamt treten auch bei der nördlichen Meßstellengruppe entlang des Wannensandes unterschiedliche Schichtungsabfolgen auf, so daß Wässer von unterschiedlicher Geschütztheit angezogen werden.

Die Befunde zeigen, daß es schwer ist, repräsentative Anschlußmeßstellen für den Westen der Testprofile Torgau-Ost I und II zu finden. Spezielle Verhältnisse liegen am Meßpunkt 507/91 im Profil I vor. Wesentlich erhöhte Sulfatgehalte über 400 mg/l im untersten Niveau (7/5) gegenüber dem Umfeld deuten auf eine anomale Grundwasserbildung an dieser Stelle hin. Seitens Tritium mit ca. 7 TU handelt es sich um ein Mischwasser. $^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ betrug 1995 70 pMC. Im Vergleich der beiden Meßpunkte 7/4 und 7/5 ergaben sich zeitliche Mittelwerte nach Tab.4.1.2-1.

Die daraus abgeleitete Vermutung, es könnte sich um eine Beimischung durch aufsteigende Liegendwässer handeln, wurde durch geologische Recherchen unterstützt. Tatsächlich befinden sich im Gebiet Mühlberger Graben ein isoliertes Vorkommen an subrosiv beeinflusstem Zechstein sowie Störungs- und Schwächezonen der stauenden Deckschichten, was die These einer Zechsteinbeeinflussung (die bei Abstammung aus Sulfatgesteinen zu höheren $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten sowie einer Sulfatbelastung (NIELSEN u.a., 1991) führen würde) belegt. Aus Isotopenbilanzen läßt sich der Wasseranteil zu rund 10 % abschätzen. Dieser Beitrag ist zeitlich nicht konstant. Ähnlich zu 7/5 jedoch bei veränderter geologischer Anbindung wird auch für den Meßpunkt 8/5 eine Liegendwasserkomponente diskutiert. Dort verändern aus teilweise karbonatischem Unterem Buntsandstein aufsteigende Wässer,

die jedoch nicht von tieferen, salinaren Serien des Zechsteins beeinflußt werden, die isotopische Zusammensetzung des DIC, nicht aber die des Sulfats.

Tab. 4.1.2-1: Variation von Beschaffenheits- und Isotopendaten am Meßpunkt 507/91

Meß- stelle	SO ₄ ²⁻ mg/l	δ ³⁴ S ‰ CDT	δ ¹⁸ O _{SO4} ‰ CDT	HCO ₃ ⁻ mg/l	δ ¹³ C ‰ PDB	K mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Salzgehalt mg/l
I 7/4	223±28	-0,2±1,2	5,2±0,5	85±	-19,2±0,5	4,3	84	34	486±52
I 7/5	428±23	5,5±1	8,9±0,5	96±5	-15,1±,2	4,2	148	145	950±47

Die Ergebnisse zeigen, daß nicht die gesamte Sulfatzufuhr zu den Brunnen von oben erfolgt, sondern daß lokal auch geogene Quellen existieren.

Wasserwerksbereich Mockritz

Die Fassungen des Standortes Mockritz unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Stellung zum Grundwasser und zur Elbe. So drainiert das Wasserwerk Elsnig einen Teil der Hochfläche in Richtung Dübener Heide und hat eine besondere Bedeutung für die Rüstungsaltlast WASAG. Die Fassung Mockritz I fördert bevorzugt Grundwasser, dessen flußseitiges Zuflußregime stark von der Förderung der Fassungen an der Elbe abhängt. Dadurch und unterstützt durch den Elbewassergang ergeben sich stark variierende Isohypsenbilder. Während der Beprobungen wurde eine wechselhafte Fassungsbewirtschaftung vorgefunden. Infolgedessen kennzeichnen Grundwasserdaten das Ergebnis eines u.U. komplizierten Strömungsprozesses zum Probenahmezeitpunkt. Die räumliche Zuordnung der zwischen 1995 und 1997 erhobenen Tritiummeßwerte sowie einiger Altdaten ist in Abb.4.1.2-3 dargestellt. Datensätze mit abweichenden δ¹⁸O- Meßwerten sind je nach Teufe farbig umrandet.

Für Mockritz ergeben sich ähnliche Wertebereiche für Tritium, ¹⁴C- und δ¹⁸O wie in Torgau-Ost. Bei einigen Wässern mit sehr kleinen Tritiumgehalten liegen ¹⁴C-Daten von 1991/92 vor. In den tertiären Cottbuser Schichten GWBR 10/74u (SE von 20/76) und 20/74u (SW von 6/93) wurden Wässer mit jeweils ca. 25 pMC in 9 bis 22 m ü.NN nachgewiesen. Diesen Proben werden mittlere Verweilzeiten von wenigstens 5000 Jahren zugeordnet. ¹⁴C-gealterte Wässer kommen auch in der Stauchendmoräne vor (HySpiz102/90u mit 58 pMC, HyToW70/69u). Östlich der Elbe ergab Bohrung 15/74u (ca. 18 m ü.NN) im Grenzbereich Quartär/Tertiär 33 pMC und damit ebenfalls ein sehr altes Wasser. In 22/76u (ca. 37 m ü.NN) zeigen 62 pMC, daß im unteren Bereich des Elbeaquifers lokal mit dem Auftreten ¹⁴C-gealterter Wässer zu rechnen ist. Im Meßpunkt 5/5 (Profil Torgau-Ost I) waren es ca. 75 pMC, was auf wenig gealterte Wässer aus der Vorbombenzeit hinweist.

Im Mockritzer Gebiet besitzen die östlich der Elbe abgeteufte Meßstellen im Unterpegelniveau i.a. wenig Tritium. Dies gilt auch in Torgau-Ost I-1/5 jedoch nicht in Torgau-Ost II-10/5. Somit muß gebietsspezifisch gezeigt werden, daß niedrige Tritiumgehalte ein Marker für die Elbe von Osten unterquerendes Grundwasser sind. In Mockritz zeigt der Vergleich zwischen 20/76u (links) und 22/76u (rechts) nur 1992 mit 2 -3 TU analoge Werte. 1997 wurden linkselbisch 11 TU gemessen, was eher auf ein geändertes Fließregime und einen steileren Elbwasserabstieg z.B. in Richtung auf Fassung III hinweist als auf ein aufgebrauchtes Altwasservorkommen. Somit kann eine zumindest zeitweilige Elbeunterquerung zwar als wahrscheinlich, aber

nicht als bewiesen angesehen werden. Eine längere Meßreihe in Verbindung mit genauen Pegelstandsmessungen wird empfohlen.

Betrachtet man die Verhältnisse westlich der Weinske, so fällt eine sehr wechselhafte Grundwasserschichtung auf. Ganz im Süden gelangen junge Wässer zu höherem Anteil bis in den unteren Teufenbereich obwohl z.T. ein Hangendstauer (9499) existiert. Bereits wenig weiter nördlich (10/93) ist die Stockwerkskommunikation stark eingeengt. Grundsätzlich dominieren im Unterpegelbereich dieser Gruppe tritiumalte Wässer. Solche Wässer sind zu geringerem Anteil auch im Mittelpegelbereich anzutreffen. Bei GWBR 9502 ist auch im oberen Niveau der Jungwasseranteil gering. 9 m u. Gelände sorgen stauende Schichten für eine Abschirmung nach unten. Weiter im Norden (505/95 bis 508/95) dominieren in allen Teufen Jungwässer, die in einigen Meßstellen über dem ansteigenden Tertiär deutlich bombenbeeinflusst sind. Der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Proben aus dem westlichen Grundwasseranstrom befindet sich im Erwartungsbereich und z.T. auch etwas darunter (9502).

In Abb. 4.1.2-3 sind die Datensätze je nach $\delta^{18}\text{O}$ -Wert schwarz, blau, grün oder rot umrandet. Diese (etwas willkürliche) Einteilung erfolgt danach, ob und in welcher Teufe $\delta^{18}\text{O} >$ oder $\leq -9 \text{‰}$ gemessen wurde, was bereits eine deutliche Differenz zum regionalen Clarke-Wert darstellt. Grün bedeutet, daß dies in oberen und/oder mittleren Teufen der Fall ist, während bei roter Umrahmung mehr oder weniger alle Teufen betroffen sind. Z.T. wurden Werte bis $> -7 \text{‰}$ bestimmt. Das Auftreten grüner und roter Markierungen gerade an der Weinske wird als signifikante Grundwasserbeeinflussung durch Oberflächenwasser gewertet. Der Schluß wird durch Messungen zur Kolmation des Bachbettes (HGN 1998) gestützt, die ebenfalls eine abschnittsweise Infiltration ausweisen. Die Weinske wurde selbst nicht auf $\delta^{18}\text{O}$ untersucht. Zu erwarten ist bei den betroffenen bach- und oberflächennahen Grundwässern eine jahreszeitliche Schwankung. Die wenigen Doppelbestimmungen (die Proben wurden zwischen Mai und November genommen) geben hierüber keine signifikante Auskunft. Der durchgeführte Vergleich $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$ läßt eine Wertehäufung entlang einer sogenannten Verdunstungsgeraden erkennen und unterstützt somit die getroffene These. Die höheren $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind erwartungsgemäß mit einem Jungwasserstatus gemäß Tritium korreliert.

Noch einige Hundert Meter westlich der Fassung Mockritz I führt der tiefe Probenahmebereich altes Wasser. Bei den nordöstlich befindlichen Meßstellen 509/96 und 510/96 befindet sich auf dem Stauer Jungwasser. 509/96o erweist sich mit $\delta^{18}\text{O} = -7,7 \text{‰}$ als besonders stark an ^{18}O angereichert. Dies kann nicht von der Elbe herrühren. Der Pegel erfaßt mit großer Sicherheit auch Wasser aus einer benachbarten Kiesgrube. Bei 510/96 sind der obere und bei 511/96 der mittlere Horizont mit ca. $-8,4 \text{‰}$ herauszuheben. Auch in diesem Gebiet stehen Feuchträume zur Verfügung.

Da Tritium von der Grundwasserverweilzeit abhängt und diese etwas mit der Wasserherkunft zu tun hat, liegt ein Vergleich zu chemischen Daten nahe. Betrachtet man die Meßstellen in der Elbaue, so besitzen Proben mit höherem Altwasseranteil in der Regel niedrige elektrische Leitfähigkeiten, so daß dieser Umstand bereits zu einer Erwartungshaltung berechtigt. Andererseits wird die Beschaffenheit und damit die Leitfähigkeit in Torgau in bedeutendem Maße durch die Sulfatkonzentration bestimmt. Abb.4.1.2-4 zeigt daher nicht unerwartet, daß auch zum Sulfat eine gewisse Korrelation besteht.

Tiefe Meßstellen mit wenig Tritium besitzen i.d.R. nur wenig Sulfat. Andererseits fallen hohe Sulfatgehalte auch bei den bombenbeeinflußten Wässern auf, bei denen Neubildungen vor 20 oder 30 Jahren eine Rolle spielen. Die hohe Sulfatbelastung mancher Grundwässer liegt somit entstehungsseitig bereits längere Zeit zurück. Treten jedoch höhere Sulfatbelastungen in tiefen Meßstellen auf, so sind diese wiederum mit Jungwässern verbunden, was aktuelle Stofftransportvorgänge anzeigt. Einen grundsätzlich ähnlichen Zusammenhang erhält man auch für die Elbaue bei Torgau-Ost.

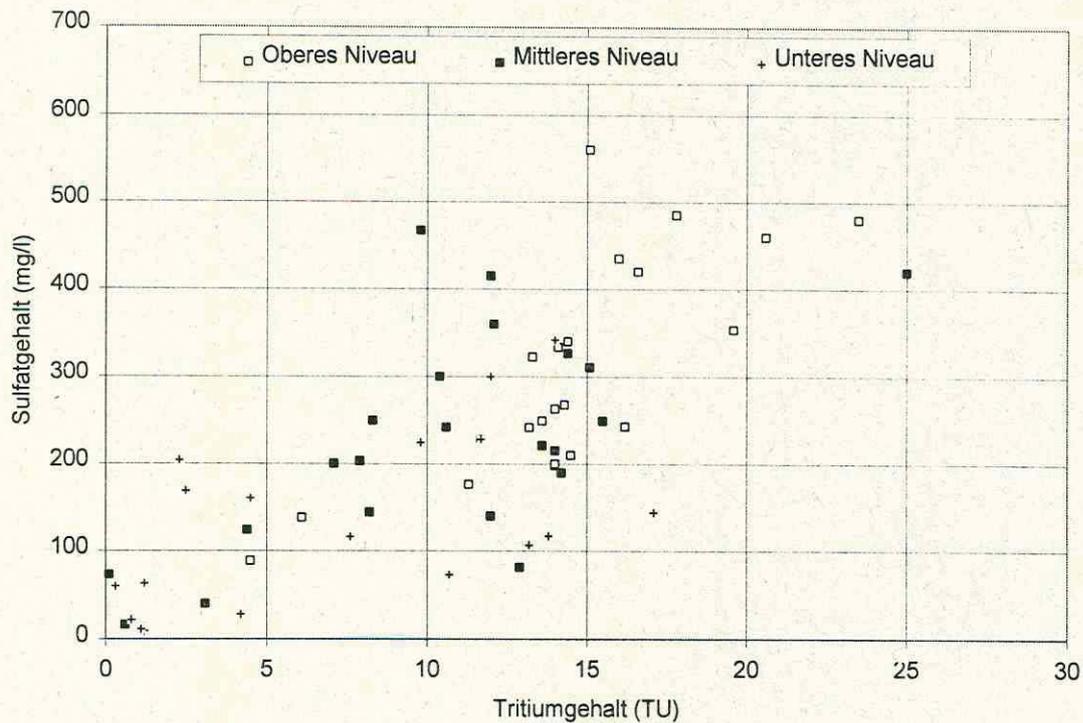


Abb. 4.1.2-4: Sulfatkonzentration und Tritiumgehalt in Grundwässern aus der Elbtalwanne im Wasserwerksbereich Mockritz

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