

Kombinierter Einsatz von FCKW und Tritium als Tracer

J. Mibus ^{1,2}, P. Szymczak ¹, D. Hebert ³, H. Oster ⁴

¹ G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Postfach 1162, 09581 Freiberg/Sachsen

² Forschungszentrum Rossendorf e.V., Institut für Radiochemie, Postfach 51 01 19, 01314 Dresden; E-mail: mibus@fz-rossendorf.de

³ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Angewandte Physik, Bernhard-von-Cotta-Straße 4, 09596 Freiberg/Sachsen; E-mail: hebert@physik.tu-freiberg.de

⁴ Spurenstofflabor Dr. Harald Oster, Bornweg 3, D-67157 Wachenheim; E-mail: harald.oster@t-online.de

Einleitung

Zur Bewertung der Grundwassergeschütztheit werden neben hydrogeologischen und hydrochemischen Untersuchungen auch die Altersdatierung der Grundwässer anhand der Konzentration des Tritiums (³H) herangezogen (MOSER & RAUERT, 1980, HEBERT et al., 1991). Rückläufige Tritiumkonzentrationen im Niederschlag und eine im Modellansatz begründete, häufig auftretende Ambiguität der Ergebnisse schränken die Anwendbarkeit ein oder erfordern Zusatzinformationen. Eine Möglichkeit zum Informationsgewinn stellt die Messung von im low-level Konzentrationsbereich auftretenden FCKW dar. Die kombinierte Anwendung beider Umwelttracer wird in einem Gemeinschaftsprojekt bei der Untersuchung einer Trinkwasserfassung in der Jahna-Aue (Nordwest-Sachsen) gezeigt. Den Döbeln-Oschatzer Wasserwerken wird für die Finanzierung des Projektes gedankt.

Grundlagen der Anwendung von Tritium und FCKW als Umwelttracer

Während der Eintrag von Tritium in die Atmosphäre in den sechziger Jahren durch die Bombentests nahezu impulsartig erfolgte, ist bei den FCKW etwa seit Mitte der sechziger Jahre ein linear verlaufender Anstieg der atmosphärischen Konzentration zu beobachten. Auch hinsichtlich der Ausbreitung im Untergrund und des Überganges in das Grundwasser verhalten sich beide Tracer sehr unterschiedlich. Tritium passiert die

Aerationszone konvektiv mit dem Sickerwasser, die FCKW breiten sich dagegen diffusiv in der Bodenluft aus. Daraus resultieren signifikant unterschiedliche Verweilzeiten beider Tracer in der Aerationszone.

Unter Nutzung konzeptioneller Boxmodelle (z.B. RICHTER & SZYMCZAK, 1994) können anhand der Tritiumaktivität als auch der FCKW-Konzentration im Grundwasser Altersdatierungen und Bestimmungen des Anteils einzelner Alterskomponenten vorgenommen werden. Bei der Nutzung von Tritiummessungen ist das Ergebnis aufgrund der seit Mitte der sechziger Jahre fallenden Tendenz der input-Funktion nicht immer eindeutig. In der Regel ist eine "jüngere" und eine "ältere" Interpretationsvariante möglich. Erst durch zusätzliche geohydraulische und hydrochemische Untersuchungen können eindeutige Aussagen erzielt werden.

Mit der FCKW-Methode stehen drei zusätzliche Umwelttracer zur Verfügung, die unterstützend herangezogen werden können und ein eindeutiges Resultat liefern. Neben den bereits in der Vergangenheit untersuchten Spezies F11 (CCl₃F) und F12 (CCl₂F₂) kann nun auch F113 (C₂Cl₃F₃) im low-level-Bereich bestimmt werden.

Hydrogeologische Aufgabenstellung und Rahmenbedingungen

Im Zusammenhang mit der Neubemessung der Trinkwasser-Schutzzone der Fassungen in der Jahna-Aue war 1999 eine Geschütztheitsbewertung vorzunehmen. Nachdem Tritiummessungen

aus dem Jahr 1992 keine eindeutigen Aussagen zur mittleren Verweilzeit ermöglichten, sollte durch eine erneute Untersuchung aller Brunnen auf Tritium und FCKW eine eindeutige Geschütztheitsbewertung erfolgen.

Einen Überblick über die Fassungsanlage gibt Abbildung 1. Die hydrogeologische Situation wird in Abbildung 2 verdeutlicht. Gezeigt wird ein Schnitt durch den Fassungsstandort Jahnau-Aue I. Über der paläozoischen bis mesozoischen Basis, die bis auf tektonisch gestörte Bereiche als Grundwasserstauer gilt, liegen pleistozäne Sande mit hoher Durchlässigkeit ($k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$). Diese werden durch pleistozäne und holozäne bindige Sedimente überlagert. Sie behindern bzw. verzögern sowohl die Grundwasserneubildung als auch den Schadstoffeintrag in den Aquifer.

Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Auf welchem Weg erfolgt die Grundwasserneubildung und der nachgewiesene Nitrat-eintrag in das System?
- Welche Verweilzeiten existieren in der Aerasionszone und im Grundwasser?
- Wie hoch sind die Jungwasseranteile des in den einzelnen Fassungsanlagen geförderten Grundwassers?

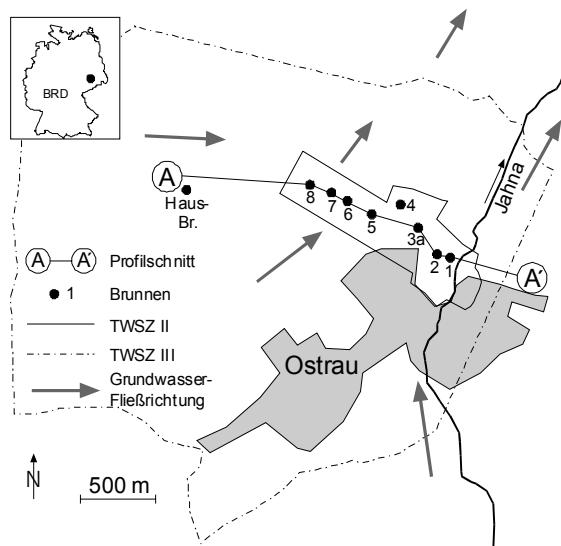


Abb. 1: Übersichtskarte

Ergebnisse

Die Messergebnisse werden in Tabelle 1 gezeigt. Bei einer Einordnung der Messwerte zeigt sich, dass der Brunnen 7 und der Hausbrunnen erhöhte Konzentrationen an F11 aufweisen, die nicht durch atmosphärischen Eintrag verursacht worden sein können. Hier müssen lokale F11-Quellen zum Beispiel aus Altlasteneinflüssen existieren. Für eine Altersdatierung sind diese Messwerte zu eliminieren.

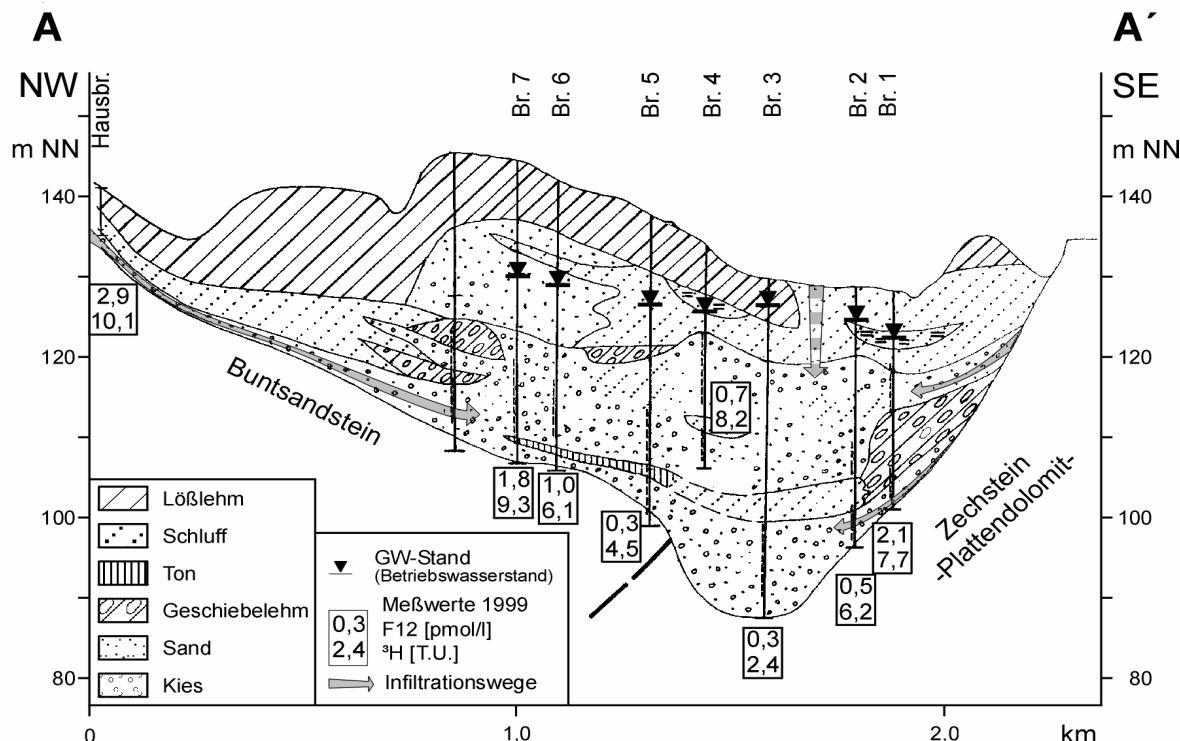


Abb. 2: Hydrogeologischer Schnitt durch die Jahnau-Aue (nach SZYMCZAK, 1999)

Tab. 1: Messergebnisse und aus FCKW berechnete Jungwasseranteile α

Meßpunkt	Datum	F12	F11	F113	^3H	α [%]
		[pmol/l]	[pmol/l]	[pmol/l]	[T.U.]	(berechnet aus FCKW)
Brunnen 1	1992	-	-	-	$11,0 \pm 1,0$	-
	Mai 99	$2,1 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,1$	$0,09 \pm 0,05$	$7,7 \pm 0,8$	22
Brunnen 2	Mai 99	$0,45 \pm 0,2$	$0,57 \pm 0,05$	$0,05 \pm 0,05$	$6,2 \pm 0,7$	13
Brunnen 3	Mai 99	$0,26 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,05$	$< 0,01$	$2,4 \pm 0,5$	4
Brunnen 4	Mai 99	$0,69 \pm 0,05$	$1,2 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,05$	$8,2 \pm 0,9$	24
Brunnen 5	Mai 99	$0,32 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,05$	$0,05 \pm 0,05$	$4,5 \pm 0,6$	12
Brunnen 6	Mai 99	$1,0 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$	$0,05 \pm 0,05$	$6,1 \pm 0,1$	26
Brunnen 7	1992	-	-	-	$13,0 \pm 1,5$	-
	Mai 99	$1,8 \pm 0,1$	$15 \pm 0,3$	$0,11 \pm 0,05$	$9,3 \pm 0,9$	23
Hausbrunnen	Mai 99	$2,9 \pm 0,2$	19 ± 4	$0,8 \pm 0,4$	$10,1 \pm 1,0$	80

Diskussion

Die räumliche Zuordnung der F12 und Tritium-Messwerte zeigt Abbildung 2. Es ist ein deutlicher Trend zur Abnahme der Tritium- und FCKW-Konzentration vom Rand in das Zentrum der pleistozänen Rinne zu erkennen. Die höhere Teufenlage des Filters in Brunnen 4 zeigt außerdem eine vertikale Zonierung der Konzentration im Grundwasserleiter. In den hangenden Bereichen sind die Konzentrationen beider Tracer signifikant höher.

Damit lassen sich bereits qualitativ zwei Wege der Infiltration schlussfolgern:

- vertikale Durchsickerung der aus den bindigen Sedimenten gebildeten Aerationszone
- Speisung von den Rändern der Rinnenstruktur aus dem Ausstrichbereich des Aquifers und der Verwitterungszone des umgebenden Festgestein.

Die Eintragsfunktion für die FCKW-Spezies F11 und F12 ist in Abbildung 3 dargestellt. Für die neunziger Jahre weist die Kurve durch Rückgang des FCKW-Einsatzes ein Abknicken und einen etwa konstanten Input auf. Die Auswertung der FCKW-Messungen erfolgte mit Hilfe des Jungwasserinfiltrationsmodells und einer Berechnung der Verweilzeit in der Aerationszone nach dem 2. Fickschen Gesetz (Gasdiffusion). Die mittlere

Verweilzeit in der Bodenluft bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels beträgt je nach FCKW-Spezies und Flurabstand zwischen 1 und 4 Jahren. Der Jungwasseranteil α berechnet sich nach dem Mischungsmodell in Gleichung (1).

$$\alpha = \frac{c_{\text{mess}} - \beta \cdot c_{\text{alt}}}{c_{\text{jung}}} \quad (1)$$

mit: α = Jungwasseranteil (mittlere Verweilzeit $\tau_m < 40$ a)
 β = Altwasseranteil ($\tau_m > 40$ a)
 c_{mess} = Meßwert FCKW in pmol/l
 c_{alt} = Konzentration im Altwasser (für alle FCKW gilt $c_{\text{alt}} = 0$)
 c_{jung} = atmosphärische Gleichgewichtskonzentration im Jungwasser (im vorliegenden Fall ist $c(F12) = 2,7$ pmol/l, $c(F11) = 5,6$ pmol/l, $c(F113) = 0,5$ pmol/l)

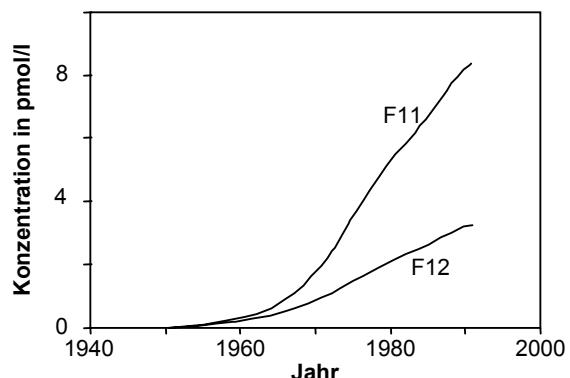


Abb. 3: input-Funktion ausgewählter FCKW (nach OSTER et al., 1996)

Die Berechnungsergebnisse enthält die Tabelle 1. In den Tiefbrunnen korrelieren die gemessenen Tritiumaktivitäten gut mit den aus den FCKW-Konzentrationen berechneten Jungwasseranteilen (siehe Abb. 4). Dieser Zusammenhang lässt auf eine hohe Tritiumaktivität im Jungwasser schließen. Die Extrapolation der Regressionsgerade liefert eine Tritiumaktivität von 40 T.U. im Jungwasser, was nach einer separaten Simulation mit MULTIS einer mittleren Verweilzeit in der Aerationszone τ_0 von ca. 25 Jahren entspricht. Mit diesen Informationen lassen sich die Eingabeparameter für das Programm MULTIS auf zwei freie Parameter reduzieren. Bei einer am Beispiel des Brunnen 7 durchgeführten Simulation der output-Funktion für Tritium im Aquifer ergeben sich die oben erwähnten zwei möglichen Varianten (siehe Abb. 5).

Mit Hilfe der aus den FCKW-Messungen erhaltenen Zusatzinformationen ($\tau_0 \gg 25$ a) kann die ältere Variante als richtige Lösung eindeutig identifiziert werden.

Schlußfolgerung

Durch die Kombination der herkömmlichen Grundwasserdatierung aus der Tritiumbestimmung mit FCKW-Untersuchungen ist es möglich, die meist mehrdeutige Interpretationsmöglichkeit der output-Funktion des Tritiums in eine eindeutige Lösung zu überführen.

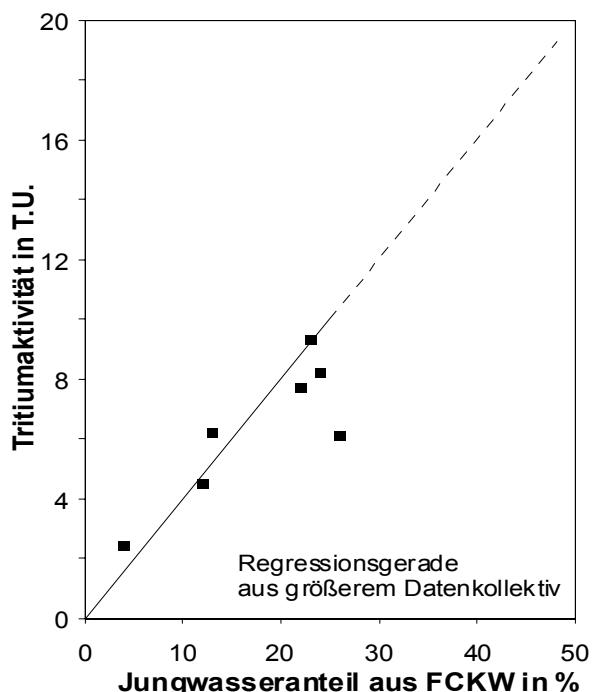


Abb. 4: Korrelation zwischen ^3H -Konzentration und Jungwasseranteil berechnet aus FCKW-Konzentration

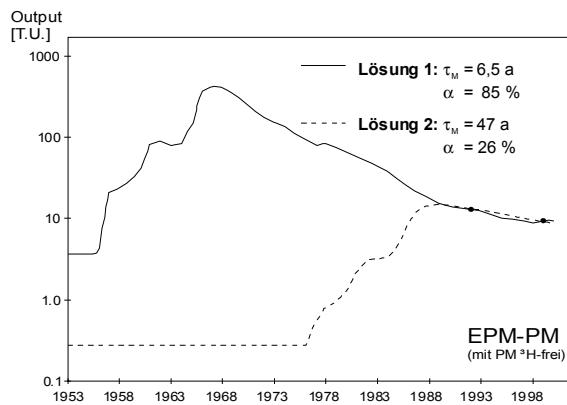


Abb. 5: Simulation der output-Funktion am Brunnen 7 bei Kombination aus Exponential- und Piston-Flow-Modell (^3H -frei)

Literatur

- HEBERT, D., SZYMCZAK, P., BEDNORZ, F. & BRINSCHWITZ, D. (1991): Anwenderrichtlinie zur Geschütztheitsbewertung von Grundwasserressourcen auf der Grundlage von Tritiumanalysen. Interner Bericht, Bergakademie Freiberg.
- MOSER, H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrogeologie; Gebr. Borntraeger Berlin.
- OSTER, H., SONNTAG, C. & Münnich, K.O. (1996): FCKW-Datierung nitratbelasteten Grundwassers: ein Fallbeispiel. - Grundwasser 1 148-155.
- RICHTER, J. & SZYMCZAK, P. (1994): MULTIS - Ein Computerprogramm zur Auswertung isotopenhydrogeologischer Daten auf der Grundlage gekoppelter konzeptioneller Boxmodelle. TU Bergakademie Freiberg.
- SZYMCZAK, P. (1999): Hydrogeologischer Bericht: Probenahme von Umwelttraceren für die Wasserfassungen in der Jahna-Aue. Interner Bericht, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurge. mbH.