

Mitt. österr. geol. Ges.	83 (1990) Themenband Umweltgeologie	S. 109-124 12 Abb., 3 Tab.	Wien, Februar 1991
--------------------------	---	-------------------------------	--------------------

Isotopenhydrologie in Österreich: Stand 1990

Von Dieter RANK, Wolfgang PAPESCH, Gerhard LUST, Werner NUSSBAUMER
und Vinzenz RAJNER*)

Mit 12 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Die Isotopenhydrologie baut auf den in natürlichen Wässern auftretenden Häufigkeitsschwankungen von ^2H , ^3H und ^{18}O auf. Die Arbeit gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Anwendung isotopenhydrologischer Methoden in Österreich und enthält eine für den Anwender gedachte Zusammenstellung isotopenhydrologischer Basisdaten für Österreich.

Abstract

Isotope Hydrology in Austria: State at 1990

Isotope hydrology is based upon the variations of ^2H , ^3H and ^{18}O which occur in natural waters. The paper gives a survey over the present state of the application of isotope-hydrological methods in Austria and contains a listing of isotope-hydrological basic data of Austria to be applied by users.

Inhalt

1. Einleitung	109
2. Tritium (^3H) im natürlichen Wasserkreislauf — Basisdaten für Österreich	110
3. Sauerstoff-18 (^{18}O) im natürlichen Wasserkreislauf — Basisdaten für Österreich ...	116
4. Forschung und Entwicklung	122

1. Einleitung

Die hydrologische Anwendung von Isotopenverhältnismessungen beruht auf den in natürlichen Wässern auftretenden Häufigkeitsschwankungen von ^2H , ^3H und ^{18}O (siehe beispielsweise H. MOSER & W. RAUERT, 1980). Als Folge der unterschiedlichen Isotopenzusammensetzung der Niederschläge treten auch in Oberflächen- und Grundwässern Schwankungen der Isotopenverhältnisse auf, die sich für hydrologische und hydrogeologische Interpretationen eignen. Wichtigste Zielsetzungen von Isotopenuntersuchungen sind die Erforschung hydrologischer Zusammenhänge, der hydrogeologischen Verhältnisse, der Verweilzeit von Grundwässern und die Abschätzung eines möglichen Schadstofftransportes.

*) Adresse der Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. D. RANK, Dipl.-Ing. Dr. W. PAPESCH, G. LUST, Ing. W. NUSSBAUMER, Ing. V. RAJNER: Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Postfach 8, A-1031 Wien, Österreich.

Drei wichtige Umstände kennzeichnen den derzeitigen Stand der mehr und mehr als „etabliert“ geltenden Isotopenhydrologie:

a) Die Entwicklung der Isotopenmeßtechnik und die Automatisierung von Probenahmeinrichtungen im letzten Jahrzehnt haben es ermöglicht, daß Isotopenmessungen heute im großen Maßstab für hydrologische Untersuchungen eingesetzt werden können. Dies hat auch neue Arbeitsfelder eröffnet, wie die Untersuchung der Auswirkung von Einzelereignissen in hydrologischen Systemen.

b) Es liegt inzwischen ein umfangreiches Basisdatenmaterial über die Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf vor — unter anderem langjährige Zeitreihen —, auf das isotopenhydrologische Untersuchungen aufbauen können. Dies führt zu beträchtlichen Verkürzungen bei der Dauer und zu Einsparungen bei den Kosten von isotopenhydrologischen Projekten.

c) Isotopenmessungen eignen sich hervorragend zur Untersuchung von Wechselwirkungen in der Umwelt. Das große Interesse der Öffentlichkeit an Fragen der Wassermwelt hat zum routinemäßigen Einsatz von Isotopenmethoden bei der Bearbeitung von Umweltfragen geführt, weil damit eine Reihe von früher eher spekulativ abgeschätzten Parametern zu meßbaren Größen werden.

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Anwendung isotopenhydrologischer Methoden in Österreich und enthält eine für den Anwender gedachte Zusammenstellung isotopenhydrologischer Basisdaten für Österreich. Die Arbeit schließt dabei an die methodischen Ausführungen in D. RANK 1986 und 1990 an, sie werden im folgenden vorausgesetzt.

2. Tritium (^3H) im natürlichen Wasserkreislauf — Basisdaten für Österreich

Ab 1952 bestimmten die bei den Kernwaffenversuchen freigesetzten ^3H -Mengen den ^3H -Gehalt der Niederschläge. Die ^3H -Konzentration stieg dadurch im Jahr 1963 bis auf 1000fache des natürlichen ^3H -Gehaltes an, ging dann kontinuierlich zurück und näherte sich in den letzten Jahren wieder den „Vorbombenwerten“ (Abb. 1, Tab. 1; 1 TE=1 Tritiumeinheit=0,118 Bq/kg). Mit dem Abklingen des Bombentritiums steigt der Einfluß lokaler Freisetzungen von ^3H und der zur Zeit der Freisetzung herrschenden Luftströmungen auf den ^3H -Gehalt der Niederschläge und der aus ihnen gebildeten Oberflächen- und Grundwässer. Eine generelle, überregional geltende Beschreibung des Verhaltens von ^3H in der Umwelt wie zur Zeit des Kernwaffentritiums ist aus diesem Grunde nicht mehr möglich.

An Hand von einigen Ergebnissen des Projektes „Messung der Isotopenzusammensetzung in Niederschlägen im österreichischen Bundesgebiet“ (Kooperation BVFA Arsenal und Umweltbundesamt) seien die Auswirkungen lokaler ^3H -Freisetzungen kurz erläutert. Im April 1989 zeigten einige westösterreichische Sammelstationen nördlich des Alpenhauptkammes signifikant höhere ^3H -Konzentrationen im Monatsniederschlag (Abb. 2), südlich des Alpenhauptkammes lagen die ^3H -Gehalte erheblich niedriger. In den Tagesniederschlägen der Station Wien-Arsenal wurde für den 22. April 1989 ein Wert von 95 TE festgestellt, ebenso lieferten Niederschlagsproben aus dem Schwarzwald um den 20. April erhöhte Werte. Damit läßt sich der Zeitpunkt des Ereignisses näher eingrenzen. Offensicht-

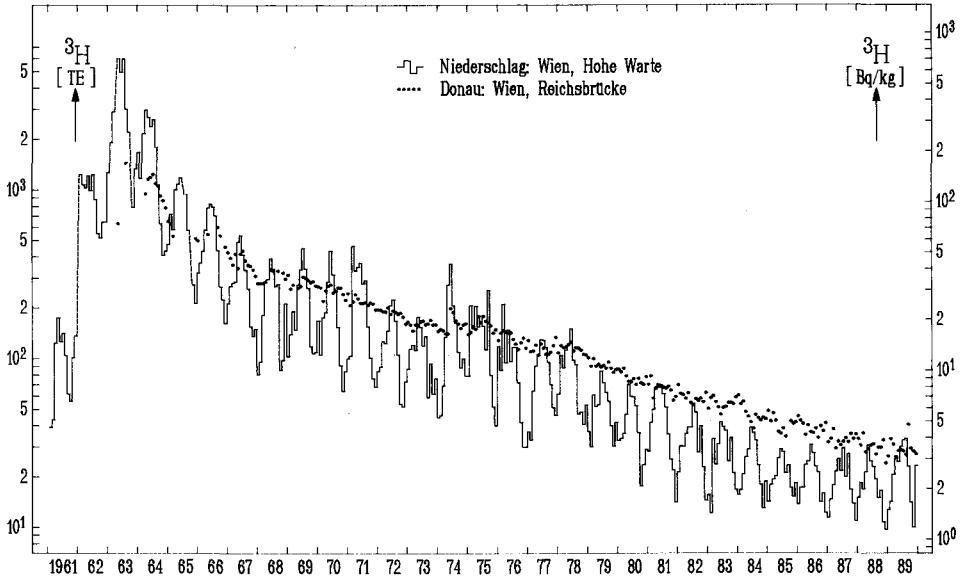


Abb. 1: Langfristiger Verlauf der ^3H -Konzentration im Niederschlag (Monatsmittel) und im Oberflächenwasser (monatliche Stichproben) (D. RANK et al., 1990).

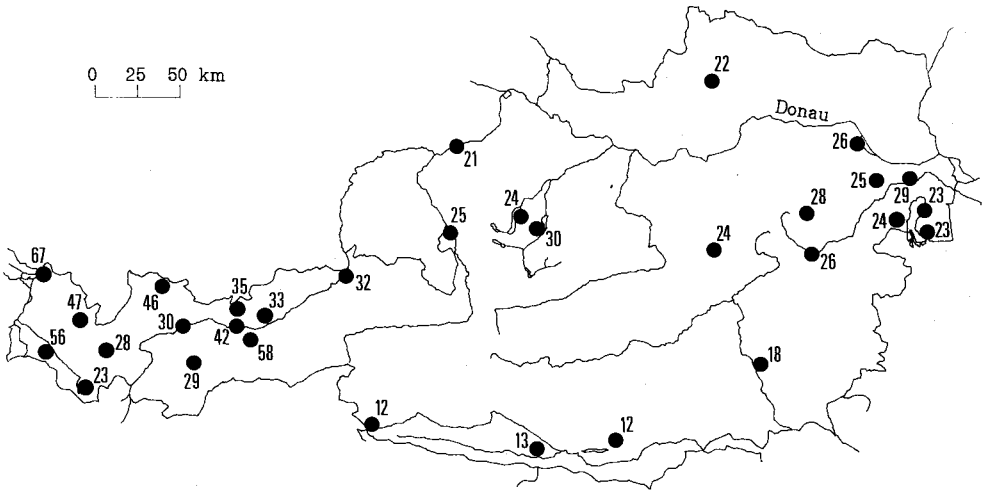


Abb. 2: ^3H -Gehalt (TE) der monatlichen Niederschlagsproben vom April 1989. Die ^3H -Gehalte bei den westösterreichischen Beobachtungsstationen nördlich des Alpenhauptkammes liegen signifikant höher als im übrigen Bundesgebiet.

Tabelle 1: ^3H -Basisdaten des Niederschlags und der Oberflächenwässer (Zahlenangaben in TE; bei den zwischen Klammern gesetzten Werten liegt kein vollständiger Jahresgang vor).

Jahr	Niederschlag *		Oberflächenwasser **		
	Wien (Hohe Warte)	Villacher Alpe	Donau (Wien)	Neusiedlersee (Podersdorf)	Bodensee (Bregenz)
1961	(108)	-	-	-	-
1962	(905)	-	-	-	-
1963	(3278)	-	-	-	-
1964	1666	-	(1026)	-	-
1965	(864)	-	-	-	-
1966	549	-	-	-	-
1967	316	-	378	-	-
1968	219	-	(306)	-	-
1969	236	-	(284)	243	-
1970	187	-	254	-	-
1971	259	181	218	(222)	-
1972	140	103	186	167	-
1973	110	94,5	160	133	-
1974	150	143	159	143	-
1975	142	87,8	157	130	-
1976	92,5	63,9	132	107	(168)
1977	86,1	74,5	115	87,7	144
1978	93,0	79,1	114	97,4	(132)
1979	56,2	45,3	91,1	77,9	119
1980	40,7	32,7	77,1	57,9	97,9
1981	42,8	46,4	66,2	(53,7)	83,6
1982	35,2	23,3	59,2	44,9	(71,9)
1983	28,0	21,2	53,9	36,5	62,2
1984	24,9	18,9	47,2	34,0	56,6
1985	20,8	18,4	(41,2)	(28,7)	(52,4)
1986	20,9	18,3	39,0	26,4	41,9
1987	19,5	15,5	33,1	23,3	38,2
1988	17,8	16,2	30,2	22,9	34,1
1989	26,0	17,1	29,6	22,3	31,4

* gewichtetes Jahresmittel

** Jahresmittel aus monatlichen Stichproben

lich gelangten ^3H -reiche feuchte Luftmassen aus Westeuropa im Zeitraum 20./22. April 1989 bis zum Alpenhauptkamm und wurden hier ausgeregnet.

Seit Jahren liegt die ^3H -Konzentration der Niederschläge am Patscherkofel (Seehöhe 2245 m) weit über dem Durchschnitt und auch weit über den Werten der benachbarten Talstation Innsbruck (577 m). Extreme Konzentrationsunterschiede treten vor allem bei geringeren Niederschlagshöhen auf (Abb. 3). Offensichtlich spielen hier das Relief und unterschiedliche meteorologische Bedingungen eine entscheidende Rolle für die ^3H -Konzentration im Niederschlag. Dieser „Höheneffekt“ könnte aber auch ein Hinweis dafür sein, daß ^3H aus Westeuropa bevorzugt in bestimmten Luftschichten in die Alpen gelangt.

Ein weiterer regionaler Unterschied ist durch den Einfluß mediterraner Luftmassen im südlichsten Teil des Bundesgebietes begründet. Dies führt zu deutlich niedrigeren ^3H -Gehalten im Niederschlag, wie dies ein Vergleich der ^3H -Werte der Sammelstationen Villacher Alpe und Wien belegt (Tab. 1).

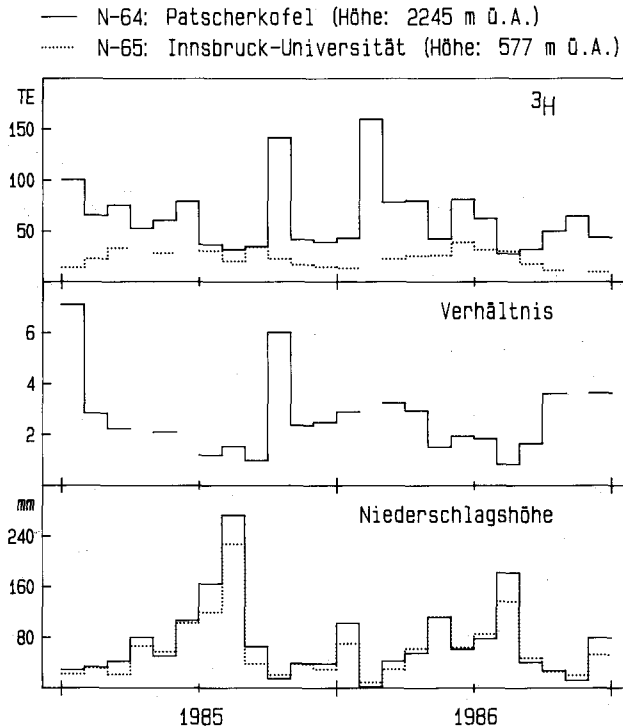


Abb. 3: ^3H -Gehalt der Monatsniederschläge von den Sammelstationen Patscherkofel (2245 m ü. A.) und Innsbruck (577 m ü. A.), Verhältnis der ^3H -Konzentrationen und monatliche Niederschlagssummen (D. RANK et al., 1987).

Hinweise auf gewisse regionale Einflüsse in Mitteleuropa ergeben sich auch aus dem Verlauf des ^3H -Gehaltes in der Donau (Abb. 4). Nach der Einmündung von Theiß und Save sinken die ^3H -Gehalte deutlich ab — um etwa 25%. Die Ursachen für die höheren ^3H -Konzentrationen im alpinen Teil des Einzugsgebiets der Donau können sowohl geographisch-hydrologischer Natur sein als auch in der Tätigkeit der Kernindustrie zu suchen sein. Der in Abb. 4 im bulgarisch-rumänischen Donauabschnitt gering, aber signifikant nach oben hin abweichende Meßwert stammt von einer Probe aus der Abwasserfahne des Kernkraftwerkes Kozloduj. Auch bei der March weist der Verlauf des ^3H -Gehaltes auf lokale Abgaben von ^3H hin (D. RANK et al., 1990).

Für die hydrologische Anwendung von ^3H -Messungen folgt aus der geschilderten Zunahme der Bedeutung lokaler und regionaler Einflüsse, daß in Zukunft noch mehr Wert auf ein verlässlich funktionierendes, räumlich und zeitlich verhältnismäßig engmaschiges Basissammelnetz für Niederschlags-, Oberflächen- und Grundwasserproben zur ausreichend genauen Erfassung der Eingangsgrößen gelegt werden muß. Die Anforderungen gehen dabei erheblich über die Notwendigkeiten der Umweltüberwachung — des Strahlenschutzes — hinaus. Allerdings lassen sich aus diesen Basisdaten auch für die Umweltüberwachung bedeutsame Aussagen über Trends und den Ablauf lokaler Kontaminationen der Umwelt ableiten.

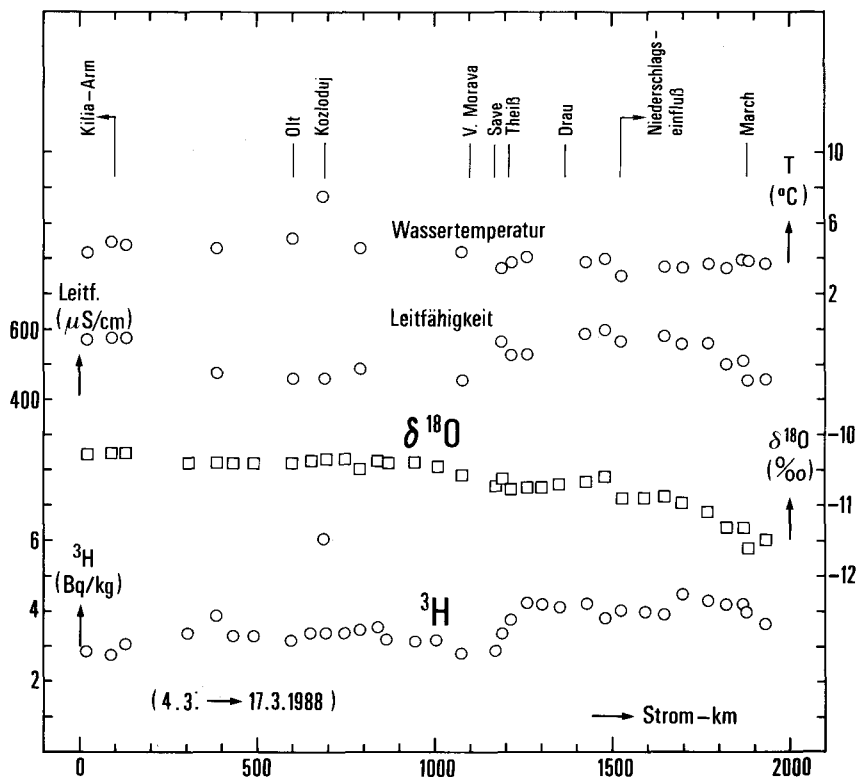


Abb. 4: Donaubeisung 1988: ${}^3\text{H}$ - und ${}^{18}\text{O}$ -Gehalt, Leitfähigkeit und Temperatur des Donauwassers im Streckenabschnitt Schwarzes Meer (km 0) – Wien (km 1929) (RANK et al., 1989).

Neben einigen Grundaussagen – ${}^3\text{H}$ -freies Wasser stammt aus Niederschlägen der „Vorbombenzeit“, ist somit älter als 40 Jahre, und ${}^3\text{H}$ -reiches Wasser enthält hohe Anteile aus den sechziger Jahren – beruhte die Altersdatierung von Wässern mit Hilfe von ${}^3\text{H}$ -Messungen in den letzten beiden Jahrzehnten vor allem auf der Anwendung von Modellrechnungen, die sich mit der Abbildung des langzeitlichen Verlaufes des ${}^3\text{H}$ -Gehaltes der Niederschläge (Abb. 1) in hydrologischen Systemen befassen. Diese Aufgabe ist gleichbedeutend mit der Bestimmung der Altersverteilung des Wassers am Ausgang des hydrologischen Systems. Die üblicherweise angewandte Methode besteht darin, daß für ein – oder mehrere – Strömungsmodelle aus den bekannten Eingangsdaten (${}^3\text{H}$ -Gehalt des Niederschlags) die Ausgangsfunktionen (zu erwartender Verlauf des ${}^3\text{H}$ -Gehaltes in Abhängigkeit von der mittleren Verweilzeit) berechnet und mit den gemessenen Ausgangsdaten (z. B. ${}^3\text{H}$ -Gehalt von Quellen) verglichen werden. Das Modell mit der besten Übereinstimmung wird dann zur Beschreibung des Strömungssystems herangezogen. Im allgemeinen wird für eine näherungsweise Abschätzung der Wasseralter ein exponentieller Abfluß angenommen (Exponentialmodell, siehe beispielsweise H. MOSER & W. RAUERT, 1980). Wie die Erfahrung zeigt, führt dieses Modell auch dann zu brauchbaren Ergebnissen

— groben Abschätzungen der mittleren Verweilzeit —, wenn die Voraussetzungen nur teilweise erfüllt sind. — Mit dem Abklingen des Kernwaffentritiums in der Umwelt nimmt auch die Aussagekraft solcher Modellrechnungen ab, wie aus den berechneten ^3H -Konzentrationsverläufen zu erkennen ist (Abb. 5 und 6). In nächster Zeit wird diese Art der Altersdatierung von Wässern vor allem hydrologischen Systemen vorbehalten sein, bei denen bereits Meßwerte aus früheren Jahren vorliegen, und solchen, die noch hohe Wasseranteile aus den sechziger und siebziger Jahren enthalten. Aber auch hier werden die Aussagen ungenauer.

Als Ersatz kann bei Verweilzeiten bis zu einigen Jahren auf die Verwendung der jahreszeitlichen Schwankung der Isotopenverhältnisse im Niederschlag (Abb. 8) als Eingangssignal ausgewichen werden, solange — bei nicht zu großen Verweilzeiten — im hydrologischen System ein entsprechendes Ausgangssignal nachweisbar ist. Allerdings bedingt dies die Aufnahme von Jahregängen. Weiters bietet sich zur Abschätzung der jüngsten Wasseranteile die Beobachtung der Auswirkung von Einzelereignissen auf die Isotopenverhältnisse in hydrologischen Systemen an (siehe Abschnitt 3).

Immer wichtiger wird der Altershinweis aus dem Fehlen von ^3H in Grundwässern. Solche Wässer sind aus Niederschlägen der „Vorbombenzeit“ gebildet worden, die Aussage lau-

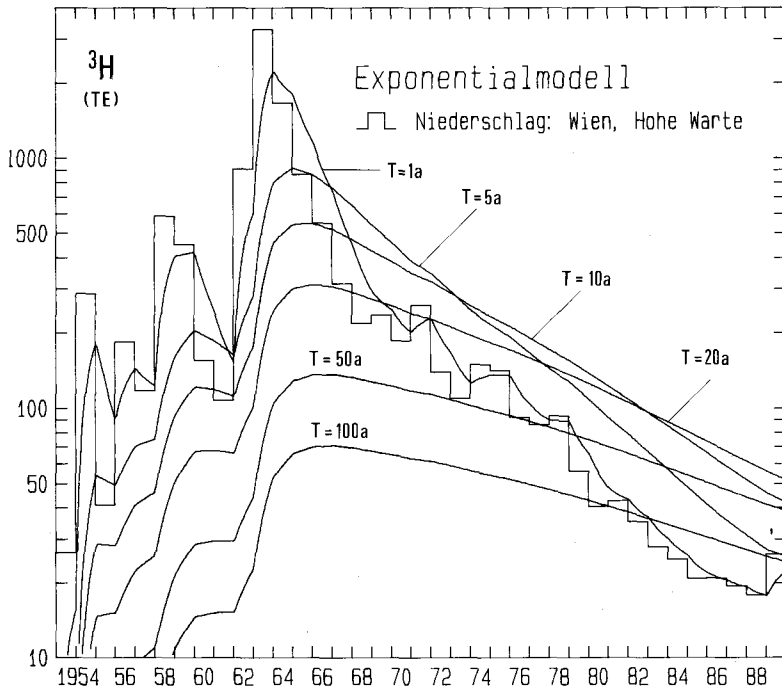


Abb. 5: Abschätzung der mittleren Verweilzeit von Grundwässern mit Hilfe von Modellrechnungen: Exponentialmodell. Berechnung der zu erwartenden ^3H -Konzentrationsverläufe am Ausgang eines hydrologischen Systems mit vollständiger Durchmischung in Abhängigkeit von der mittleren Verweilzeit. Als Eingangsgröße dient der ^3H -Konzentrationsverlauf im Niederschlag (T =mittlere Verweilzeit bzw. Wasseralter in Jahren).

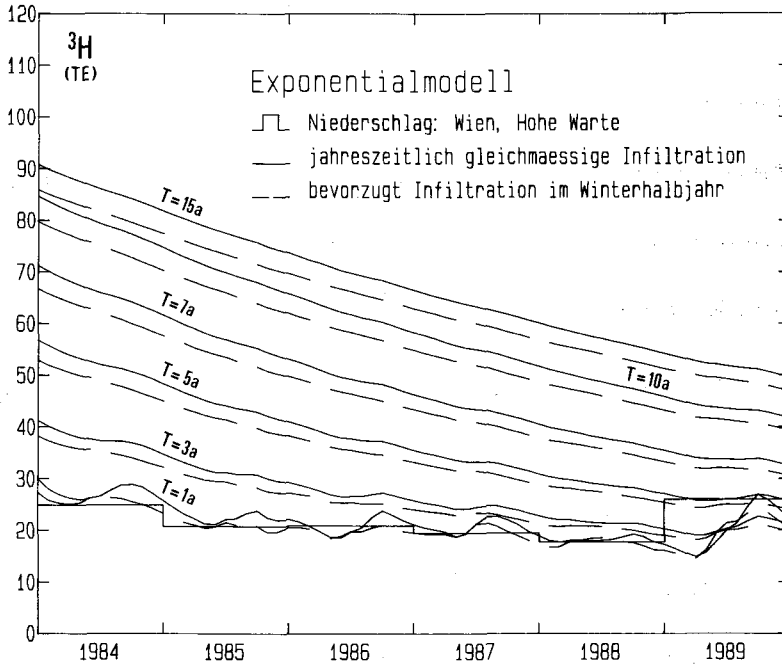


Abb. 6: Abschätzung der mittleren Verweilzeit von Grundwässern mit Hilfe von Modellrechnungen (T =mittlere Verweilzeit in Jahren). Ausschnitt aus Abb. 5 mit Berücksichtigung jahreszeitlich unterschiedlicher Versickerung.

ter derzeit „älter als 40 Jahre“. Eine nähere Eingrenzung des Wasseralters kann über Radio-kohlenstoffmessungen erfolgen.

3. Sauerstoff-18 (^{18}O) im natürlichen Wasserkreislauf — Basisdaten für Österreich

Die gebirgige Struktur Österreichs und die Höhendifferenz von 3500 m zwischen Alpen-gipfeln und Vorländern bieten über den Höheneffekt ideale Voraussetzungen für den Ein-satz von ^2H - und ^{18}O -Messungen zur Klärung der Herkunft von Wässern. Weiters können die jahreszeitlichen Schwankungen der Isotopengehalte zur Altersdatierung von Wässern herangezogen werden, und schließlich erlaubt das Studium des Verlaufes der Isotopenver-hältnisse während hydrologischer Einzelereignisse zusätzliche Einblicke in das Verhalten hydrologischer Systeme. Für Mitteleuropa besteht zwischen ^2H - und ^{18}O -Gehalt der Nie-derschläge die Beziehung $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$, die folgenden Ausführungen beschränken sich daher auf eines der beiden Nuklide — auf ^{18}O .

Ein häufiges Problem bei isotonhydrologischen Untersuchungen besteht darin, daß innerhalb der Projektdauer wegen der Unterschiedlichkeit einzelner Jahresgänge die Ermittlung repräsentativer Mittelwerte — vor allem für den Niederschlag — kaum möglich ist. Zur Abhilfe wurden im Rahmen eines Eigenforschungsvorhabens der BVFA Arsenal in den letzten Jahren für ein Basissammelnetz von Niederschlags- und Oberflächenwasserpro-ben Zehn-Jahres-Meßreihen (1976-1985) aufgenommen (Tab. 2 und 3, Abb. 7 und 8). Dieses

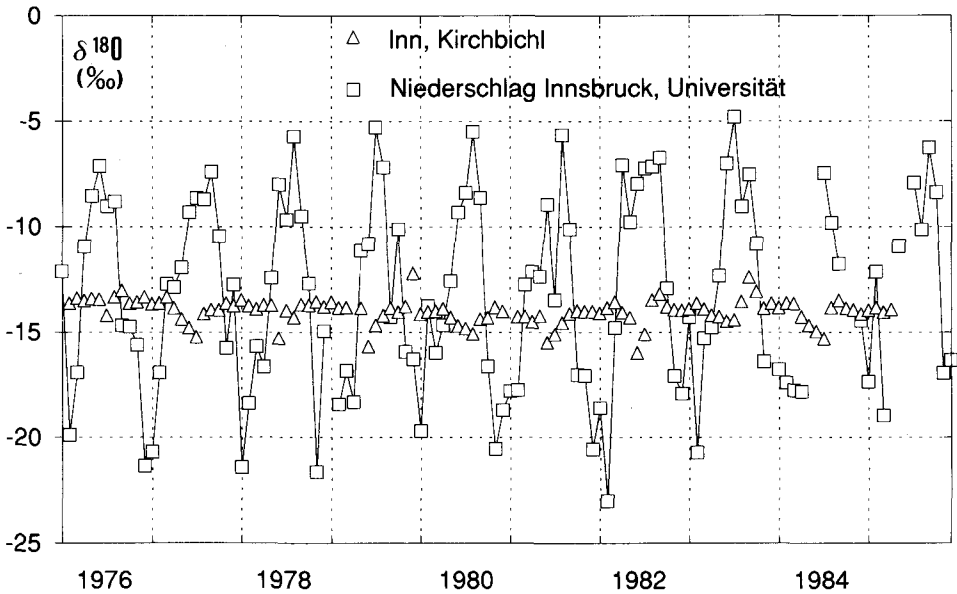


Abb. 7: Beispiel einer Zehn-Jahres-Meßreihe des ^{18}O -Gehaltes im Niederschlag (Innsbruck, Universität, gewichtete Monatsmittel) und im Oberflächenwasser (Inn, Kirchbichl, monatliche Stichproben).

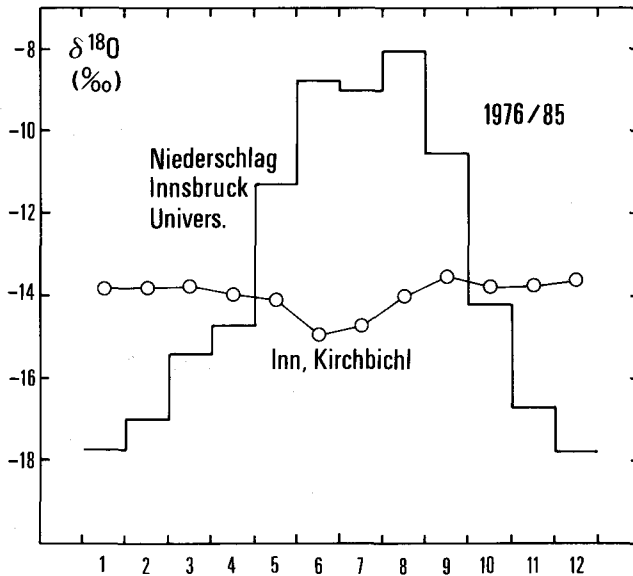


Abb. 8: Beispiel eines mittleren Jahrganges des ^{18}O -Gehaltes im Niederschlag (Innsbruck, Universität) und im Oberflächenwasser (Inn, Kirchbichl) auf der Basis von Zehn-Jahres-Meßreihen.

Tabelle 2: ^{18}O -Basisdaten Niederschlag: gewichtete Zehn-Jahres-Mittel der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von einigen österreichischen Niederschlagssammelstationen (Sammelzeitraum 1976-1985, monatliche Mischproben).

Sammelstation (Bundesland)	See- höhe (m)	$\delta^{18}\text{O}$ [‰], 10-Jahresmittel 1976 - 1985											Mittel	
		Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.		Dez.
Apellon (B)	120	-12,41	-13,14	-11,57	-9,88	-8,83	-7,12	-6,06	-7,55	-7,70	-8,84	-12,48	-13,57	-9,48
Braunau (O) *	360	-13,84	-14,80	-13,39	-12,45	-10,88	-8,91	-7,87	-7,99	-8,38	-11,86	-12,79	-13,63	-10,62
Bregenz-Rieden (V)	430	-13,42	-13,24	-13,08	-11,52	-11,18	-8,46	-7,89	-8,52	-10,59	-12,37	-13,28	-14,24	-10,86
Bruck a.d. Leitha (N)	170	-12,76	-13,01	-12,00	-10,01	-8,80	-6,76	-6,34	-6,82	-7,76	-8,96	-13,09	-13,69	-9,69
Feuerkogel (O)	1598	-13,82	-13,96	-13,64	-13,07	-12,81	-11,03	-9,91	-10,77	-10,72	-12,78	-13,99	-14,86	-12,18
Gloggnitz (N)	440	-13,63	-14,21	-12,44	-10,94	-8,70	-6,91	-6,11	-7,18	-8,00	-9,26	-13,08	-13,98	-9,53
Graz-Universität (St)	366	-13,88	-14,21	-12,47	-9,63	-8,70	-7,63	-6,16	-6,63	-8,16	-9,47	-12,99	-13,84	-9,11
Gutenstein (N)	475	-12,11	-13,56	-13,09	-12,77	-9,64	-8,20	-7,60	-8,25	-8,84	-10,31	-14,30	-13,72	-10,65
Hinterstoder (O)	590	-12,70	-12,83	-12,91	-13,59	-10,66	-8,51	-7,97	-7,97	-8,07	-10,89	-14,55	-13,65	-10,66
Huttererböden (O)	1370	-15,65	-15,65	-15,28	-14,19	-12,63	-10,33	-9,46	-9,36	-10,49	-13,30	-16,30	-16,21	-12,87
Innsbruck-Universität (T)	577	-17,76	-17,02	-15,45	-14,75	-11,31	-8,80	-9,04	-8,08	-10,58	-14,25	-16,77	-17,84	-12,14
Klagenfurt-Flugplatz (K)	448	-14,32	-14,86	-13,80	-11,43	-10,15	-8,18	-6,86	-7,21	-8,66	-11,09	-14,37	-14,73	-10,46
Kutstein (T)	495	-14,76	-15,41	-14,49	-13,56	-11,26	-9,25	-8,64	-8,73	-9,53	-12,55	-14,80	-15,85	-11,65
Längenfeld (T)	1180	-20,10	-19,52	-17,74	-14,96	-11,43	-9,53	-7,60	-8,94	-11,28	-14,60	-18,16	-18,83	-12,61
Moosbrunn (N)	186	-12,05	-13,28	-11,66	-10,91	-9,19	-7,95	-6,27	-7,04	-7,87	-9,20	-12,20	-14,62	-9,59
Obervermunt (V)	1986	-19,34	-18,62	-18,18	-16,06	-13,57	-11,33	-10,17	-10,15	-12,52	-15,97	-18,12	-19,13	-13,59
Patscherkofel (T)	2245	-17,99	-17,54	-17,99	-16,62	-13,93	-12,12	-10,46	-10,88	-12,65	-16,20	-17,53	-17,99	-14,11
Podersdorf (B)	120	-12,73	-13,40	-11,50	-10,22	-8,74	-6,65	-5,88	-6,98	-7,37	-8,73	-12,28	-14,01	-9,44
Reutte (T)	870	-15,74	-15,11	-14,85	-13,05	-11,07	-9,18	-8,98	-9,07	-10,72	-12,99	-14,60	-15,56	-11,77
Scharnitz (T)	960	-15,82	-16,37	-15,97	-14,62	-12,27	-9,55	-9,04	-8,72	-10,66	-13,85	-15,95	-16,86	-12,74
Salzburg-Flughafen (S)	435	-13,46	-13,62	-12,94	-12,26	-10,32	-9,22	-8,11	-8,70	-8,29	-11,21	-12,91	-14,60	-10,57
Sillian (T)	1075	-17,68	-16,63	-15,12	-13,71	-10,10	-8,30	-7,35	-7,23	-9,89	-12,31	-16,01	-16,05	-11,55
St. Michael im Gnadenwald (T)	875	-17,07	-16,91	-16,68	-15,34	-12,40	-9,51	-8,88	-8,65	-10,68	-13,89	-16,63	-17,86	-12,80
Villacher Alpe (K)	2135	-14,39	-15,62	-13,17	-12,43	-10,53	-9,31	-7,19	-8,46	-9,49	-11,43	-14,68	-13,69	-11,39
Weyregg (O)	469	-12,80	-13,64	-13,01	-12,45	-11,05	-9,41	-8,48	-9,12	-9,37	-11,97	-13,74	-13,98	-10,99
Wien, Hohe-Warte (W)	203	-13,26	-14,12	-13,33	-10,99	-9,05	-8,17	-7,01	-7,70	-8,36	-9,31	-13,64	-14,28	-10,47
Wildalpen (St)	610	-14,12	-14,12	-14,12	-12,80	-11,09	-8,97	-8,38	-9,18	-9,23	-11,66	-15,33	-15,15	-11,61
Zwettl-Edelhof (N) *	575	-13,83	-14,97	-13,45	-13,71	-9,57	-7,56	-7,02	-7,60	-8,31	-10,64	-12,22	-13,56	-10,10

* 1978 - 1987

Tabelle 3: $\delta^{18}\text{O}$ -Basisdaten Oberflächengewässer: Zehn-Jahres-Mittel der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ausgewählten Probenahmestellen an Oberflächengewässern in Österreich (Sammelzeitraum 1976-1985, monatliche Stichproben).

Sammelstation (Bundesland)	$\delta^{18}\text{O}$ [‰], 10-Jahresmittel 1976 - 1985												Mittel
	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	
Bodensee, Bregenz-Mole (V)	-12,26	-12,26	-12,25	-12,32	-12,43	-12,60	-12,36	-12,25	-12,13	-12,16	-12,28	-12,28	-12,30
Donau, Engelhartzell (O)	-11,38	-11,54	-11,47	-11,68	-11,95	-12,61	-12,55	-12,28	-11,97	-11,64	-11,55	-11,18	-11,82
Donau, Wien-Reichsbrücke (W)	-11,37	-11,37	-11,45	-11,76	-12,03	-12,53	-12,43	-11,93	-11,72	-11,58	-11,44	-11,43	-11,75
Drau, Neubrücke (K)	-11,66	-11,63	-12,06	-11,48	-11,76	-12,81	-12,54	-12,00	-11,92	-11,50	-11,44	-11,56	-11,86
Fuschlsee, Fuschl am See (S)	-10,63	-10,75	-10,73	-10,80	-10,83	-10,59	-10,45	-10,28	-10,31	-10,33	-10,34	-10,87	-10,58
Ill, Gisingen (V)	-13,13	-13,17	-13,35	-13,40	-13,69	-14,20	-13,98	-13,69	-13,27	-13,20	-13,31	-13,08	-13,46
Inn, Kirchbichl (T)	-13,82	-13,80	-13,78	-13,98	-14,12	-14,97	-14,75	-14,04	-13,56	-13,81	-13,78	-13,64	-14,01
Inn, Schärding (O)	-12,41	-12,47	-12,42	-12,82	-13,14	-13,85	-13,56	-13,14	-12,73	-12,59	-12,49	-12,51	-12,84
Leitha, Deutsch-Brodorsdorf (N/B)	-10,80	-10,87	-10,81	-11,07	-11,05	-10,90	-10,59	-10,47	-10,39	-10,58	-10,73	-10,66	-10,74
March, Angern (N)	-10,21	-10,41	-10,53	-10,59	-10,35	-9,93	-9,57	-9,46	-9,38	-9,32	-9,19	-9,65	-9,88
Mur, Spiefeld (St)	-11,19	-11,17	-11,11	-11,52	-12,09	-12,42	-11,81	-11,65	-11,33	-11,39	-11,32	-10,92	-11,49
Neusiedlersee, Podersdorf (B)	-4,30	-5,03	-4,59	-4,49	-4,05	-3,16	-2,37	-1,87	-1,66	-1,93	-2,55	-4,99	-3,41
Rhein, Lustenau-Eisenbahnbrücke (V)	-13,44	-13,15	-13,42	-13,60	-13,95	-14,43	-14,18	-13,46	-13,25	-13,25	-13,37	-13,40	-13,58
Salzach, Salzburg-Glasenbach (S)	-13,05	-13,10	-13,12	-13,40	-13,66	-13,40	-13,60	-12,92	-12,77	-12,73	-12,78	-12,88	-13,12

Basisdatenmaterial, das in nächster Zeit noch ergänzt werden soll — auch durch Grundwasserdaten —, ermöglicht es, daß bei den meisten Einzeluntersuchungen auf die Aufnahme von Langzeitreihen verzichtet werden kann. Über Relativmessungen im Rahmen der Dauer des einzelnen Projekts kann der Bezug zu den langfristigen Mittelwerten des Basisnetzes hergestellt werden.

Mit Hilfe dieser Basisdaten können auch die Einsatzmöglichkeiten von Isotopenuntersuchungen besser abgeschätzt werden, und deren Einsatz kann gezielter erfolgen. Aus den Isotopenverhältnissen der Oberflächengewässer (Abb. 9) folgt beispielsweise, daß mit Ausnahme der March alle größeren Fließgewässer — einschließlich der Donau — in ihren Isotopenverhältnissen durch Gebirgsniederschläge geprägt sind und sich somit isotopisch signifikant von den in den Niederungen aus lokalen Niederschlägen gebildeten Grundwäs-

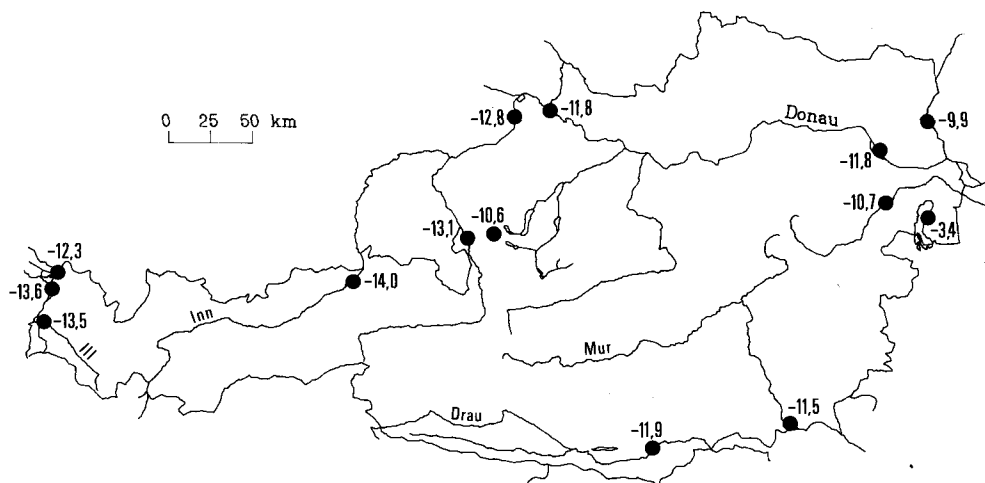


Abb. 9: Mittlerer $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt der Oberflächengewässer in Österreich ($\delta^{18}\text{O}$ -Werte in ‰, ermittelt aus Zehn-Jahres-Meßreihen, Tab. 3).

sern unterscheiden. Für die Untersuchung der Wechselwirkungen von Oberflächengewässern und Grundwasser, wie sie für Beweissicherungen vor und für die Feststellung der Auswirkungen nach flußbaulichen Maßnahmen — Aufstau, Regulierung, Bau von Kanälen — erforderlich ist, stellen Isotopenverhältnisse somit ideale Indikatoren dar. Die Ergebnisse von Isotopenmessungen zur Überprüfung der Auswirkung des Gießganges beim Donau-stau Greifenstein auf die Dotierung des Grundwassers sind ein typisches Beispiel für derartige Untersuchungen (Abb. 10). Es galt dabei, zwischen infiltriertem Donauwasser und aus lokalen Niederschlägen gebildetem Grundwasser zu unterscheiden. — Zieht man den $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt der Grundwässer in den Niederungen Ostösterreichs ($\delta^{18}\text{O} \approx -9,5\text{‰}$) zum Vergleich heran, so liegt der $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalt der Donau in ihrem gesamten Verlauf signifikant unter diesem Wert (Abb. 4). Somit trägt das Donauwasser bis zur Mündung ins Schwarze Meer im Vergleich zum umgebenden Grundwasser ein charakteristisches „Mascherl“.

Die Untersuchung hydrologischer Einzelereignisse erfordert eine zeitlich gut aufgelöste Aufnahme der Eingangsgrößen, d. h. der Isotopenverhältnisse in den Niederschlägen. Weil im vorhinein weder der Beginn, der Verlauf, noch die isotopische Signifikanz eines Nieder-

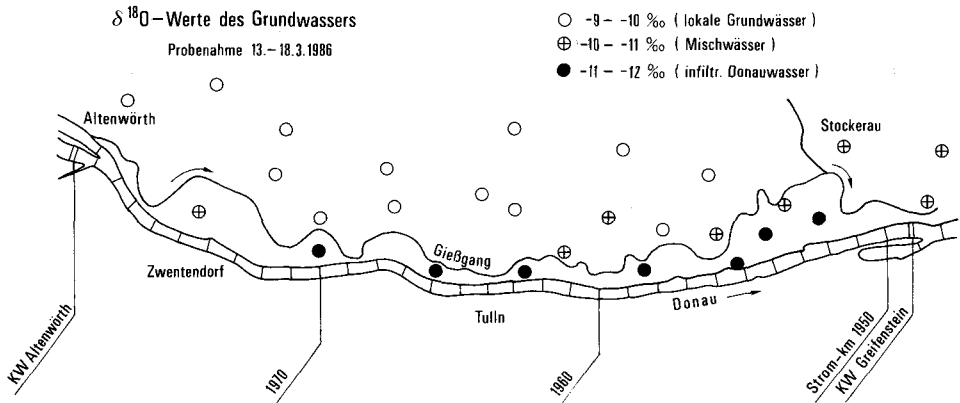


Abb. 10: Bestimmung der Herkunft des Grundwassers im Bereich des Gießganges beim Donau-
 stau Greifenstein mit Hilfe von ^{18}O -Messungen (D. RANK, 1989).

schlagsereignisses bekannt sind, ist eine kostenmäßig vertretbare Probensammlung – „auf Verdacht“ – nur unter Einsatz automatisierter Probensammelgeräte möglich. Ein an der BVFA Arsenal entwickelter Prototyp eines solchen Sammlers gestattet die fraktionierte Sammlung von Niederschlagsproben mit Vorwahl der Sammelzeit bzw. -menge (Abb. 11).

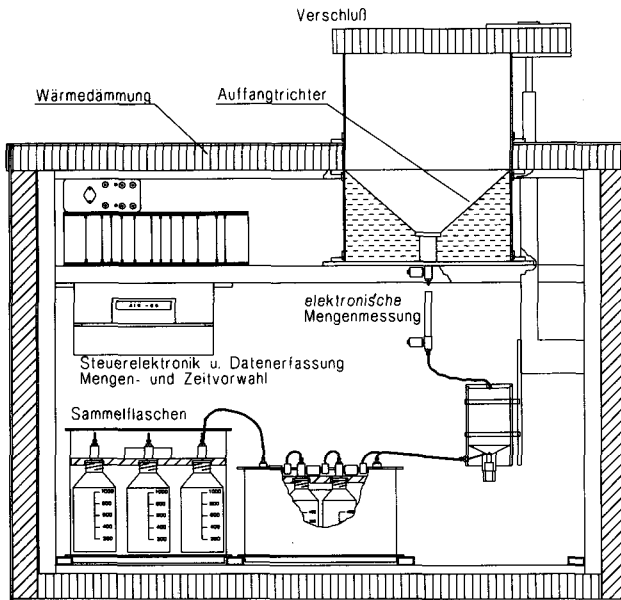


Abb. 11: Niederschlagsprobensammler zur Untersuchung von Einzelereignissen (Prototyp an der BVFA Arsenal). Der Sammler erlaubt die fraktionierte Sammlung von Proben während eines Niederschlagsereignisses mit Vorwahl der Sammelzeit bzw. der Sammelmenge. Das Gerät schaltet sich mit Beginn bzw. Ende des Niederschlagsereignisses automatisch ein bzw. aus.

Abb. 12 zeigt die Schwankungsbreite des ^{18}O -Gehaltes der Tagesniederschläge innerhalb eines Monats. Hier würden beispielsweise die gegen Monatsende aufeinander folgenden markanten Niederschlagsereignisse mit deutlich unterschiedlichem ^{18}O -Gehalt brauchbare Eingangssignale liefern, die innerhalb eines hydrologischen Systems verfolgt werden könnten. Zum Nachweis müssen am Ausgang des Systems — Quellen, Oberflächenabfluß — Proben mit ähnlicher Zeitauflösung wie bei der Niederschlagssammlung entnommen werden. Hierfür stehen kommerziell erhältliche Probensammelgeräte zur Verfügung.

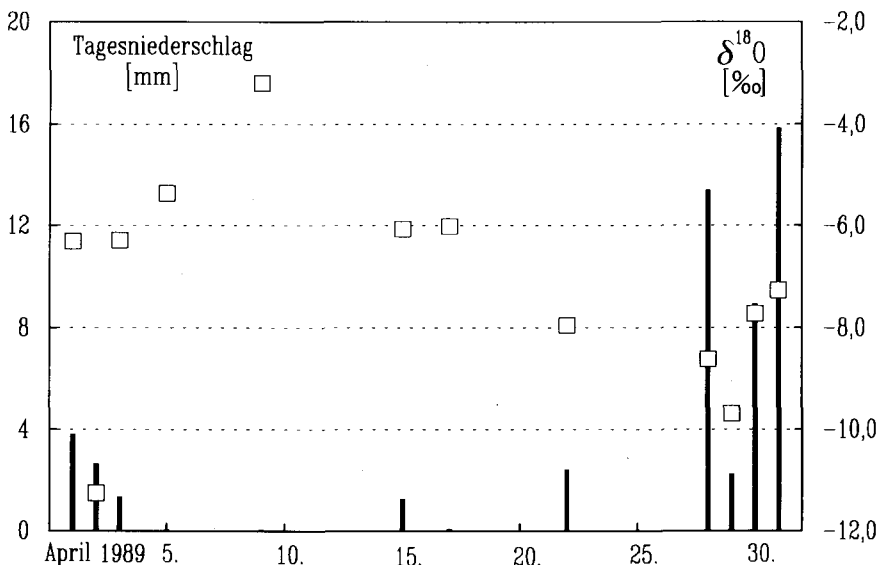


Abb. 12: Schwankung des ^{18}O -Gehaltes von Einzelniederschlägen. Niederschlagshöhe und ^{18}O -Gehalt der täglichen Niederschläge im April 1989 (Sammelstation Wien, Arsenal).

4. Forschung und Entwicklung

Zum Teil in Zusammenarbeit mit in- und ausländischen Institutionen wird an der BVFA Arsenal derzeit Grundlagenarbeit zu folgenden isotopehydrologischen Themen betrieben:

a) Basisdaten

Ziel ist, dem Anwenderkreis von Isotopenmethoden ausreichendes und stets aktualisiertes Basisdatenmaterial für ganz Österreich zur Verfügung zu stellen. Für 1991 ist die Herausgabe eines „Anwenderhandbuches“ vorgesehen. In nächster Zeit wird das seit 1973 betriebene Probensammelnetz für Niederschlags- und Oberflächenwässer auf wasserwirtschaftlich wichtige bzw. auf charakteristische Quell- und Grundwässer ausgedehnt. Für das Anwenderbuch wird die Aufnahme von Zehn-Jahres-Meßreihen (1976-1985) an vorhandenem Probenmaterial weitergeführt (^2H , ^{18}O). Dies soll unter anderem zu quantitativen Aussagen über den Höheneffekt und seine regionalen Schwankungen führen.

b) Hydrologische Einzelereignisse

Als Ergänzung zur rein mengenmäßigen Betrachtung des Ablaufes hydrologischer Ereignisse soll mit Isotopenuntersuchungen Information über die Bewegung des einzelnen Wassermoleküls und damit über Verzögerungen bzw. Speicherung im hydrologischen System erhalten werden. Die Arbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Entwicklung von automatischen Probensammelgeräten für Niederschlagseinzelereignisse als auch mit der Untersuchung und Ausweitung von Aussagemöglichkeiten und mit der Einbindung dieser Methodik in die hydrologische Praxis. Feldarbeiten sind derzeit in den Testgebieten Pöllauer Becken — Untersuchung der Speicherung und Abflußkomponentenanalyse bei Starkniederschlägen — und Schneealpe — Untersuchung des Durchganges von Einzelniederschlägen und Schmelzwässern durch ein Karstsystem — im Gange.

c) Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone

Die Bearbeitung von Fragen der Verschmutzung des Grundwassers durch in den Boden einsickernde Schadstoffe erfordert eine genaue Kenntnis der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone. Auch hier läßt sich über Isotopenuntersuchungen der Weg des einzelnen Wassermoleküls verfolgen. Ziel der Arbeiten ist einerseits, die Probenahmetechnik zu optimieren — Einsatz von Saugkerzen, Extraktion des Wassers aus Bohrkernen, Einsatz von Lysimetern — und andererseits, Erkenntnisse zur Interpretation der Isotopenverhältnisse im Bodenwasser zu gewinnen. Erste Untersuchungen im Uferbereich des Neusiedlersees brachten wichtige Aussagen über Versickerung und Verdunstung in diesem Gebiet (J. DEÁK et al., 1989). Im Leibnitzer Feld läuft 1990 ein mehrjähriges Forschungsprogramm zu diesem Thema als Teil eines multidisziplinären Grundlagenprojektes über den Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen an.

d) Messung von Isotopenverhältnissen an kleinen Wassermengen

Im Zusammenhang mit Voruntersuchungen für Deponiestandorte in Gebieten mit Festgesteinen tritt die Frage nach der Herkunft von Kluftwässern bzw. von in Kluftfüllungen enthaltenem Wasser sowie von Flüssigkeitseinschlüssen in Gesteinen auf. Hierzu werden Isotopenverhältnismessungen an kleinen und kleinsten Wassermengen benötigt. Die erforderliche Probenaufbereitungstechnik wird derzeit an der BVFA Arsenal aufgebaut bzw. entwickelt.

Literatur

- DEÁK, J., KURCZ, I., PAPESCH, W., RAJNER, V., RANK, D., SCHWARZ, U.: Zur Versickerung und Verdunstung im Neusiedler-See-Gebiet. Messung der Isotopenverhältnisse in der ungesättigten Bodenzone. — Bericht 71, 53-60, Illmitz (Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland) 1989.
- MOSER, H. und RAUERT, W.: Isotopenmethoden in der Hydrologie. — 400 S., 227 Abb., Berlin (Borntraeger) 1980.
- RANK, D.: Isotopenverhältnisse — die Fingerabdrücke des Wassers. — Schriften Ver. Verbr. natwiss. Kenntn. Wien, 127, 147-176, Wien 1989.
- : Isotopenverhältnisse und Radionuklide — Spuren in der Umwelt. — Mitt. österr. geol. Ges., 79, 343-357, Wien 1986.
- : „Umweltisotope“ — Fortschritte in Forschung und Anwendung. — Mitt. österr. geol. Ges., 83 (vorliegender Band), Wien 1990.

RANK, D., MARINGER, F. J., PAPESCH, W., RAJNER, V.: Danube field excursion 1988: tritium content of river waters; radioactivity of Danube sediments. — Proceedings: International Conference on Water Pollution Control in the Basin of the River Danube, 238-245, Novi Sad (Yugoslav Association for Water Pollution Control) 1989.

RANK, D., RAJNER, V., LUST, G.: Der Tritiumgehalt der Niederschläge und der Oberflächenwässer in Österreich im Jahre 1986. — Bericht IG 87/01, 35 S., Wien (Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal) 1987.

—: Der Tritiumgehalt der Niederschläge und der Oberflächenwässer in Österreich im Jahre 1989. — Bericht IG 90/01, 35 S., Wien (Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal) 1990.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 7. September 1990