

Sauerstoff-Isotopenverhältnisse meteorischer Wässer des Bergischen Höhenrandes und des Rheins bei Köln

Thomas Steuber und Andreas Klinké

Mit 8 Abbildungen und 4 Tabellen

(Manuskripteingang: 10. 3. 1990)

Kurzfassung

Untersuchungen der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Quell- und Fließgewässern aus dem Einzugsgebiet der Agger im Bergischen Land ergaben während verschiedener Jahreszeiten von den topographischen Höhen abhängige Verteilungsmuster. Diese werden im Sommer von verdunstungsbedingten ^{18}O -Anreicherungen überprägt. Im Naturschutzgebiet Thielenbruch konnte anhand der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte eine Vermischung von Karstwasser der Bergisch Gladbach-Paffrather Kalkmulde mit Grundwässern, die auf dem Höhenniveau der Mittelterrasse gebildet wurden, erkannt werden. Den Fühlinger See durchfließendes Grundwasser der Rheinterrassen im Norden von Köln ist durch Verdunstung des Seewassers isotopisch markiert und konnte weiträumig im Aquifer erkannt werden. Rheinwasser unterscheidet sich isotopisch deutlich von anderen natürlichen Wässern der Kölner Bucht und zeigt von der Jahreszeit abhängige Variationen der Isotopenverhältnisse.

Abstract

The oxygen isotope ratios of natural waters from the Agger catchment area (Bergisches Land) revealed altitude dependent distributions during different seasons. In summer, this isotopic pattern is obscured by ^{18}O -enrichment due to evaporation. A mixing of karstic water from the Bergisch Gladbach-Paffrath Syncline and locally infiltrated groundwater of the Rhine valley was recognized in the Thielenbruch natural reserve. Groundwater passing through the Fühlingen Lake north of Cologne can be traced in the aquifer because of evaporational ^{18}O -enrichment. River water of the Rhine differs significantly in its isotopic composition from other local meteoric waters and is characterized by seasonal variations.

Einleitung

Meteorische Wässer sind durch die Verhältnisse der stabilen Isotope ^{18}O und ^{16}O sowie Deuterium und Wasserstoff natürlich markiert. Die Bestimmung der Isotopengehalte liefert also im Gegensatz zu anderen hydrochemischen Analysen, bei denen üblicherweise gelöste Stoffe oder beigemischte Tracer untersucht werden, Befunde über die Wassermoleküle.

Im natürlichen Wasserkreislauf kommt es – insbesondere bei Verdunstung und Kondensation – zu meßbaren Veränderungen der Isotopengehalte, die eine Unterscheidung von Wässern verschiedener Herkunft erlauben.

Wegen unterschiedlicher Dampfdrücke von H_2^{16}O und H_2^{18}O ist atmosphärischer Wasserdampf über den Ozeanen an ^{16}O gegenüber dem Meerwasser angereichert. Kinetische Isotopieeffekte führen bei der Kondensation zu einer ^{18}O -Anreicherung in der flüssigen Phase, so daß die Isotopenverhältnisse des in der Atmosphäre verbleibenden Wasserdampfes mehr und mehr zugunsten von ^{16}O verschoben werden. Daher ergeben sich sogenannte Kontinental- und Höheneffekte, wobei mit zunehmender Kontinentalität und steigender topographischer Höhe in den Niederschlägen geringere ^{18}O -Anteile registriert werden. Obwohl sich die Isotopenverhältnisse einzelner Regenereignisse – je nach vorherrschender Wetterlage – erheblich voneinander unterscheiden können, reflektieren die aus örtlichen Niederschlägen gebildeten Grundwässer im allgemeinen das Jahresmittel der isotopischen Zusammensetzung des Regens (YURTSEVER & GAT 1981, FÖRSTEL & HÜTZEN 1983). So erklärt sich, daß die erwähnten Kontinental- und Höheneffekte zu einem Streifenmuster isotopischer Markierungen von Grundwässern in Deutschland führen. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte nehmen, ausgehend von -6‰ an der Nordseeküste, bis -11‰ im Alpenvorland ab.

Für das Gebiet der Niederrheinischen Bucht wurde eine Wertespanne von $-7,5\%$ bis $-8,5\%$ ermittelt (FÖRSTEL & HÜTZEN 1982).

Es stellte sich die Frage, ob die meteorischen Wässer der Kölner Bucht isotopisch einheitlich markiert sind, und ob ein meßbarer Höheneffekt auch an Quellen und Fließgewässern des Bergischen Landes zu erkennen ist. Jedenfalls führen vorwiegend westliche Strömungen feuchter atlantischer Luftmassen am Bergischen Höhenrand zu Steigregen, die eine Zunahme der mittleren jährlichen Niederschlagssummen von etwa 650 mm in Köln bis zu über 1200 mm im Oberbergischen Kreis bedingen (HERMES & MÜLLER-MINY 1974, BRINKMANN & MÜLLER-MINY 1965).

Die Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Rheins weisen wegen des weit nach Süden ausgedehnten Einzugsgebietes niedrigere $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse auf, als die örtlich gebildeten Grundwässer im Unterlauf des Stromes und sind außerdem im Jahresgang Schwankungen unterworfen (MOOK 1968). Da bisherige Isotopenuntersuchungen des Rheinwassers nur auf sporadische Messungen gestützt sind, wurden ab Februar 1989 mindestens in zweitägigen Abständen Wasserproben aus dem Rhein analysiert.

Methoden

Zur Messung der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse der Wasserproben wurden 1 ml unbehandelter Probe mit CO_2 bekannter isotopischer Zusammensetzung überschichtet (GONFIANTINI 1981). Das sich dabei nach wenigen Stunden einstellende Isotopengleichgewicht läßt sich folgendermaßen formulieren:



Wegen der Temperaturabhängigkeit der Austauschreaktion befanden sich die Proben in einem thermostatisierten Wasserbad. Nach vollständiger Äquilibration wurden das CO_2 durch Vakuumdestillation von Wasserdampf gereinigt und massenspektrometrisch auf seine $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse untersucht. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Wasser werden üblicherweise als ‰ Abweichung von einem Standard (SMOW, Standard Mean Ocean Water) angegeben:

$$\delta \text{ in } \text{‰} = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} \times 1000$$

$$R = \text{Isotopenverhältnis } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$$

Die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse beträgt $0,1\%$ $\delta^{18}\text{O}$.

Der Höheneffekt im Bergischen Land

Quellen und Fließgewässer innerhalb des etwa 800 km² umfassenden Einzugsgebietes der Agger (Abb. 1) wurden am 13./14. Mai, am 2. Juni, am 27. Juli 1989 und am 16./17. Februar 1990 beprobt. Außerdem wurden die Isotopenverhältnisse von Schnee untersucht, der noch am 15. 2. 1990 das Untersuchungsgebiet bis hinunter zur Kölner Bucht bedeckte, am 18. 2. aber bereits weitgehend geschmolzen war.

Isotopenverhältnisse der Quellwässer: Die vielen perennierenden oder nur periodisch schüttenden Quellen des Bergischen Landes beziehen ihr Wasser fast ausschließlich aus den überwiegend tonig ausgebildeten Verwitterungsdecken oder aus dem geklüfteten Gebirgssockel. Diese Aquifere weisen im allgemeinen ein geringes Speichervermögen auf.

Erwartungsgemäß lassen sich Kluftquellen und solche, die ihr Wasser aus den Verwitterungsdecken beziehen, an der jährlichen Temperaturverteilung unterscheiden, wobei letztere erheblichen Schwankungen unterworfen sind (Tab. 1). In unmittelbarer Nähe der Wiehler Tropfsteinhöhle entspringt hingegen eine echte Karstquelle (Nr. 36). Sie ist durch gleichbleibend hohe Schüttungsraten (ca. 300 l/min) und einen stabilen Temperaturverlauf gekennzeichnet, wobei die gemessenen Werte dem langjährigen Mittel der örtlichen Lufttemperatur dieser Region (HERMES & MÜLLER-MINY) entsprechen.

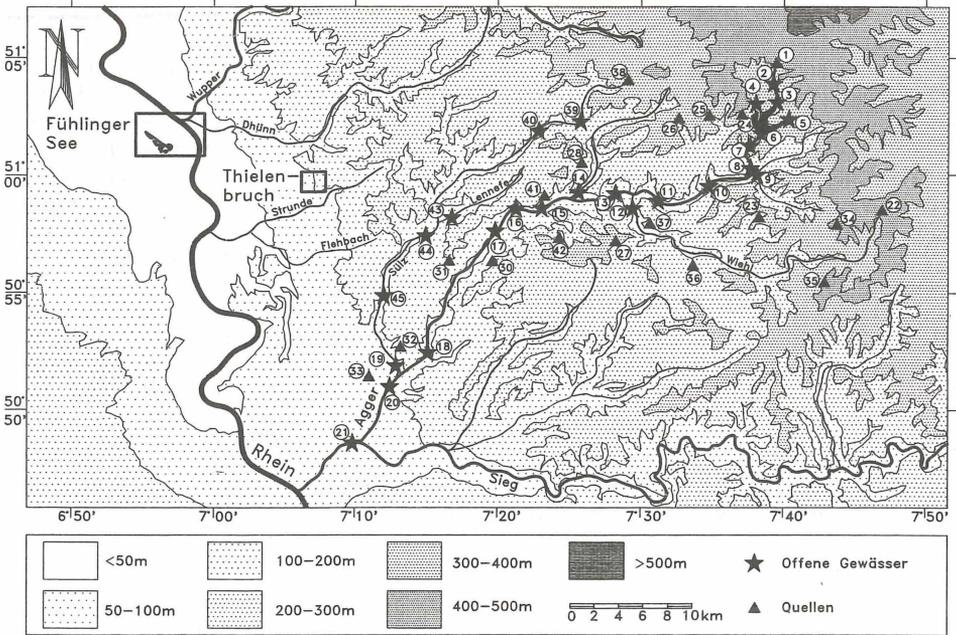


Abbildung 1. Lage der Untersuchungsgebiete.

Tabelle 1. Probennummer, Lage und Typ von Quellen aus dem Einzugsgebiet der Agger sowie deren Temperatur und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse vom 13./14. 5. und 2. 6. 1989 (1), vom 27. 7. 1989 (2) und vom 16./17. 2. 1990 (3); tr. = trocken, n. b. = nicht bestimmt:

Nr.	Lage		Typ	Temperatur (°C)			$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		
	Länge	Breite		1	2	3	1	2	3
1	7°39'00''	51°05'30''	Stau	7,9	15,5	5,8	-8,36	-8,24	-8,48
22	7°47'00''	50°58'20''	Stau	6,7	tr.	5,0	-8,34	tr.	-8,15
26	7°31'30''	51°02'30''	Kluft	7,6	9,3	6,5	-8,35	-8,22	-8,29
30	7°17'00''	50°54'35''	Stau	11,7	tr.	7,3	-7,95	tr.	-8,04
32	7°13'25''	50°51'50''	Stau	11,6	14,2	6,6	-8,13	-7,99	-7,96
33	7°11'10''	50°51'00''	Stau	12,9	n.b.	6,3	-7,65	n.b.	-7,57
35	7°42'40''	50°55'30''	Stau	7,9	10,1	4,9	-8,46	-7,77	-8,28
36	7°32'45''	50°56'20''	Karst	8,4	8,9	9,0	-8,42	-8,47	-8,19
37	7°30'15''	50°58'10''	Kluft	8,2	9,1	7,3	-8,16	-8,17	-8,02
38	7°30'00''	51°05'00''	Stau	9,0	12,2	5,9	-8,57	-8,47	-8,29
42	7°23'30''	50°57'35''	Stau	9,4	tr.	7,6	-8,33	tr.	-8,02

Trotz des geringen Speichervermögens sind die Sauerstoff-Isotopenverhältnisse im betrachteten Zeitraum nur sehr geringen Schwankungen unterworfen, die oft innerhalb der analytischen Meßgenauigkeit liegen (Tab. 1). Das gilt besonders für die zwei untersuchten Kluftwasserquellen. Größere Schwankungen wurden lediglich im Wasser der Quelle Nr. 35 festgestellt. Die ^{18}O -Anreicherung im Sommer könnte hier auf Verdunstung in einem am Quellaustritt gelegenen Behälter zurückzuführen sein.

Während der Probenentnahme im Februar 1990 wurden besonders an den Stauquellen nach dem raschen Abschmelzen einer Neuschneedecke stark erhöhte Schüttungsraten festgestellt. Um mögliche Schmelzwasseranteile am Gesamtabfluß festzustellen, waren die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Schnees von besonderem Interesse. Es zeigte sich, daß diese erheblich von denen der Quellwässer abwichen (Tab. 2).

Tabelle 2. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Schneeproben (17./18. 2. 90), Lager der Probenentnahmestellen siehe Abb. 1:

Nr.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Nr.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	-14,62	17	-14,95
2	-14,36	22	-15,07
3	-13,08	26	-13,78
5	-15,43	30	-14,73
6	-13,54	33	-14,87
7	-13,92	35	-13,64
8	-13,71	36	-15,29
10	-14,40	37	-15,45
11	-14,49	38	-14,69
12	-14,96	42	-14,03
13	-14,48	43	-14,75
14	-14,90	44	-15,29
15	-15,20		

Vergleichsweise niedrige Isotopenverhältnisse in den Niederschlägen sind typisch für die Wintermonate (FÖRSTEL & HÜTZEN 1983) und stehen in Einklang mit der allgemein beobachteten Korrelation zwischen Lufttemperatur und $\delta^{18}\text{O}$ der Niederschläge (YURTSEVER & GAT, 1981). Weil der Verlust von Wasserdampf in der Atmosphäre mit der Kondensation beim Abkühlen feuchter Luftmassen zusammenhängt, führen niedrige Temperaturen zu ^{16}O -Anreicherungen im zurückbleibenden Wasserdampf. Außerdem wird durch die Gleichgewichtsfraktionierung beim Übergang von der flüssigen zur festen Phase ^{16}O um etwa 3% angereichert (O'NEIL 1968).

Die isotopisch leichten Schmelzwässer finden sich allerdings nirgends in den untersuchten natürlichen Wasseraustritten. Es strömen also überall Wässer aus, die – abgesehen von geringfügigen Schwankungen – das isotopische Jahresmittel der Niederschläge im jeweiligen Einzugsgebiet widerspiegeln. Das gilt für die gleichmäßig schüttende Karstquelle bei Wiehl (Nr. 36) ebenso, wie für die intermittierenden Stauquellen der Siefen.

Berücksichtigt man alle an den Quellwässern ermittelten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, so ist ein deutlicher Höheneffekt festzustellen (Abb. 2), der in negativen Korrelationen zwischen der topographischen Höhe und den Isotopenverhältnissen zum Ausdruck kommt ($r = -0,79$ im Winter, $r = -0,75$ im Frühjahr). Er beläuft sich auf $-0,2\%$ $\delta^{18}\text{O}$ pro 100 m Höhenanstieg. Lediglich im Sommer ist dieser Zusammenhang nicht gegeben, was mit den bereits erwähnten verdunstungsbedingten Veränderungen der ursprünglichen Isotopengehalte in Wasserbehältern und sumpfigen Quellmulden erklärt werden kann. Auch die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Schnees zeigen keine höhenabhängige Verteilung, was entweder auf Winddrift oder auf höhere Kondensationsstockwerke zurückgeführt wird.

Isotopenverhältnisse der Fließgewässer: Die Fließgewässer unterliegen in ihrer isotopischen Zusammensetzung ähnlichen höhenabhängigen Verschiebungen wie die Quellwässer (Abb. 3). Allerdings wirken sich in den offenen Gewässern die Verdunstungseffekte stärker aus. Dies wird besonders im Oberflächenwasser der Aggertalsperre deutlich (Nr. 6). Während die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des aus dem Stausee abgelassenen Tiefenwassers (Nr. 7) nur wenig schwanken, sind im Oberflächenwasser je nach Jahreszeit verschieden starke ^{18}O -Anreicherungen zu verzeichnen.

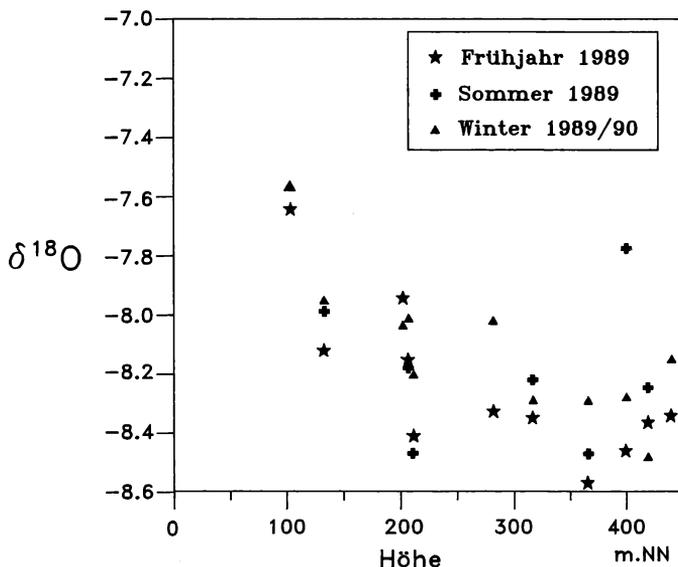


Abbildung 2. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Quellwässern des Bergischen Landes in Abhängigkeit von den topographischen Höhen der Wasseraustritte.

Im Unterlauf der Agger wären negativere Werte als für Quellwässer der entsprechenden Höhenstufe zu erwarten, da ein Großteil des Abflusses aus höhergelegenen Einzugsgebieten stammt. Dies wird im Frühjahr durch die Verdunstung gerade kompensiert, im Sommer kommt diese erwartungsgemäß stärker zum Tragen. Während einer Schneeschmelze stellen sich die Verhältnisse indessen anders dar. Obwohl zur Zeit der Probenentnahme auch in größeren Höhen Tauwetter herrschte, nehmen die Schmelzwasseranteile am Abfluß der Agger erst unterhalb von 200 m NN erkennbare Ausmaße an. Da entsprechende Anteile der Quellwässer anhand der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte – wie gesagt – nicht festgestellt werden konnten, muß es sich hierbei um nicht infiltriertes Schmelzwasser handeln, das z. B. über die Kanalisation direkt der Agger zugeführt wurde.

Die angeführten Zusammenhänge kommen auch in den Sauerstoff-Isotopenverhältnissen der Sülz (Abb. 3) und der Sieg bei Troisdorf (Tab. 3) zum Ausdruck. Im Frühjahr und Winter wurden im Siegwasser wegen des in größere Höhen ausgedehnten Einzugsgebietes negativere Werte festgestellt, während im Juli 1989 die Evaporation sich offensichtlich stärker auswirkte als im Wasser der Agger.

Tabelle 3. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse der Sieg bei Troisdorf:

Datum	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
14. 5. 89	-7,87
27. 7. 89	-7,22
17. 2. 90	-8,75

Einspeisung von Karstwasser aus dem Bergischen Land in die Mittelterrasse des Rheins bei Köln

Im Naturschutzgebiet Thielenbruch bei Köln wird ein Niedermoor vor allem von Karstquellen gespeist, die aus mitteldevonischen Kalksteinen austreten. Weil das Feuchtgebiet in den letzten Jahren unter Trockenheit litt, wurden Untersuchungen zum Wasserhaushalt angestellt (JUX & STEUBER 1990). In diesem Zusammenhang wurden in einem engen Raster Bohrungen niedergebracht und die Isotopenverhältnisse der angetroffenen Grundwässer

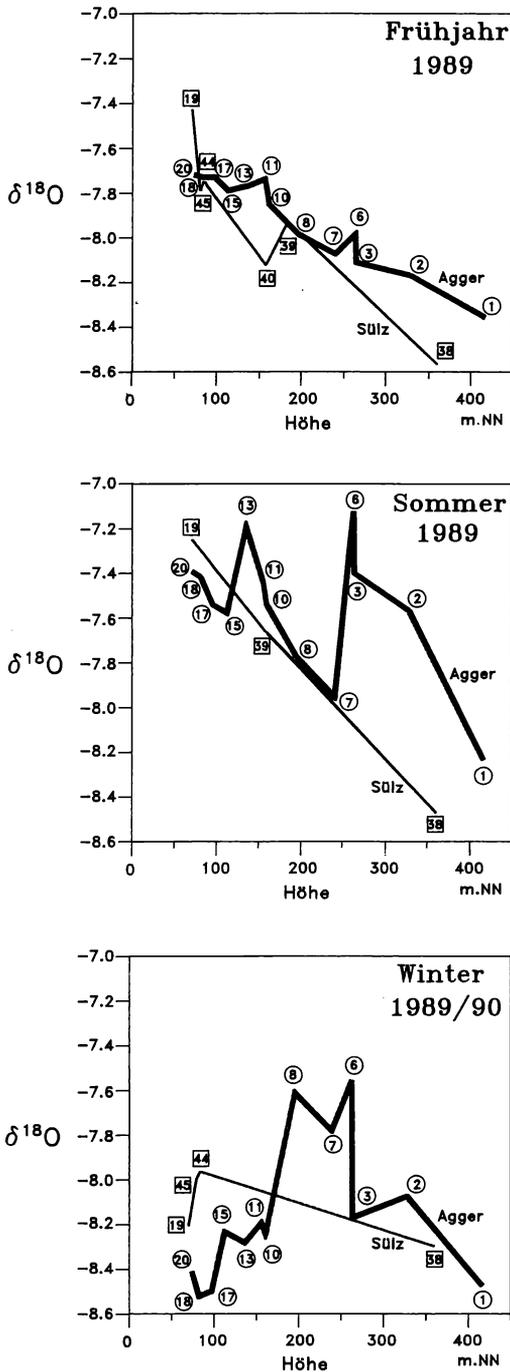


Abbildung 3. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Wasserproben aus Agger und Sülz während dreier Meßreihen im Frühjahr und Sommer 1989 und im Februar 1990. Probenentnahmestellen sind der Abb. 1 zu entnehmen.

untersucht. Dabei zeigten sich in diesem relativ eng begrenzten Gebiet deutliche Unterschiede in der isotopischen Zusammensetzung.

Das austretende Quellwasser ist durch Werte zwischen $-8,0$ und $-8,5\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ (Tab. 4) gekennzeichnet und unterscheidet sich damit von örtlich gebildetem Grundwasser der Rheinterrassen, das nach dem ermittelten Höheneffekt im Bergischen Land mit ca. $-7,5\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ markiert ist. Das „leichtere“ Quellwasser kann auf das höher gelegene Einzugsgebiet des Karstaquifers zurückgeführt werden. So erstreckt sich die Bergisch Gladbach-Paffrather Kalkmulde bis auf 300 m NN. Vergleichbare $\delta^{18}\text{O}$ -Werte wurden auch an anderen Grundwässern der Kalkmulde ermittelt (Tab. 4).

Tabelle 4. $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Karstwässern der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde (*JUX & STEUBER 1990, **JUX & SIMON 1990).

Entnahmeort	Datum	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Wasserspiegel
** Quelle Katharinenkammer	14.04.1989	$-8,21\text{‰}$	68 m NN
* Quelle Katharinenkammer	19.07.1989	$-8,44\text{‰}$	68 m NN
Quelle Katharinenkammer	21.10.1989	$-8,48\text{‰}$	68 m NN
Quelle Katharinenkammer	11.02.1990	$-7,98\text{‰}$	68 m NN
** Brunnen Jüch	13.11.1988	$-8,23\text{‰}$	89 m NN
** Brunnen Jüch	14.04.1989	$-8,14\text{‰}$	89 m NN
** Strundequelle	14.04.1989	$-8,44\text{‰}$	136 m NN
** Quelle Kaltenbroich	14.04.1989	$-8,44\text{‰}$	135 m NN

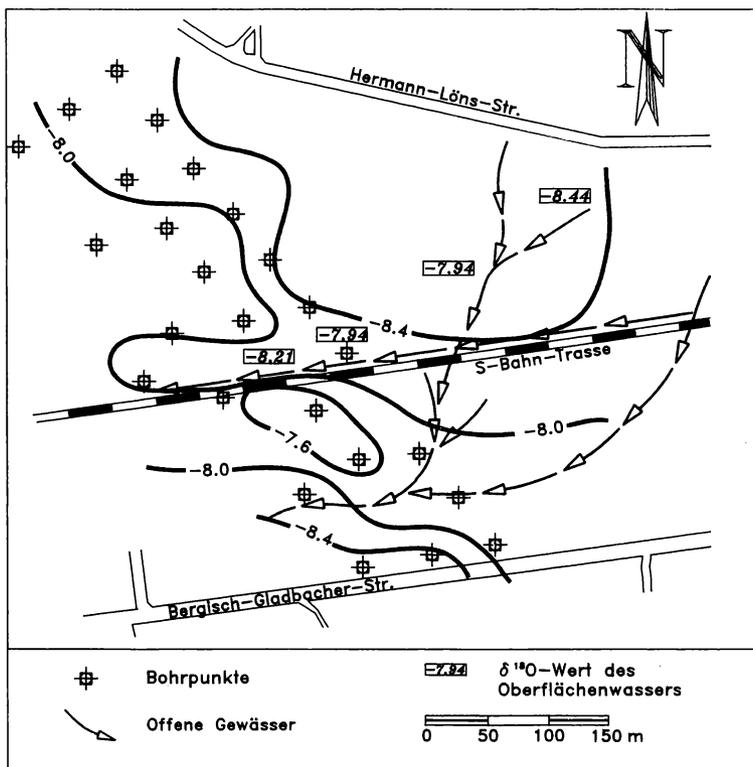


Abbildung 4. $\delta^{18}\text{O}$ -Gleichenplan des Grundwassers im Naturschutzgebiet Thielenbruch bei Bergisch Gladbach.

Im Feuchtgebiet ist eine Vermischung des örtlich gebildeten, auf das Höhenniveau der Rheinterrassen zu beziehenden Wassers mit isotopisch anders markiertem Karstwasser der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde zu erkennen (Abb. 4). So verursacht der an der S-Bahn-Linie versickernde Bach, der das Niedermoor entwässert, eine Fahne mit isotopisch „leichtem“ Wasser im Grundwasserkörper. Eine geringfügige Zunahme der ^{18}O -Gehalte im Wasser dieses Baches gegenüber den Karstwasseraustritten kann auf Verdunstungseffekte im Niedermoor zurückgeführt werden.

Isotopische Markierung des Grundwassers durch Verdunstung im Fühlinger See

Im linksrheinischen Norden Kölns fließt das Grundwasser der Terrassenkiese von Westen dem Rhein zu. Diese Strömung wird in unmittelbarer Nähe des Vorfluters durch eine Brunngalerie der öffentlichen Wasserversorgung beeinflusst, aus der im wesentlichen Uferfiltrat gefördert wird. Quer zum Grundwasserstrom liegt das künstlich angelegte Erholungsgebiet des Fühlinger Sees (Abb. 5). Hier sind ^{18}O -Anreicherungen durch Verdunstung des offenliegenden Grundwassers zu erwarten, und es stellte sich die Frage, inwieweit eine entsprechende Verschiebung der Isotopenverhältnisse im Grundwasserkörper zu verfolgen ist. Deshalb wurden Ende Oktober 1989 aus mehreren Beobachtungsbrunnen im Nordosten des Fühlinger Sees Wasserproben entnommen und massenspektrometrisch untersucht. Außerdem standen aus der nahe am Rhein, im südwestlichen Anstrom zu einem der Förderbrunnen (FB, Abb. 5), gelegenen Meßstelle 639 von Juni bis Oktober 1989 zweimal wöchentlich Proben zur Verfügung.

Aus der Verteilung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte wird deutlich, daß eine ^{18}O -Anreicherung im Grundwasser weiträumig vom Fühlinger See bis nahe an den Rhein zu verfolgen ist (Abb. 5). Im Norden des Sees wurde hingegen ein Wasser angetroffen, das mit $-7,72\%$ die für die Region typischen Isotopenverhältnisse aufweist. Bemerkenswert sind die Ergebnisse der nahe am Rhein gelegenen Grundwassermeßstelle 639; denn hier sind im zeitlichen Verlauf

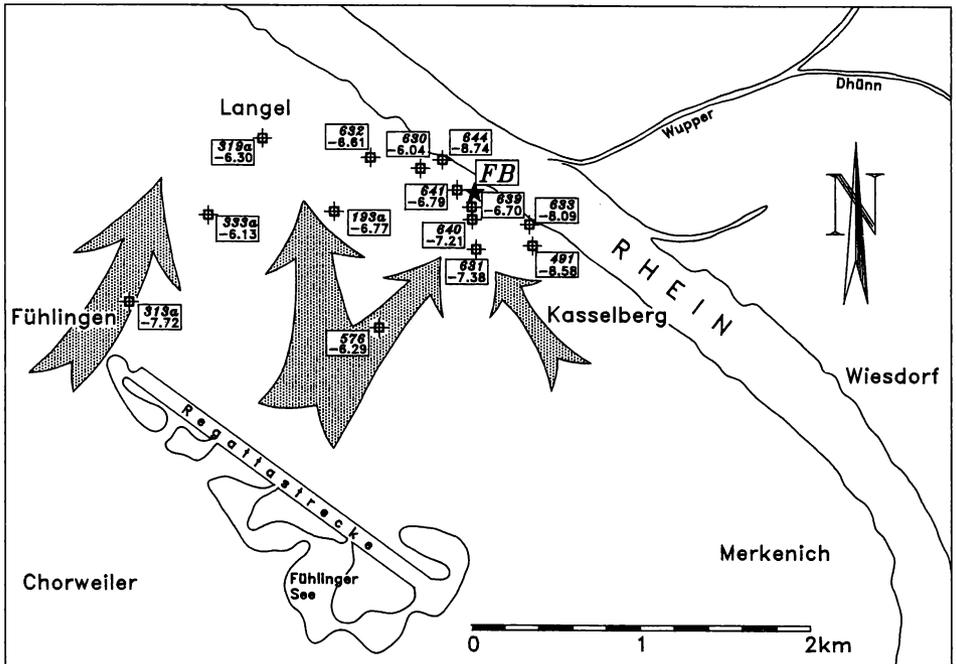


Abbildung 5. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Grundwassers im Bereich des Fühlinger Sees. Pfeile bezeichnen die Fließrichtungen des isotopisch unterschiedlich markierten Grundwassers.

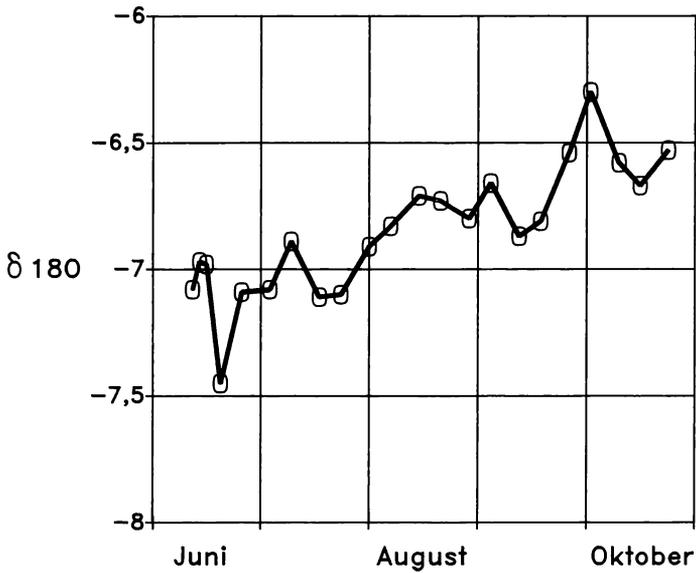


Abbildung 6. $\delta^{18}\text{O}$ -Ganglinie des Grundwassers in der Meßstelle 639 von Juni bis Oktober 1989 (Lage siehe Abb. 5).

deutliche Verschiebungen festzustellen. So nahmen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ca. $-7,5\%$ im Juni kontinuierlich auf $-6,5\%$ im Oktober ab (Abb. 6). Dieses Wasser zeigt also zumindest in der zweiten Jahreshälfte die Verdunstungseinflüsse des Fühlinger Sees. Im zeitlichen Verlauf kommen wahrscheinlich unterschiedlich hohe Evaporationsraten im Jahresgang zum Ausdruck, denn in stehenden Gewässern werden – wie gesagt – während des Spätsommers die stärksten ^{18}O -Anreicherungen registriert. Bereits Anfang Juli wurden im Oberflächen-

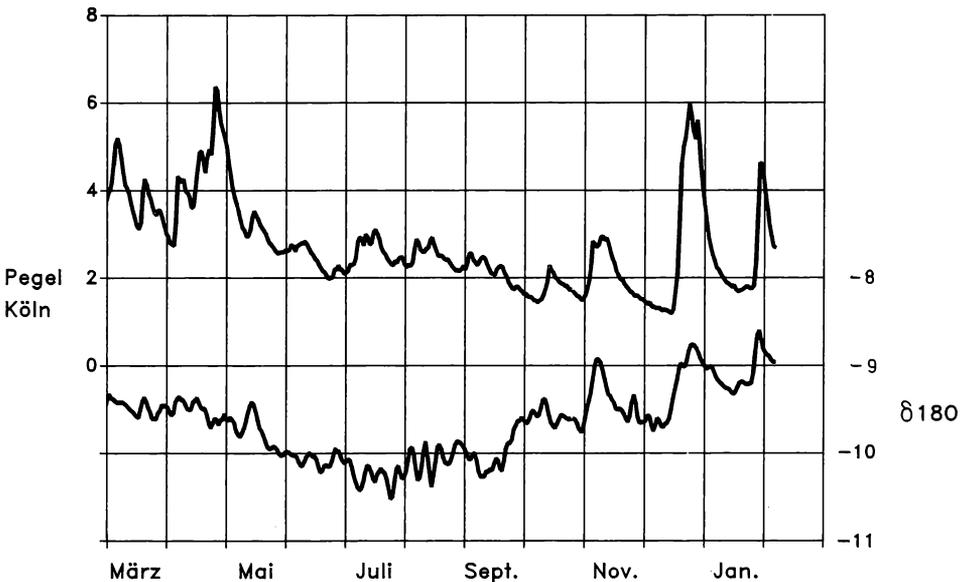


Abbildung 7. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse und Pegelstände des Rheins bei Köln vom März 1989 bis Januar 1990.

wasser des Sees $-5,63\%$ $\delta^{18}\text{O}$ ermittelt. Deshalb kann angenommen werden, daß die Fließdauer vom Fühlinger See bis zur betrachteten Grundwassermeßstelle etwas mehr als ein Jahr beträgt, was gut mit den Filtergeschwindigkeiten im Rheinterrassenaquifer übereinstimmt.

Isotopenverhältnisse des Rheinwassers

Die Entnahme von Rheinwasserproben erfolgte überwiegend von einem Ponton im Süden des Kölner Stadtgebietes. Diese kontinuierlich geschöpften Proben ergeben Tagesmittel. Von Mitte Juni bis Ende Oktober wurden die Proben hingegen durch einfaches Füllen einer PE-Flasche am Rheinufer bei Langel (Abb. 5) entnommen.

Die Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Rheinwassers unterscheiden sich deutlich von denen der im Bergischen Land und der Kölner Bucht gebildeten Grundwässer. Sie zeigen deutliche Variationen im Jahrgang (Abb. 7), wobei während der Sommermonate die niedrigsten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ermittelt wurden. Durch die unterschiedliche isotopische Markierung lassen sich im Uferfiltratbereich des Rheins Mischungsanteile im Grundwasser recht genau bestimmen (STEUER 1990).

Die Ursache für die niedrigeren ^{18}O -Gehalte des Rheinwassers in den Sommermonaten sind die Schmelzwasserabflüsse aus dem Alpenraum, die zu dieser Zeit gegenüber dem Gesamtabfluß in den Vordergrund treten. Eine negative Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}$ und der Temperatur des Rheinwassers verdeutlicht diesen Zusammenhang (Abb. 8). Verdunstungseffekte, die sich in der warmen Jahreszeit besonders stark auswirken müßten, kompensieren dies, im Gegensatz zur Agger, offensichtlich nicht. So ist auch im Wasser niederländischer Flüsse (Maas, Jssel) ein umgekehrter Verlauf der $\delta^{18}\text{O}$ -Ganglinien festgestellt worden als im Wasser des Rheins (MOOK 1968).

Ein Zusammenhang zwischen der isotopischen Zusammensetzung des Rheinwassers und den Pegelständen ist bei einigen Hochwasserereignissen im Winter 1989/90 zu erkennen (Abb. 7). Der mit hoher Wasserführung einhergehende Anstieg der $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse in diesem Zeitraum wurde durch starke Niederschläge in Westdeutschland hervorgerufen. Die Grundwässer dieser Region sind durch $-9,5$ bis $-7,5\%$ $\delta^{18}\text{O}$ gekennzeichnet (FÖRSTEL & HÜTZEN 1982).

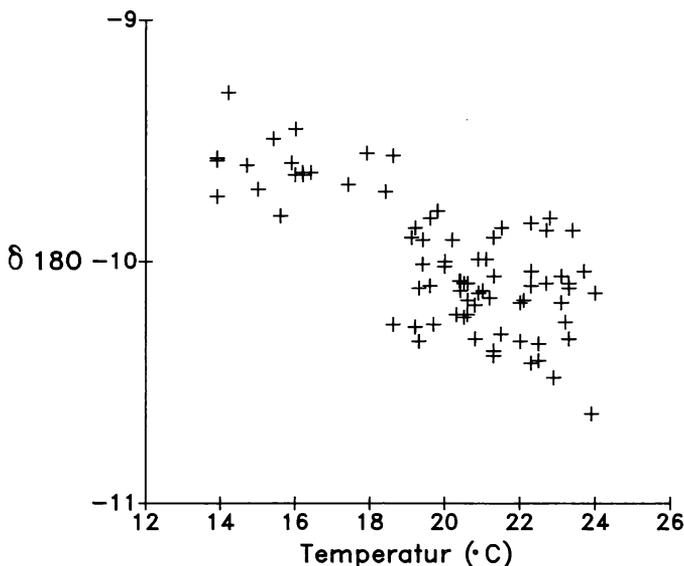


Abbildung 8. Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Rheinwassers in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (13. 6. bis 29. 10. 1989).

Literatur

- BRINKMANN, M. & MÜLLER-MINY, H. (1965): Der Oberbergische Kreis. – Die Landkreise in Nordrhein-Westfalen, **6**: 43 Karten, 7 Abb., 90 Bilder; Bonn.
- FÖRSTEL, H. & HÜTZEN, H. (1982): $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis im Grundwasser der Bundesrepublik Deutschland. – KFA Forschungsberichte, Jül-1784; Jülich.
- & – (1983): Das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis im Jülicher Niederschlag 1974–1982 und seine Korrelation mit meteorologischen und chemischen Daten. – KFA Forschungsberichte, Jül-1854; Jülich.
- GONFIANTINI (1981): The δ -Notation and mass-spectrometric measurement techniques. – In: GAT, J. R. & GONFIANTINI, R. (ed.): Stable isotope hydrology. – IAEA Technical Reports Series No. **210**: 35–84; Wien.
- HERMES, K. & MÜLLER-MINY, H. (1974): Der Rheinisch-Bergische Kreis. – Die Landkreise in Nordrhein-Westfalen, **8**: 49 Karten, 3 Abb., 61 Bilder; Bonn.
- JUX, U. & SIMON, V. (1990): Isotopische Typisierung von Oberflächen- und Grundwässern aus der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde (Bergisches Land). – N. Jb. Geol. Paläont., Mh.; **1990**: 91–108, 5 Abb., 4 Tab.; Stuttgart.
- JUX, U. & STEUBER, T. (1990): Grundwasserbewegungen im Nahbereich des Randkanals innerhalb des Naturschutzgebietes Thielenbruch. – LÖLF-Mitt. **1990**, 1: 41–49, 9 Abb., 2 Tab., Recklinghausen.
- MOOK, W. G. (1968): Geochemistry of the stable carbon and hydrogen isotopes of natural waters in the Netherlands. – Dissertation, Rijksuniversiteit te Groningen: 157 S.; Groningen.
- O'NEIL, J. R. (1968): Hydrogen and oxygen isotope fractionation between ice and water. – J. Phys. Chemistry, **72**: 3683–3684.
- STEUBER, T. (1990): Abschlußbericht zur Untersuchung von Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Wasserproben aus dem Uferfiltrat des Rheins bei Köln. – (unveröffentl.; Archiv Geol. Inst. Univ. Köln, GEW AG Köln).
- YURTSEVER, Y. & GAT, J. R. (1981): Atmospheric waters. – In: GAT, J. R. & GONFIANTINI, R. (ed.): Stable isotope hydrology. – IAEA Technical Reports Series No. **210**: 103–142; Wien.
- Anschrift der Verfasser: Dr. Thomas Steuber und Dr. Andreas Klinke, Geologisches Institut der Univ., Zülpicher Str. 49, 5000 Köln 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [144](#)

Autor(en)/Author(s): Klinke Andreas, Steuber Thomas

Artikel/Article: [Sauerstoff-Isotopenverhältnisse meteorischer Wässer des Bergischen Höhenrandes und des Rheins bei Köln 152-162](#)