

Barbara-Gespräche Payerbach 1998	Band 5	"Abfallentsorgung aus erdwissenschaftlicher Sicht" "Klima - Entwicklung"	Seite 241 - 258 Abb. 1-11	Payerbach 2001
-------------------------------------	--------	---	------------------------------	-------------------

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1998

Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf -
Indikatoren für Klimaänderungen

D. RANK

W. PAPESCH



Payerbach,
17. September 1998

INHALT

Zusammenfassung / Abstract / Streszczenie	243
1 Einleitung	244
2 Niederschlag	245
3 Oberflächen- und Grundwässer	250
4 Schlußfolgerungen und Ausblick	253
Literatur	254
Diskussion	257

Anschrift der Verfasser:

wHofr. Univ.Prof. Dr. Dieter RANK

Dr. Dipl.Ing. W. PAPESCH

ARCS Seibersdorf

Umwelt - und Lebenswissenschaften

Umweltforschung

Faradygasse 3 Obj. 214

A - 1030 Wien

Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf - Indikatoren für Klimaänderungen

Dieter RANK
Wolfgang PAPESCH

Zusammenfassung

Daß sich die Isotopenzusammensetzung in den Niederschlägen bei starken Klimaänderungen signifikant ändert, ist seit langem bekannt. Dieses Isotopensignal wird sowohl in der Paläoklimatologie als auch in der Hydrologie erfolgreich als Untersuchungsinstrument eingesetzt. Neuer hingegen ist die Erkenntnis, daß auch mittelfristig – im Dekadenbereich – deutliche Änderungen im langjährigen ^2H - bzw. ^{18}O -Mittelwert der Niederschläge auftreten. Bis vor ungefähr fünfzehn Jahren ging man davon aus, daß im Niederschlag – der Eingangsgröße für die Isotopenhydrologie – die Gehalte der stabilen Isotope (^2H , ^{18}O) im langjährigen Schnitt weitgehend konstant bleiben. Die Weiterführung der Niederschlagsmeßreihen brachte die Erkenntnis, daß die Zeitreihen einen Langzeittrend enthalten. Es fällt dabei auf, daß der zeitliche Verlauf der Isotopenmeßreihen bei den verschiedenen Beobachtungsstationen in Österreich nicht einheitlich ist. Besonders ausgeprägt sind die Änderungen in den letzten 30 Jahren im Gebirge. Den wichtigsten Einfluß haben dabei zeitliche Änderungen der Lufttemperatur, aber auch andere Einflüsse, wie die Änderung der zeitlichen und örtlichen Niederschlagsverteilung spielen eine Rolle.

Abstract

Isotope Ratios In The Natural Water Cycle - Indicators Of Climatic Changes

It has been well known since many years that the isotopic composition in atmospheric precipitation is significantly changing during pronounced climatic fluctuations. This isotope signal has been successfully used as an investigation tool in paleoclimatology as well as in hydrology. Somewhat newer is the finding that there exist also distinct long-term - decadal - changes in the $\square 2\text{H}$ and $\square 18\text{O}$ mean values of precipitation. Up to about 15 years ago, the long-time means of the stable isotope contents of precipitation were thought to be more or less constant. However, the continuation of the isotope records showed long-term fluctuations. It is remarkable, that the isotopic trend is not uniform at different precipitation sampling stations. During the last 30 years, the changes have been more pronounced in the mountains. Temporal changes of air temperature have the most important influence, but also other parameters play a certain role, like temporal and spatial fluctuations of the amount of precipitation.

Streszczenie

Zmienność proporcji izotopów w naturalnym obiegu wód jako wskaźnik przemian klimatycznych

To, że skład izotopowy w opadach atmosferycznych znacznie się zmienia w zależności od przemian klimatycznych jest znane od dawna. Te znaki izotopowe są stosowane jako instrument badawczy zarówno w paleoklimatologii jak i w hydrologii. Nowym odkryciem jest natomiast to, że także w krótszych okresach czasu – w dekadach – następują znaczne zmiany średniej zawartości stabilnych izotopów 2H i 18O w opadach. Jeszcze przed mniej więcej piętnastoma laty zakładano, że w opadach – wielkości początkowej w hydrologii izotopowej – wieloletnia średnia zawartość izotopów (^2H , ^{18}O) pozostaje praktycznie niezmienna. Kontynuowanie cyklu pomiarów wykazało, że przedziały czasu

zawierają długookresowe tendencje. Okazuje się, że różnice w czasowych zmianach wyników pomiarów izotopowych na terenie Austrii uzależnione są od położenia stacji obserwacyjnych. Szczególnie widoczne są zmiany w ostatnich 30 latach w rejonach górskich. Największy wpływ na to mają okresowe zmiany temperatury powietrza, nie bez znaczenia są też takie czynniki jak czasowe i przestrzenne zmiany w rozkładzie opadów.

1 Einleitung

Neben dem "leichten" Wassermolekül $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ tragen die "schweren" Moleküle $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ und $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ mit ungefähr 0,32 bzw. 2,0 ‰ zur Zusammensetzung der natürlichen Wässer bei (MOSEK und RAUERT 1980). Da das aus schweren Molekülen bestehende Wasser einen geringeren Dampfdruck hat als leichtes Wasser, sind Isotopentrennprozesse überall dort im Wasserkreislauf zu erwarten, wo Phasenumwandlungen - Kondensieren, Erstarren, Verdampfen usw. - stattfinden oder andere physikalisch-chemische Prozesse, bei denen die Masse eine Rolle spielt. Das Ausmaß der Isotopenfraktionierung ist dabei umso größer, je niedriger die Temperatur bei der Phasenumwandlung ist.

Die Isotopenfraktionierung führt in der Folge zu einer örtlichen und zeitlichen Abhängigkeit des Isotopengehaltes in den Niederschlägen und den aus ihnen gebildeten Oberflächen- und Grundwässern. Tatsächlich findet man in natürlichen Wässern für das $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ -Molekül eine Schwankungsbreite von 0,18 bis 0,34 ‰ und für $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ eine solche von 1,88 bis 2,01 ‰. Die Temperaturabhängigkeit der Isotopenfraktionierung ist dabei die Grundlage für klimatologische Aussagen aus den Isotopenverhältnissen in den Wässern des natürlichen Kreislaufes und in geologischen Archiven.

Daß sich die Isotopenzusammensetzung in den Niederschlägen bei starken Klimaänderungen - z. B. während der Eiszeit - signifikant ändert, ist seit langem bekannt. Dieses Isotopensignal wird sowohl in der Paläoklimatologie als auch in der Hydrologie erfolgreich als Untersuchungsinstrument eingesetzt.

Beispielsweise können alte - eiszeitliche - Grundwässer im Neusiedlerseegebiet, in dem der isotopenhydrologische Höheneffekt keine

Rolle spielt, leicht an ihrem niedrigen ^{18}O -Gehalt erkannt werden (Abb. 1). Der ^{18}O -Wert dieser alten Wässer liegt bis zu 2,5 ‰ niedriger als der von Grundwässern, die aus aktuellen Niederschlägen gebildet werden. Marine Sedimente sind wegen der verhältnismäßig homogenen Bedingungen in den Weltmeeren die idealen Zeugen für die langfristige Klimaentwicklung der Erde. In ihnen bilden sich die Isotopenverhältnisse des Meerwassers als Funktion der Temperatur ab. Für die Klimaschwankungen im Pleistozän haben sich die polaren Eiskappen als ausgezeichnete Umweltarchive erwiesen. Für paläoklimatische Untersuchungen in Kontinentalebenen mittlerer und niedriger Breiten kommen vor allem Seesedimente in Betracht. Abb. 2 gibt eine Übersicht über die durch Klimaeinflüsse verursachten Schwankungen der Isotopenverhältnisse, wie sie in Umweltarchiven erhalten sind.

Neuer ist die Erkenntnis, daß auch mittelfristig - im Dekadenbereich - deutliche Änderungen im langjährigen ^2H - bzw. ^{18}O -Mittelwert der Niederschläge auftreten.

Bis vor ungefähr 15 Jahren ging man davon aus, daß im Niederschlag - der Eingangsgröße für die Isotopenhydrologie - die Gehalte der stabilen Isotope (^2H , ^{18}O) im langjährigen Schnitt weitgehend konstant bleiben. Die Weiterführung der Niederschlagsmeßreihen brachte aber die Erkenntnis, daß die Zeitreihen einen „Langzeittrend“ enthalten (Abb. 3, RANK 1993).

Eine systematische Verfolgung der Isotopenzusammensetzung in meteorischen Wässern - Niederschlag und atmosphärischem Wasserdampf - kann helfen, den Zusammenhang zwischen den Niederschlägen und den Hauptfaktoren, die die meteorologischen Verhältnisse und das Klima steuern, zu verstehen. Dies ist auch eine wichtige Voraussetzung für eine genauere Interpretation der Isotopendaten im Rahmen paläoklimatischer Untersuchungen.

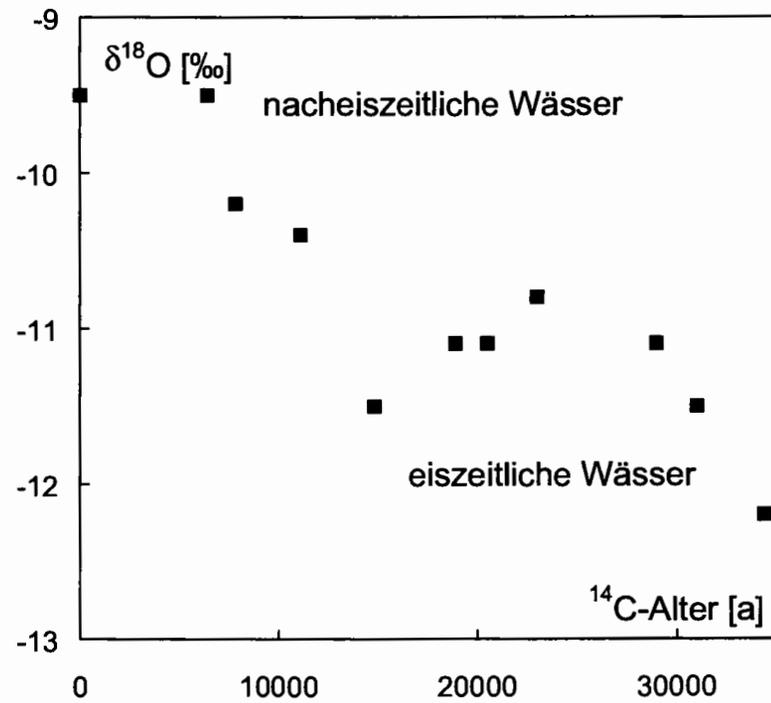


Abb. 1: ^{18}O -Gehalt von Tiefengrundwässern im Neusiedlerseegebiet in Abhängigkeit vom ^{14}C -Alter (Daten aus BOROVIČZÉNY et al. 1992, bezogen auf einen ^{14}C -Anfangsgehalt von 85 % modern, unkorrigiert).

Der ^{18}O -Gehalt wird als Relativwert zu einem Standard (V-SMOW, mittleres Meereswasser) angegeben:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} \cdot 1000 (\text{‰})$$

R_{Probe} und R_{Standard} sind darin die Isotopenverhältnisse [^{18}O]/[^{16}O] in Probe und Standard.

2 Niederschlag

Die Temperaturabhängigkeit der Isotopenfraktionierung führt zu einer Abhängigkeit des Isotopengehaltes der Niederschläge von der Jahreszeit. Der Jahresgang der Monatsmittelwerte zeigt im allgemeinen ein Minimum im Winter und ein Maximum im Sommer. Die Isotopengehalte der Einzelniederschläge können davon stark abweichen, bedingt durch den jeweiligen klimatischen Zustand während des Niederschlagsereignisses. Selbst innerhalb ein und desselben Ereignisses treten Änderungen der Isotopenverhältnisse auf, beispielsweise überstreicht der ^{18}O -Gehalt des Niederschlagswassers während einer Starkregenperiode im August 1985 einen Bereich in der Größen-

ordnung der jahreszeitlichen Schwankung der ^{18}O -Monatsmittelwerte (Abb. 4).

Maßgebend hierfür ist neben möglichen klimatischen Änderungen während des Ereignisses auch die Veränderung der Isotopenverhältnisse in der verbleibenden Luftfeuchtigkeit mit zunehmender Ausregnung (Mengeneffekt).

Schaltet man in den Isotopenganglinien den Einfluß der Ereignis- und jahreszeitlichen Schwankungen durch Bildung langjähriger Mittel aus, so treten deutlich Langzeittrends in den Niederschlagsreihen hervor (Abb. 3). Der zeitliche Verlauf der Isotopenmeßreihen bei den verschiedenen Beobachtungsstationen in Österreich ist dabei nicht einheitlich. Die Schwankungen sind bei den Gebirgsstationen

(Villacher Alpe, Patscherkofel) in den letzten 30 Jahren besonders ausgeprägt (ungefähr 1‰). Die Isotopendaten in Abb. 3 weisen weiters auf die Abhängigkeit des Isotopengehaltes der Niederschläge von der orographischen Höhe hin (Höheneffekt, siehe z.B. MOSER und RAUERT 1980) sowie auf den Einfluß der Herkunft der feuchten Luftmassen. Von Mittelmeerluftmassen beeinflusste Stationen im Süden Österreichs (Villacher Alpe, Graz) zeigen deutlich höhere ^{18}O -Gehalte als die von Atlantikluftmassen beeinflussten Stationen. Hauptursache dafür ist der längere Weg der feuchten Luftmassen vom Atlantik über den Kontinent, wobei durch das sukzessive Ausreg-

nen sich in der verbleibenden Luftfeuchtigkeit die leichten Moleküle anreichern (Kontinentaleffekt).

Ein Vergleich des Verlaufes der Lufttemperatur mit dem des ^{18}O -Gehaltes im Niederschlag belegt, daß die Hauptursache für die Isotopengehaltsschwankungen in Schwankungen der Lufttemperatur zu suchen ist (Abb. 5b). Aber es gibt offensichtlich auch noch andere Einflüsse. Dafür kommen Änderungen in der örtlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung in Frage, weiters Änderungen in der Herkunft der feuchten Luftmassen oder auch ein vom regionalen Trend abweichender klimatischer Verlauf

Abb. 2: (rechts) Isotope als Indikatoren in der Paläoklimatologie. Ausgewählte Beispiele von klimatisch bedingten Schwankungen des ^2H - und ^{18}O -Gehaltes, wie sie in Umweltarchiven – marinen Sedimenten und polaren Eiskappen – festgeschrieben sind (ROZANSKI und GONFIANTINI 1990).

Die ausgezogenen Linien in Diagramm A zeigen den Schwankungsbereich der Sauerstoffisotopenzusammensetzung in gut erhaltenen marinen Makrofossilien. Aus diesem Verlauf der Isotopenverhältnisse kann unter gewissen Annahmen eine Temperaturkurve abgeleitet werden. Es wird angenommen, daß die beobachteten Isotopenschwankungen jenseits von ungefähr 50 Millionen Jahren hauptsächlich durch einschneidende Änderungen bei der Ozeanzirkulation verursacht worden sind, wodurch starke Unterschiede der Isotopenverhältnisse zwischen Seicht- und Tiefwasserbereichen aufgetreten sind.

Diagramm B zeigt eine zusammengesetzte Kurve der ^{18}O -Schwankungen in Foraminiferenschalen von fünf Tiefseekernen. Isotopieeffekte bei Verdunstung und Kondensation von Meereswasser führen zu einer Anreicherung von ^{16}O in der vordringenden Eisdecke zu Beginn der Eiszeitperiode und zu einer entsprechenden ^{18}O -Anreicherung im übrigen Ozean. Beim Rückzug der Eisdecke gelangt dieses isotopisch leichtere Wasser wieder in den Ozean. Andererseits hängt die Isotopenfraktionierung zwischen dem Karbonat der Foraminiferenschalen und dem Meereswasser von der Temperatur ab – Schalen, die bei höheren Meerestemperaturen gebildet werden, haben einen höheren ^{18}O -Gehalt. Die Berechnungen ergeben, daß ungefähr 70 % der Gesamtamplitude der ^{18}O -Schwankungen in Diagramm B durch Änderungen im Eisvolumen erklärt werden können. Der Rest ist auf Temperaturänderungen zurückzuführen.

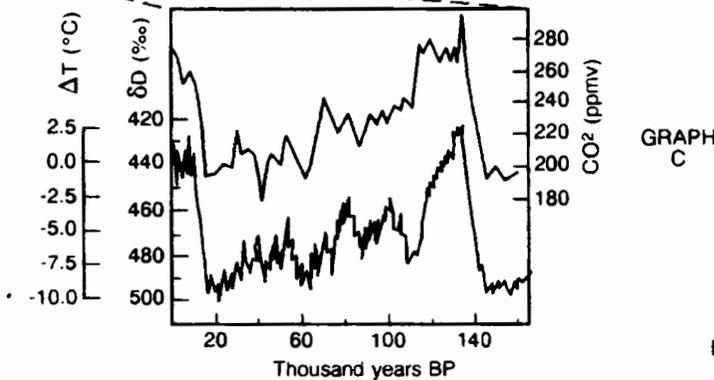
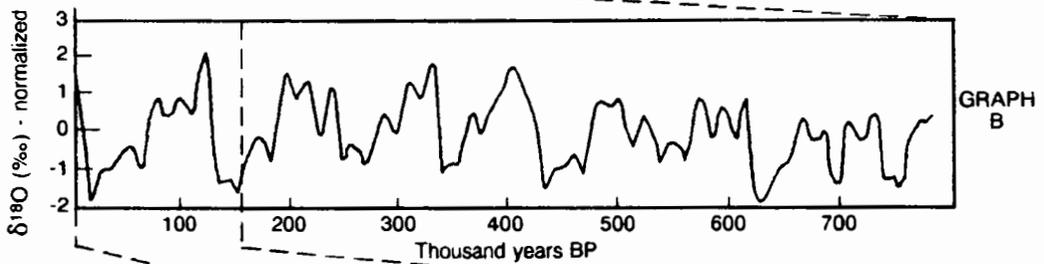
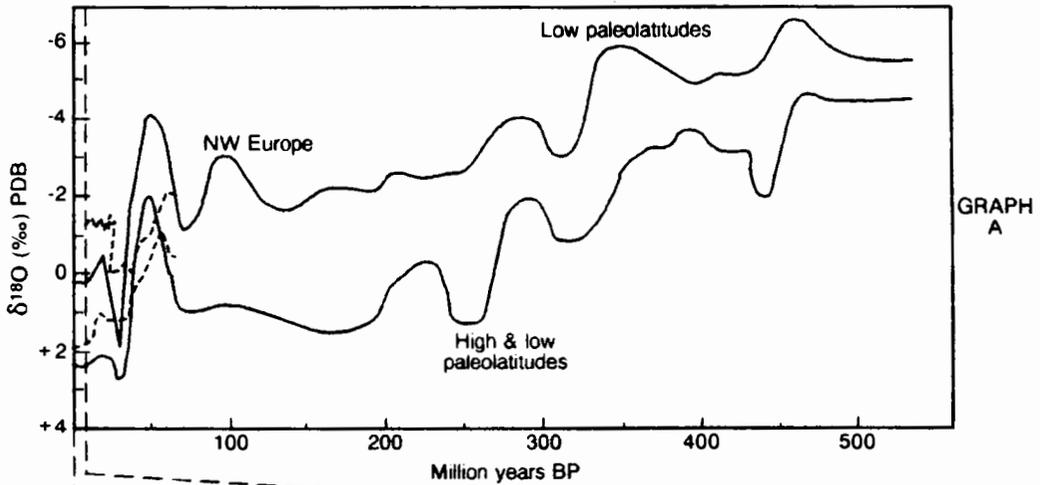
Diagramm C zeigt die Änderungen der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre (obere Kurve, bestimmt aus den eingeschlossenen Luftblasen) und die Oberflächentemperatur – abgeleitet aus dem ^2H -Profil (untere Kurve) – in Abhängigkeit vom Alter im Vostok-Eiskern. Das CO_2 -Profil folgt der Temperaturkurve, was auf einen engen Zusammenhang zwischen den Schwankungen des CO_2 -Gehaltes der Atmosphäre und dem Klima hindeutet.

Quellen: Diagramm A: adaptiert von L.B.Railsback, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 1601-1609 (1990). Diagramm B: Imbrie et al., *Milankovitch and Climate, Part I*, Eds. A.L. Berger et al., D. Riedel Publishers, 269-305 (1984). Diagramm C: Barnola et al., *Nature*, 329, 408-414 (1987).

im Herkunftsgebiet (Verdunstung über der Meeresoberfläche). Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf sind sicherlich zum Teil auch darauf zurückzuführen daß die hier verwendete Temperaturmittelung nicht unterscheidet zwischen Niederschlags- und niederschlagsfreien Perioden. Für den Zeitraum 1961-1973 stehen nur ^{18}O -Daten der Station Wien, Hohe Warte, zur Verfügung. Die Schwankungen und Abweichungen sind hier größer, dies kann als Maß für den Einfluß lokaler Unterschiede angesehen werden.

Der ^2H - und ^{18}O -Gehalt in den Niederschlägen folgt in erster Näherung der Beziehung $^2\text{H} = 8 \cdot ^{18}\text{O} + 10$ („Globale Niederschlags-

gerade“). Abweichungen von dieser Beziehung treten auf, wenn Phasenumwandlungen nicht im vollständigen Gleichgewicht ablaufen. Ursache ist ein kinetischer Effekt als Folge des größeren Diffusionsvermögens von $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ im Vergleich zu $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ in Luft. Dies führt zu einer zusätzlichen Fraktionierung und zu einem Anstieg des als $d = ^2\text{H} - 8 \cdot ^{18}\text{O}$ definierten „Deuteriumexzesses“. Dieser spielt eine wichtige Rolle bei der Ermittlung der Herkunft von Luftfeuchtigkeit. Beispielweise führt das Wiederverdunsten von Niederschlägen über dem Kontinent zu einer stärkeren Anreicherung des leichteren Moleküls $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ und zu einem Anstieg des Deuteriumexzesses.



BP = Before Present, defined as 1950.

Neueste Messungen am Probenmaterial, das im Rahmen des österreichischen Isotopenmeßnetzes seit den sechziger Jahren gesammelt worden ist, haben gezeigt, daß beim Deuteriumexzess im alpinen Raum noch einige Fragen offen sind. Sie können hier nur kurz angesprochen werden. Zunächst ergaben sich für Gebirgs- und Tal- bzw. Vorlandstationen außerordentlich unterschiedliche Jahresgänge für d (Abb. 6) mit einem d -Maximum im Sommer bei den Gebirgsstationen und einem Minimum bei den Talstationen. Bei der Absicherung dieser Resultate durch Messungen bei weiteren Paaren von benachbarten Gebirgs- und Talstationen wurde bei der Station Weyregg (469 m, „Talstation“) am Fuße des Höllengebirges ein Jahresgang ähnlich dem der Gebirgsstationen festgestellt, allerdings mit niedrigeren Absolutwerten (Abb. 7). Da Weyregg bei den vorherrschenden Nordwestwetterlagen im Anströmbereich am Alpenrand gelegen ist, war die nächste Vermutung, daß das d -Minimum im Sommer nur in inneralpinen Tälern bzw. randlichen Becken in Abströmrichtung auftritt. In der Folge wurden Proben der östlich des Höllengebirges im Trauntal gelegenen Station Ebensee (425 m) untersucht. Diese Station liegt nur ungefähr 3 km Luftlinie vom Feuerkogel (1598 m) entfernt und weist einen völlig anderen Jahresgang im Deuteriumexzess auf. Dieser besitzt zwar kein ausgeprägtes Minimum im Sommer, aber jedenfalls kein Maximum und die Werte

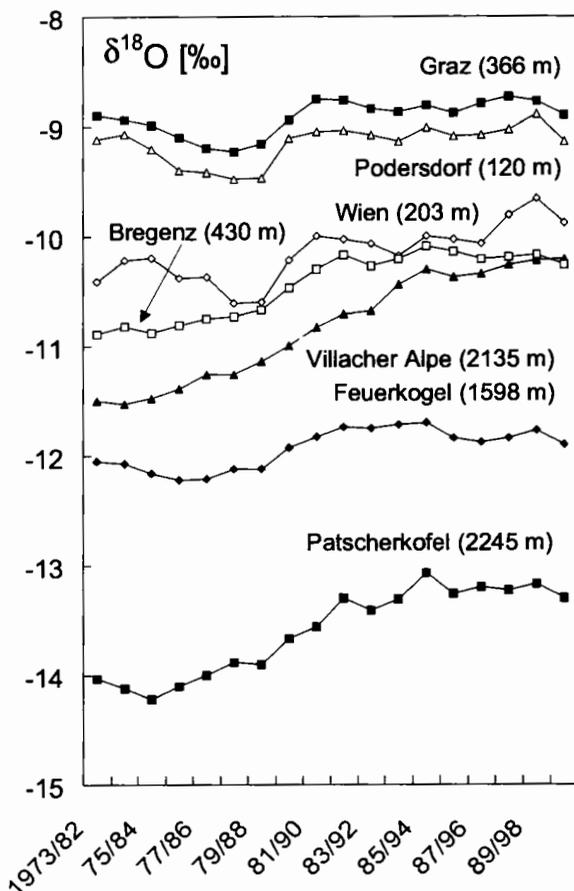


Abb. 3: Gleitendes Zehnjahresmittel des ^{18}O -Gehaltes für einige Niederschlagsammelstationen in Österreich (nach RANK 1993, ergänzt).

Abb. 4: ^{18}O -Gehalt und Deuteriumexzess d in den Niederschlägen vom 6. bis 9. August 1985 mit Angabe der Niederschlagsintensität i_N (Sammelstation Wien-Arsenal, 68 mm Niederschlagssumme); nach RANK 1991, ergänzt.

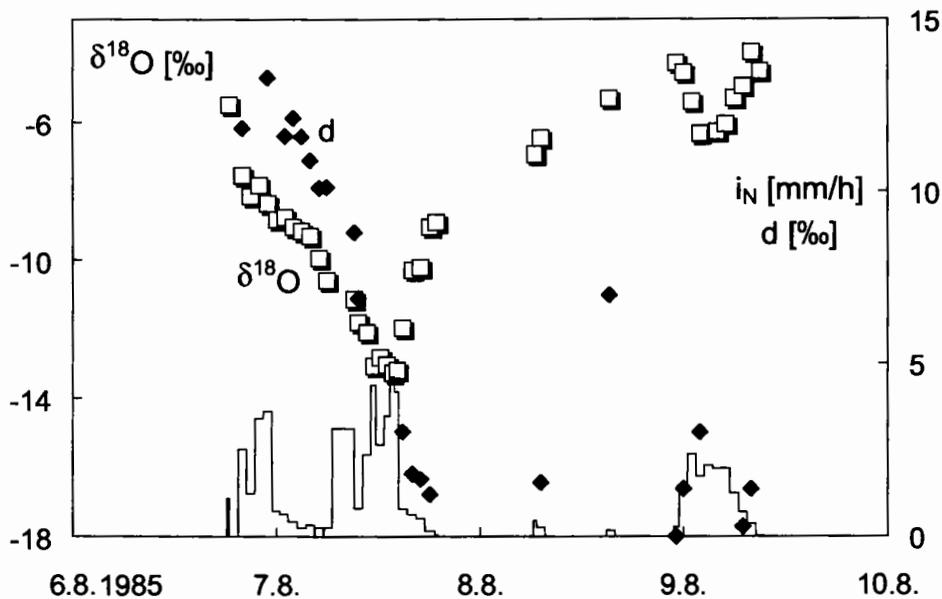




Abb. 5a: Österreichisches Isotopenmeßnetz: Niederschlagssammlung auf der Villacher Alpe (235m), meteorologische Station der ZAMG.

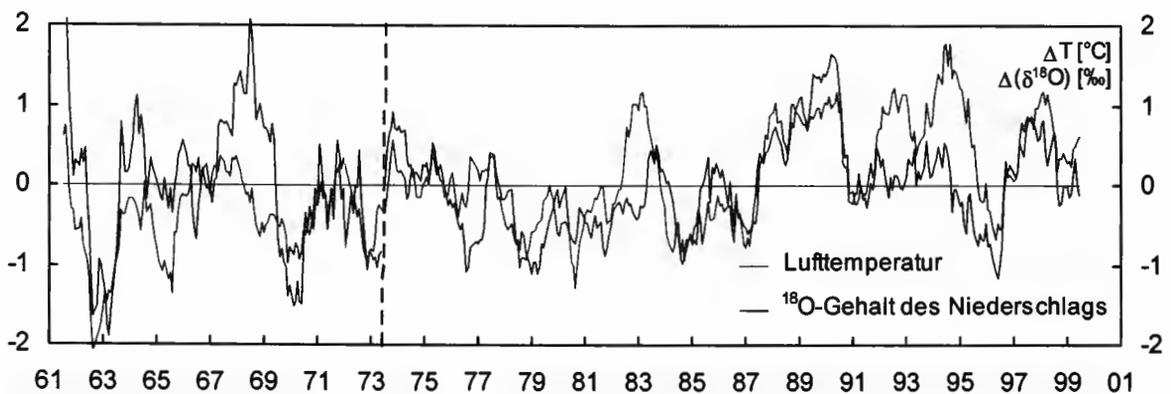


Abb. 5b: Österreichisches Isotopenmeßnetz: Abweichungen der Lufttemperatur und des ^{18}O -Gehaltes des Niederschlags in Österreich vom langjährigen Mittel (1961-1999). Die Kurven stellen ein gleitendes Zwölfmonatsmittel von sieben meteorologischen Stationen dar (Bregenz, Feuerkogel, Graz, Klagenfurt, Salzburg, Villacher Alpe, Wien). Für den ^{18}O -Gehalt liegen bis 1993 nur Werte der Station Wien – Hohe Warte vor. Die Temperaturwerte sind AUER et al. 2001 entnommen.

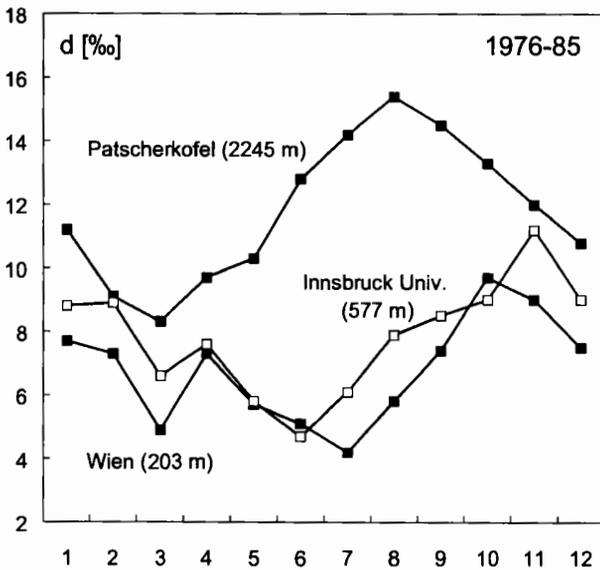


Abb. 6: Mittlerer jahreszeitlicher Verlauf des Deuteriumexzesses d im Niederschlag bei den Stationen Innsbruck-Universität, Patscherkofel und Wien - Hohe Warte.

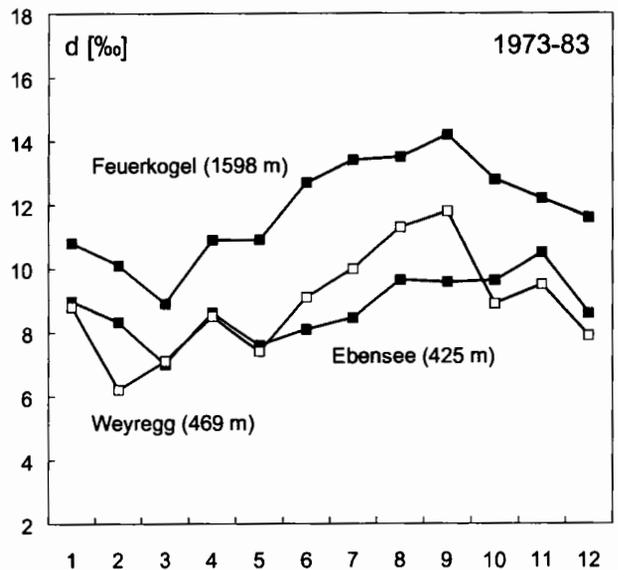


Abb. 7: Mittlerer jahreszeitlicher Verlauf des Deuteriumexzesses d im Niederschlag bei den Stationen Ebensee, Feuerkogel und Weyregg (KAISER et al 2001).

liegen im Schnitt um mehr als 3 ‰ niedriger als am benachbarten Feuerkogel. Anscheinend spielt die Fallhöhe des Regentropfens und der damit verbundene Einfluß der Verdunstung bzw. des Isotopenaustausches mit der Luftfeuchtigkeit eine entscheidende Rolle. Während im Anströmbereich (Weyregg) der Feuchtigkeitstransport in niedrigeren Schichten erfolgt, steigt die Feuchtigkeit am Gebirge empor und bewegt sich im Abströmbereich in größeren Höhen weiter. Sowohl das Aufsteigen der Feuchtigkeit am Gebirgsrand als auch das Fallen der Tropfen aus großen Höhen führen zu einem Höheneffekt des Deuteriumexzesses. Die Untersuchungen sind im Laufen.

3 Oberflächen- und Grundwässer

Als Folge der unterschiedlichen Isotopenzusammensetzung in den Niederschlägen treten auch in Oberflächen- und Grundwässern Schwankungen der Isotopenverhältnisse auf, die Klimainformation enthalten. Ein Vergleich des ^{18}O -Gehaltes der Donau mit dem des Niederschlags zeigt, daß das Isotopensignal der Donau um ungefähr ein Jahr gegenüber dem im

Niederschlag verzögert ist (Abb. 8). Signifikante Unterschiede zum Niederschlag ergeben sich dann, wenn im Einzugsgebiet sehr unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse herrschen. So sind die starken Unterschiede im ^{18}O -Gehalt in Abb. 8 Anfang der achtziger Jahre darauf zurückzuführen, daß es im Alpenvorland bezogen auf die langjährigen Mittel viel weniger geregnet hat als im Gebirge (Auswirkung des ^{18}O -Höheneffektes). Die Isotopenganglinie der Fließgewässer repräsentiert somit eher die regionale Entwicklung, wobei örtliche und zeitliche Variationen der Niederschlagsaktivität im Einzugsgebiet ausgemittelt werden.

Neben den jahreszeitlichen Schwankungen, die vor allem durch die Schneeschmelze in den Alpen geprägt werden, enthält der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes des Donauwassers einen signifikanten längerfristigen Trend (Abb. 9, Schwankungsbereich ungefähr 1,5 ‰, RANK und PAPESCH 1996). Die Isotopenverhältnisse spiegeln dabei die klimatischen Veränderungen – z.B. Erwärmung – wie sie beim Niederschlag beobachtet wurden, im regionalen Maßstab wider.

Wegen der unterschiedlichen Verweilzeit der Niederschlagswässer im Einzugsgebiet kommt

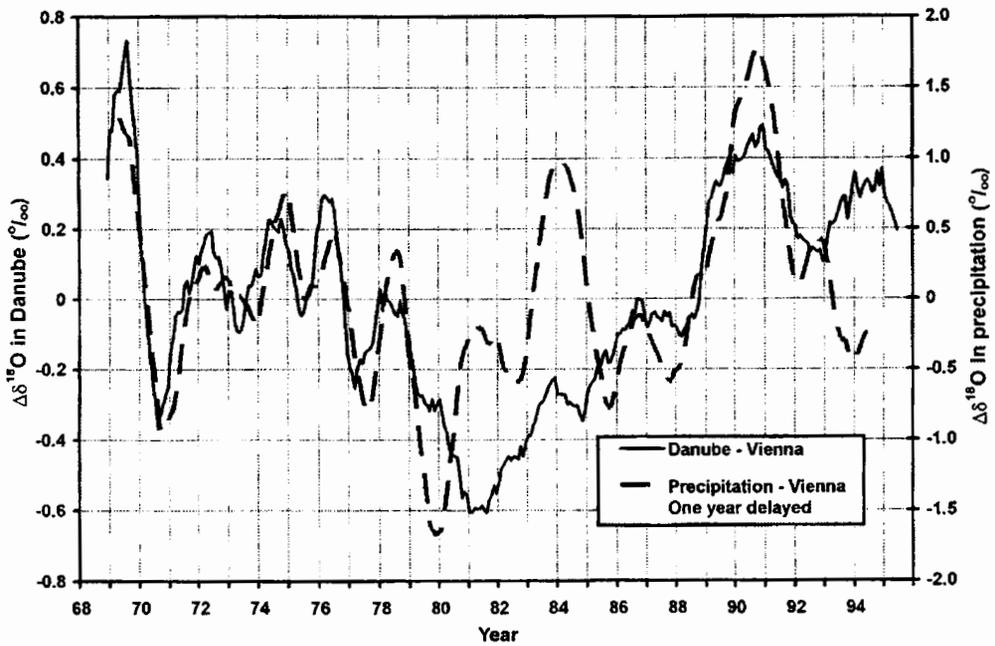


Abb. 8: Vergleich des Langzeitverlaufes des ¹⁸O-Gehaltes in der Donau und im Niederschlag (Wien), dargestellt als Abweichung vom langjährigen Mittel (unter Anwendung eines Zwölfmonate-Tiefpaßfilters). Die Niederschlagskurve ist dabei um ein Jahr verschoben (RANK et al. 1998).

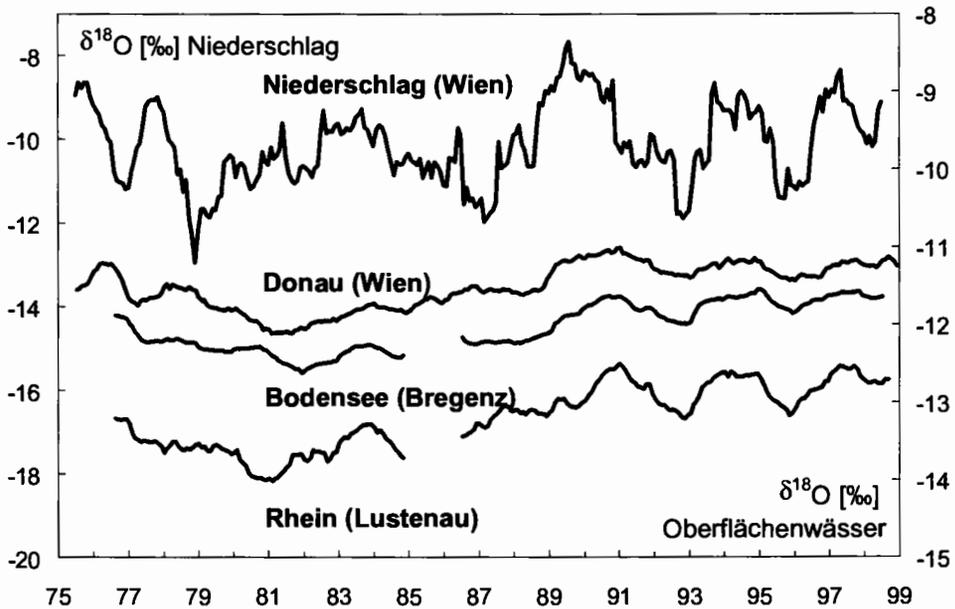


Abb. 9: ¹⁸O-Gehalt der Donau in Wien 1968-2000 (monatliche Stichproben und gleitendes Zwölfmonatsmittel). Neben den jahreszeitlichen Schwankungen tritt deutlich ein Langzeittrend auf (nach RANK und PAPESCH 1996, ergänzt).

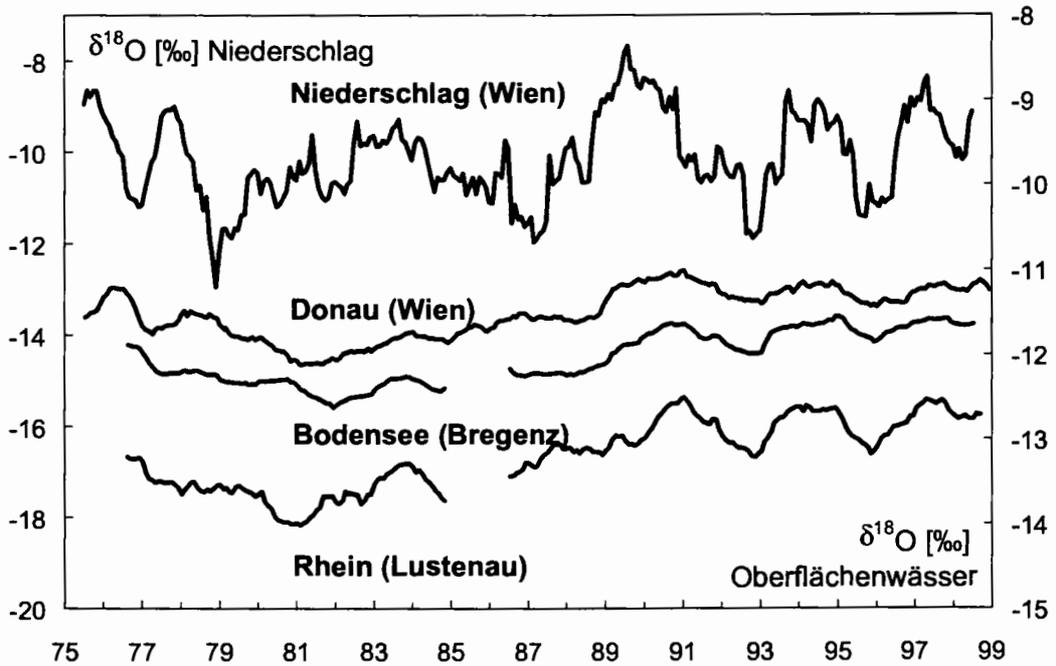


Abb. 10: Gleitendes Zwölfmonatsmittel des ¹⁸O-Gehaltes des Niederschlags und der Donau in Wien, des Rheins bei Lustenau und des Bodensees bei Bregenz 1975-1999 (Mittelung beim Niederschlag auf Basis monatlicher Durchschnittsproben, bei den Oberflächengewässern auf Basis monatlicher Stichproben). RANK und PAPESCH 1996, ergänzt.

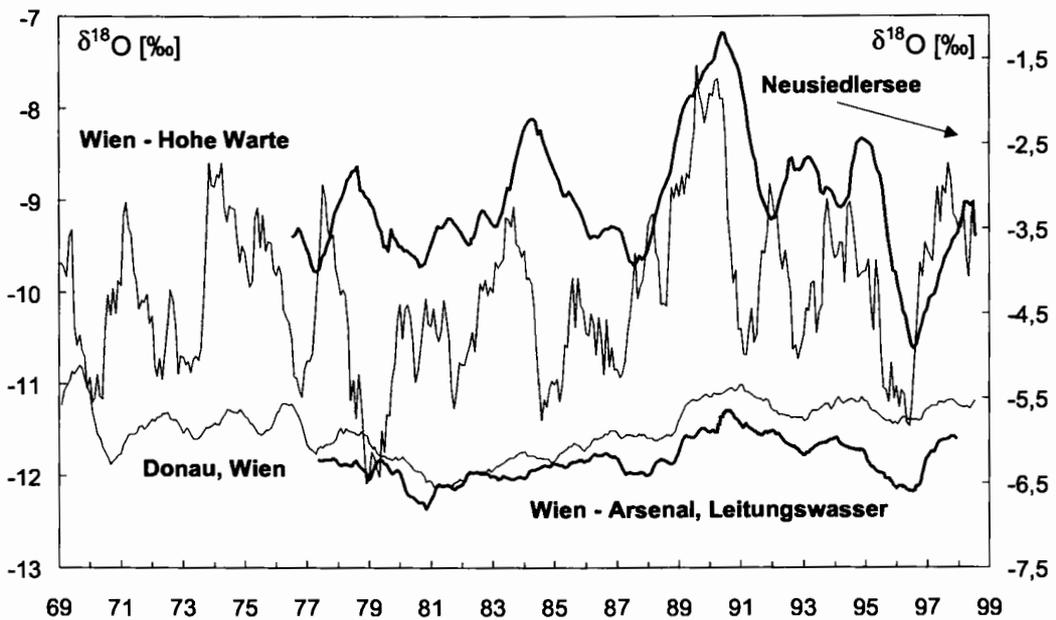


Abb. 11. Gleitendes Zwölfmonatsmittel des ¹⁸O-Gehaltes des Niederschlags und der Donau in Wien, des Neusiedlersees bei Podersdorf und des Wiener Leitungswassers (Mittelung beim Niederschlag auf Basis monatlicher Durchschnittsproben, sonst auf Basis monatlicher Stichproben). Für den Neusiedlersee gilt die rechte ¹⁸O-Skala.

es zu einer entsprechenden Dämpfung des Isotopensignals, vor allem der jahreszeitlichen Schwankungen. Die Ähnlichkeit in den Verläufen der Isotopendaten von Donau, Rhein und Bodensee weist auf den Einfluß von überregionalen Klimaänderungen hin, wobei der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes der Donau wegen des größeren und inhomogeneren Einzugsgebietes im Vergleich zu dem des Rheins bei Lustenau gedämpft erscheint (Abb. 10).

Zusätzlich zur regionalen Änderung von Klimafaktoren bilden sich auch stärkere Eingriffe in das hydrologische System (z.B. Stauseen, Bewässerungsausleitungen) im Isotopenverlauf ab, sofern sie zu Änderungen in der Niederschlags-Abfluß-Beziehung führen. Die Durchmischung des Wassers in größeren Stauseen beispielsweise bewirkt eine starke Dämpfung der jahreszeitlichen Schwankungen der Isotopenverhältnisse. Auf einen weiteren Einflußfaktor weist der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes im Neusiedlersee hin (Abb. 11): Bei seichten stehenden Gewässern spielt die Lage des Wasserspiegels eine entscheidende Rolle. Niedrige Wasserstände sind als Folge des verstärkten Verdunstungseinflusses mit hohen ^{18}O -Gehalten verbunden (z.B. in den Jahren 1984 und 1990 in Abb. 11), hohe Wasserstände mit verhältnismäßig niedrigen ^{18}O -Gehalten (1996). Dies führt zu mittelfristigen Schwankungen von einigen Promill im ^{18}O -Wert. Diese Erkenntnis ist wichtig für die Interpretation von Isotopendaten in der Paläoklimatologie, wenn Untersuchungen an Sedimentstapeln ausgeführt werden, die in seichten Gewässern gebildet worden sind.

Auch bei Grundwässern treten in Abhängigkeit von der mittleren Verweilzeit des Wassers im Untergrund mittelfristige Schwankungen des Isotopengehaltes im Dekadenbereich auf. Sie betragen beim Karstwasser der Wiener Wasserversorgung ungefähr 1 ‰ im ^{18}O -Wert (Abb. 11). Damit eignen sich auch Quellwässer mit entsprechender mittlerer Verweilzeit für isotope klimatologische Untersuchungen. Sie bieten den Vorteil, daß die kurzfristigen Isotopengehaltsschwankungen des Niederschlages im Quellwasser bereits weitgehend gedämpft sind. Aus isotope hydrologischer Sicht haben die mittelfristigen Schwankungen

die Konsequenz, daß sich auch die Höhenkalibrierung bei der Bestimmung der mittleren Höhe von Einzugsgebieten ändert. Eine genauere Auswertung ist dann nur bei vorhergehender Altersbestimmung möglich. Geht das Alter des Wassers über den Datierungszeitraum mit ^3H – ungefähr 50 Jahre – hinaus, so erhöht das Fehlen der Information über die klimatischen Bedingungen bei der Infiltration der Niederschläge die Unsicherheiten bei der Bestimmung der Höhenlage des Infiltrationsgebietes (RANK und PAPESCH 1998).

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Isotopenverhältnisse in den Wässern des natürlichen Kreislaufes enthalten Klimainformation. Neben kurzfristigen - Ereignis- und jahreszeitlichen - Schwankungen zeichnen sich im Verlauf der Isotopenverhältnisse der Niederschlagswässer auch mittelfristige Klimaschwankungen im Dekadenbereich ab. Besonders ausgeprägt sind dabei in den letzten dreißig Jahren die Schwankungen der Isotopenganglinien der Gebirgsniederschläge. Wichtigster Einflußparameter ist die Lufttemperatur, es spielen aber auch andere Einflüsse eine wichtige Rolle, wie die Änderung der zeitlichen und örtlichen Niederschlagsverteilung. Ein Ziel der aktuellen einschlägigen Forschung ist ein besseres Verständnis des Zusammenhanges zwischen dem Verlauf der Isotopenverhältnisse in den Wässern des natürlichen Kreislaufes und verschiedenen Klimaparametern.

Die mittelfristigen Schwankungen im langjährigen ^{18}O -Mittel der Niederschläge betragen ungefähr 1 ‰. Im Vergleich dazu unterscheiden sich eiszeitliche Grundwässer in Mitteleuropa im ^{18}O -Wert um maximal -2,5 ‰ von aus modernen Niederschlägen gebildeten Grundwässern. Die mittelfristigen Schwankungen im Niederschlag liegen somit in einer ähnlichen Größenordnung und liefern ein signifikantes Klimasignal. Die Isotopenverhältnisse in den Wässern des natürlichen Kreislaufes erweisen sich damit als verhältnismäßig empfindlicher Indikator für mittelfristige Klimaänderungen.

Die mittelfristigen Schwankungen des ^{18}O -Gehaltes der Niederschläge im Einzugsgebiet - und damit Klimaänderungen - spiegeln sich auch im ^{18}O -Gang der Flüsse wider. Der Verlauf des ^{18}O -Gehaltes in Flüssen kann somit als Indikator für Klimaänderungen im Einzugsgebiet angesehen werden. Örtliche und kurzzeitige Unterschiede im Verlauf des ^{18}O -Gehaltes, wie sie zwischen verschiedenen Niederschlagsbeobachtungsstationen im Einzugsgebiet auftreten können, werden dabei ausgemittelt. Ein Netz von einigen wenigen gut ausgewählten Beobachtungsstellen für Isotopenverhältnisse an großen Flüssen dürfte demnach eines der effektivsten Verfahren zur Verfolgung von mittelfristigen Klimaänderungen und Änderungen im natürlichen Wasserhaushalt im globalen Maßstab sein. Die IAEA in Wien verfolgt derzeit ein solches Konzept.

Die Erkenntnisse aus den Isotopenmeßreihen spielen eine Schlüsselrolle bei der Interpretation von Isotopenmeßdaten im Rahmen von paläoklimatischen Untersuchungen. Beispielsweise ist der mittelfristige Schwankungsbereich des ^{18}O -Gehaltes in Niederschlags- bzw. Seewässern ein Hinweis, wie ähnliche Schwankungen in geologischen Archiven - z.B. in Seesedimenten - zu beurteilen sind.

Literatur

- AUER, I., BÖHM, R., SCHÖNER, W.: Austrian long-term climate: Multiple instrumental climate time series in central Europe (1767-2000). – Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Wien 2001 (im Druck).
- BOROVICZÉNY, F., et al.: Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie 1980-1990. - Forschungsbericht 16, 1-214, Wien (Institut für Hydraulik, Gewässerkunde & Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien) 1992.
- IAEA: Consultants' Meeting on Operational Aspects of the Global Network "Isotopes in Precipitation". - Bericht, IAEA, Wien 1995.
- IAEA: GNIP (Global Network for Isotopes in Precipitation), 48 S., Wien (IAEA) 1996.
- Kaiser, A., Scheifinger, H., Kralik, M., Papesch, W., Rank, D., Stichler, W.: Links between meteorological conditions and spatial/temporal variations in long-term isotope records from the Austrian precipitation network. – In: Study of Environmental Change Using Isotope Techniques. IAEA-CN-80, Wien (IAEA) 2001 (im Druck).
- Moser, H., Rauert, W.: Isotopenmethoden in der Hydrologie. – 400 S., Berlin (Borntraeger) 1980.
- Rank, D.: „Umweltisotope“ – Fortschritte in Forschung und Anwendung. – Mitteilungen der österreichischen geologischen Gesellschaft, 83, 91-108, Wien 1991.
- Kurzfristige hydroklimatische Entwicklungen werden eines der wichtigsten Themen der Wissenschaft in den nächsten Jahrzehnten sein. Die Aufnahme langjähriger Meßreihen der Isotopenverhältnisse in Wässern des natürlichen Kreislaufes liefert Datenmaterial, an Hand dessen tiefgreifende Veränderungen im Wasserkreislauf frühzeitig erkannt und erfaßt werden können. Die hydrologische und klimatologische Gemeinschaft stellt dabei sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht wachsende Anforderungen an die Beobachtungsnetze. In den letzten Jahrzehnten wurden für isotopenhydrologische Zwecke eine Reihe von internationalen und nationalen Isotopenmeßnetzen eingerichtet (siehe z.B. IAEA 1996, Rank 1993). Es gilt nun, die bestehenden Netze für die klimatologischen Anforderungen zu adaptieren bzw. nicht mehr funktionierende Netze zu reaktivieren (IAEA 1995). Wichtig ist vor allem die Weiterführung der langjährigen Meßreihen. In Österreich bemühen sich ÖFPZ Arsenal und Umweltbundesamt, das in den sechziger und siebziger Jahren aufgebaute Isotopenmeßnetz (Niederschläge, Oberflächenwässer) möglichst im gesamten Umfang aufrecht zu erhalten und auf eine gesicherte finanzielle Basis zu stellen.

- RANK, D.: Das österreichische Niederschlagsisotopenmeßnetz. - Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Heft 70, 72-76, Wien 1993.
- RANK, D., PAPESCH, W.: Die Isotopenverhältnisse im Donauwasser als Indikatoren für Klimaschwankungen im Einzugsgebiet. - Limnologische Berichte der 31. Arbeitstagung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung, Wissenschaftliche Referate, 1, 521-526, Göd/ Vácraót 1996.
- RANK, D., PAPESCH, W.: Klimasignale in isotopenhydrologischen Zeitreihen und ihre Bedeutung für die Interpretation von Isotopendaten in der Hydrologie. - In: Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes. Tagungsband, 45-50, Wien (ÖFPZ Arsenal), 1998.
- RANK, D., ADLER, A. ARAGUÁS ARAGUÁS, L., FROEHLICH, K., ROZANSKI, K., STICHLER, W.: Hydrological parameters and climatic signals derived from long term tritium and stable isotope time series of the River Danube. - In: Isotope Techniques in the Study of Environmental Change. IAEA-SM-349, 191-205, Wien (IAEA) 1998.
- ROZANSKI, K., GONFIANTINI, R.: Isotopes in climatological studies. - IAEA Bulletin 32, No. 4, 9-15, Wien (IAEA) 1990.

DISKUSSION

Isotopenverhältnisse im natürlichen Wasserkreislauf - Indikatoren für Klimaänderungen

TUFAR: Ich danke Ihnen vielmals, daß Sie uns anhand zahlreicher Beispiele von verschiedenen Standorten aufgezeigt haben, wie die Isotopenverhältnisse insbesondere des Sauerstoffs mögliche Klimaveränderungen anzeigen können.

Haben Sie das Donauwasser sowohl oberhalb als auch unterhalb Wiens genommen, damit man sieht, was eventuell an Kontaminationen aus der Stadt hinzukommt ?

RANK. Wir haben versucht, ein repräsentatives Bild zu erhalten. Unsere Probenahmestelle war in Nußdorf, nahe der Abzweigung des Kanals, wir haben auch Meßdaten von Hainburg. Was von den Wiener Kanälen hereinkommt, spielt im Durchfluß keine Rolle.

Diskussionsbeiträge von:

*Univ.Prof. Dr. W. TUFAR
Philipp - Universität Marburg
Fachbereich Geowissenschaften
Hans - Meerwein - Straße
D - 35032 Marburg/Lahn*

*Hofr. Univ.Prof. Dr. Dipl.Ing. Dieter RANK
OFPZ Arsenal
Bereich Umwelt
Faradystraße
A - 1030 Wien*