

# Isotopengehalte der Niederschläge an Stationen aus dem süddeutschen Raum

*Isotopic content of precipitation at stations in Southern Germany*

W. GRAF & P. TRIMBORN<sup>1)</sup>

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung .....	7
2. Die räumliche Verteilung der Isotopengehalte .....	8
3. Die Beziehung zwischen den <sup>18</sup> O-Gehalten und der Temperatur .....	9
4. Modellierung der Beziehung zwischen den Isotopengehalten und der Temperatur .....	14
5. Ausblick .....	14
Zusammenfassung .....	15
Literatur .....	15
Summary .....	15
Dank .....	15

## 1. Einleitung

Für die Klassifizierung der Wässer des Molassebeckens ist die Kenntnis der <sup>3</sup>H-, <sup>2</sup>H- und <sup>18</sup>O-Gehalte der Niederschläge in den potentiellen Einzugsgebieten Voraussetzung. Die regionale Verteilung der <sup>2</sup>H- und <sup>18</sup>O-Gehalte erlaubt die Abschätzung möglicher Einzugsgebiete, aus der zeitlichen Änderung der <sup>3</sup>H-Gehalte während der letzten 50 Jahre kann die mittlere Verweilzeit junger Wässer im Untergrund abgeschätzt werden und aus der Abhängigkeit der <sup>2</sup>H- und <sup>18</sup>O-Gehalte von der Lufttemperatur kann die Bildungstemperatur von Paläowässern ermittelt werden.

Monatsmittelwerte der Isotopengehalte in Niederschlägen wurden seit den 70er Jahren auf Initiative der International Atomic Energy Agency, Wien (IAEA) weltweit an zahlreichen Stationen bestimmt (IAEA, 1967–90). Eine statistische Auswertung der Daten liegt vor (IAEA, 1992), u. a. die Korrelationen der <sup>2</sup>H- und <sup>18</sup>O-Gehalte mit der Temperatur und der Niederschlagsmenge auf der Basis von Monatsmittelwerten sowie Korrelationen der <sup>3</sup>H-Gehalte in den Niederschlägen an den einzelnen Stationen mit denen in den Niederschlägen von Wien. Y. YURTSEVER & J. R. GAT (1981) folgten

<sup>1)</sup> Dr. W. GRAF & Dipl.-Phys. P. TRIMBORN, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hydrologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Oberschleißheim.

Ansätzen von W. DANSGAARD (1964) und diskutierten die Abhängigkeit der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der Niederschläge von geographischen und klimatologischen Gegebenheiten. In einer multiplen, linearen Regressionsanalyse, die Monatsmittel der Temperatur, Monatssummen der Niederschlagsmengen, die geographische Breite und die Höhe der Stationen über NN berücksichtigte, erwies sich die Temperatur als dominierender Parameter. Die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte können ferner gut mit dem einfachen Rayleigh-Modell verstanden werden, welches sich trotz einiger unrealistischer Annahmen über die Luftmassenbewegung für das Verständnis der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte und in letzter Zeit auch zur Abschätzung der Quellgebiete der Luftfeuchte (J. JOUZEL & L. MERLIVAT, 1984, S. J. JOHNSEN & J. W. C. WHITE, 1989) als äußerst erfolgreich erwiesen hat.

Diese Studie folgt der Arbeit von Y. YURTSEVER & J. R. GAT (1981) und zeigt die oben erwähnten regionalen Verteilungsmuster und die Beziehung der Isotopengehalte zur Oberflächentemperatur auf (klimatisch bedingte Veränderungen der Isotopengehalte sind aufgrund der Kürze der Zeitreihen nicht erfassbar). Sie stützt sich auf Monatsmittelwerte der Isotopengehalte in Niederschlägen von acht süddeutschen Stationen, die zum IAEA-Stationsnetz gehören: Hohenpeißenberg, Garmisch-Partenkirchen, Regensburg, Stuttgart, Karlsruhe, Weil/Rhein, Konstanz und Neuherberg/München sowie auf die Werte der Station Salzburg, die vom Umweltbundesamt Wien stammen. Die Datenbasis ist an den einzelnen Stationen sehr unterschiedlich.  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte an allen Stationen liegen nur für den Zeitraum 1983–1989 vor; die gemeinsame Datenbasis der  $^3\text{H}$ -Werte ist sogar noch kürzer (von 1983–1986).

## 2. Die räumliche Verteilung der Isotopengehalte

Die räumliche Verteilung der Isotopengehalte soll der Abschätzung von Grundwassereinzugsgebieten dienen. Die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte des Grundwassers hängen ab von den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalten im Niederschlag und der Menge des Niederschlagswassers, das tatsächlich zur Grundwasserneubildung beitrug. Um Vergleichswerte zu erhalten, werden deshalb mit der Niederschlagsmenge gewichtete Mittelwerte der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte gebildet. Aufgrund der Bedingungen an den einzelnen Standorten (Landnutzung, Gesteinsausbildung der wasserungesättigten Zone) muß abgeschätzt werden, wie groß der Anteil der Grundwasserneubildung während der Sommermonate ist, da Verdunstung an der Geländeoberfläche und Wasseraufnahme durch die Pflanzen eine Infiltration des Sommerniederschlags in das Grundwasser weitgehend verhindern können.

In Tab. 1 sind die Sommer-, Winter und Ganzjahresmittel der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte angegeben, wobei das hydrologische Jahr, November bis Oktober des darauffolgenden Jahres, zugrunde gelegt wurde. In den Fig. 1 und 2 ist der Gang der Gesamtjahresmittel der  $^{18}\text{O}$ - bzw.  $^3\text{H}$ -Gehalte und in Fig. 3 die regionale Verteilung der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte wiedergegeben. Die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte nehmen generell nach SE hin ab. Diese Abnahme ist aufgrund der vorherrschenden Windrichtung und eines atmosphärischen Wasserdampftransports aus NW zu erwarten. Die Jahresmittel der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte an der Station Salzburg bilden in dreierlei Hinsicht eine Ausnahme. Sie passen sich nicht in den regionalen Trend ein, zeigen die geringsten Variationen und liegen relativ zur Temperatur an dieser Station zu niedrig (Abschn. 3.). Die  $^3\text{H}$ -Gehalte für die einzelnen Stationen sind sehr ähnlich; sie weichen an den Stationen Salzburg, Hohenpeißenberg und Stuttgart um weniger als 10 % voneinander ab.

Tab. 1: Mit den Niederschlagsmengen gewichtete Mittel der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte und mittlere Temperaturen  $\theta$  an Niederschlagsstationen im süddeutschen Raum sowie deren Streuungen ( $\sigma$ ).  
 Weighted means of  $^{18}\text{O}$  content of precipitation and mean temperatures  $\theta$  from meteorological stations in southern Germany and their deviations ( $\sigma$ ).

Station	Datenbasis	Ganzjahresmittel		Sommermittel		Wintermittel	
	Jahr von - bis	$\delta^{18}\text{O} \pm \sigma$ [‰]	$\theta \pm \sigma$ [°C]	$\delta^{18}\text{O} \pm \sigma$ [‰]	$\theta \pm \sigma$ [°C]	$\delta^{18}\text{O} \pm \sigma$ [‰]	$\theta \pm \sigma$ [°C]
Weil	83-93 (11)	$-8,6 \pm 0,7$	$9,7 \pm 0,7$	$-7,1 \pm 1,0$	$15,7 \pm 0,7$	$-10,4 \pm 0,9$	$4,0 \pm 1,0$
	83-89 (7)	$-8,6 \pm 0,8$	$9,5 \pm 0,7$	$-7,0 \pm 1,0$	$15,5 \pm 0,5$	$-10,4 \pm 0,7$	$3,7 \pm 1,2$
Konstanz	78-93 (15)	$-9,9 \pm 0,9$	$9,2 \pm 0,7$	$-8,3 \pm 0,9$	$15,2 \pm 0,7$	$-11,9 \pm 1,2$	$3,5 \pm 1,0$
	83-89 (7)	$-9,8 \pm 1,0$	$9,2 \pm 0,6$	$-8,2 \pm 0,9$	$15,3 \pm 0,5$	$-11,7 \pm 1,3$	$3,3 \pm 1,1$
Garmisch-Partenkirchen	78-93 (16)	$10,5 \pm 1,0$	$6,9 \pm 0,6$	$-8,6 \pm 1,1$	$12,8 \pm 0,6$	$-13,5 \pm 1,0$	$0,9 \pm 0,9$
	83-89 (7)	$10,1 \pm 0,9$	$6,9 \pm 0,5$	$-8,1 \pm 0,7$	$12,8 \pm 0,4$	$-13,3 \pm 1,0$	$0,9 \pm 1,1$
Salzburg	73-89 (11)	$-9,9 \pm 0,5$	$9,0 \pm 0,7$	$-8,6 \pm 0,4$	$15,0 \pm 0,6$	$-12,3 \pm 0,9$	$2,8 \pm 1,0$
	83-89 (7)	$10,0 \pm 0,4$	$9,0 \pm 0,8$	$-8,6 \pm 0,4$	$15,2 \pm 0,5$	$-12,5 \pm 0,5$	$2,7 \pm 1,2$
Karlsruhe	82-93 (12)	$-8,2 \pm 0,6$	$10,8 \pm 0,8$	$-6,8 \pm 0,9$	$16,6 \pm 0,6$	$-9,5 \pm 1,1$	$5,0 \pm 1,1$
	83-89 (7)	$-8,2 \pm 0,7$	$10,5 \pm 0,9$	$-6,6 \pm 0,8$	$16,3 \pm 0,7$	$-9,8 \pm 1,0$	$4,7 \pm 1,3$
Stuttgart	78-93 (16)	$-7,9 \pm 0,8$	$10,2 \pm 0,9$	$-6,8 \pm 1,0$	$15,8 \pm 0,8$	$-9,5 \pm 1,5$	$4,5 \pm 1,1$
	83-89 (7)	$-7,9 \pm 0,8$	$9,8 \pm 0,8$	$-6,5 \pm 1,0$	$15,7 \pm 0,7$	$-9,6 \pm 1,4$	$4,0 \pm 1,3$
Hohenpeißenberg	74-93 (20)	$-11,0 \pm 1,0$	$6,8 \pm 0,7$	$-9,4 \pm 1,0$	$12,1 \pm 0,8$	$-13,7 \pm 1,1$	$1,4 \pm 1,0$
	83-89 (7)	$-10,8 \pm 1,1$	$6,9 \pm 0,9$	$-9,0 \pm 0,9$	$12,4 \pm 0,5$	$-13,9 \pm 1,1$	$1,4 \pm 1,5$
Neuherberg	78-93 (16)	$-10,3 \pm 0,8$	$8,2 \pm 0,8$	$-8,7 \pm 1,1$	$14,2 \pm 0,7$	$-12,8 \pm 1,0$	$2,3 \pm 1,1$
	83-89 (7)	$-10,3 \pm 0,9$	$8,1 \pm 0,9$	$-8,5 \pm 0,9$	$14,3 \pm 0,6$	$-13,1 \pm 0,9$	$1,9 \pm 1,4$
Regensburg	78-93 (16)	$-9,6 \pm 0,9$	$8,3 \pm 0,8$	$-8,1 \pm 1,0$	$14,6 \pm 0,6$	$-11,7 \pm 1,1$	$2,2 \pm 1,1$
	83-89 (7)	$-9,3 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,9$	$-7,7 \pm 0,6$	$14,6 \pm 0,6$	$-11,7 \pm 1,1$	$1,9 \pm 1,4$

### 3. Die Beziehung zwischen den $^{18}\text{O}$ -Gehalten und der Temperatur

Die Isotopen-Temperatur-Beziehung ist für die Charakterisierung von möglichen Paläowässern von Bedeutung. Obwohl die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte dieser Wässer neben der Bildungstemperatur auch vom Einzugsgebiet und dessen Höhenlage, den vorherrschenden Wetterlagen und der großräumigen atmosphärischen Zirkulation beeinflusst sein können, kann mit Isotopen-Temperatur-Beziehungen zumindest getestet werden, ob eine monokausale Arbeitshypothese der Art, daß die Veränderungen der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte allein auf Temperaturänderungen zurückzuführen sind, haltbar ist. Neben den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Werten ist der Deuterium-Exzeß  $d$  ( $d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$ ) unter Umständen ein weiterer geeigneter Testparameter.

Die Zeitreihen der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der Niederschläge werden dominiert durch saisonale Variationen. Wir finden deshalb an allen Stationen sehr gute Isotopen-Temperatur- $(\delta-\theta)$ -Korrelationen (Tab. 2). Allerdings ergibt sich ein unrealistisch geringer Temperaturgradient der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß Monatsmittel der Isotopengehalte, die nur Informationen über die Temperaturen während der Niederschlagsbildung enthalten können, mit Mitteln der synoptischen Temperatur korreliert werden.

Die Monatsmittel der Niederschlagstemperaturen sind im allgemeinen in den Sommermonaten niedriger und in den Wintermonaten höher als die Mittel der synoptischen

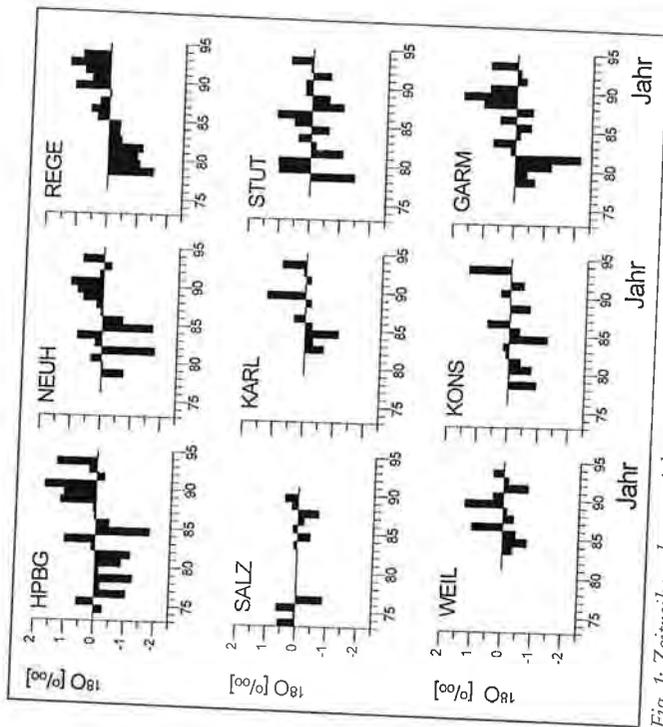


Fig. 1: Zeitreihen der gewichteten Ganzjahresmittel der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte im Niederschlag von meteorologischen Stationen im süddeutschen Raum.  
Time series of the weighted annual means of  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation at meteorological stations in southern Germany.

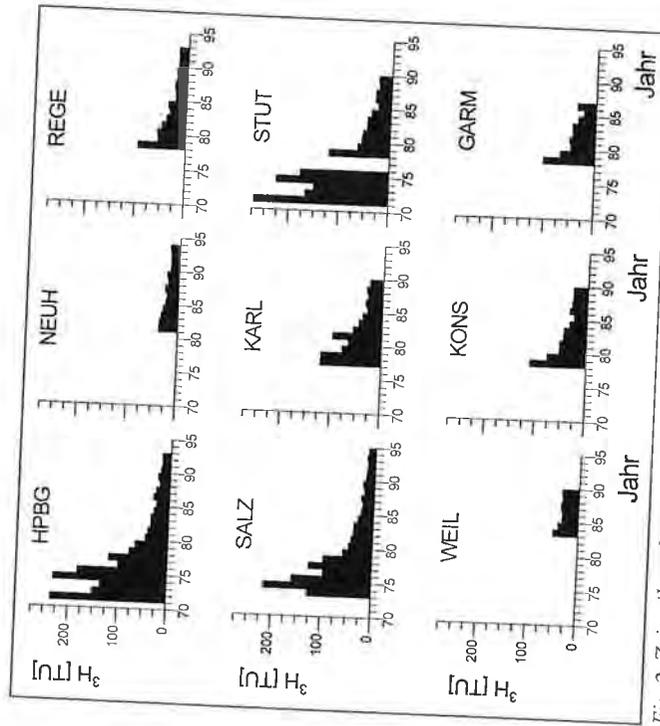


Fig. 2: Zeitreihen der gewichteten Ganzjahresmittel der  $^3\text{H}$ -Gehalte im Niederschlag von meteorologischen Stationen im süddeutschen Raum.  
Time series of the weighted annual means of  $^3\text{H}$  contents of precipitation at meteorological stations in southern Germany.

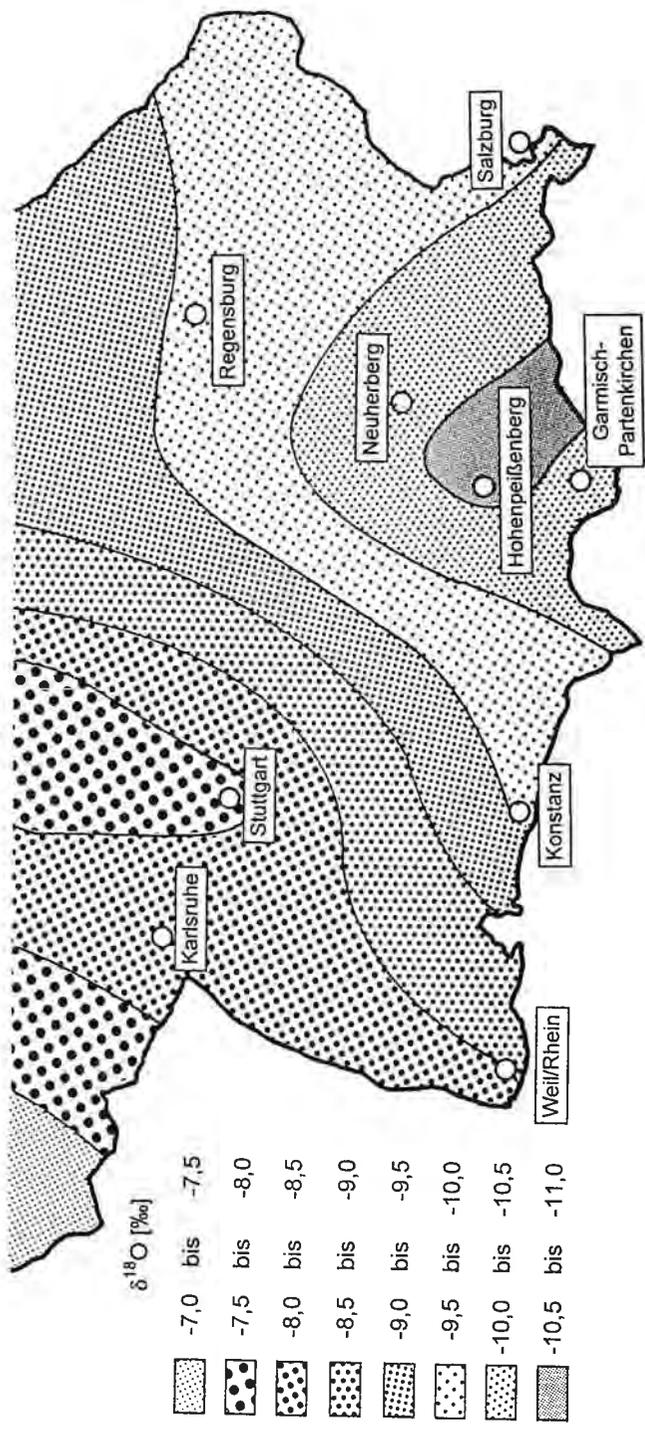


Fig. 3. Regionale Verteilung der mit dem Niederschlag gewichteten Ganzjahresmittel der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte im süddeutschen Raum. Mittelungszeitraum sind die Jahre 1983–1989.  
 Regional distribution of the weighted annual means of  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation in southern Germany. For the calculation, mean annual values of the years 1983 to 1989 were taken.

Temperatur. Die Niederschlagstemperatur ist damit über das Jahr hinweg deutlich ausgeglichener als die synoptische Temperatur; dies erklärt die geringen Temperaturgradienten der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte, die aus der Korrelation von Monatsmitteln folgen. Wesentlich plausiblere Resultate, die mit den Ergebnissen aus dem Rayleigh-Modell kompatibel sind (Abschn. 4.), werden aus Korrelationen von Jahresmitteln erhalten (Tab. 2), vermutlich weil der Unterschied zwischen Niederschlags- und synoptischer Temperatur teilweise aufgehoben wird. Da die Jahresmittel der  $^2\text{H}$ -,  $^{18}\text{O}$ -Gehalte und Temperatur weniger variieren als die Monatsmittel, sinkt allerdings die Güte der Korrelation und ist teilweise nicht mehr signifikant. Eine Verbesserung des Korrelationskoeffizienten wird für alle Stationen außer Karlsruhe und Konstanz erreicht, wenn statt der einfachen Jahresmittel die mit den Niederschlägen gewichteten Temperaturen als Korrelationsparameter verwendet werden. Ob diese Temperaturen  $T_N$ , die keine reinen Niederschlagstemperaturen darstellen, diese besser approximieren als die ungewichteten Jahresmittel und ob darin der Grund für die bessere Korrelation liegt, müssen weitere Untersuchungen auf der Basis von Tagesmitteln der Temperatur erweisen.

Tab. 2: Beziehung zwischen Mittelwerten der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte und Mitteln der synoptischen Temperatur ( $T_S$ ) bzw. der „Niederschlagstemperatur“ ( $T_N$ ). Die Korrelationskoeffizienten weichen in bedentsamer Weise vom Werte Null ab, wenn sie größer sind als die in Klammern angegebenen Werte (95 %-Bedeutungsschwelle).

Relationship between means of the  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation and means of the synoptic temperature ( $T_S$ ) and the “precipitation temperature” ( $T_N$ ). The correlation coefficient deviate significantly from zero, if they are larger than the values indicated in brackets (95 %-confidential level).

Station	unabh. Variable	Monatsmittel		Ganzjahresmittel	
		$d\delta^{18}\text{O}/d\theta$ [‰/K]	Korrelations-Koeffizient	$d\delta^{18}\text{O}/d\theta$ [‰/K]	Korrelations-Koeffizient
Weil	$T_S$	$0,29 \pm 0,01$	0,76 (0,12)	$0,43 \pm 0,32$	0,46 (0,65)
	$T_N$			$0,34 \pm 0,16$	0,62 (0,65)
Konstanz	$T_S$	$0,34 \pm 0,02$	0,75 (0,10)	$1,10 \pm 0,27$	0,78 (0,55)
	$T_N$			$0,44 \pm 0,21$	0,54 (0,55)
Garmisch-Partenkirchen	$T_S$	$0,40 \pm 0,02$	0,78 (0,10)	$0,77 \pm 0,41$	0,48 (0,53)
	$T_N$			$0,74 \pm 0,17$	0,79 (0,53)
Salzburg	$T_S$	$0,31 \pm 0,01$	0,77 (0,12)	$0,03 \pm 0,33$	0,04 (0,69)
	$T_N$			$0,35 \pm 0,15$	0,69 (0,69)
Karlsruhe	$T_S$	$0,26 \pm 0,02$	0,67 (0,11)	$0,47 \pm 0,24$	0,55 (0,59)
	$T_N$			$0,15 \pm 0,19$	0,25 (0,59)
Stuttgart	$T_S$	$0,26 \pm 0,02$	0,63 (0,10)	$0,13 \pm 0,25$	0,14 (0,49)
	$T_N$			$0,18 \pm 0,20$	0,23 (0,49)
Hohenpeißenberg	$T_S$	$0,41 \pm 0,01$	0,80 (0,09)	$0,88 \pm 0,32$	0,58 (0,48)
	$T_N$			$0,77 \pm 0,11$	0,87 (0,48)
Neuherberg	$T_S$	$0,34 \pm 0,01$	0,76 (0,10)	$0,62 \pm 0,20$	0,66 (0,51)
	$T_N$			$0,69 \pm 0,14$	0,80 (0,51)
Regensburg	$T_S$	$0,28 \pm 0,01$	0,70 (0,10)	$0,50 \pm 0,27$	0,46 (0,51)
	$T_N$			$0,74 \pm 0,14$	0,83 (0,51)
Süddeutscher Raum	$T_S$	—	—	$0,68 \pm 0,17$	0,84 (0,65)
	$T_N$			$0,74 \pm 0,31$	0,67 (0,65)

Auch regional besteht eine enge Beziehung zwischen den  $^{18}\text{O}$ -Gehalten und der Temperatur (Tab. 2, Fig. 4). Um eine gleiche Datenbasis für die Korrelation sicherzustellen, können allerdings an den einzelnen Stationen jeweils nur die sieben Jahresmittel der Jahre 1983–1989 zusammengefasst werden. Die Temperaturgradienten der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte aus der regionalen Verteilung und den Zeitreihen von  $^{18}\text{O}$ -Gehalten und Temperatur sind identisch. Dies ist trotz unterschiedlicher Niederschlagsverteilung an den einzelnen Stationen nur möglich, wenn der atmosphärische Wasserdampf definierte Quellgebiete besitzt, die im Laufe des Jahres variieren können, und belegt, daß die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von der Temperatur dominiert werden.

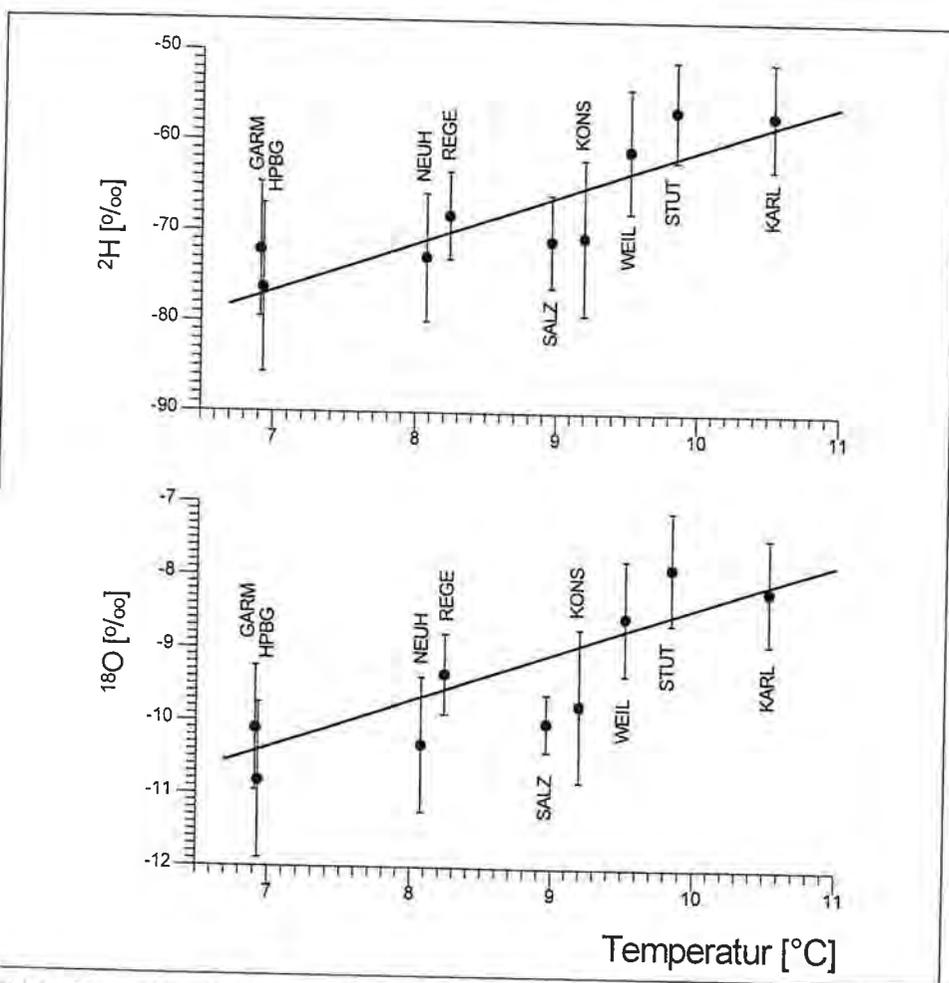


Fig. 4: Abhängigkeit der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der Niederschläge von der Lufttemperatur im süddeutschen Raum. Zum Vergleich sind die nach dem Rayleigh-Modell berechneten Beziehungen eingezeichnet.

Correlation between the  $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation and air temperature at meteorological stations in southern Germany. For comparison, the relationship calculated with the Rayleigh model is shown.

## 4. Modellierung der Beziehung zwischen den Isotopengehalten und der Temperatur

Die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte können mit Hilfe des oben genannten Rayleigh-Modells verstanden werden, welches von Luftmassen ausgeht, die über dem Ozean Feuchtigkeit aufnehmen und diese bei Abkühlung wieder abgeben. Da die schweren Isotope  $^2\text{H}$  und  $^{18}\text{O}$  in der festen bzw. flüssigen Wasserphase entsprechend dem Fraktionierungsfaktor  $\alpha$  angereichert werden, ergibt sich eine kontinuierliche Abnahme der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte ( $\delta$ ) im Wasserdampf und folglich im Niederschlag in Abhängigkeit von dem Anteil ( $f$ ) des Wasserdampfs, der in der Luftmasse verblieben ist.

$$\frac{d\delta}{\delta + 1000} = (\alpha(\theta) - 1) \frac{df}{f}$$

Die regionale Abnahme der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte mit der Temperatur wird entweder als „Kontinentaleffekt“ oder als „Höheneffekt“ bezeichnet, je nachdem ob die Abkühlung der Luftmassen isobar durch Abstrahlung, durch Temperatúraustausch mit anderen Luftkörpern oder adiabatisch durch erzwungenes Aufgleiten der Luftmassen an orographischen Hindernissen erfolgt. Aufgrund des geringeren Wasserdampfverlustes ist bei adiabatischer Abkühlung mit einem geringeren Temperaturgradienten der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte zu rechnen als bei isobarer Abkühlung der Luftmassen (Tab. 3).

Tab. 3: Temperaturgradient der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte, berechnet nach dem Rayleigh-Modell für isobare und adiabatische Abkühlung von 11 auf 6° C.  
Temperature gradient of the  $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$  contents, calculated according to the Rayleigh model for isobaric and adiabatic cooling from 11 down to 6° C.

Abkühlungsprozeß	$d\delta^2\text{H}/d\theta$ [‰/K]	$d\delta^{18}\text{O}/d\theta$ [‰/K]
isobar	5,2	0,64
adiabatisch	3,1	0,40

Der für isobare Abkühlung der Luftmassen von 11 auf 6° C berechnete Temperaturgradient der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von 0,64 ‰/K erklärt die regional beobachtete Verteilung der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte aus der Temperaturverteilung ebenso wie die Isotopen-Temperatur-Beziehungen an den meisten Stationen und dürfte der beste Wert für die Abschätzung der Bildungstemperaturen von Paläowässern sein.

## 5. Ausblick

Auch wenn die gefundenen Temperaturkorrelationen der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte hinreichend konsistent sind und theoretisch untermauert werden konnten, ist eine genauere Analyse der Beziehung zwischen den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalten und den Niederschlagstemperaturen erforderlich. Dies könnte auch den Einfluß anderer Parameter als der Temperatur auf die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte deutlicher werden lassen, z. B. eine Verlagerung des Quellgebiets des atmosphärischen Wasserdampfs für die Bewertung der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von Paläowässern.

## Zusammenfassung

Für die Eingrenzung der Einzugsgebiete und die altersmäßige Klassifizierung der Wässer des Molassebeckens wurde die regionale Verteilung der  $^3\text{H}$ -,  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der Niederschläge an neun Stationen im süddeutschen Raum analysiert und zur Abschätzung der Bildungstemperatur von Paläowässern die Beziehung zwischen den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalten und der Temperatur untersucht. Es zeigt sich, daß die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte generell nach SE hin abnehmen und daß die  $^3\text{H}$ -Gehalte der Niederschläge an den einzelnen Stationen sehr ähnlich sind. Es besteht eine enge Beziehung zwischen den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalten. Die Temperaturgradienten der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte aus den Zeitreihen und der regionalen Verteilung von Isotopen und Temperatur sind konsistent und stimmen mit den Ergebnissen aus Berechnungen mit dem Rayleigh-Modell überein, nach dem sich für  $^{18}\text{O}$ -Gehalte ein Gradient von 0,64 ‰/K ergibt.

## Literatur

- DANSGAARD, W. (1964): Stable isotopes in precipitation.— *Tellus*, **16**, 436–468, Stockholm.
- IAEA (1969–1990): Environmental isotopes data Nos. 1–9. World survey of isotope concentrations in precipitation (1953–1987).— International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series, Nos. **69**, **117**, **129**, **147**, **165**, **192**, **226**, **264**, **311**, Wien.
- IAEA (1992): Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes in Precipitation.— International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series, No. **331**, Wien.
- JOHNSEN, S. J. & J. W. C. WHITE (1989): The origin of Arctic precipitation under present and glacial conditions.— *Tellus*, **41B**, 452–468, Stockholm.
- JOUZEL, J. & L. MERLIVAT (1984). Deuterium and oxygen 18 in precipitation: Modeling of the isotopic effects during snow formation.— *Journal of Geophysical Research*, **89** (D7), 11,749–11,757, Washington.
- YURTSEVER, Y. & J. R. GAT (1981): Atmospheric Waters.— In: GAT, J. R. & R. GONFIANTINI (Eds., 1981): Stable Isotope Hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle.— International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series, No. **210**, Wien.

## Summary

The regional distribution of  $^3\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation at nine stations in southern Germany was analyzed for the assessment of catchment areas and mean residence time of the groundwater of the Molasse basin. The formation temperature of paleo water can be derived from the isotope-temperature relationship. The  $^{18}\text{O}$ -contents decrease generally from NW to SE; the  $^3\text{H}$  concentrations are very similar at all stations. The  $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$  contents of precipitation and the air temperatures are well correlated. The temperature gradient from the time series at individual stations as well as regional distributions of isotopes and temperature are consistent with the gradients calculated with the simple Rayleigh model ( $d\delta^{18}\text{O}/d\theta = 0,64 \text{ ‰/K}$ ).

## Dank

Dank gilt Herrn Dr. KRAUSE, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, für die Sammlung der Niederschlagsproben und die Überlassung der zugehörigen Tri-

tiumgehalte. Weiterhin danken wir dem Umweltbundesamt in Wien für die Überlassung der Isotopendaten der Niederschläge an der Station Salzburg.