

Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalt von Gasteiner Thermal- und Kaltwässern

Von U. ZIMMERMANN (Heidelberg) und J. ZÖTL (Graz)
(Mitteilung des Forschungsinstitutes Gastein Nr. 372)

1. Vorbemerkung

In den Jahren 1966—1968 wurden an Thermal- und Kaltwässern des Gasteiner Raumes umfangreiche Messungen des Tritium- und Kohlenstoff-14-Gehaltes durchgeführt. Die Untersuchungen liefen in Zusammenarbeit des Forschungsinstituts Gastein, der Abteilung für Hydrologie der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) und des Isotopenlabors der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien. Die Ergebnisse fanden in einer Reihe von Publikationen ihren Niederschlag (T. FLORKOWSKI & C. JOB, 1969; C. JOB & G. MUTSCHLECHNER, 1969; C. JOB, G. MUTSCHLECHNER & J. ZÖTL, 1969; C. JOB & J. MAIRHOFER, 1970; vgl. auch die Tätigkeitsberichte des Forschungsinstituts Gastein, F. SCHEMINZKY, 1967, 1968, 1969). Eine zusammenfassende Darstellung findet sich in C. JOB & J. ZÖTL, 1969.

Da damals in Österreich noch keine Möglichkeit bestand, den Deuterium-(D-) und Sauerstoff-18-(^{18}O -)Gehalt von natürlichen Wässern zu bestimmen, traten wir an das ^{14}C -Laboratorium des Zweiten Physikalischen Instituts der Universität Heidelberg (Leiter: Dr. K. O. MÜNNICH) mit der Bitte um Durchführung dieser Bestimmungen heran. Die Wasserproben wurden von Prof. Dr. C. JOB gesammelt und dem Institut in Heidelberg übermittelt. Es handelt sich um zwei Probenserien (Februar und Mai 1967), zwischen denen sich jedoch keine Unterschiede ergaben. Die Untersuchung der Proben hat sich aus technischen Gründen stark verzögert. Die nunmehr vorliegenden Ergebnisse stellen jedoch eine wertvolle Ergänzung der aus den Tritium- und Kohlenstoff-14-Messungen gewonnenen Erkenntnisse dar.

2. Der Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalt von Thermal- und Kaltwässern

Die Verwendungsmöglichkeit des stabilen schweren Wasserstoffisotopes Deuterium (D) und des stabilen Sauerstoffisotopes ^{18}O für hydrologische Untersuchungen basiert u. a. darauf, daß der HDO- bzw. H_2^{18}O -Gehalt der Niederschläge infolge einer temperaturabhängigen

Isotopenfraktionierung bei Verdunstungs- und Kondensationsprozessen in folgender Weise von Zeit und Ort abhängt:

1. In dem gemäßigten Klima Mitteleuropas haben die Niederschläge eine jahreszeitliche Isotopenvariation (hoher Gehalt an schweren Isotopen bei den Sommer-, geringer bei den Winterniederschlägen),
2. mit zunehmender Entfernung vom Meer wird der Regen isotopisch leichter (Kontinentaleffekt),
3. mit zunehmender Höhe wird der Regen isotopisch leichter (Höheneffekt beim D ca. 2—4‰ pro 100 m Höhenunterschied; vgl. R. EICHLER, 1965; H. MOSER und W. STICHLER, 1970).

Der Jahresgang im Isotopengehalt des Regens tritt im unterirdischen Wasser je nach der Speicheringfähigkeit des Gesteins nur in abgeschwächter Form oder überhaupt nicht mehr hervor. Dadurch wird der Höheneffekt zu einem wichtigen Kriterium für die Bestimmung der Höhenlage des Einzugsgebietes.

Bei den untersuchten **Kaltwässern** aus dem Gasteiner Raum handelt es sich um drei Quellen und ein Oberflächengerinne (vgl. Tab. 1). Die **Evian-Quelle** tritt im Tal der Naßfelder Ache am Fuße eines mächtigen Bergsturzmantels aus, der im unteren Teil des NNW-Hanges des Radhausberges den Zentralgneis der Hohen Tauern und Reste der Schieferhülle verbirgt. Es handelt sich um zwei aus dem anstehenden Fels entspringende Quellen, deren Wasser im Sohlkanal eines Stollens, der den Bergsturz durchörtert, abgeleitet werden. Die Probennahme des Mischwassers beider Quellen erfolgte im Vorraum des Quellstollens (1149 m Sh.). Das Einzugsgebiet der Quelle reicht wahrscheinlich etwas über 2000 m Höhe, die mittlere Höhe des Einzugsgebietes dürfte etwa bei 1600 m Sh. liegen.

Tabelle 1: Der Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalt von Gasteiner Thermal- und Kaltwässern

	Bezeichnung	$\delta_{\text{SMOW}} \text{D} \text{ ‰}$	$\delta_{\text{SMOW}} \text{^{18}O} \text{ ‰}^*$
Thermalwässer	Franz-Josef-Quelle (I/23—24)	— 93,4	— 13,65
	Neue Franzens-Quelle (VII)	— 93,6	— 13,55
	Elisabeth-Quelle (IX/8—12)	— 93,0	— 13,55
	Fledermaus-Quelle (X)	— 92,8	— 13,52
	Reissacher-Quelle (XII/1)	— 92,6	— 13,55
	Grabenbäcker-Quelle (XIV)	— 94,0	— 13,50
	Grabenwirt-Quelle (XVIII)	— 92,4	— 13,46
	Strochner-Quelle (XIX)	— 92,5	— 13,20
		$\text{D}_{\text{SMOW}} = -93,0 \pm 0,2$	$\text{^{18}O}_{\text{SMOW}} = -13,50 \pm 0,06$

* Der Isotopengehalt ist als δ -Wert angegeben. δ ist die relative Abweichung einer Probe von einem Standard in ‰. Als Standard wurde Standard Mean Ocean Water (SMOW) verwendet.

Der Fehler einer Messung beträgt bei D-Messungen 1‰, bei $\text{^{18}O}$ -Messungen 0,15‰.

		mittlere Höhe des Einzugsgebietes m	$\delta_{SMOW}D$ ‰	$\delta_{SMOW}^{18}O$ ‰
Kaltwässer	Schachen-Quelle	1800	— 94,1	— 13,78
	Naßfelder Ache	1720	— 92,2	— 13,25
	Evian-Quelle	1600	— 89,6	— 13,04
	Kirchbach-Quelle 2	1600	— 90,3	— 12,97

Auch die **Schachen-Quelle** entspringt einer Bergsturzhalde am NW-Hang des Graukogel-Hüttenkogel-Massivs. Ihre Austrittsstelle liegt, durch stauende Moränenreste bedingt, in 1490 m Sh. Das Einzugsgebiet reicht sicher bis etwa 2200 m, die mittlere Seehöhe des Einzugsgebietes beträgt etwas über 1800 m.

Die **Kirchbach-Quelle 2** entspringt aus der Moränenschürze am unteren Teil des Graukogelhanges. Die Austrittsstelle liegt in 1125 m Sh. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes ist schwer zu erfassen, da zumindest ein Teil des Wassers als Folgequelle anzusehen ist; unter dieser Voraussetzung kann die mittlere Seehöhe mit etwa 1600 m angenommen werden.

Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes der **Naßfelder Ache** oberhalb der Entnahmestelle (1149 m) wurde mit 1720 m ausplanimetriert.

Betrachten wir den Deuteriumgehalt der Kaltwässer im Vergleich zur mittleren Höhe des Einzugsgebietes der Quellen, so ergibt sich eine Abnahme des D-Gehaltes (Höheneffekt) von ziemlich genau 2‰ pro 100 m Höhenzunahme (vgl. Tab. 1 und Fig. 1). Eichler hat bei Lysimetersickerwässern und bei natürlichen Quellen Mitteleuropas ebenfalls gefunden, daß der D-Gehalt um 2‰ pro 100 m Höhenzunahme abnimmt (R. EICHLER, 1965).

Der D-Gehalt der untersuchten **Thermalwässer** stimmt innerhalb der Fehlergrenzen überein. Eine evtl. Beimischung von Kaltwässern läßt sich aus dem D-Gehalt der Thermalwässer nicht erkennen, da sich dieser nur geringfügig von dem der Kaltwässer unterscheidet.

In Beachtung der Möglichkeit, daß sich der **^{18}O -Gehalt** der Thermalwässer durch Austausch mit dem Gestein geändert haben könnte, wurde auch der ^{18}O -Gehalt der Wässer bestimmt (vgl. Tab. 1).

Trägt man die Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte in einem Diagramm auf (Fig. 2), so liegen die Wässer nur geringfügig über der CRAIG'schen Niederschlagsgeraden ($\delta D = \delta^{18}O + 10$), auf der gewöhnlich Wässer liegen, die nicht starker kinetischer Verdunstung ausgesetzt waren bzw. deren Isotopengehalt nicht durch Isotopenaustausch verändert wurde. Es ist daher auch mit Hilfe des ^{18}O -Gehaltes nicht möglich, den Kaltwasseranteil der Thermalwässer zu bestimmen. C. JOB und J. MAIRHOFER haben aus dem Tritiumgehalt der Thermalwässer einen

Kaltwasseranteil zwischen 5 und 24% berechnet (C. JOB und J. MAIRHOFER, 1970). Da sich der D-Gehalt der Thermal- und Kaltwässer nur geringfügig unterscheidet, wird der D-Gehalt der Thermalwässer durch den Kaltwasseranteil praktisch nicht geändert. Der D-Gehalt des reinen Thermalwassers kann daher mit -93‰ angenommen werden. Aus diesem Wert ergibt sich eine mittlere Höhe des Einzugsgebietes des Thermalwassers von nahezu 1800 m (vgl. Fig. 1).

*mittl. Höhe des
Einzugsgebietes*

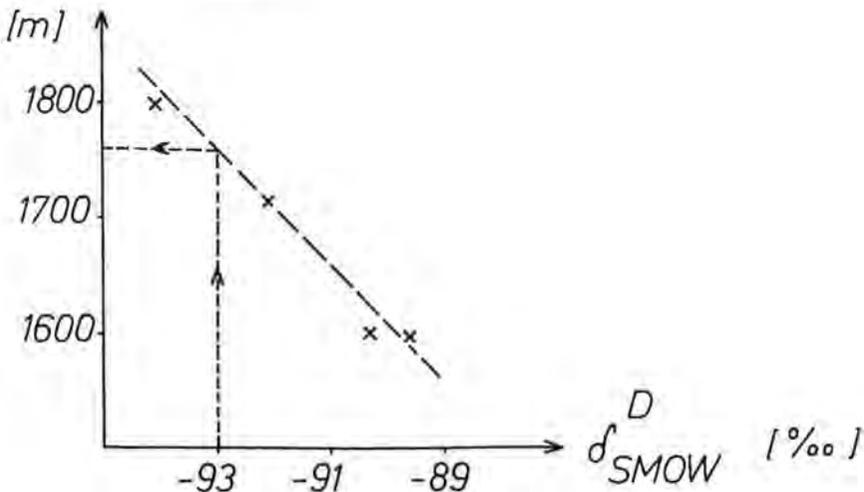


Fig. 1: Die Abnahme der Deuteriumgehalte von Quellwässern des Gasteiner Raumes mit der Zunahme der mittleren Höhe des Einzugsgebietes. Der D-Gehalt des reinen Thermalwassers (-93‰) weist auf eine mittlere Höhe des Einzugsgebietes von 1760 m.

3. Zusammenfassung und Folgerungen

Als Folge des Höheneffektes hängt der D-Gehalt der Gasteiner Kaltwässer von der mittleren Höhe des Einzugsgebietes ab. Pro 100 m Höhenzunahme nimmt der D-Gehalt der Kaltwasserquellen um etwa 2‰ ab. Die Thermalwässer weisen dagegen einen weitgehend einheitlichen Isotopengehalt auf. Da der Unterschied zwischen dem Isotopengehalt der Thermal- und Kaltwässer sehr gering ist und der Kaltwasseranteil der Thermalwässer relativ klein ist, kann man schließen, daß die

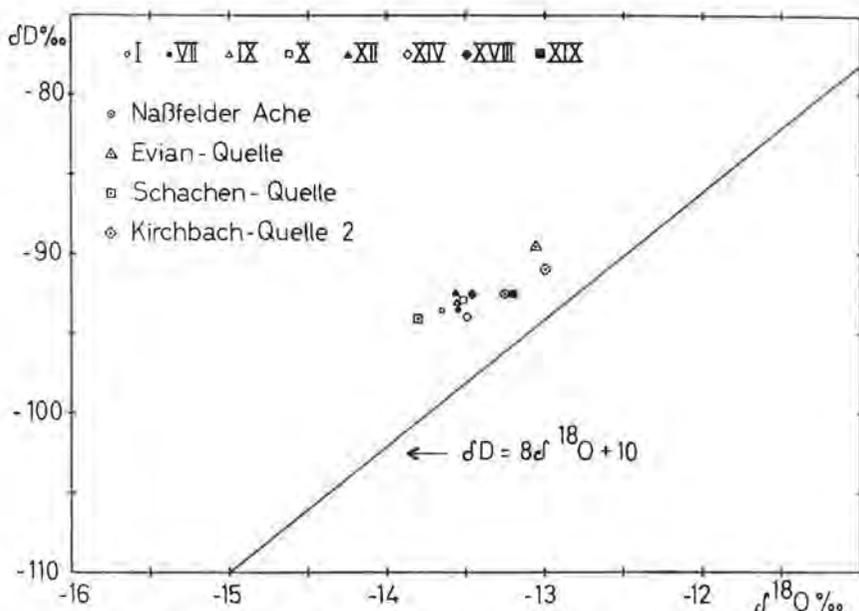


Fig. 2: Die Deuterium- und Sauerstoff-18-Werte von Gasteiner Thermalquellen (I, VII, IX, X, XII, XIV, XVIII, XIX) und Kaltwässern.

Thermalwässer unter ähnlichen klimatischen Bedingungen entstanden sein müssen wie die untersuchten Kaltwässer.

Der übereinstimmende Isotopengehalt der Thermal- und Kaltwässer läßt vermuten, daß es sich bei den Thermalwässern um vadoses Wasser handelt. Aus dem D-Gehalt der Thermalwässer ergibt sich eine mittlere Höhe des Einzugsgebietes des Thermalwassers von etwa 1800 m (1760 m, vgl. Fig. 1). Dieses Ergebnis bekräftigt die Wahrscheinlichkeit, daß das Infiltrationsgebiet des Thermalwassers, das dann zweifellos in große Tiefen unter die Talsohle absinkt, im Granit-Gneis des Hölltor-Rotgülden-Kerns östlich des Grau- und Hüttenkogels zu suchen ist (vgl. auch Ch. EXNER, 1950 a, b).

Diese Ergebnisse stellen eine treffliche Ergänzung und Bestätigung der aus den ^{13}C - und ^{14}C -Untersuchungen gezogenen Folgerungen dar (T. FLORKOWSKI & C. JOB, 1969; C. JOB & J. ZÖTL, 1969).

Wir danken Herrn Dr. K. O. MÜNNICH für seine Bereitwilligkeit, die Isotopenmessungen im ^{14}C -Laboratorium des Zweiten Physikalischen Instituts durchführen zu lassen, und Frau Ch. KALINKE für die Durchführung der Isotopenmessungen. Herrn Univ.-Prof. Dr. F. SCHEMINKZY ist für die großzügige Förderung aller Forschungsarbeiten im Gasteiner Raum zu danken.

Literatur

- EICHLER, R.: Deuterium-Isotopengeochemie des Grund- und Oberflächenwassers. *Geologische Rundschau*, **55**, 1965.
- EXNER, Ch.: Ein geologischer Ausflug zu den Schieferplatten am Hüttenkogel-Graukogel. *Badgasteiner Badeblatt* Nr. 9, 1950 a.
- EXNER, Ch.: Die geologische Position des Radhausberg-Unterbaustollens bei Badgastein. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, **95**, 5/6, 1950 b.
- FLORKOWSKI, T. & C. JOB: Origin and Underground Flow Time of Crystalline Basement Complexes. *Steir. Beiträge z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- JOB, C. & G. MUTSCHLECHNER: Zur Geochemie der Wässer im Tauerntunnel. *Steir. Beiträge z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- JOB, C., G. MUTSCHLECHNER & J. ZÖTL: Vergleichende Markierungsversuche an Hangwässern in einem Bergsturzgelände. *Steir. Beiträge z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- JOB, C. & J. ZÖTL: Zur Frage der Herkunft des Gasteiner Thermalwassers. *Steir. Beiträge z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- JOB, C. & J. MAIRHOFER: Der Tritiumgehalt der Kalt- und Warmwässer im Gasteiner Raum. *Steir. Beiträge z. Hydrogeologie*, **22**, Graz 1970.
- MOSEK, H. & W. STICHLER: Deuterium-Measurements of Snow-Samples from the Alps. *Isotope Hydrology*, IAEA-SM-129/4, Vienna 1970.
- SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes Gastein der Österr. Akademie der Wissenschaften. *Badgasteiner Badeblatt* 1962 (Nr. 34/38), 1967 (Nr. 35/39), 1968 (Nr. 29/34), 1969 (Nr. 32/37).

Summary

The measurements of deuterium and oxygen-18 in fresh and thermal waters of the Gastein area, carried out at the 2nd Department of Physics of the University of Heidelberg, displayed a contents of isotopes in the fresh-waters that is in conformity with the medium altitude of the recharge area, the decrease of concentration as a result of the effect of altitude amounting to appr. 2‰ per 100 m increase of altitude. The thermal waters show an extensively homogenous content of deuterium and ¹⁸O that varies only immaterially as a result of a mixture with fresh-water.

Since the difference between the contents of isotopes of the thermal waters and the fresh-water is very small, one can draw the conclusion that the thermal waters originated at similar climatic conditions as the fresh-waters. From the corresponding isotope-contents of the thermal- and fresh-waters we may also infer that the thermal waters are vadose waters.

These results represent a consistent supplementation and confirmation of the conclusions drawn from the ¹²C-, ¹³C- and ¹⁴C-investigations (T. FLORKOWSKI & C. JOB, 1969; C. JOB & J. ZÖTL, 1969). Assuming the average altitude of the recharge area of the thermal waters (which then comes down much deeper without doubt) to be about 1800 m, the probability is corroborated that the infiltration area is to be found in the granite-gneiss of the Hölltor-Rotgülden-massif east of the Grau- and Hüttenkogel.

Anschrift der Verfasser:

Dr. V. ZIMMERMANN, Zweites Physikalisches Institut der Universität Heidelberg, Philosophenweg 12, D-69 Heidelberg 1.
ao. Univ.-Prof. Dr. J. ZÖTL, Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz.