

Der Kaltwasseranteil in den Thermalquellen von Badgastein

Von C. JOB (Innsbruck) und F. SCHEMINZKY † (Innsbruck — Badgastein)¹

T. FLORKOWSKI und C. JOB (1969) haben die unterirdische Laufzeit der Gasteiner Thermalwässer nach der korrigierten Radiocarbon-Methode mit 3800 ± 300 Jahren (Austritte I/23—24) bzw. 3600 ± 1000 Jahren (Austritte IX/8—12) bestimmt. Das in den Austritten der Gasteiner Therme von H. E. SUSS (1961) und dann von C. JOB und J. ZÖTL (1969) sowie von C. JOB und J. MAIRHOFER (1970) nachgewiesene Tritium kann daher nur von oberflächlichen Kaltwasserzuflüssen stammen. Diese Anteile haben schon C. JOB und J. ZÖTL (1969) aus dem Tritiumgehalt und den gelösten Inhaltsstoffen des Thermalwassers bestimmt. Die Ionen Natrium, Sulfat, Chlorid und Fluorid sind zwar auch in den Kaltwässern der Gasteiner Gegend erhalten, haben in diesen jedoch eine wesentlich geringere Konzentration als in den Thermalwässern. Diese chemischen Unterschiede ermöglichten zusammen mit den seit den H-Bomben-Versuchen stark erhöhten Tritiumgehalten der Kaltwässer unter bestimmten Voraussetzungen die Berechnung des Mischungsverhältnisses. Die im Jahre 1967 durchgeführten Messungen erstreckten sich auf 8 Thermalquellen. Wir haben nun im Jahre 1971 die Untersuchungen wiederholt und auf insgesamt 15 Thermalquellen ausgedehnt.²

Die Gasteiner Thermalquellen, die sich durch ihre das Jahresmittel z. T. erheblich übersteigende Austrittstemperatur als umraumfremde Wasseraustritte erweisen, sind auf ein Austrittsgebiet verteilt, welches etwas südlich von der großen Brücke über die Ache beim Wasserfall bis etwas über das Hotel Gasteiner Hof nach Norden hinausreicht (Fig. 1). Diese Quellen sind vom Leiter des Forschungsinstitutes 1946 mit den römischen Ziffern I bis XIX gekennzeichnet worden, da sie vorher nur Eigennamen trugen; diese wurden im Laufe der Jahrhunderte geändert, ja sogar einige Male miteinander vertauscht. Um die Befunde an einzelnen Quellen auch für die Zukunft eindeutig zu kennzeichnen, wurde daher eine Numerierung eingeführt, der dann in Klammer die gerade gültige Namensgebung beigelegt wird; die Num-

¹ Aus dem Forschungsinstitut Gastein der Österr. Akademie der Wissenschaften (Mitt. Nr. 392).

² Die Tritiumbestimmungen wurden von Dr. J. MAIRHOFER an der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, ausgeführt.

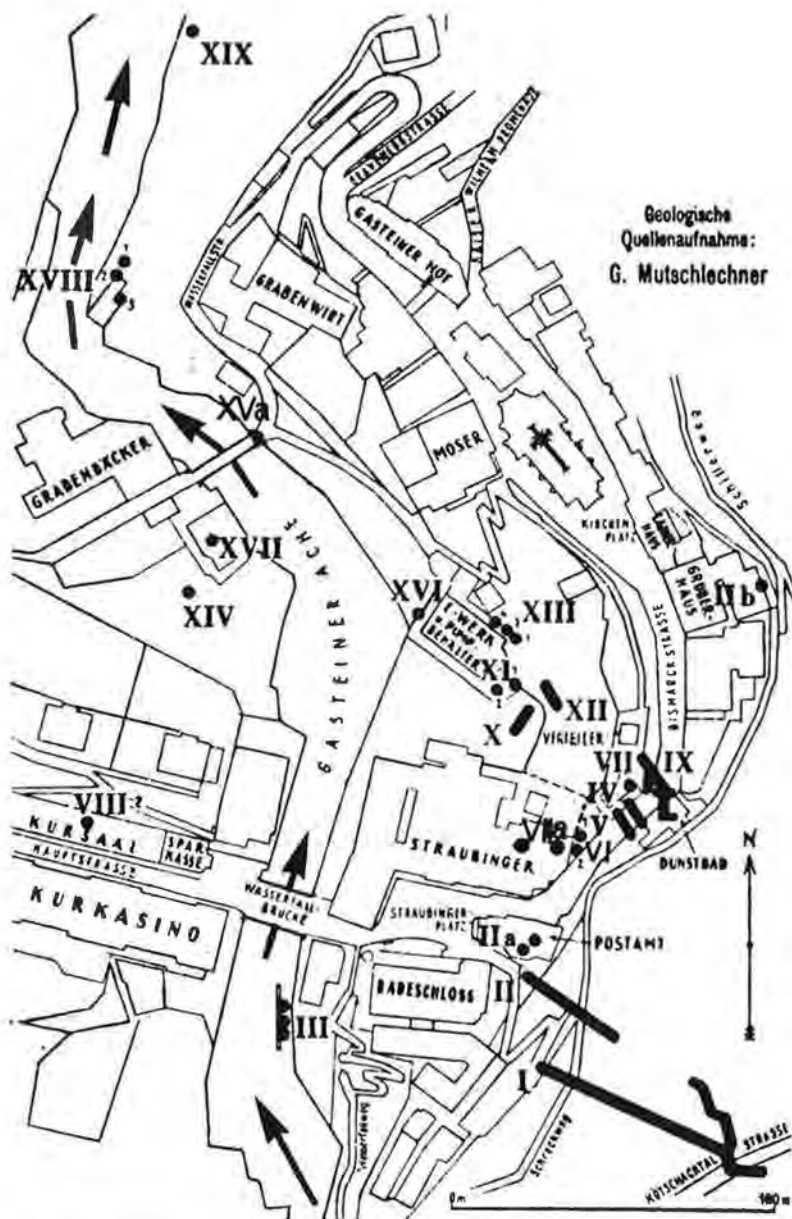


Fig. 1: Die Lage der Gasteiner Thermalquellen nach der Aufnahme von G. MUTSCHLECHNER (1954, ergänzt 1966).

mer bleibt, wenn auch in Zukunft etwa eine Namensänderung erfolgen sollte. Die Numerierung schloß sich an die Angaben der Quellkarte von REISSACHER (1865) an; allerdings sind heute drei dieser 1865 noch vorhandenen Quellen inzwischen versiegt, dafür wurden neue Warmwasseraustritte entdeckt, die ohne Änderung der Numerierung nur durch Zufügen von Buchstaben in das System eingefügt werden konnten. Als Ordnungsprinzip wurde die Höhenlage des Austrittes gewählt, derart, daß die am höchsten liegende Quelle mit I, die am tiefsten austretende mit XIX bezeichnet wurde. Neu aufgefundene oder neu aufgetretene Thermalwasseraustritte erhalten daher die ihrer Höhenlage entsprechende Ordnungsnummer mit Zusatz von a, b usw.; so gibt es heute neben der Quelle II auch eine mit IIa und eine mit IIb bezeichnete, außer der Quelle VII eine solche mit der Nummer VIIa und schließlich zur Quelle XV noch eine XVa. Nicht immer tritt eine Quelle bloß mit einem einzigen Warmwasserstrahl zutage; viele der Quellen haben mehrere Austritte, die nunmehr mit arabischen Zahlen gekennzeichnet werden, welche nach der römischen Quellennummer hinter einem Schrägstrich angeführt sind. So bedeutet beispielsweise X/3 den Austritt 3 der Quelle X (Fledermaus-Quelle). Die heute gültigen Kennzeichnungen gibt die folgende Übersicht wieder:

		Höhenlage
I	(Franz-Josephs-Quelle)	27 Austritte 1034 m
II	(Rudolfs-Quelle)	10 Austritte 1019 m
IIa	(Post-Quelle)	2 Austritte 1014 m
IIb	(Gruber-Haus-Quelle)	1 Austritt 1008 m
III	(Wasserfall-Quelle)	5 Austritte 1015 m
IV	(Alte Franzens-Quelle)	1 Austritt 1007 m
V	(Lainer-Quelle)	2 Austritte 1006 m
VI	(Doktor-Quelle)	2 Austritte 1002 m
VII	(Neue Franzens-Quelle)	2 Austritte 1001 m
VIIa	(Speisesaal-Quelle)	2 Austritte 996 m
VIII	(Wandelbahn-Quelle)	heute versiegt
IX	(Elisabeth-Quelle)	13 Austritte 995 m
X	(Fledermaus-Quelle)	5 Austritte 983 m
XI	(Mitteregg-Quelle)	2 Austritte 976 m
XII	(Reissacher-Quelle)	7 Austritte 975 m
XIII	(Kanal-Quelle)	4 Austritte 972 m
XIV	(Grabenbäcker-Quelle)	1 Austritt 968 m
XV	(Spritzwand-Quelle)	heute versiegt
XVa	(Brücken-Quelle)	1 Austritt 957 m
XVI	(Sophien-Quelle)	1 Austritt 964 m
XVII	(Mesnil-Quelle)	1 Austritt 958 m
XVIII	(Grabenwirt-Quelle)	3 Austritte 954 m
XIX	(Strochner-Quelle)	1 Austritt 937 m

Das mit diesen Quellen dem Boden entströmende Warmwasser ist zwar gleicher Herkunft, doch bestehen Unterschiede zwischen den einzelnen Quellen. Vor allem nimmt die Mineralisierung bei tiefer liegenden Quellen ab, derart, daß die Menge der gelösten festen Stoffe bei den Quellen XVIII oder XIX nur etwa halb so groß ist wie bei den Quellen mit den niedrigsten Ordnungsnummern. G. KIRSCH (1939) hat eine solche Abhängigkeit schon vermutet, endgültig nachgewiesen wurde sie von F. SCHEMINZKY (1962, 1966, 1967). Diese Befunde lassen sich nur so erklären, daß eine Verdünnung des aus der Tiefe aufsteigenden Thermalwassers durch weniger mineralisierte Oberflächenwässer erfolgt, wobei die Zumischung umso stärker ist, je tiefer der Quellaustritt erfolgt. Quantitative Angaben über die Größe der Kaltwasserzumischung in den einzelnen Quellen bzw. Quellaustritten waren jedoch erst durch die Tritiumbestimmungen möglich.

Die Grundlage der Berechnung des Kaltwasseranteils bildet die Mischungsregel

$$V_w \cdot C_w + V_k \cdot C_k = (V_w + V_k) C_m \quad (1)$$

V_w ist das Volumen des reinen Thermalwassers, V_k das Volumen des zuzitenden Kaltwassers. C_w bzw. C_k sind die Konzentrationen irgendeines in beiden Wasserarten gelösten Stoffes. C_m ist die Konzentration dieses Stoffes im Mischwasser der Quelle. Die Gleichung setzt die Menge des Stoffes im Mischwasser gleich der Summe seiner Mengen in den beiden Wasserarten, die das Mischwasser zusammensetzen. Vorausgesetzt, daß $C_w \neq C_k$ ist, ergibt sich der prozentuelle Kaltwasseranteil, wenn $V_w + V_k$ gleich 100 gesetzt wird:

$$V_k \% = \frac{100 (C_w - C_m)}{C_w - C_k} \quad (2)$$

Da C_w und C_k unbekannt sind, ist die Berechnung von V_k % nur unter gewissen Voraussetzungen möglich: Zunächst darf angenommen werden, daß das aus der Tiefe kommende Thermalwasser tritiumfrei ist, da seine unterirdische Laufzeit nach der Radiocarbonmethode ungefähr 3800 Jahre beträgt. In dieser langen Zeit ist das mit den atmosphärischen Niederschlägen in die Tiefe gelangte Tritium (T) wegen seiner relativ kurzen Halbwertszeit (rd. 12,3 a) längst zerfallen.

$$\text{Für } C_w^T = 0 \text{ folgt aus (2) } V_k \% = \frac{100 C_m^T}{C_k^T} \quad (3)$$

Für irgendeinen anderen gelösten Stoff (I) gilt

$$V_k \% = \frac{100 (C_w^I - C_m^I)}{C_w^I - C_k^I} \quad (4)$$

Die Gleichsetzung von (3) und (4) ergibt nach C_w^T aufgelöst

$$C_m^T = \frac{C_k^T}{C_w^I - C_k^I} \cdot C_w^I - \frac{C_k^T}{C_w^I - C_k^I} \cdot C_m^I \quad (5)$$

Falls die Kaltwässer, welche den einzelnen Thermalquellen zusitzen, alle den gleichen Tritiumgehalt und die gleiche Konzentration des zur Berechnung verwendeten Inhaltsstoffes haben, kann

$$\frac{C_k^T}{C_w^I - C_k^I} \text{ durch eine Konstante } = b \text{ ersetzt werden.}$$

Da sich die Konzentrationen der einzelnen Inhaltsstoffe in allen Verzweigungen des reinen Thermalwassers höchstwahrscheinlich nicht unterscheiden, kann auch

$$\frac{C_k^T}{C_w^I - C_k^I} \cdot C_w^I = b \cdot C_w^I \text{ durch eine Konstante } = a \text{ ersetzt}$$

werden. Gleichung (5) hat dann die Form einer Geraden:

$$C_m^T = a - b \cdot C_m^I \quad (6)$$

Tabelle 1: Tritiumgehalt, elektrolyt. Leitfähigkeit bei 20° C, Ionenkonzentrationen ($\mu\text{val/kg}$) und Metakieselsäuregehalt (mg/kg) der Thermalquellen von Badgastein. Probenahme 1.—2. 9. 1967.

Quelle	T. U.	μS	Na	SO_4	Cl	F	H_2SiO_3
I/23—24	37	432	3685	2862	764	292	39,5
VII	29	450	3882	2942	826	297	43,4
IX/8—12	65	420	3590	2769	739	276	38,9
X/3	100	380	3105	2463	619	240	35,0
XII/1	105	372	3008	2362	619	238	33,9
XIV	111	368	2920	2358	591	227	33,4
XVIII	203	321	2206	1866	490	178	27,0
XIX	350	308	1501	1286	442	88	17,8

d. h., wenn die genannten Voraussetzungen zutreffen, müssen die Tritiumgehalte und Ionenkonzentrationen der Quellwässer in einer linearen Beziehung stehen. Dies kann mit dem Korrelationskoeffizienten r geprüft werden. $r = \pm 1$ bedeutet, daß alle Meßwerte auf einer Geraden liegen, $r = 0$, daß keine lineare Beziehung besteht. Die der Berechnung zugrunde liegenden Meßwerte sind in Tabelle 1 und 2 zusammengestellt. Die beste Korrelation ergab sich zwischen den Tritium- und Fluoridwerten (1967: $r = -0,995$; 1971: $r = -0,982$). Auch die Tritium- und Sulfat- bzw. Metakieselsäurewerte sind sehr gut korreliert. Etwas weniger stramm ist die Beziehung zwischen den Tritium- und Natrium-

Tabelle 2: Seehöhe, Temperatur, Schüttung, elektrolyt. Leitfähigkeit (bei 20° C), Chlorid-Fluoridkonzentrationen ($\mu\text{val/kg}$) der Gasteiner Thermalquellen nach Untersuchungen und Probenahmen vom 1.—3. 9. 1971.

Quelle (Austritt)	m	°C	m ³ /Tag	T. U.	μS	Cl	F
I/20-24-Fr.-J.-Qu.	1034	45,4	108	34	425	793	305
II-Rudolfs-Quelle	1019	46,7	384	33	430	781	316
V-Lainer-Quelle	1006	46,7	166	43	440	812	321
VI/2-Doktor-Quelle	1002	45,0	108	44	437	795	305
VII-Neue Franzens-Quelle	1001	41,4	11	39	442	832	316
VIIa/1-Speisesaal-Quelle	996	38,1	?	39	425	798	300
IX/8-12-Elisabeth-Quelle	995	46,3	1800	51	410	767	289
X/3-Fledermaus-Quelle	983	35,3	4,3	73	382	677	274
XI/1-Mitteregg-Quelle	976	38,0	19	82	374	654	263
XII-Reissacher-Quelle	975	39,2	635	85	368	649	258
XIV-Grabenbäcker-Quelle	968	35,5	80	84	370	635	253
XVI-Sophien-Quelle	964	36,5	103	80	372	669	263
XVII-Mesnil-Quelle	958	37,0	98	86	368	635	242
XVIII-Grabenwirth-Quelle	954	21,2	9	148	305	578	168
XIX-Strochner-Quelle	937	15,6	25	247	270	426	105

Tabelle 3: Korrelationskoeffizient und Konstanten der linearen Beziehung zwischen den Tritiumgehalten und den Ionenkonzentrationen der Gasteiner Thermalquellen. 1967 wurden 8, 1971 15 Quellen untersucht. Die Konstante a entspricht dem Tritiumgehalt des Kaltwassers. a/b sind Ionenkonzentrationen im reinen Thermalwasser.

	1967				1971			
	-r	-b	a	a/b	-r	-b	a	a/b
μS	0,908	1,892	846	447	0,949	1,055	487	462
Na^+	0,979	0,130	512	3983				
SO_4^{2-}	0,988	0,188	569	3027				
Cl^-	0,903	0,717	581	810	0,942	0,474	409	863
F^-	0,995	1,524	475	312	0,982	0,927	324	350
H_2SiO_3	0,990	1,300	561	43,2				

gehalten, noch lockerer zwischen Tritium und Chlorid bzw. der elektrolytischen Leitfähigkeit. Die den einzelnen Quellen zusitzenden Kaltwässer haben demnach alle nahezu den gleichen Fluorid-, Sulfat- und Metakieselsäuregehalt, unterscheiden sich jedoch etwas in den Natrium- und noch mehr in den Chloridkonzentrationen bzw. in der Gesamtmineralisierung (elektrolytische Leitfähigkeit). Die drei letztgenannten Meßgrößen sind deshalb für die Ermittlung des Kaltwasseranteils weniger gut geeignet als die Fluorid-, Sulfat- und Metakieselsäurewerte.

Aus $b = \frac{C_w^T}{C_w^F - C_w^Cl}$ ergibt sich die Tritiumkonzentration

des Kaltwassers: $C_w^T = b (C_w^F - C_w^Cl)$ bzw. wenn C_w^Cl gegenüber C_w^F so gering ist, daß man es vernachlässigen kann:

$C_w^T = b C_w^F = a$. Andernfalls kann für C_w^Cl ein aus mehreren Kaltwasserquellen der Umgebung ermittelter Durchschnittswert eingesetzt werden. Die Bedingung $C_w^Cl = 0$ trifft in Gastein für keinen Inhaltsstoff exakt zu, da alle bisherigen Analysen gezeigt haben, daß die in den Thermalwässern hervortretenden Inhaltsstoffe in geringer Konzentration auch in den Kaltwässern vorkommen. Die berechneten Tritiumgrenzwerte (Tab. 3, Stab a) sind deshalb etwas größer als der tatsächliche Tritiumgehalt des Kaltwassers. Der niedrigste berechnete Tritiumwert kommt dem tatsächlichen Tritiumgehalt am nächsten. In beiden Untersuchungsjahren wurde der niedrigste Tritiumwert mit den Fluoridwerten erhalten. Der Fluoridgehalt der reinen Kaltwässer in der Umgebung der Thermalquellen ist sehr gering. In der Naßfelder Ache wurde 1967 ein Jahresdurchschnitt von $2 \pm 3 \mu\text{val F/l}$ gemessen. Die Kaltwässer des Graukogelhanges, an dessen Fuß die Thermen austreten, sind ebenfalls sehr fluoridarm. Ihr mittlerer Fluoridgehalt liegt bei $4 \mu\text{val/l}$. Demgegenüber enthält das reine Thermalwasser im Durchschnitt rd. $330 \mu\text{val F/l}$, also rd. 83mal mehr Fluorid als das Kaltwasser. Den höchsten Tritiumwert ergab die Berechnung mit der elektrolytischen Leitfähigkeit (μS). Für diese trifft natürlich die Nullbedingung am wenigsten zu, da das den Thermalquellen zusitzende Kaltwasser sicher kein destilliertes Wasser ist.

Aufgrund der Beziehung $a = b C_w^F$ kann auch die Konzentration der Inhaltsstoffe im reinen aus der Tiefe kommenden Thermalwasser berechnet werden (Tab. 3, Stab a/b).

Für die Berechnung der Kaltwasseranteile in den einzelnen Thermalquellen wurde die Tritium-Fluorid-Beziehung gewählt, weil diese den besten Korrelationskoeffizienten hat und der Konzentrationsunterschied des Fluorid-Ions im Thermal- und Kaltwasser am größten ist. Die oberste Zeile der Tabelle 4 enthält die Grunddaten der Berechnung. Die auf ganze Prozente gerundeten Kaltwasseranteile von 1967 und 1971 ergaben parameterfrei getestet (U-Test) keinen signifikanten

Tabelle 4: Kaltwasseranteile der Gasteiner Thermalquellen, Anfang September 1967 bzw. 1971 berechnet mit den in der obersten Zeile der Tabelle angegebenen Bedingungen.

Quelle	1. bis 2. September 1967			1. bis 3. September 1971		
	T.U. _i = 0 T.U. _k = 469	F _i = 312 F _k = 4	Mittel	T.U. _i = 0 T.U. _k = 320	F _i = 350 F _k = 4	Mittel
I/20—24	7,9	6,5	7	10,6	13,0	12
II				10,3	9,8	10
V				13,4	8,4	11
VI/2				13,8	13,0	13
VII	6,2	4,9	6	12,2	9,8	11
VIIa/1				12,2	14,5	13
IX/8—12	13,9	11,7	13	15,9	17,6	17
X/3	21,3	23,4	22	22,8	22,0	21
XI—1				25,6	25,1	25
XII	22,4	24,0	23	26,6	26,6	27
XIV	23,7	27,6	26	26,3	28,0	27
XVI				25,0	25,1	25
XVII				26,9	31,2	29
XVIII	43,3	43,5	43	46,3	52,6	49
XIX	74,6	72,7	74	77,2	70,8	74

Unterschied. Der Kaltwasserzutritt in den einzelnen Thermalquellen ist demnach ziemlich konstant. Die höher austretenden Thermalwässer I/23—24 bis VIIa/1 bilden eine Gruppe von 6 Quellen, deren Kaltwasseranteil sich im Rahmen der Fehlergrenzen nicht unterscheidet (Mittel 12%). Eine zweite Gruppe von Quellen, deren Kaltwasseranteil ebenfalls nicht signifikant verschieden ist, umfaßt 6 Quellen mit einem mittleren Kaltwasseranteil von 26%. Es sind dies die tiefer und näher der Gasteiner Ache entspringenden Thermen X/3 bis XVII (siehe Abb. 1). Der Kaltwasseranteil der Quelle IX (Elisabeth-Quelle) liegt zwischen diesen Werten (17%) und kann keiner der beiden Gruppen mit größerer Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Von den bisher angeführten Quellen unterscheiden sich durch wesentlich höhere Kaltwasseranteile die beiden tiefsten und nahe am rechten Acheufer austretenden Quellen XVIII und XIX.

Zusammenfassung

Die Kaltwasseranteile der Gasteiner Thermalquellen wurden aus den Tritium- und Fluoridgehalten der Wässer berechnet. Die Meßwerte vom September 1967 und 1971 lieferten gut übereinstimmende Ergebnisse. Nach ihrem Kaltwassergehalt lassen sich 3 Quellgruppen abgrenzen: 6 Quellen, die zwischen 1034 und 996 m ü. N. N. entspringen, enthalten im Mittel rd. 12% Kaltwasser; 6 weitere Quellen, die

zwischen 983 und 955 m ü. N. N. austreten, haben einen Kaltwasseranteil von rd. 26⁰/. Die in 955 m entspringende ergiebigste Thermalquelle Badgasteins, die Quelle IX (Elisabeth-Quelle) enthält 17⁰/o Kaltwasser. Wesentlich höhere Kaltwasseranteile (rd. 46 bzw. 74⁰/o) haben die zuunterst am Graukogelhang, nahe der Gasteiner Ache austretenden Quellen XVIII und XIX.

Literatur

FLORKOWSKI, T., and C. JOB: Origin and Underground Flow Time of Thermalwaters in Crystalline Basement Complexes. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Geologie, **21**, Graz 1969.

JOB, C., und MAIRHOFER: Der Tritiumgehalt der Kalt- und Warmwässer im Gasteiner Raum. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **22**, Graz 1970.

JOB, C., und J. ZÖTL: Zur Frage der Herkunft des Gasteiner Thermalwassers. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **21**, Graz 1969.

KIRSCH, G.: Vorläufige Mitteilung über quellchemische Untersuchungen der Gasteiner Thermen. Balneologie, **6**, 1939.

SCHEMINZKY F.: Tätigkeitsbericht des Forschungsinstituts der Österr. Akademie der Wissenschaften. Gasteiner Badeblatt, Nr. 38/41, 1966; Nr. 35/39, 1967.

Suess, H. E., zit. nach F. SCHEMINZKY: Tätigkeitsbericht der Wissenschaften. Badgasteiner Badeblatt, Nr. 34/38, 1962.

Summary

The fresh water percentage of the thermal springs of Badgastein was calculated by means of their tritium and fluoride content. The data measured in September 1967 and 1971 show similar results. As to the freshwater content, three groups of springs can be distinguished: six springs situated in an altitude between 1034 m and 996 m a. s. l., with an average of 12⁰/o of freshwater content; six springs situated in an altitude between 983 m and 955 m a. s. l., having an average of 26⁰/o of freshwater content. Between these values lies the largest thermal spring of Badgastein (No. IX, Elisabeth-Quelle, 955 m a. s. l.) with a freshwater content of only 17⁰/. The lowest situated springs No. XVIII and XIX (in an altitude of 954 m and 937 m a. s. l., resp.) reach the highest freshwater content (46 resp. 74⁰/o).

Anschrift des Verfassers:

a. o. Univ.-Prof. Dr. C. JOB, Institut für Balneologie der Universität Innsbruck, Schöpfstraße 41, A-6020 Innsbruck.