

Der Tritiumgehalt der Kalt- und Warmwässer im Gasteiner Raum

Von C. JOB (Innsbruck) und J. MAIRHOFER (Wien)

Bei den Untersuchungen von Thermal- und Kaltwässern im Gasteiner Raum in den Jahren 1966 und 1967 wurden auf Anregung von Univ.-Prof. Dr. J. ZÖTL neben periodischen chemischen Analysen auch monatliche Kontrollen des Tritiumgehaltes durchgeführt.

Teilergebnisse dieser Untersuchungen, an denen vorübergehend auch die Abteilung für Hydrologie der International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wien beteiligt war, wurden bereits von F. FLORKOWSKI und C. JOB (1969), C. JOB und G. MUTSCHLECHNER (1969), C. JOB, G. MUTSCHLECHNER und J. ZÖTL (1969) in dieser Zeitschrift publiziert. Eine zusammenfassende Darstellung haben C. JOB und J. ZÖTL (1969) gegeben. Periodische Referate über diese Arbeiten erschienen in den Tätigkeitsberichten des Forschungsinstituts Gastein (F. SCHEMINZKY, 1967, 1968, 1969).

1. Die hydrogeologische Situation

Die hydrogeologische Situation des Gasteiner Tals wurde schon in einer früheren Mitteilung in dieser Zeitschrift ausführlich beschrieben (C. JOB und J. ZÖTL, 1969) und soll daher hier nur kurz gestreift werden.

Durch die weitgehende Abtragung der überdeckenden Schieferhülle ist im Gasteiner Raum der Zentralgneis der Hohen Tauern an die Oberfläche getreten. Dieses Gestein ist z. T. stark geklüftet und gebankt und dementsprechend bis in größere Tiefe wassergängig, wie die vielen Wassereinbrüche in dem rund 8,5 km langen Tauerntunnel zeigen (C. JOB und G. MUTSCHLECHNER, 1969). Auch die Abflüsse der zahlreichen Karsen in den oberen Lagen des Zentralgneisgebietes versickern mitunter zur Gänze in Zerrspalten des Gneises.

Junge hydrologisch bedeutsame Bildungen sind die Moränen, Bergsturzmassen und eingeschwemmte Talfüllungen. Die Moränenreste führen in den tiefer liegenden Bereichen viel toniges Material. Sie stauen die Wässer des dahinterliegenden Kluftsystems, so daß gelegentlich starke Quellen (Schachen-Quelle) an ihrer Oberkante austreten und zahlreiche kleine Wasserriesel aus der Moränenverkleidung hervor-

brechen. Wasserstauend wirken auch die sandig-schotterigen Talfüllungen, wodurch starke Hangfußquellen entstehen. Als Wasserzubringer besonders wirksam sind die ausgedehnten Bergsturzgebiete. In dem grobblockigen Material versinkt das Niederschlagswasser rasch, Oberflächengerinne können sich nur selten entwickeln. Die starke durchschnittliche Hangneigung des Gebietes begünstigt den kurzfristigen Abfluß. Echte Grundwasserkörper bilden sich nur in den Taleinschnitten, deren durch Gletscherwirkung ausgetiefte Tröge mit Lockermaterial ausgefüllt sind.

Die Thermalquellen von Badgastein entspringen mit Temperaturen zwischen 46,5 bis 23,4⁰ C und einer genutzten Tagesleistung von rund 4,5 Millionen Liter direkt im Ortsgebiet. In der Mehrzahl treten sie aus dem untersten Teil des NW-Hanges des Graukogels am rechten Ufer der Gasteiner Ache hervor. Nur zwei Quellen entspringen am linken Achenufer. Das Thermalwasser steigt sehr wahrscheinlich in dem NNE-streichenden und steil nach Osten einfallenden Bergklüften des Zentralgneises auf, der hier nur von einer dünnen Schürze aus Moränen und Bergsturzmaterial verkleidet ist. Die Quellen kommen gerade dort an die Oberfläche, wo der tiefe Einschnitt der Gasteiner Ache unterhalb der Gasteiner Talstufe auf diese Klüfte trifft (Ch. EXNER, 1957). Die unregelmäßige Verzweigung des Spaltensystems führt zu einer großen Zahl von Einzelaustritten. In den oberen Quellwegen mischen sich diesen Austritten unterschiedliche Mengen von Kaltwasser aus dem Grundwasserschleier bei. Diese Zumischung vermindert den Mineralgehalt des aus der Tiefe aufsteigenden Thermalwassers und bewirkt Unterschiede in der Mineralisierung und Temperatur der einzelnen Austritte. Im allgemeinen nimmt die Kaltwasserbeimischung hangabwärts zu (E. G. KOMMA und F. SCHEMINZKY, 1967).

Eine erste Orientierung über den Tritiumgehalt der Kalt- und Warmwässer brachte die am 17. Oktober 1966 erfolgte Probenahme, die sich auf insgesamt zehn Kaltwässer der näheren Umgebung von Badgastein und zwölf Thermalwässer erstreckte. Dieses „Screening“ wurde im November und Dezember 1966 fortgesetzt und durch Proben von drei Kaltwasserquellen ergänzt, die aus dem unteren Teil des Graukogelhanges austreten. Diese Quellen wurden in die Untersuchung einbezogen, weil sie eine deutlich höhere Temperatur (ca. 10⁰ C) haben als die übrigen Kaltwässer der Gasteiner Gegend (ca. 4⁰ C), obwohl auch sie nach chemischen Kriterien nur gewöhnliches Oberflächenwasser führen (Kirchbach-Quelle 2, Hirschen-Quelle Nord bzw. Süd). Im Dezember 1966 wurden dann noch vier weitere Thermal- bzw. Mischwasseraustritte auf ihren Tritiumgehalt untersucht, um eine möglichst breite Grundlage für die Auswahl jener Quellen zu erhalten, die im Jahre 1967 monatlich kontrolliert werden sollten. Schließlich wurden hierfür sechs Kaltwässer und acht Thermalwässer ausgewählt. Zwischen Dezember 1966 und September 1967 wurde auch der Tritium-

gehalt der monatlichen Niederschläge aus dem Ortsgebiet von Badgastein gemessen. Im Oktober 1969, zwei Jahre nach diesen Untersuchungen, wurde dann noch der Tritiumgehalt von vier Wässern aus dem Südabschnitt des Tauerntunnels untersucht, worüber ebenfalls in dieser Mitteilung berichtet werden soll.

Die Quellwasserproben wurden mit Ausnahme der Schachen-Quelle direkt am Quellursprung gezogen. Letztere entspringt 1490 m ü. A. und ist besonders in den Wintermonaten schwer zugänglich. Die Wasserproben mußten daher aus einer Zuleitung zu dem in Badgastein gelegenen Hochbehälter entnommen werden. Die Wässer wurden in verschraubbare Glasflaschen abgefüllt. Die Tritiumbestimmungen erfolgten im Isotopenlaboratorium der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien, die chemischen Analysen am Balneologischen Institut der Universität Innsbruck. Über die chemische Zusammensetzung der Wässer und über die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen wurde schon in einer früheren Mitteilung berichtet (C. JOB und J. ZÖTL, 1969).

2. Die Methode der Tritiumbestimmung

Bei der Bestimmung des Tritiumgehaltes wurde in folgender Weise vorgegangen: Nach einer Destillation wurden 250 ccm des Probenwassers in die Elektrolysezelle gegeben und diese nach Zugabe eines Elektrolyten (2 g Na_2O_2) gewogen. Nach der elektrolytischen Anreicherung wurde die Zelle wieder gewogen und so der Anreicherungsfaktor bestimmt.

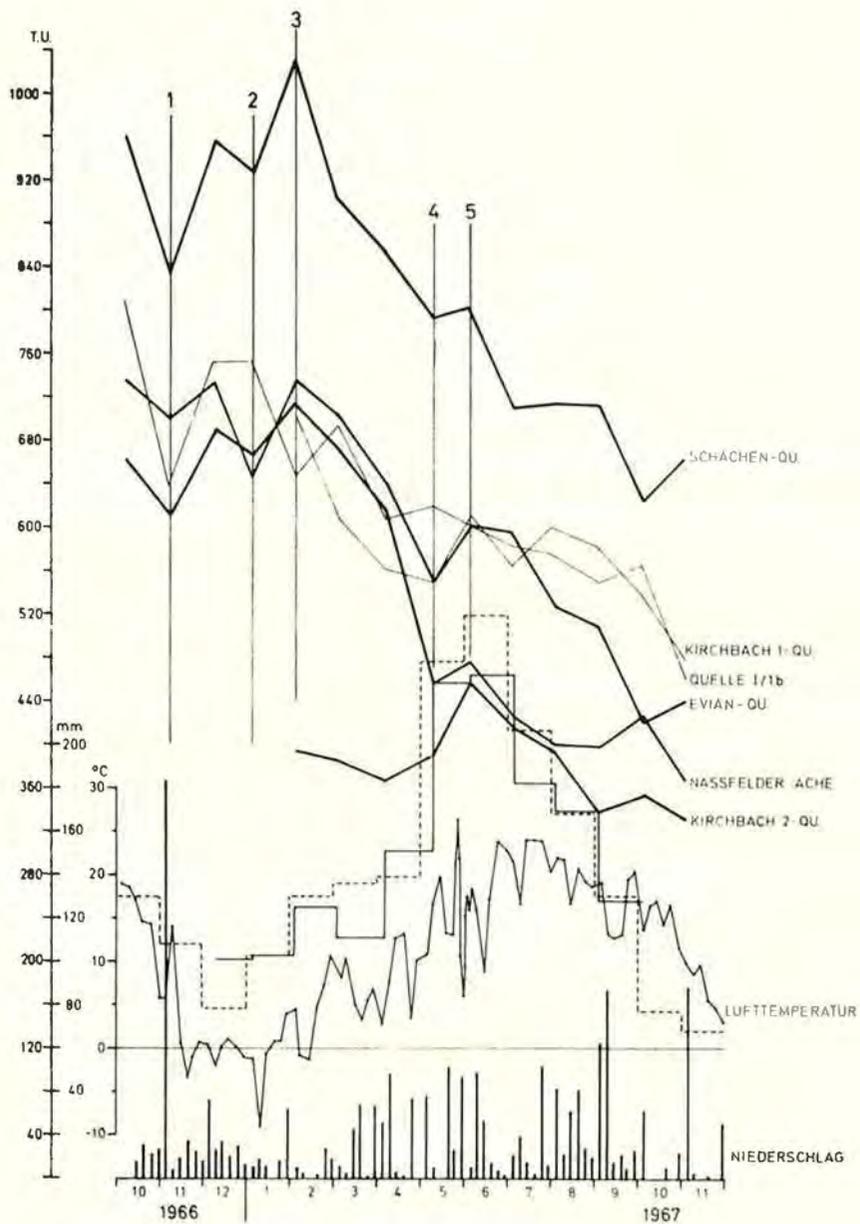
Nach neuerlicher Destillation des angereicherten Wassers wurden von diesem 4 ccm mit 16 ccm Dioxan, dem vorher PPO, POPOP und Naphthalin zugesetzt worden war, vermischt. Diese Lösung wurde im Flüssigkeitsszintillations-Spektrometer der Fa. Packard gemessen und der Tritiumgehalt durch Vergleich mit einem Standard des NBS ermittelt.

3. Die Ergebnisse

3.1. Der Tritiumgehalt der Niederschläge in Badgastein und in Wien

Die Tritiumkonzentrationen in den monatlichen Niederschlägen in Badgastein wurden vom Dezember 1966 bis September 1967 gemessen. Die Probe vom Oktober 1967 ging durch Flaschenbruch verloren.

Die Werte zeigten die bekannte Jahresrhythmik mit einem Minimum vom Dezember bis März (Mittel 221 T.U.), dem im April und Mai ein rascher Anstieg zum Sommermaximum im Juni (463 T.U.) folgte. Von da an fielen die Werte bis auf 256 T.U. im September 1967 ab (Fig. 1). Die Tritiummeßwerte auf der Hohen Warte in Wien verliefen im großen und ganzen ähnlich wie in Badgastein. Geringe Unterschiede



zeigten sich im wesentlichen nur in der ersten Jahreshälfte und sind möglicherweise auf die nicht ganz übereinstimmenden Sammelperioden zurückzuführen. Der Durchschnitt beider Meßreihen (Tabelle 1) ergibt

Tabelle 1: Tritiumgehalt und Niederschlagshöhe in Badgastein bzw. Wien

	Mittlere Niederschlagshöhe Dez. 66—Sept. 67 mm	Mittlerer Tritiumgehalt Dez. 66—Sept. 67 T.U.	Mittlere Niederschlagshöhe Mai—Juli 67 mm	Mittlerer Tritiumgehalt Mai—Juli 67 T.U.
Badgastein	110	307	116	428
Wien	54	318	62	469

keine wesentliche Differenz, obwohl die Niederschlagsmenge in Badgastein fast doppelt so groß war. Die Tritiumkonzentration ist demnach zumindest innerhalb eines engeren Gebietes (Luftlinie Wien—Badgastein rund 270 km) von der lokalen Niederschlagsmenge weitgehend unabhängig. Wie CROOKS et al. (1960) gezeigt haben, ist dies auch beim Strontium-90 der Fall. Vergleicht man die Badgasteiner und Wiener Meßwerte in den Monaten Mai bis Juli (Tabelle 1), so zeigt sich eine etwas größere Differenz als im Jahresdurchschnitt. Unterschiede dieser Größenordnung beobachteten auch GUIZERIX et al. (1967) in der Provence. Inwieweit hierfür bevorzugte Windrichtungen oder lokale Unterschiede der Evaporation eine Rolle spielen, ist nicht geklärt.

3. 2. Der Tritiumgehalt der Gasteiner Kaltwässer

3. 2. 1. Orientierende Analysen in der Zeit vom Oktober bis Dezember 1966

Das Ergebnis der ersten orientierenden Tritiummessungen in den Kaltwässern des Gasteiner Raumes zeigt Tabelle 2. Da der mittlere methodische Fehler der Tritiumbestimmung beim elektrolytischen Anreicherungsverfahren etwa $\pm 10\%$ beträgt, wenn die Meßwerte zwischen 100 und 1000 T.U. liegen, wurden alle innerhalb dieser Fehlergrenze gefundenen Werte in eine Gruppe zusammengefaßt. Dieses Vorgehen ergibt drei Wassergruppen mit signifikant verschiedenen Tritium-

Fig. 1: Monatliche Tritiumwerte in den kalten Quellen und in der Naßfelderache. Verlaufskurven mit mehrfach übereinstimmenden Verhalten sind durch dicke Linien hervorgehoben, charakteristische Meßwerte sind durch senkrechte Linien (1—5) markiert. Die gestuften Linien entsprechen den Monatsmitteln des Tritiumgehaltes der Niederschläge in Badgastein (ausgezogene Linie) bzw. in Wien (gestrichelte Linie). Die Lufttemperaturkurve gibt die Mittelwerte der täglichen Temperaturmaxima in jeweils 5 Tagen an. Am unteren Rand der Figur ist die Höhe der Niederschläge (Mittel von 5 Tagen) verzeichnet.

gehalten. Die überwiegende Mehrzahl der untersuchten Wässer ergab einen Mittelwert von 669 ± 63 T.U. In diesen Rahmen fallen die Tritiumwerte aller Bachwässer und der größeren Quellen, die der Trinkwasserversorgung Badgasteins dienen, sowie die beiden Kaltwasser-Einbrüche in den Thermalquellstollen der Franz-Josef-Quelle (I/1 b) bzw. der Elisabeth-Quelle (IX/1 a). Die genannten Wässer entspringen an weit auseinander liegenden Stellen des Gasteiner Raumes. Der Mittelwert von rund 670 T.U. dürfte daher repräsentativ für den Tritiumgehalt der oberen Grundwasserschichten dieser Gegend im Herbst 1966 gewesen sein. Mehrere Wässer (Tabelle 2; 2, 4, 5, 6, 9, 10) zeigten einen verhältnismäßig starken Abfall der Tritiumwerte im November 1966, dem nach Ausweis der Dezembermeßwerte, die allerdings nur in einer beschränkten Zahl vorliegen, ein deutlicher Wiederanstieg folgte.

Tabelle 2: Tritiumgehalt der kalten Quellen. Sh = Höhenlage des Quellaustrittes in m ü. A. Alle innerhalb der Meßfehlergrenzen ($\pm 10^0\%$) gelegenen Tritiumwerte wurden zu einer Gruppe zusammengefaßt, deren Mittelwert (\bar{x}) und Streuung ($\pm S$) im rechten Stab der Tabelle angegeben ist.

Nr.	Kaltwässer	Sh	17. 9. 1966	7. 11. 1966	9. 12. 1966	$\bar{x} \pm S$
1	Schachen-Quelle	1490	960	834	956	916 ± 72
2	Kohlgruben-Quelle	1350	723	627		
3	Knappen-Bach	1300	587	602		
4	Heilstollen, 310 m	1300	600	551		
5	Nassfelder Ache	1149	662	610	690	
6	Evian-Quelle	1149	735	699	713	
7	Scholz-Quelle	1140	711	708		
8	Patschgen-Quelle	1090	711	679		
9	I/1 b	1043	807	638	755	
10	IX/1 a	995	656	597	650	669 ± 63
11	Kirchbach-Quelle 2	1130			409	
12	Hirschen-Quelle Nord	1100			320	
13	Hirschen-Quelle Süd	1100			342	357 ± 46

Dieser Novemberabfall wurde durch die ungewöhnlich starken Regenfälle hervorgerufen, die wenige Tage vor der Probenahme im Untersuchungsgebiet niedergingen. Der Zutritt des an Tritium ärmeren Regenwassers (Monatsmittel in Wien im November 1966 220 T.U.) erfolgte auch in unter Tag gefaßten Trinkwasserquellen (Evian-Quelle), was die Notwendigkeit ausreichender Quellschutzgebiete unterstreicht. Auffallend ist, daß der Novemberabfall der Tritiumwerte im Knappenbach (3) nicht gefunden wurde, wohl aber in einer 310 m im Inneren des Thermalstollens von Bockstein entspringenden Quelle (4), obwohl

es sich auf Grund der geologischen Verhältnisse in beiden Fällen um dasselbe Wasser handeln muß. Die Stollen-Quelle tritt nämlich aus einem W-fallenden Zerrüttungsstreifen (Wantschler Fäule) aus, der 500 m höher im Bachbett des Knappenbaches ausbeißt (K. ZSCHOCKE, 1965). Man kann das unterschiedliche Verhalten der Tritiumwerte in diesen beiden Wässern im November 1966 damit erklären, daß der Novemberabfall im Knappenbach zum Entnahmezeitpunkt schon vorbei war, als er mit dem durch die Fäule absackenden Wasser im Stollen eintraf. Diese kurze Laufzeit (rd. 780 m in wenigen Tagen) zeigt, wie wassergängig Zerrüttungsstreifen in dem sonst so dichten Granosyenit sein können.

Der Tritiumgehalt der Schachen-Quelle (1) ergab vom Oktober bis Dezember 1966 einen Mittelwert von 916 ± 72 T.U. Das Schachenwasser unterscheidet sich daher deutlich von den bisher besprochenen Wässern. Auch in der Schachen-Quelle kam es im November 1966 durch das Eindringen kurzfristig abfließender Niederschlagswässer zu einem markanten Abfall der Tritiumwerte. Der Tritiumgehalt des **langfristigen** Abflusses dieser Quelle ist daher noch etwas höher als der angegebene Mittelwert anzusetzen. Da die Tritiumkonzentrationen der Niederschläge in den Vorjahren höher waren, ist anzunehmen, daß die Schachen-Quelle älteres Wasser führt als die übrigen Gasteiner Kaltwasserquellen.

Eine dritte Gruppe von Quellen (Tabelle 2; 11 bis 13) ist durch einen auffallend niedrigen Tritiumgehalt gekennzeichnet (Mittelwert 357 ± 56 T.U.). Diese Quellen treten im unteren Teil des moränenverkleideten NW-Hanges des Graukogels aus. Ihre Wasserspende ist sehr gering und erreicht im Sommer nur ca. 0,2 bis 1,2 l/s. Die unmittelbare Nachbarschaft zu den Thermalquellen führt zu einer merklichen Aufwärmung, obwohl nach Ausweis der chemischen Analysen keine direkte Zumischung von Thermalwasser stattfindet. Ein Zutritt von Thermalwasserdampf ließ sich allerdings nicht mit Sicherheit ausschließen. Ursprünglich wurden die auffallend niedrigen Tritiumkonzentrationen dieser Wässer daher auch mit einer rund 50%igen Zumischung von Tritium-freiem Wasserdampf aus den Thermalquellen zu erklären versucht. Periodische Kontrollen machten es aber dann doch wahrscheinlicher, daß diese Quellen vorwiegend rezentes Niederschlagswasser führen, denn ihr Tritiumgehalt folgt zumindest im Sommer weitgehend dem Tritiumgehalt des Regens.

3. 2. 2. Monatliche Messungen vom Dezember 1966 bis November 1967

Fig. 1 zeigt den Jahrgang der Tritiumwerte in den insgesamt sechs Kaltwässern, die während des Jahres 1967 monatlich kontrolliert wurden. Es sind drei Verlaufsgruppen mit verschiedentlich hohem Tritiumgehalt zu erkennen. Die Schachen-Quelle zeigte über die gesamte Beobachtungszeit die höchsten Tritiumwerte (Mittelwert vom Dezember

1966 bis Oktober 1967: 802 T.U.). Im Mittelfeld der Fig. 1 liegen vier Wässer mit mittleren Tritiumwerten von 619 T.U. (Kirchbach-Quelle 1), 616 T.U. (I/1 b), 589 T.U. (Evian-Quelle) und 525 T.U. (Naßfelder Ache). Deutlich niedriger war der mittlere Tritiumgehalt der Kirchbach-Quelle 2 (385 T.U.).

In allen Wässern ist die Tritiumkonzentration in der Beobachtungsperiode zurückgegangen. Der Gesamtrückgang betrug in der Schachen-Quelle und in der Quellgruppe mit dem mittleren Tritiumgehalt rund 300 T.U., in der Kirchbach-Quelle 2 jedoch nur rund 80 T.U.

Die Jahresganglinie der Tritiumwerte zeigt ziemlich starke Monatschwankungen, deren Entstehungsursache zumindest teilweise verständlich wird, wenn man die Regenfälle, die Schneeschmelze, die Lufttemperatur und die Änderungen im Mineralgehalt der Wässer (elektrolytische Leitfähigkeit) betrachtet. Zur besseren Übersicht wurden durch besonders charakteristisch erscheinende Verlaufspunkte der Fig. 1 senkrechte Linien gezogen und außerdem vier Wässer, deren Verhalten in der Mehrzahl der Meßpunkte übereinstimmt, durch dickere Linien besonders hervorgehoben.

Anfang November 1966 (1) ging der Tritiumgehalt in allen Wässern deutlich zurück. Hierfür war, wie bereits erwähnt, ein starker Regenschauer wenige Tage vor der Probenahme verantwortlich, der auch an einer Schüttungsspitze der Naßfelder Ache deutlich zu erkennen ist (Fig. 2). Nach dem Wiederanstiegen der Meßwerte im Dezember 1966 ist im Jänner 1967 (2) in drei Wässern neuerlich ein Tritiumrückgang zu erkennen, der jedoch im Kaltwasser der Quelle I/1 b, die im Ortsgebiet von Badgastein entspringt, nicht aufscheint. Ein Blick auf die am unteren Rand der Fig. 1 verzeichneten Niederschlagsmengen zeigt, daß die Station Badgastein in dieser Zeit keine nennenswerten Niederschläge registriert hat. Dennoch muß es außerhalb Badgasteins im Quellgebiet der Schachen- und Evian-Quelle und im Einzugsgebiet der Naßfelder-Ache stärker geregnet haben oder zu einer vorübergehenden Schneeschmelze gekommen sein, denn gleichzeitig mit dem Tritiumrückgang hat die elektrolytische Leitfähigkeit dieser Wässer ab- und die Wasserspende der Naßfelder-Ache zugenommen (Fig. 2). Im folgenden Monat Februar (3) liegen die Tritiumwerte in der Schachen- und Evian-Quelle und in der Naßfelderache höher, in der Quelle I/1 b dagegen tiefer als im Vormonat. Eine Woche vor der Probenahme waren stärkere Niederschläge gefallen. Sie können jedoch nicht die Ursache des Tritiumrückganges in der Quelle I/1 b gewesen sein, da sich die elektrolytische Leitfähigkeit erhöht hatte (Fig. 2). In diesem Fall konnte der Sachverhalt erst durch das Ergebnis der chemischen Wasseranalyse geklärt werden, die zeigte, daß in der Quelle I/1 b die Konzentration typischer Thermalwasser-Ionen (Na, Cl, SO₄) zugenommen hatte. Es war demnach zu einem geringfügigen Einbruch von Tritium-armem Thermalwasser aus den in nächster Nachbarschaft austretenden Warmquel-

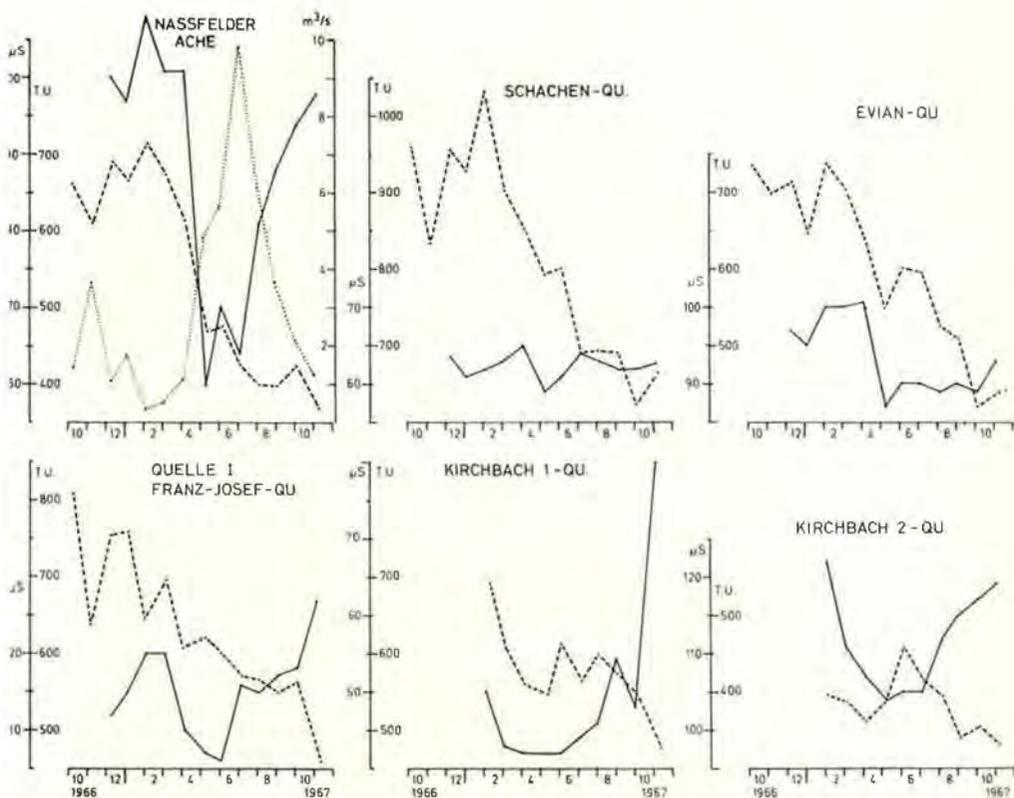


Fig. 2: Monatliche Tritiumwerte (gestrichelte Linie) u. elektrolytische Leitfähigkeit (ausgezogene Linie) in μS bei 20°C . Die punktierte Linie entspricht dem Tagesmittel der Wasserführung in der Naßfelderache beim Pegel Bockstein an den Entnahmetagen (nach Messungen der Salzburger A. G. für Elektrizitätswirtschaft, SAFE).

len gekommen. Im März und April gingen die Tritiumwerte in nahezu allen Quellen stark zurück und erreichten Anfang Mai (4) einen Tiefpunkt. Nur die Quelle I/1 verhält sich etwas abweichend, wahrscheinlich wegen der ständig wechselnden Zumischung einer geringen Thermalwasserkomponente. Der allgemeine Rückgang ist in erster Linie auf die Schneeschmelze zurückzuführen, die schon ab Mitte Februar durch die über 0°C ansteigende Lufttemperatur eingesetzt hatte. Auffallend ist, daß die Tritiumwerte in allen Wässern schon Anfang März sehr deutlich abgenommen haben, während die elektrolytische Leitfähigkeit in dieser Zeit nur in der Naßfelder-Ache und bei jenen Quellen verringert war, die einen stärkeren Anteil oberflächennaher Wässer führen (Kirchbach-Quelle 1 und 2, I/1 b), im Wasser der Evian- und Schachen-

Quelle aber unverändert blieb bzw. leicht anstieg. Das scheint zu zeigen, daß die ungesättigten Schmelzwässer nur bei ganz flachem, oberflächennahem Verlauf der äußeren Quellwege gleich zu Beginn der Schneeschmelze einsickern, während bei den steiler aus der Tiefe aufsteigenden Quellen aus dem auftauenden Boden zunächst noch Wasser eindringen, die im Gleichgewicht mit dem Mineralbestand des Bodens sind. Erst Anfang Mai ist auch hier die Zumischung ungesättigter Schmelzwässer am Abfall der Leitfähigkeit deutlich zu erkennen. In der Kirchbach-Quelle 2 macht sich im Mai bereits der zunehmende Tritiumgehalt des Regenwassers bemerkbar. Anfang Juni (5) liegen die Tritiumwerte mit Ausnahme der Quelle I/1 b wieder etwas höher als im Vormonat. Bei der Kirchbach-Quelle 2, die einen großen Anteil rezenten Niederschlagswassers führt, ist dieser Anstieg natürlich durch den zunehmenden Tritiumgehalt des Regenwassers bedingt. Bei den übrigen Wässern kann ein regenbedingter Anstieg nicht vorliegen, weil ihre Tritiumkonzentrationen durchwegs über dem Tritiumgehalt des Regenwassers liegen. Die wahrscheinlichste Ursache des Juni-Anstieges ist ein kurzfristiger Rückgang der Schneeschmelze, durch den auch die Leitfähigkeit der Wässer etwas zugenommen hat. Tatsächlich war es wenige Tage vor der Probenahme zu einem plötzlichen Abfall der Lufttemperaturen in Badgastein von 26,4 auf 6° C gekommen, und in den höheren Lagen (Naßfeld, 1630 m ü. A.) fiel 20 cm Schnee.¹⁾

Der weitere Verlauf der Tritiumganglinien ist im allgemeinen fallend und in seinen Unregelmäßigkeiten schwer zu deuten. Zwischen Oktober und November 1967 stiegen die Tritiumwerte in der Schachen- und Evian-Quelle parallel mit der Leitfähigkeit an, während alle übrigen Wässer einen Rückgang der Werte erkennen lassen. Bei der Kirchbach-Quelle 2 ist dieser Rückgang wahrscheinlich durch die stärkeren Regenfälle in der Zeit der Probenahme bedingt. Bei der Quelle Nr. I/1 b ist es nach Ausweis der Leitfähigkeit und der chemischen Analyse neuerlich zu einem verstärkten Thermalwassereinbruch gekommen. Für den Tritiumabfall in der Naßfelderache und in der Kirchbach-Quelle 1 konnte jedoch keine Erklärung gefunden werden.

Diese nähere Betrachtung der Jahresganglinien der Tritiumwerte zeigt, daß schon kurzfristige Änderungen der meteorologischen Faktoren zu sehr erheblichen Schwankungen des Tritiumgehaltes von Quellen und Bächen führen können, wodurch die Ermittlung des tatsächlichen Jahresganges aus monatlichen Einzelmessungen sehr erschwert wird. Die gleichzeitige Beobachtung der Niederschläge und der Lufttemperatur sowie die Änderung der elektrolytischen Leitfähigkeit war bei der Deutung dieser Monatsschwankungen sehr nützlich.

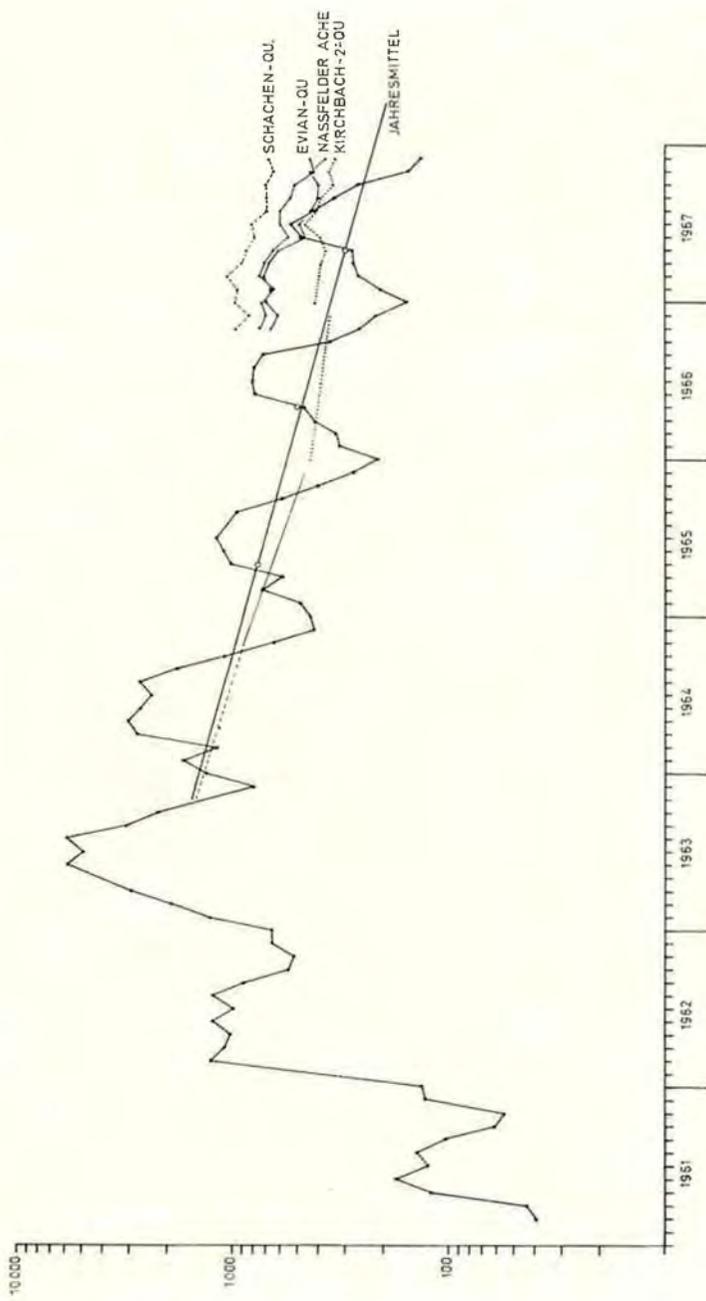
¹⁾ Nach den Aufzeichnungen der Regenmeßstelle Naßfeld der hydrographischen Landesabteilung in Salzburg.

3. 2. 3. Versuch einer Datierung der kalten Quellen

Die Altersbestimmung vadoser Wässer versucht eine Aussage über die unterirdische Verweildauer vom Zeitpunkt der Versickerung des Niederschlagswassers bis zu seinem Wiedererscheinen als Quelle. Die Auffüllung unterirdischer Speicher erfolgt in der Regel nicht gleichmäßig während des ganzen Jahres, sondern in Schüben zur Zeit der Schneeschmelze und der Regenperioden. Da jedoch die sehr erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen des Tritiumgehaltes der Niederschläge im Erdboden weitgehend gedämpft und gemittelt werden, entspricht die Tritiumkonzentration des tiefer eindringenden und zur Wiederauffüllung der Speicher beitragenden Wassers im allgemeinen ungefähr dem **durchschnittlichen Tritiumgehalt der jährlichen Niederschläge**. Diese Annahme stützt sich auf Lysimeter-Versuche in Petzenkirchen (IAEA-Report Nr. 73; siehe auch C. JOB, 1970).

Die Jahresmittel der Tritiumwerte in den Niederschlägen zeigen seit 1963 eine fallende Tendenz, die in logarithmischer Darstellung (Fig. 3) von 1965 bis 1967 eine gerade Linie ergibt. Die Mittelwerte der Jahre 1963 und 1964 liegen infolge der starken Sommerspitzen dieser Jahre etwas höher.

Die Jahresganglinien der Tritiumkonzentrationen in den untersuchten Wässern verlaufen im großen und ganzen parallel zur Jahresmittellinie des Tritiumgehaltes der Niederschläge. Nur in der Kirchbach-Quelle 2 fällt die Jahresganglinie etwas schwächer. Fig. 3 läßt erkennen, daß der Tritiumwert des jeweils Tritium-reicheren Wassers am Jahresende 1967 ungefähr dem Tritiumwert entspricht, der am Jahresbeginn in dem Wasser mit dem nächstniedrigeren Tritiumgehalt vorhanden war. Verschiebt man den Jahresverlauf der Kirchbach-Quelle 2 unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalles in das Vorjahr (1966) und fügt daran die Ganglinie der Evian-Quelle und an diese wiederum die Ganglinie der Schachen-Quelle, so ergibt sich eine Linie, die dem Verlauf der Jahresmittel in den Niederschlägen der letzten Jahre recht nahe kommt. Daraus scheint hervorzugehen, daß der langfristige Abfluß der Kirchbach-Quelle 2 im wesentlichen aus dem Vorjahr (1966), jener der Evian-Quelle aus dem Jahre 1965 und jener der Schachen-Quelle aus dem Jahre 1964 stammt. Daß alle Tritiumwerte der Wässer etwas tiefer liegen als die Jahresmittellinie der Niederschläge, dürfte eine Folge der Zumischung von rezenten Niederschlägen sein. Für die Rückdatierung geeigneter wäre deshalb die Verbindungslinie der Februar-Werte der Quellwässer, da in diesem Monat der kurzfristige Abfluß am ehesten vernachlässigt werden kann. Bei der Kirchbach-Quelle 2, deren Tritiumgehalt während des Sommers weitgehend dem Tritiumgehalt der Niederschläge folgt, ist eine bessere Übereinstim-



mung mit der Jahresmittellinie der Tritiumwerte in den Niederschlägen von vornherein nicht zu erwarten, da diese Quelle im Winter wohl in erster Linie Regenwasser aus dem Spätherbst des Vorjahres führt.

3. 3. Der Tritiumgehalt des Gasteiner Thermalwassers

Erste Messungen des Tritiumgehalts in Gasteiner Thermalwässern (in den Quellen VII, IX, X und XVI) und in der Gasteiner Ache wurden auf Veranlassung von F. SCHEMINZKY schon im März 1961 durch A. E. BAINBRIDGE und H. E. SUESS (F. SCHEMINZKY, 1962) ausgeführt. Die Ergebnisse sind zusammen mit unseren orientierenden Messungen vom Oktober, November und Dezember 1966 in Tab. 3 verzeichnet. Schon 1961 lagen die Tritiumwerte in den untersuchten Wässern mit einer Ausnahme (Quelle VII) deutlich über dem natürlichen Tritiumgehalt der Niederschläge der präthermonuklearen Ära (rund 6 T. U.). A. E. BAINBRIDGE und H. E. SUESS heben daher in der Diskussion ihrer Befunde hervor, daß die Mehrzahl der Wässer Atombomben-Tritium enthalten, das durch Eindringen oberflächlicher Kaltwässer in die Thermalquellen gelangt ist. Die Gasteiner Ache enthielt im März 1961 150 T. U. Nimmt man an, daß auch das zuzitzende Kaltwasser diesen Tritiumgehalt hatte und daß das aus der Tiefe kommende Thermalwasser wegen seiner langen unterirdischen Laufzeit Tritium-frei ist, so ergibt sich aus den Messungen des Jahres 1961, daß der Kaltwasseranteil in den Quellen VII, IX, X bzw. XVI rund 3, 8, 10 bzw. 16% betragen hat. Die entsprechenden Werte für Oktober 1966 sind 6, 10, 16 bzw. 21% bei einem Tritiumgehalt der Gasteiner Ache von 662 T. U. Im ganzen lag demnach der Kaltwassergehalt der untersuchten Thermenaustritte im Oktober 1966 etwas höher als im März 1961. Beide Meßreihen zeigen übereinstimmend, daß der Kaltwasseranteil der Thermalquellen hangabwärts zunimmt (s. Höhenangaben in Tabelle 3). Diese Befunde bestätigen frühere Untersuchungen von G. KIRSCH (1939) und F. SCHEMINZKY (1962, 1967), die schon aus dem Verhalten des Mineralgehaltes der einzelnen Austritte erkannten, daß der Kaltwassergehalt um so größer ist, je tiefer das Thermalwasser am Hang des Badberges austritt.

Fig. 3: Tritiumgehalt der Niederschläge in Wien (1961—1967) nach Messungen der IAEA und der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal. Die Jahresmittelwerte vom Oktober bis September (Kreise) ergeben bei logarithmischer Darstellung in den Jahren 1964—1967 eine Gerade. Die jeweiligen Anfangs- und Endwerte der Tritiumkonzentrationen in den 1967 untersuchten Wässern ergeben aneinandergereiht und unter Berücksichtigung der Halbwertszeit in die Vorjahre verschoben eine Linie, die ungefähr dem Jahresgang des mittleren Tritiumgehaltes in den Niederschlägen entspricht.

Tabelle 3: Tritiumgehalt der Thermalquellen. Sh = Höhenlage des Quellaustrittes in m ü. A. Die Messungen vom März 1961 stammen von A. E. Bainbridge und H. E. Suess

Nr.	Thermalwasser	Sh	März 1961	17. 10. 1966	7. 11. 1966	9. 12. 1966
I	Franz-Josef-Quelle, Austritt 23/24	1034		20	49	31
V	Lainer-Quelle	1006		37	61	
VI	Doktor-Quelle, Austritt 2	1002		44	78	
VII	Neue Franzens-Quelle	1001	6	40	72	19
IX	Elisabeth-Quelle, Austritt 8—12	995	10,4	69	78	65
X	Fledermaus-Quelle, Austritt 3	983	16,3	108	132	117
XI	Mitteregg-Quelle, Austritt 1	976				134
XII	Reissacher-Quelle Austritt 1 Austritt 1 a Austritt 1 b Ortsbrust	975		142	170	124 300 147 134
XIV	Grabenbäcker-Quelle	968		120	154	126
XVI	Sophien-Quelle	964	21,3	141	158	
XVIII	Grabenwirt-Quelle, Austritt 3	954		282	236	228
XIX	Strochner-Quelle	937		388	497	551

3. 3. 1. Orientierende Tritiummessungen im Thermalwasser (Oktober bis Dezember 1966)

Die in Tabelle 3 verzeichneten Ergebnisse dieser Meßreihe lassen erkennen, daß der Tritiumgehalt in den einzelnen Thermalwasseraustritten sehr verschieden groß ist. Den niedrigsten Tritiumgehalt hatte der Austritt 23/24 der Quelle I, die als höchstgelegene Warmwasserader (1034 m ü. A.) an der Ortsbrust eines ca. 100 m langen durch den Hangschutt getriebenen Quellstollens direkt aus Fels hervorkommt. Den höchsten Tritiumgehalt hatte die zuunterst am Hang des Badberges aus Hangschutt austretende Strochner-Quelle (XIX, 934 m ü. A.). Diese Quelle wird wegen ihres großen Kaltwasseranteils und ihrer niedrigen Wassertemperatur (16,4° C im Jahresdurchschnitt) nicht verwendet. Zwischen beiden Extremen liegen die Tritiumwerte aller übrigen Thermalwässer. Wie bei den kalten Quellen zeigt sich auch bei den Thermalquellen ein rasches Eindringen von Regenwasser bei den

extrem starken Regenfällen im November 1966. Da das Regenwasser weniger Tritium enthält als die kalten Quellen, aber mehr als Warmquellen, entspricht dem Abfall der Tritiumwerte in den Kaltwässern ein Anstieg derselben in den Warmwässern. Im Dezember 1966 näherten sich die Tritiumwerte in den Thermen im allgemeinen wieder den Oktoberwerten. Nur in der Strochner-Quelle (XIX) stieg der Tritiumgehalt vom Oktober bis zum Dezember 1966 kontinuierlich an. Dieses abweichende Verhalten konnte erst später durch die monatlichen Messungen aufgeklärt werden.

3. 3. 2. Monatliche Messungen des Tritiumgehaltes in den Thermalwässern

Der Gang der Tritiumwerte vom Oktober 1966 bis November 1967 ist in Fig. 4 dargestellt. Die vom Dezember 1966 bis November 1967 gemittelten Meßwerte der einzelnen Quellen wurden als horizontale Linien eingetragen. Die Mittelwerte und ihre Standardabweichung sind am rechten Rand der Fig. 4 verzeichnet.

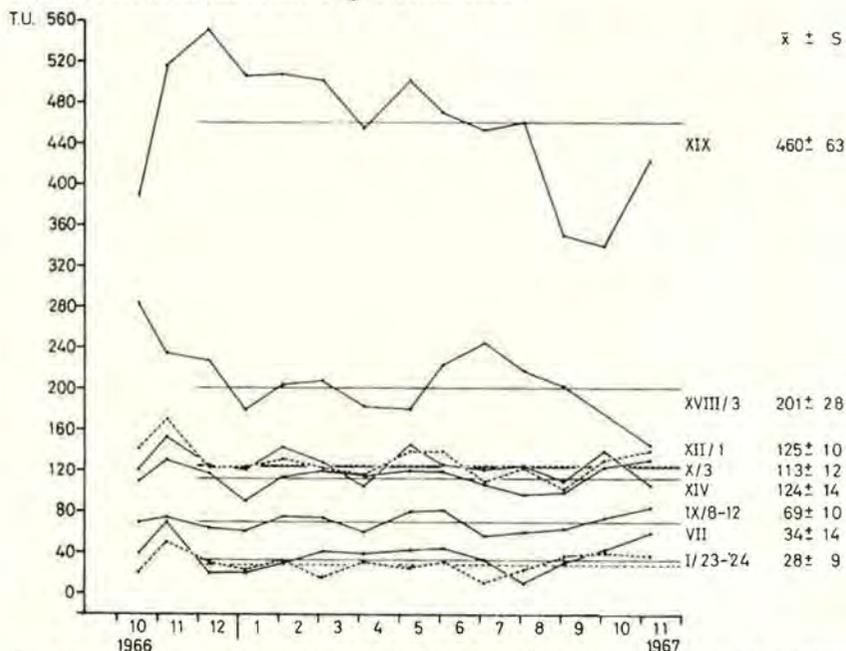


Fig. 4: Tritiumgehalt einiger Austritte der Gasteiner Therme. Die Jahresmittel (Dezember bis November 1967) sind als horizontale Linien dargestellt und am rechten Rand der Fig. verzeichnet ($\bar{x} \pm S$). Die Standardabweichung $\pm S$ wurde nach der Formel $\sqrt{\frac{S_x - \bar{x}}{N - 1}}$ berechnet (\bar{x} = Jahresmittel, x = Meßwert, N = Anzahl der Messungen [12]).

Die überwiegende Mehrzahl der Quellen hatte signifikant verschiedene Jahresmittel. Ausnahmen bildeten die Quellen I und VII bzw. X/3 und XII/1 mit fast identischen Tritiumwerten. Die Unterschiede im mittleren Tritiumgehalt kommen dadurch zustande, daß den einzelnen Warmwasseraustritten verschieden große Kaltwassermengen zufließen. Diese Zuflüsse sind das Jahr über ziemlich konstant und daher für die Quellen charakteristisch. Im allgemeinen ist der Kaltwasserzutritt um so größer, je tiefer die Quelle am Hang des Badberges austritt. Außer dieser **konstanten** Kaltwasserkomponente erhalten alle Thermalquellen auch noch **variable** Kaltwasserzuflüsse, die zu unregelmäßigen Schwankungen der Jahresgangkurven führen. Die variablen Zuflüsse beruhen auf dem gelegentlichen Eindringen von Hangwässern, besonders nach starken Regenfällen (z. B. im November 1966) und in der Zeit der Schneeschmelze (April 1967). Die starken Schwankungen des Tritiumgehaltes in den Randästen der Therme (Quelle XIX, Quelle XVIII/3) entstehen aber nicht nur durch die verschiedene Kaltwasserzufuhr, sondern auch durch gelegentliche Thermalwasserschübe, durch die der Tritiumgehalt abnimmt und die Temperatur sowie der Mineralgehalt des Quellwassers ansteigt (C. JOB und J. ZÖTL, 1969).

Da das Kaltwasser mineralärmer ist als das aus der Tiefe aufsteigende Thermalwasser, nimmt durch das eindringende Kaltwasser auch die Mineralisierung des Thermalwassers ab. Im allgemeinen ist daher die Konzentration des Quellwassers um so geringer, je höher sein Tritiumgehalt ist (vgl. Fig. 4 und Fig. 5). Abweichend verhält sich nur die

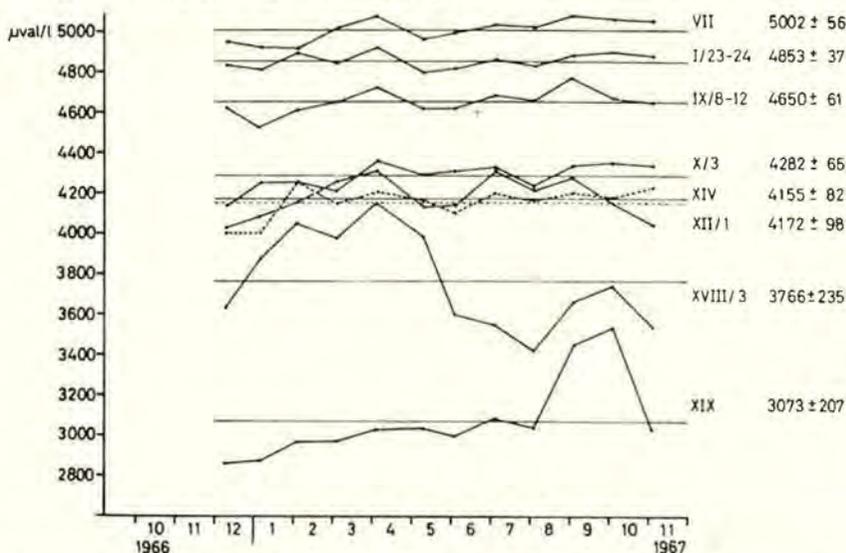


Fig. 5: Mineralgehalt (Summe der gelösten ionisierten Stoffe) einiger Ausstritte der Gasteiner Therme. Im übrigen siehe Legende zu Fig. 4.

Quelle VII, weil dieses Quellwasser infolge der atmosphärischen Ausgesetztheit und der geringen Ergiebigkeit (ca. 0,17 l/s) teilweise verdunstet und sich dadurch die Konzentration der gelösten Bestandteile erhöht. Infolge der atmosphärischen Ausgesetztheit ist auch der Radon-gehalt dieser Quelle nur sehr gering (0,3 nCi/l).

3. 3. 3. Der Kaltwasseranteil des Gasteiner Thermalwassers

Voraussetzung für die Berechnung des Kaltwassergehaltes der einzelnen Austritte der Gasteiner Therme sind begründete Annahmen über den Tritiumgehalt des reinen aus der Tiefe aufsteigenden Thermalwassers und des zudringenden Kaltwassers (C. JOB und J. ZÖTL, 1969). Untersuchungen mit der Radiocarbon-Methode haben ergeben, daß das Gasteiner Thermalwasser vor rund 3600 bis 3800 Jahren als Niederschlag versickert ist (T. FLORKOWSKI und C. JOB, 1969). Das unvermischte Thermalwasser kann daher heute kein Tritium mehr enthalten. Somit stammt das in den Thermalquellen vorhandene Tritium zur Gänze aus dem zuzitenden Kaltwasser. Für letzteres läßt sich aus den Tritiumwerten allein kein bestimmter Wert angeben, denn der Tritiumgehalt des Kaltwassers hängt vom Zeitpunkt der Versickerung der Niederschläge und vom Grade ihrer Vermischung mit dem Grundwasserbestand ab. Die kalten Quellen am NW-Hang des Graukogels, der als Einzugsgebiet für das der Therme zuzitende Kaltwasser in erster Linie in Betracht kommt, hatten sehr unterschiedliche Tritiumwerte (1033 T. U. Schachen-Quelle, Februar 1966; 320 T. U. Hirschen-Quelle, Dezember 1966). Eine begründete Annahme über den Tritiumgehalt des zuzitenden Kaltwassers war erst möglich, als sich herausstellte, daß zwischen den Tritiumwerten der einzelnen Mischwässer und ihrem Gehalt an typischen Thermalwasser-Ionen eine lineare Beziehung besteht, die extrapoliert auf den Thermalwassergehalt 0, den Tritiumgehalt des eindringenden Kaltwassers ergab (C. JOB und J. ZÖTL, 1969). Auf Grund dieses Zusammenhanges wurde für das zuzitende Kaltwasser ein Jahresmittel (1967) von 520 T. U. angenommen. Mit den beiden Tritiumwerten — 0 für das aus der Tiefe kommende Thermalwasser und 520 für das zuzitende Kaltwasser — konnte dann der prozentuelle Kaltwasseranteil in den einzelnen Austritten nach der Mischungsregel berechnet werden. Die berechneten Kaltwasseranteile lagen in den genutzten Thermalwasser-Austritten im Jahresdurchschnitt zwischen 5 und 24%.

Die Kenntnis des Tritiumgehaltes ermöglicht es auch, den Mineralgehalt des in die Therme eindringenden Kaltwassers annähernd zu bestimmen (s. Fig. 6). Wenn man die Jahresmittel des Mineralgehaltes ($\mu\text{val/l}$) der einzelnen Austritte ihren mittleren Tritiumgehalten gegenüberstellt, ergibt sich eine lineare Beziehung, von der nur der Wert der Strochner-Quelle (XIX) stärker abweicht (über die Ursachen dieser Ab-

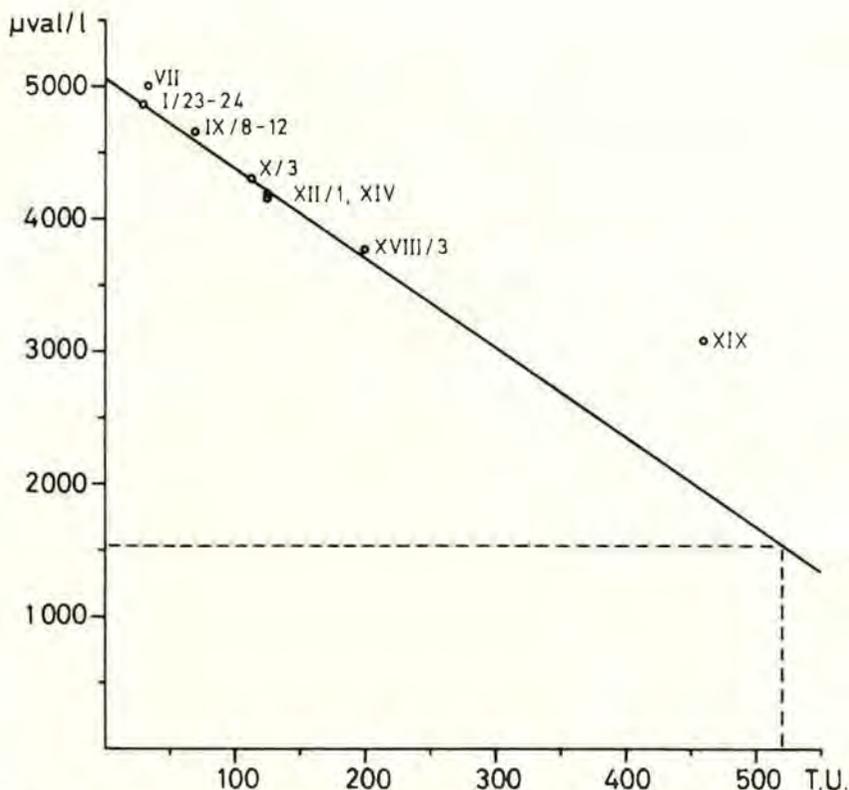


Fig. 6: Jahresmittel der Tritiumgehalte versus Jahresmittel der Mineralisierung, nähere Beschreibung im Text.

weichung siehe C. JOB und J. ZÖTL, 1969). Die Gesamtmineralisierung des zuzitenden Kaltwassers (1500 µval/l) findet man am Schnittpunkt der Geraden mit einer über dem Wert 520 T. U. errichteten Senkrechten. Durch Extrapolation auf den Tritiumgehalt 0 läßt sich aus Fig. 6 auch der Mineralgehalt des aus der Tiefe kommenden noch nicht mit Kaltwasser vermischten Thermalwassers abschätzen (rund 5000 µval/l).

4. Der Tritiumgehalt im Heilstollen von Badgastein/Böckstein und in einigen Quellen des Tauerntunnels

Der Heilstollen von Badgastein/Böckstein wurde Anfang 1940 angeschlagen und bis zum Sommer 1944 2425 m in den Radhausberg vorgegraben (K. ZSCHOCKE, 1965; G. MUTSCHLECHNER, 1968). Mit diesem Unterbaustollen sollten die berühmten Erzgänge des oberen Radhausberges

in der Tiefe erschlossen werden. Dieses Ziel wurde nicht erreicht. Trotzdem war der Vortrieb nicht vergeblich. Die hohe Stollentemperatur (bis 45° C), die Feuchtigkeit und der Radongehalt der Stollenluft erwiesen sich als wirksame therapeutische Behandlung vor allem der Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises (F. SCHEMINZKY, 1965).

Bei den 1966 bis 1969 im Raum von Badgastein durchgeführten Wasseruntersuchungen wurde auch der Tritiumgehalt von zwei im Heilstollen austretenden Wässern ermittelt. Das bei Stollenmeter 310 aus einem Zerrüttungsstreifen austretende Kaltwasser enthielt im Oktober und November 1966 600 bzw. 550 T. U. Ähnliche Tritiumwerte ergaben die meisten im Gasteiner Raum untersuchten Kaltwässer. (Siehe Abschnitt 3.2.1.) Wesentlich geringer (14 T. U.) war dagegen der Tritiumgehalt eines Warmwasserriesels (ca. 40° C), der bei Stollenmeter 1050 aus der Firste tritt.

Im heißesten Teil des Stollens bei Therapiestation IV wurde Anfang April 1967 eine Wasserdampfprobe eingeholt. Zur Kondensation wurde die Stollenluft durch eine Kühlschlange geleitet, die sich in einem eisgekühlten Behälter befand. Der Stollen war vor diesem Versuch seit mehreren Monaten nur gelegentlich zur bergmännischen Überprüfung befahren worden, da der Kurbetrieb vom Oktober bis Mai ruht. Der kondensierte Wasserdampf enthielt 97 T. U. Da der atmosphärische Tritiumgehalt vom Dezember bis März 1967 im Mittel rund 220 T. U. betragen hat, die Stollenfeuchtigkeit aber nur rund 100 T. U. enthielt, ist anzunehmen, daß sich der von außen eindringende Wasserdampf mit dem Tritium-armen Dampf der im Inneren des Stollens austretenden Quellwässer (14 T. U.) im Verhältnis von rund 1 : 1 vermischt.

Bei Wasseruntersuchungen im Tauerntunnel wurden im porphyrischen Granitgneis zwei unmittelbar benachbarte Quellen festgestellt, die sich in der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung wesentlich unterschieden (C. JOB und G. MUTSCHLECHNER, 1969). Die bei Stollenkilometer 5,95 austretende Quelle (Tabelle 4, Nr. 8) hat eine Temperatur von 12° C und gleicht im Ionen- und Kieselsäuregehalt trotz starker Gebirgsüberlagerung weitgehend den tagnahen Tunnelwässern. Die benachbarte Quelle Nr. 9 (Stollenkilometer 6,08) hat dagegen eine Temperatur von 18° C, einen fast doppelt so hohen Mineralgehalt und zeigt ein stärkeres Hervortreten der Natrium-, Sulfat- und Fluorid-Ionen. Auf Grund dieser Unterschiede wurde vermutet, daß das Wasser Nr. 9 eine längere unterirdische Laufzeit hat als das Wasser Nr. 8. Die im Jahre 1969 durchgeführte Tritiumuntersuchung stützt diese Vermutung. Die Quelle Nr. 8 hatte einen etwa gleich großen Tritiumgehalt wie die äußeren Tunnelwässer und wird demnach aus den Niederschlägen des laufenden Jahres alimentiert. Die Quelle Nr. 9 enthielt dagegen nur 105 T. U. Sie führt somit entweder eine Mischung von rezentem Tritium-hältigen und älterem Tritium-freiem Wasser im Ver-

Tabelle 4: Ergebnisse der Untersuchungen von Quellen im Tauerntunnel. Probenahmen am 3. Oktober 1969. Lage des Quellaustrittes (Ring, km vom Nordportal), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), elektrolytische Leitfähigkeit in Mikro-Siemens bei 20°C , Tritiumgehalt (T.U.) und chemische Zusammensetzung ($\mu\text{val/l}$). SK = Summe der Kationen, SA = Summe der Anionen. Kieselsäuregehalt (H_2SiO_3) in mg/l.

	Ring	km	$^{\circ}\text{C}$	μS	T.U.	Na'	K'	Ca''	MG''	SK	Cl'	SO ₄ ''	HCO ₃ '	F'	SA	H ₂ SiO ₃
8	608	5,95	12,0	60	355	82	4	466	32	584	0	150	388	61	599	4,7
9	622	6,09	18,0	105	105	309	11	651	100	1071	0	385	493	144	1022	8,9
10	648	6,34	11,0	78	318	96	6	663	44	809	0	270	448	55	773	5,0
11	714	6,99	10,0	50	377	41	7	418	88	554	0	100	363	34	497	3,3

hältnis von rund 1 : 2 oder wird derzeit von Niederschlägen alimentiert, die aus der Zeit zwischen den beiden großen thermonuklearen Versuchen (1954 bzw. 1962) stammen.

Zusammenfassung

Die Untersuchung des Tritiumgehaltes der Kalt- und Warmwässer im Raum von Badgastein hat wesentlich zur Klärung bisher unbeantworteter hydrologischer Fragen beigetragen. Unter anderem konnte die unterirdische Laufzeit des langfristigen Abflusses einiger Gasteiner Kaltwasserquellen abgeschätzt und das oberflächliche Eindringen kurzfristiger Abflüsse nach starken Regenfällen und in der Zeit der Schneeschmelze festgestellt werden. Ferner ließ sich zeigen, daß den Thermalquellen zwei Kaltwasserkomponenten zufließen. Ein Zufluß ist das Jahr über konstant und für die einzelne Thermalquelle charakteristisch, der andere ist variabel und tritt besonders nach starken Regenfällen und während der Schneeschmelze auf. Die Menge und die Mineralisierung der konstanten Komponente konnte berechnet werden. Außerdem ergaben die Tritiummessungen Hinweise auf die Herkunft der Stollenfeuchtigkeit im Thermalstollen von Badgastein-Böckstein und die Laufzeit einiger Quellen im Tauerntunnel.

Ihre volle hydrologische Aussagekraft erlangt die Tritiummethode jedoch erst bei gleichzeitiger Berücksichtigung der elektrolytischen Leitfähigkeit und der chemischen Zusammensetzung der Wässer sowie der meteorologischen Vorgänge.

Literatur

- CROOKS, R. N., R. G. D. OSMOND, MISS E. M. R. FISHER, M. J. OWERS & T. W. EVETT: The deposition of fission products from distant nuclear test explosion. Results to the middle of 1960, AERE-R 3349, 1960.
- EXNER, Ch.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung von Gastein. Wien 1957.
- FLORKOWSKI, T. & C. JOB: Origin and Underground Flow Time of Crystalline Basement Complexes. Steir. Beiträge z. Hydrogeologie, **21**, Graz 1969.
- GUIZERIX, I., R. MARGARITA, M. LAUNAY & P. RUBY: Tritium et Hydrologie, études et mesures effectuées au centre d'études nucléaires de Grenoble, Isotopes in Hydrology, Proc. symp. Vienna 1967, 433, IAEA, Vienna 1967.
- JOB, C.: Die Verwendung des atmosphärischen Tritiums und anderer Radionuklide zu hydrologischen Untersuchungen. Steir. Beiträge z. Hydrogeologie 1970.
- 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.

- KIRSCH, G.: Untersuchungen über den Ursprung der Thermalquellen von Badgastein. Badgasteiner Badeblatt 1939.
- KIRSCH, G.: Vorläufige Mitteilung über quellchemische Untersuchungen der Gasteiner Thermen. Balneologie, 6, 437, 1939.
- KOMMA, E. G. & F. SCHEMINZKY in F. SCHEMINZKY: Die Tätigkeit des Forschungsinstituts Gastein im Jahre 1966. Badgasteiner Badeblatt, 35—39, 1967, Mitt. aus dem Forschungsinstitut Gastein Nr. 315, 1967.
- MUTSCHLECHNER, G.: Aus der hundertjährigen Geschichte der Gewerkschaft Radhausberg. Badgasteiner Badeblatt, 20—25, 1968, Mitt. aus dem Forschungsinstitut Gastein Nr. 339, 1968.
- SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstituts Gastein der Österr. Akademie der Wissenschaften im Jahre 1961. Badgasteiner Badeblatt 1962.
- SCHEMINZKY, F.: Der Thermalstollen von Badgastein-Böckstein, seine Geschichte, Erforschung und Heilkraft, Innsbruck 1965.
- SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstituts Gastein der Österr. Akademie der Wissenschaften. Badgasteiner Badeblatt 1967, 1968, 1969.
- ZSCHOCKE, K.: Der Goldbergbau in den Hohen Tauern und die Auffahrung des Radhausberg-Unterbergbaustollens (Pasel-Stollen, Thermalstollen, Heilstollen) in Böckstein bei Badgastein. In F. SCHEMINZKY: Der Thermalstollen von Badgastein-Böckstein, seine Geschichte, Erforschung und Heilkraft, Innsbruck 1965.

Summary

The investigation of the tritium contents of fresh and thermal waters in the area of Badgastein has considerably contributed to the solution of so far unsolved hydrogeological problems. Among other things the subterranean transit time of the long-term discharge of several fresh water springs of Gastein could be estimated and the surface penetration of short-term discharges after heavy rainfalls and during the thaw could be ascertained. Furthermore it could be shown that two fresh water components flow into the thermic springs. One of these recharges is constant all over the year and characteristic of the individual thermic spring, the other is variable and appears particularly after heavy rainfalls and during the thaw. Quantity and mineralization of the constant component could be worked out. Besides tritium measurements gave hints as to the origine of the tunnel humidity in the thermic tunnel of Badgastein-Böckstein, and the transit-time of several springs in the Tauerntunnel.

The tritium method, however, comes to full importance only when the electrolytical conductivity and chemical compositions of the waters as well as the meteorological events are considered at the same time.

Anschriften der Verfasser:

a. o. Univ.-Prof. Dr. C. JOB

Institut für Balneologie der Universität Innsbruck, Schöpfstraße 41,
A-6020 Innsbruck

Dr. J. MAIRHOFER

Isotopenabteilung der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt,
A-1030 Wien III, Arsenal