

## Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966

Von

H. BATSCHÉ, F. BAUER, H. BEHRENS, K. BUCHTELA, F. HRIBAR, W. KÄSS,  
G. KNUTSSON, J. MAIRHOFER, V. MAURIN, H. MOSER, F. NEUMAIER,  
L. OSTANEK, V. RAJNER, W. RAUERT, H. SAGL, W. A. SCHNITZER & J. ZÖTL

### Einleitung

Parallel zu den Vortragsveranstaltungen der Fachtagung über die Anwendung von Markierungsstoffen zur Verfolgung unterirdischer Wässer liefen Feldversuche an zwei bekannten unterirdischen Wassersystemen im Grazer Bergland, das aus paläozoischen Ablagerungen, und zwar zu einem wesentlichen Teil aus verkarstungsfähigen Gesteinen, aufgebaut ist. Es handelt sich dabei in erster Linie um weit verbreitete Kalke, Kalkschiefer und Dolomite des Devons (H. FLÜGEL 1960, 1961).

Diese Karbonatgesteine wurden während der im Neogen und Pleistozän erfolgten etappenweisen Heraushebung des ganzen Berglandes intensiv verkarstet (A. WINKLER-HERMADEN 1957, V. MAURIN 1961). Als regionaler Begriff hat sich die Bezeichnung „Mittelsteirischer Karst“ eingebürgert (H. BOCK 1913). Das Kernstück dieses Bereiches bildet das 16 Quadratkilometer umfassende Becken von Semriach mit dem anschließenden Lurhöhlensystem. Hier und in dem ebenfalls verkarsteten Buchkogelzug am westlichen Stadtrand von Graz boten sich geeignete Testgebiete für die während der Fachtagung durchgeführten vergleichenden Markierungsversuche. Diese Versuche dienten folgenden Zwecken:

Erstens der Demonstration der Methoden.

Die zahlreichen theoretischen Abhandlungen über nahezu alle gängigen Methoden zur Markierung unterirdischer Wässer sollten durch eine möglichst umfangreiche Demonstration im Gelände den Tagungsteilnehmern auch praktisch vorgeführt werden. Während die größte Zahl der Einspeisungen aus organisatorischen Gründen schon vor dem Tagungsbeginn erfolgen mußte, wurden die Einsätze von gründefärb-

ten Lycopodiumsporen und Ammonbromid in eine Nebenschwinde des Semriacher Karstgebietes bei der Exkursion am 28. März 1966 vor allen Tagungsteilnehmern durchgeführt. Diese Exkursion führte auch zu den anderen am 26. März 1966 beschickten Schwinden, durchquerte das Lurhöhlensystem und führte zu den Beobachtungsstationen in Peggau, wo die Probenentnahmen und Direktmessungen durch dort installierte Dauerstationen demonstriert wurden. Die ungefähr in diese Zeit fallende Höchstkonzentration des in der Hammerbachquelle austretenden Uranins verfehlte nicht ihre optische Wirkung. Die Exkursion vom 29. März 1966 gab den Teilnehmern Gelegenheit zum Besuch des zweiten Untersuchungsraumes, des Buchkogelgebietes am Stadtrand von Graz, und der an der Bründlquelle errichteten Entnahme- und Beobachtungsstation. Im Anschluß daran demonstrierten J. MAIRHOFER und H. ZELLHOFER die Bestimmung der Fließrichtung und Filtergeschwindigkeit in einem einzigen Bohrloch im Grundwasser des Grazer Feldes (Schachenwald) und M. BOROWCZYK den Vortrieb der Geoelektriksonde mittels des Vibrationshammers. Die Besuche der Feldstationen wurden ergänzt durch die Vorführung von Probenuntersuchungen in Räumen der Technischen Hochschule Graz.

Zweitens der praktischen Erprobung und Verbesserung der Methoden.

Einige Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wässer (z. B. der Einsatz von Kalisalz, Mn-ÄDTA-Komplex und Schaumstoff) waren bislang in ostalpinen Karstsystemen noch nicht angewendet worden, für andere (z. B. Sporentrift, Färbung) kamen technische Neuerungen zur Erprobung. Zwei getrennte Zielsetzungen traten dabei in den Vordergrund: die Vereinfachung (und Verbilligung) der Beobachtung und der Nachweis hoher Verdünnungsgrade. In beiden Richtungen wurden wesentliche Fortschritte erzielt.

Drittens einem Vergleich der Methoden durch deren kombinierte Anwendung am gleichen Objekt.

Die Notwendigkeit solcher Vergleiche zeichnete sich im Zuge der zunehmenden Anzahl von Markierungsversuchen immer deutlicher ab. Dabei zu lösende Probleme sind nicht nur die Wahl des geeignetsten Markierungsstoffes nach den Gesichtspunkten der Erfordernisse nur qualitativer oder auch quantitativer Auswertung, des finanziellen Aufwandes sowie örtlicher Gegebenheiten und spezieller Fragestellungen, sondern auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Diese kann nur kontrolliert werden, wenn die verschiedenen Tracer am selben Ort und unter denselben hydrologischen und hydrometeorologischen Bedingungen zum Einsatz kommen. Da bereits bei früheren Versuchen im Buchkogelgebiet die Tatsache verschiedener Durchgangszeiten der einzelnen Tracer offenbar wurde, wurde bei den Markierungsversuchen 1966 für beide Untersuchungsgebiete die Durchlaufzeit des Tritiums als absolute Vergleichsbasis gewählt.

Viertens der weiteren Klärung der hydrologischen Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten.

Besonders beim Lurhöhlensystem ließ die Beschickung von drei verschiedenen Schwinden und die Beobachtung aller wesentlichen Wasseraustritte weitere Aufschlüsse über die Hydrologie dieses bekanntesten mittelsteirischen Karstsystems und die Variabilität der unterirdischen Karstwasserwege bei veränderlichem Wasserstand erhoffen.

Die umfangreichen Untersuchungen liefen im Rahmen eines reibungslos funktionierenden Teamworks von Vertretern und Angehörigen des Atominstutts der Österreichischen Hochschulen in Wien, der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien, der Forschungsstelle für Radiohydrometrie in München, des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg in Freiburg/Breisgau, des Geologischen Instituts der Universität Erlangen-Nürnberg, des Geologischen Instituts der Chalmers-Universität in Göteborg, des Hidrometeorološki Zavod LRS in Ljubljana, des Instituts für Mineralogie und Technische Geologie an der Technischen Hochschule Graz, des Speläologischen Instituts beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft in Wien, der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz und des Zweiten Lehrstuhles für Geologie und Abteilung für angewandte Geologie an der Technischen Hochschule Karlsruhe.

## 1. Der vergleichende Markierungsversuch im Bereich von Semriach—Peggau

Das wasseraktive Karstsystem der Lurgrotte 20 km nördlich von Graz bot in mehrfacher Hinsicht ideale Voraussetzungen zur Abwicklung des während der Fachtagung geplanten Vergleichstestes. Ein etwa 22 Quadratkilometer umfassendes Einzugsgebiet wird hier vollständig unterirdisch entwässert. Einer Anzahl von Schwinden im Gebiet von Semriach stehen zwei größere Karstquellen im Murtal gegenüber. Seit 1965 installierte Schreibpegelanlagen am Lurbach sowie an der Schmelz- und Hammerbachquelle in Peggau (Abb. 1), wie auch eine Niederschlagsstation im Semriacher Becken ergeben verlässliche Unterlagen über die hydrographischen Verhältnisse, bereits in früheren Jahren durchgeführte Markierungsversuche Anhaltspunkte über Zusammenhänge und Fließgeschwindigkeit der unterirdischen Wässer.

Das Lurhöhlensystem liegt in seiner ganzen Ausdehnung in dem aus Schöckelkalk aufgebauten Tannebenstock. Dieser bildet ein tektonisches Gewölbe, das im einzelnen großwellig gefaltet und verschuppt ist, im großen gesehen aber nach W und NW hin ein immer stärker werdendes Abfallen zeigt, während an der SE-Grenze söhlige Lagerung vorherrscht. Ebenfalls aus Schöckelkalk besteht der nordöstlich an den Tannebenstock anschließende Eichberg.

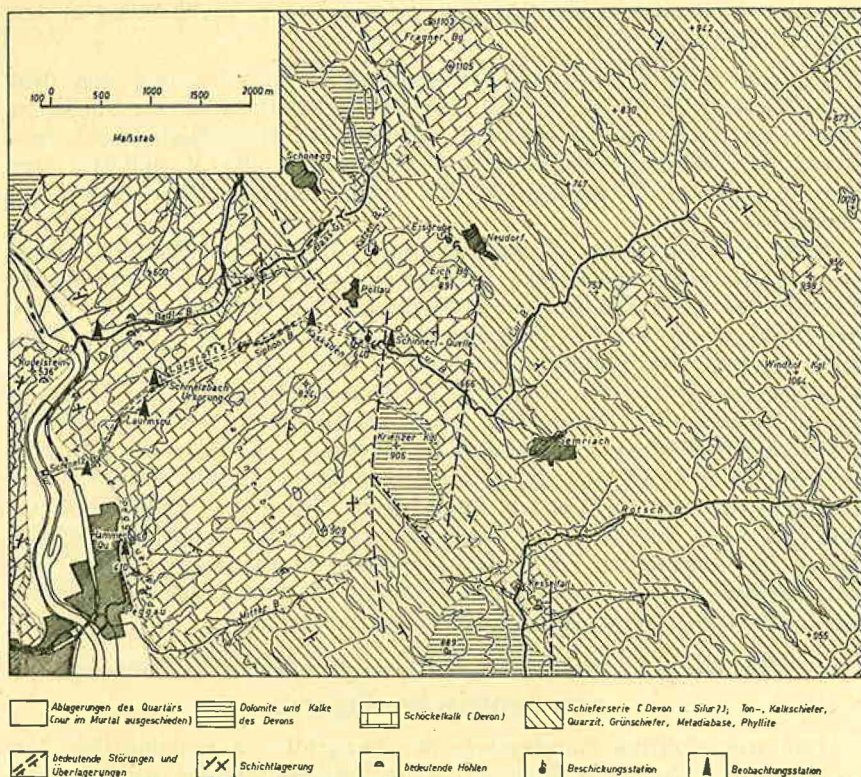


Abb. 1: Hydrogeologische Übersichtskarte über das Versuchsgebiet von Semriach—Peggau im Mittelsteirischen Karst.

Begrenzt wird dieses geschlossene Kalkareal fast durchwegs durch steilstehende Störungen, deren Richtungen sich in den ziemlich regelmäßigen Kluftsystemen der ganzen Gegend widerspiegeln. Diese ausgeprägte Klüftung des ansonsten ziemlich massigen und chemisch verhältnismäßig reinen Schöckelkalkes macht das Gebiet der Verkarstung besonders geneigt. Die vorherrschenden Kluftrichtungen haben auch die Entwicklung der hohen, steilen Felswände, die das Landschaftsbild wesentlich beeinflussen, begünstigt. Die Unterlage des Schöckelkalkes bildet eine Serie von Phylliten, Grün-, Ton- und Kalkschiefern. Letztere haben mitteldevonische Fossilien geliefert. Die Basis des Schöckelkalkes ist mit dieser unterlagernden Schieferserie z. T. stark verschuppt.

Östlich dieses Bereiches liegt das Semriacher Becken, das von der oben beschriebenen Schieferserie aufgebaut wird. Nach Resten von im Becken lagernden graublauen Tegeln ist zu schließen, daß wir es hier,

ähnlich wie bei den benachbarten Tertiärbecken von Passail und Rein, mit einem alten Senkungsfeld zu tun haben.

Im frühen Oberpliozän ging die Entwässerung des Semriacher Beckens noch nach Süden. Mit der Tieferlegung des Murtales im obersten Pliozän kam es zu einem Druckgefälle im Karstwasserkörper zwischen dem hochgelegenen Raum von Semriach und dem sich rasch eintiefenden Murtal. Die Folge davon war eine Anzapfung des Oberlaufes des heutigen Lurbaches, ein Prozeß, der im hakenförmigen Verlauf des rezenten Gewässernetzes des Semriacher Beckens seinen Ausdruck findet. Die Tiefenerosion des Lurbaches seit dem Zeitpunkt der Anzapfung beträgt rund 100 m. Im gleichen Zeitraum wurde das Murtal aber über 300 m ausgeschürft. Die größte Eintiefung erfolgte im Prä- und im Spätwürm, so daß heute mehr als 40 m Murschotter vor der Peggauer Wand liegen. Man muß annehmen, daß sich seinerzeit auch die Karstentwässerung wenigstens teilweise auf dieses tiefere Vorflutniveau eingestellt hat. Da die Tiefenerosion nicht gleichmäßig, sondern in einzelnen Phasen vor sich ging, kam es im Lurhöhlensystem zur Etagenbildung, die durch die oft ausgeprägte Bankung des Schöckelkalkes und durch stellenweise zwischengelagerte Ton- und Kalkschiefer einschaltungen noch begünstigt wurde.

Die nördliche als Kesseltal ausgebildete Hälfte des Semriacher Beckens umfaßt ein Niederschlagsgebiet von 16 Quadratkilometern. Ein weiteres Areal von etwas über 2 Quadratkilometern im Bereiche der Hochfläche von Pöllau, des Eichberges und nordwestlich Neudorf wird ebenfalls in das Lurhöhlensystem entwässert, die wichtigsten Schwinden sind hier die „Eisgrube“ und der „Katzenbach“ (Abb. 1). Als weiteres sicheres Einzugsgebiet ist noch die Hochfläche des Tannebenstockes mit etwa 4 Quadratkilometern anzusehen.

Im letzten Kilometer seines oberirdischen Laufes verliert der Lurbach durch Perforation des unterlagernden Schöckelkalkes bereits ständig Wasser. Bei einer Vergleichsmessung konnte auf dieser Strecke bei Niederwasser (66,5 l/s) ein Verlust von 28% festgestellt werden. Der Grad der Versickerungsfähigkeit des Untergrundes ist ein wechselnder, und es wurde schon des öfteren ein vollständiges Versiegen des Niederwassers an verschiedenen Stellen festgestellt. Der Schreibpegel am Lurbach wurde daher nicht an der eigentlichen Lurbachschwinde am Höhleneingang, sondern an der früher erwähnten Kalkschiefer-Grenze errichtet.

Auch in der Höhle wählte der noch 200 m verfolgbare Bach in dem verzweigten System im Laufe der Zeit verschiedene Schwinden mit wechselnder Aufnahmefähigkeit. Größere Hochwässer übersteigen eine Schwelle und ergießen sich in den nahezu 5 km langen Höhlenzug, der am Nordende von Peggau wieder an den Tag mündet. Die letzten 1200 m dieses Hochwasserlaufes werden vom Schmelzbach, einem permanenten Höhlengerinne, durchflossen. Dieser Höhlenbach wird am

Fuße des Blocksberges aus einem Siphon gedrückt. Im zugänglichen Teil der Lurgrotte treten an verschiedenen Stellen noch kleinere Gerinne auf, die entweder bald wieder versickern (wie z. B. der Kas-kadenbach im oberen Teil der Höhle) oder dem Schmelzbach zufließen (z. B. die Laurinsquelle). Zwischen dem Zweiten und Dritten Siphon (etwa Höhlenkilometer 1,1 bis 1,5) erscheint bei erhöhter Wasserführung ein intermittierender Höhlenbach (Siphonbach), der wenigstens teilweise von der Lurbachschwinde her alimentiert wird.

Die seit einem Jahr durchgeführten Abflußmengen am Lurbach in Semriach sowie am Schmelz- und Hammerbach in Peggau ergaben für diese Zeitspanne folgende Werte:

**Tabelle 1: Die Wasserführung von Lur-, Hammer- und Schmelzbach im Jahr 1966**

	MQ	HQ	NQ
Lurbach	118 l/s	1115 l/s	45 l/s
Hammerbach	212 l/s	637 l/s	103 l/s
Schmelzbach	80 l/s	1035 l/s	43 l/s

Während des Vergleichstestes in der Zeit vom 26. März bis 2. April 1966 waren folgende Abflußverhältnisse zu verzeichnen:

**Tabelle 2: Wasserführung des Lur-, Badl-, Schmelz- und Hammerbaches während der Versuchszeit (Tagesmittel) in l/s**

	Lurbach	Badlbach	Schmelzbach	Hammerbach
26. 3. 1966	74	nicht gemessen	49	136
27. 3. 1966	73	nicht gemessen	48	136
28. 3. 1966	84	11,0	49	136
29. 3. 1966	84	10,5	48	136
30. 3. 1966	78	10,6	48	134
31. 3. 1966	74	9,7	48	132
1. 4. 1966	73	9,9	47	130
2. 4. 1966	73	nicht gemessen	48	130

Bisher wurden am Lurbachsystem drei Markierungsversuche durchgeführt. Im Februar 1927 beschiedte G. KYRLE (1928) die Lurbachschwinde mit 500 kg Viehsalz (NaCl), 1000 g Fuchsin sowie mit Korkschnitzeln und Holzkugeln als Trifftkörper. Er beobachtete den Hammerbach, den Schmelzbachursprung, die Laurinsquelle und eine kleine,

heute nicht mehr bestehende Quelle im Steinbruch südlich der Lurgrotte. Der Versuch verlief negativ. Heute wissen wir, daß die von ihm verwendeten Methoden zum Nachweis der eingespeisten Salz- und Farbstoffmengen nicht geeignet waren.

Am 10. Mai 1952 wurden in die Lurbachschwinde 800 kg vorgeöstes Gewerbesalz (NaCl) eingebracht (V. MAURIN 1952). Unter Kontrolle standen der Badlbach, der Schmelzbachursprung, die Laurinsquelle und der Hammerbach. Durch Titration des Chlorids und Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit der Wässer konnte lediglich am Hammerbach ein Salzdurchgang nachgewiesen werden. Bei den damals gegebenen Schüttungsverhältnissen (Lurbach am Höhleneingang 75 l/s, Schmelzbach 30 l/s, Hammerbach 165 l/s) betrug die Zeit zwischen der Einspeisung und dem ersten Nachweis erhöhter Chloridwerte im Hammerbach 33 Stunden und bis zum Erreichen des Peaks 47 Stunden (34 mg Cl/l bei einem Hintergrund von 5,5 mg Cl/l). Bei einer Entfernung zwischen Lurbachschwinde (Sh. 640 m) und Hammerbachquelle von 3 km Luftlinie in einer Höhendifferenz von 230 m betrug die theoretische Fließgeschwindigkeit der ersten nachweisbaren Tracerspuren 91 m/h und der Durchgangsspitze 64 m/h. 87 Stunden nach der Einspeisung waren die natürlichen Konzentrationen nahezu wieder erreicht. Innerhalb dieser Zeitspanne konnten 23% des eingebrachten Chlors wieder nachgewiesen werden. Bei dieser verhältnismäßig geringen Ausbringung lag die Vermutung nahe, daß ein Teil der schweren Sole in tiefere Karstschläuche abgezogen und vielleicht unkontrollierbar direkt in das Talgrundwasser des Murtales übergetreten ist.

Ein kombinierter Versuch zur Erprobung verschiedener Triftmittel wurde schließlich in der Zeit vom 13. bis 18. April 1959 durchgeführt (V. MAURIN und J. ZÖTL 1959). Dabei wurde die Lurbachschwinde mit 3,5 kg ungefärbten Lycopodiumsporen, 15 kg blau gefärbtem Holzmehl, 25 kg granuliertem Kunststoffpulver (Vestyron N) und 12 kg Diatomeenerde beschickt. 10 kg rot gefärbtes Holzmehl wurde in den „Siphonbach“ (zwischen dem Zweiten und Dritten Siphon) eingebracht und weiters fand eine Einspeisung von 4 kg blau gefärbten Lycopodiumsporen in die „Eisgrube“, eine Schwinde an der Nordseite des Eichberges, statt. Kontrolliert wurden wieder der Badlbach, der Schmelzbachursprung, die Laurinsquelle, der Hammerbach und diesmal auch der Siphonbach. In den Planktonnetzproben konnten lediglich Lycopodiumsporen wieder nachgewiesen werden. In den einmal täglich gezogenen Proben brachten am Hammerbach jene vom 15., 16. und 17. April ungefärbte Lycopodiumsporen, am Siphonbach führte die Probe vom 15. April sowohl ungefärbte als auch blaue Sporen.

Die Ergebnisse des kombinierten Triftversuches bestätigten die bereits 1952 nachgewiesene Verbindung zwischen Lurbachschwinde und Hammerbach. Das Auftreten sowohl ungefärbter als auch blauer Spo-

ren im Siphonbach bewies einerseits, daß dieser einen Seitenstrang des im einzelnen unbekanntem Lur-Hammerbach-Gerinnes darstellt, andererseits aber auch, daß das östlich und nördlich des Eichberges versinkende Wasser ebenfalls in das Lurhöhlensystem eintritt.

Bei dem Ende März/Anfang April 1966 durchgeführten Vergleichstest wurden folgende Markierungsstoffe eingespeist:

Lurbachschwinde:	250	mCi Jod-131
	5	Ci Tritium
	1,5	kg Mangan
	10	kg braun gefärbte Lycopodiumsporen
	5	kg Uranin AP
Eisgrube:	8	kg blau gefärbte Lycopodiumsporen
Katzenbach:	10	kg grün gefärbte Lycopodiumsporen
	30	kg Ammonbromid

Die Darstellung der Versuchsergebnisse erfolgt durch die einzelnen Bearbeiter in der Reihenfolge der Einspeisung, wobei der Nachweis der einzelnen Tracer z. T. durch verschiedene Methoden erbracht wurde.



Abb. 2: Eintritt des Lurbaches in die Lurgrotte bei Semriach. Einspeisungsstelle von Jod-131, Tritium, Mangan, braungefärbten Lycopodiumsporen und Uranin beim Versuch 1966.



Abb. 3: Die Hammerbachquelle bei Peggau. Auf der Brücke und im Zelt die Beobachtungseinrichtungen für Jod-131. In der Holzrinne direkt am Quellmund die in senkrechter Aufhängung installierten Planktonnetze zur Beobachtung des Durchganges der Lycopodiumsporen (vgl. S. 353).

### 1. 1. Die Ergebnisse mit Jod-131

Die Einspeisung des Jod-131 in den Lurbach bei dessen Eintritt in die Lurgrotte bei Semriach erfolgte durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie (H. BATSCHKE, H. BEHRENS). Vorher war im Labor die von den Farbwerken HOECHST, Frankfurt, gelieferte  $\text{Na}^{131}\text{J}$ -Lösung mit 0,1 Mol KJ als Träger versetzt und mit destilliertem Wasser auf 1 l aufgefüllt worden. Für die Eichmessungen wurden 10 ml dieser Lösung entnommen. Dann wurde die Aktivität in einen abgeschirmten Transportbehälter gefüllt. Am 26. März wurde von 10 bis 10.05 Uhr Bachwasser durch den Behälter gepumpt und so die Impflösung quantitativ eingespeist. Die Aktivität betrug zu dieser Zeit etwa 250 mCi.

Beobachtungsstellen zum Nachweis des Tracers wurden von der Forschungsstelle an der Hammerbachquelle und am Austritt des Schmelzbaches aus der Lurgrotte eingerichtet (Abb. 3). Die Messung des Tracers erfolgte nach zwei Methoden: durch Direktmessung im Durchflußbehälter (nur am Hammerbach) und durch Messung nach

Anreicherung des Tracers durch chemische Fällung (am Hammerbach und am Schmelzbach). Im folgenden werden zunächst die Messungen und anschließend die Ergebnisse beschrieben.

### 1. 1. 1. Direktmessung des Jod-131 im Durchflußbehälter (H. BATSCHKE).

Aus dem Hammerbach wurde eine Teilströmung von ca. 0,6 l/s durch ein 100-l-Gefäß gepumpt. In dieses Gefäß tauchte ein Szintillationszähler mit einem NaJ-Kristall von 2" Durchmesser. Die dabei gemessenen Impulsraten wurden über ein Meßgerät (FH 49 A der Firma FRIESEKE & HOEPFNER, Erlangen) automatisch mit einem Schreiber und einem Drucker registriert. Die Konstanz der Nachweisempfindlichkeit wurde mit einem Prüfstrahler kontrolliert.

Die Nachweisempfindlichkeit  $E$  in dieser Meßanordnung betrug etwa  $1,8 \cdot 10^9$  cpm/( $\mu$ Ci/ml)\*, die zählstatistische Nachweisgrenze  $c_{\min}$  (Definition s. Seite 392) lag mit einer Meßzeit von etwa 1 Stunde bei ca.  $3 \cdot 10^{-8}$   $\mu$ Ci/ml.

Zur Berechnung des an der Meßstelle durchfließenden Anteils  $A/A_i$  ( $\doteq$  Wiedererhaltungsgrad) der geimpften Tracermenge  $A_i$  gelten folgende Überlegungen.

Für den Fall der Direktmessung wird die allgemeine Gleichung

$$Q = \frac{A}{\int_0^{\infty} c dt} \quad \text{zu} \quad Q = \frac{A \cdot E}{N}; \quad \text{daraus folgt mit } E \doteq \frac{n''}{A''/V}:$$

$$A = \frac{Q \cdot N}{n'' \cdot V} \cdot A'', \quad \text{bzw.} \quad \frac{A}{A_i} = \frac{Q \cdot N}{n'' \cdot V} \cdot \frac{A''}{A_i}$$

Hierbei bedeuten:

- $A$  = an der Meßstelle durchgeflossene Tracermenge
- $A_i$  = geimpfte Tracermenge
- $A''$  = zum Eichen verwendete Tracermenge
- $E$  = Nachweisempfindlichkeit der Meßanordnung
- $N$  = (Netto-)Impulssumme
- $n''$  = (Netto-)Impulsrate bei der Eichung
- $Q$  = Wasserführung an der Meßstelle (als konstant angenommen)
- $V$  = Volumen des Durchflußbehälters

---

\* cpm = Impulse pro Minute  
 $\mu$ Ci = Mikrocurie

Wie aus der Gleichung ersichtlich, genügt für die Bestimmung des Wiedererhaltungsgrades die Kenntnis des Verhältnisses von Eichaktivität  $A''$  zu Impfaktivität  $A_1$ .

### 1. 1. 2. Messung des Jod-131 nach seiner Anreicherung durch chemische Fällung (H. BEHRENS)

Prinzip und Technik des Anreicherungsverfahrens sind ausführlich bei H. BEHRENS, Seite 79 ff., behandelt. Die verwendete Apparatur ist für die kontinuierliche Anreicherung des Tracers bei der Messung großer Wasserführungen in offenen Gerinnen konstruiert. Sie arbeitet daher mit größeren Durchflußmengen (ungefähr 1000 l/h) über kurze Durchflußzeiten (1 bis 2 Stunden). Für die Untersuchungen am Hammerbach und Schmelzbach war es notwendig, über längere Zeiten verhältnismäßig geringe Durchflußmengen zu verarbeiten. Um die Apparatur trotzdem einsetzen zu können, wurde kontinuierlich ein Teilstrom aus den Gerinnen abgezweigt und in Sammelbehältern gespeichert. Aus diesen Sammelproben wurde dann jeweils der Tracer angereichert. Die Messung ergibt bei diesem Verfahren nur einen Mittelwert der Tracerkonzentration über die Entnahmezeit der Sammelprobe und keine kontinuierliche Konzentration-Zeit-Verteilung wie bei der Direktmessung. Auf diese Weise konnten jedoch die an den beiden Meßstellen Hammerbach und Schmelzbach entnommenen Proben mit nur einer Anreicherungsapparatur verarbeitet werden.

Zur Durchführung der Direktmessung des Jod-131 war mit einer relativ hohen Aktivitätsmenge geimpft worden. An der Hammerbachquelle war dadurch die Tracerkonzentration höher als sie für das Anreicherungsverfahren notwendig gewesen wäre. Es konnte deshalb auf die übliche zweite Anreicherung des Filtereluats aus der ersten Anreicherung verzichtet und das Filtereluat direkt in einer Ringbecheranordnung gemessen werden. Die Nachweisempfindlichkeit lag dabei für eine 1000-l-Probe bei  $E = 1,9 \cdot 10^{11}$  cpm/( $\mu$ Ci/ml).

Die zählstatistische Nachweisgrenze betrug bei Anreicherung aus 1000 l in den Hammerbachproben  $4,5 \cdot 10^{-10}$   $\mu$ Ci/ml. Der Nulleffekt der Meßanordnung betrug dabei 510 cpm, die Proben- und Nulleffektzeit 10 min.

Zur Berechnung des an der Meßstelle durchgeflossenen Traceranteils  $A/A_1$  gilt für das Probenverfahren mit (verlustfreier) Anreicherung:

Die allgemeine Gleichung  $Q = \frac{A}{\int_0^{\infty} c dt}$  wird zu  $Q = \frac{A}{\bar{c} \cdot t_b}$ ; daraus folgt

mit  $\bar{c} = \frac{A'}{V}$ :  $A = \frac{Q \cdot A' \cdot t_b}{V}$  und mit  $A' = \frac{n' \cdot A''}{n''}$  gilt:

$$\frac{A}{A_i} = \frac{Q \cdot n' \cdot t_b}{n'' \cdot V} \cdot \frac{A''}{A_i};$$

dabei ist  $\frac{n''}{A''/V} \doteq E_{\text{ges}}$  und es gilt  $E_{\text{ges}} = \frac{V}{V_a} \cdot E_a$ , wobei

$$E_a \doteq \frac{n''}{A''/V_a}.$$

Es bedeuten:

- A = an der Meßstelle durchgeflossene Tracermenge
- $A_i$  = geimpfte Tracermenge
- $A'$  = Tracermenge in der Probe
- $A''$  = zum Eichen verwendete Tracermenge
- c = (mittlere) Konzentration des Tracers in der Sammelprobe
- $E_{\text{ges}}$  = Nachweisempfindlichkeit des Nachweisverfahrens
- $E_a$  = Nachweisempfindlichkeit der Meßanordnung für die (angereicherte) Probe
- $n'$  = (Netto-)Impulsrate bei der Messung der (angereicherten) Probe
- $n''$  = (Netto-)Impulsrate bei der Eichmessung
- Q = Wasserführung, als konstant angenommen
- $t_b$  = Zeitdauer der Probenentnahme
- V = Volumen der Sammelprobe
- $V_a$  = Volumen der (angereicherten) Probe im Ringbecher

Bei den Schmelzbachproben wurde, dem normalen Verfahrensgang entsprechend, auch das Filtereluat angereichert. Um selbst Spuren Jod-131 sicher identifizieren zu können, wurde die Aktivitätsmessung mit einem 400-Kanal-Gamma-Spektrometer durchgeführt. Die Nachweisempfindlichkeit wurde aus der Zählausbeute geschätzt. Eine genaue Bestimmung der Nachweisempfindlichkeit mußte unterbleiben, da das Spektrometer damals nur kurzfristig zur Verfügung stand.

### 1. 1. 3. Ergebnisse der Messungen

Das Ergebnis der Direktmessung zeigt Abb. 4. Hier ist der zeitliche Verlauf der Jod-131-Konzentration in der Hammerbachquelle dargestellt. Die ersten Spuren des Tracers wurden mit der Direktmessung am 27. März, 24.00 Uhr, das sind 38 Stunden nach der Impfung, registriert. Das Maximum des Durchgangs wurde in einem deutlich ausgeprägten Peak am 28. März um 9.30 Uhr, also 47,5 Stunden nach der Imp-

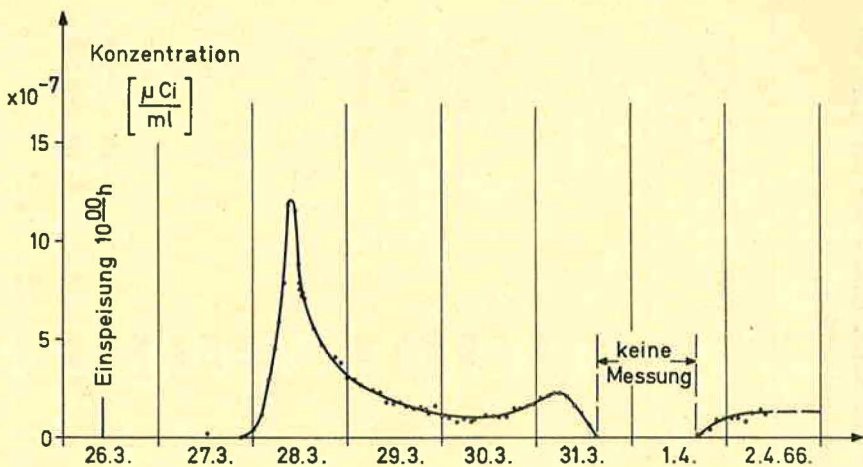


Abb. 4: Konzentration-Zeit-Kurve des Tracers Jod-131 an der Meßstelle Hammerbach, Nachweis durch Direktmessung im 100-l-Durchflußbehälter.

fung an der Meßstelle erfaßt. Die Nettoimpulsrate betrug im Maximum 1140 cpm bei einem Nulleffekt von ungefähr 1800 cpm\*. Vom 31. März, 15.16 Uhr, bis 1. April, 12.27 Uhr, wurde die Direktmessung aus technischen Gründen unterbrochen. Der an der Meßstelle abgeflossene Traceranteil errechnet sich bis 30. März, 24.00 Uhr, zu 4% der Impfmenge, bis zum Abschluß der Messung am 2. April, 10.00 Uhr, zu 4,5%.

Die mit dem Anreicherungsverfahren für die Meßstellen am Hammerbach und am Schmelzbach erhaltenen Meßergebnisse zeigt Tab. 3. Dabei fällt auf, daß bei der Messung am Hammerbach bereits in der vom 26. März, 15.00 Uhr, bis 27. März, 15.00 Uhr, entnommenen Probe Tracer nachgewiesen werden konnte, zu einer Zeit also, zu der bei der Direktmessung noch kein Nachweis möglich war. Der Wiedererhaltungsgrad des mit dem Anreicherungsverfahren am Hammerbach festgestellten Tracers beträgt bis 30. April, 24.00 Uhr, ca. 2,5%, bis 2. April, 11.00 Uhr, etwa 3,5% der Impfmenge.

Am Schmelzbach war in den ersten vier Sammelproben kein Jod-131 nachweisbar, wobei die Nachweisgrenze  $1 \cdot 10^{-8}$  mCi pro 1000-l-Probe betrug. In den Proben B 5 und B 6 (Tab. 3) wurden kleine Mengen Jod-131 festgestellt. Nach Anreicherung des Indikators aus einer 1000-l-Sammelprobe auf eine Probe von ca. 10 ml erfolgte der Nach-

\* An der Hammerbachquelle wurden, ähnlich wie bei der Chrom-51-Messung an der Bründelquelle, stärkere Nulleffektschwankungen registriert, die wesentlich über den statistisch zu erwartenden Schwankungen lagen und somit die zählstatistische Nachweisgrenze verschlechterten.

Tabelle 3: Ergebnisse der Messungen mit Jod-131 am Hammerbach (A) und Schmelzbach (B) bei Nachweis des Tracers über chemische Anreicherung aus Sammelproben

Proben-Nr.	Zeitraum der Probennahme	Quellschüttung	Probenvolumen	Abgeflossener Traceranteil p
		Q (l/s)	V (l)	
A 1	26. 3., 14.00 (Nullprobe)	136	1000	0
A 2	26. 3., 15.00, bis 27. 3., 15.00	136	326	0,0002
A 3	27. 3., 15.00, bis 28. 3., 11.00	136	941	0,0070
A 4	28. 3., 11.00, bis 29. 3., 9.00	136	563	0,0101
A 5	29. 3., 9.00, bis 31. 3., 16.00	133	1000	0,0087
A 6	31. 3., 16.00, bis 1. 4., 10.00	131	597	0,0044
A 7	1. 4., 10.00, bis 2. 4., 11.00	130	1000	0,0036
				$\Sigma p = 0,0340$
B 1	27. 3., 16.00, bis 28. 3., 16.00	48	771	0
B 2	28. 3., 16.00, bis 29. 3., 13.00	49	734	0
B 3	29. 3., 13.00, bis 30. 3., 10.00	48	1000	0
B 4	30. 3., 10.00, bis 31. 3., 12.30	48	1000	0
B 5	31. 3., 12.30, bis 1. 4., 14.30	48	1000	$3 \cdot 10^{-6} \pm 25\%$
B 6	1. 4., 14.30, bis 2. 4., 8.30	48	1000	$2 \cdot 10^{-6} \pm 25\%$

weis durch Messung mit einem 400-Kanal- $\gamma$ -Spektrometer. Diese Methode ermöglicht neben einer einwandfreien qualitativen Identifizierung des Jod-131 auch eine quantitative Bestimmung. Das aufgenommene  $\gamma$ -Spektrum der Probe B 5 ist in Abb. 5 dargestellt. Der Untergrund der Meßanordnung wurde vor der Messung negativ in das Spektrometer eingespeichert und somit aus dem  $\gamma$ -Spektrum eliminiert. Die Meßzeit betrug 120 min, gemessen wurde mit einem Szintillationszähler mit 1,5" · 1,5" NaJ-(Tl)-Kristall, die Probe lag in einem Wägegglas auf dem Kristall. Trotz des bei der kleinen gemessenen Aktivität relativ großen statistischen Zählfehlers, der in den starken Schwankungen des Kurvenzuges (Abb. 5) zum Ausdruck kommt, ist die Haupt- $\gamma$ -Linie des Jod-131 gut zu erkennen und auch quantitativ auswertbar.

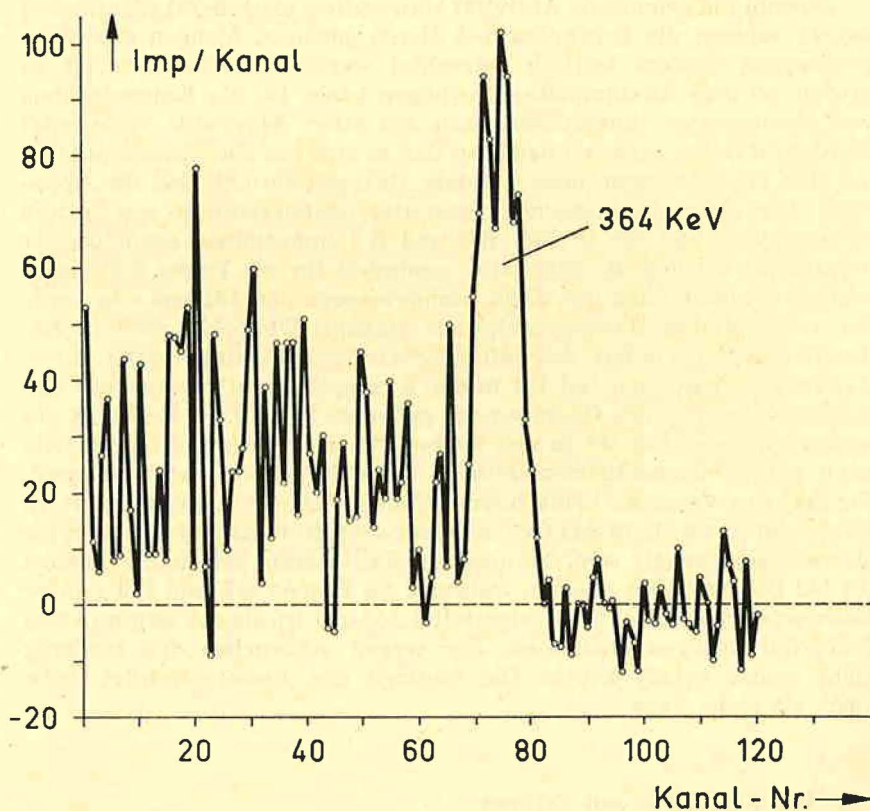


Abb. 5: Gammaskpektrum der Probe B 5 vom Schmelzbach, gemessen mit einem Vielkanal-Gamma-Spektrometer. Das Spektrum läßt trotz eines relativ hohen statistischen Zählfehlers deutlich den für Jod-131 typischen Verlauf erkennen.

In der Probe B 5 wurden  $5 \cdot 10^{-8}$  mCi, in der Probe B 6  $6 \cdot 10^{-8}$  mCi Jod-131 festgestellt, bezogen jeweils auf den 7. April 1966 als Tag der Messung. Der gesamte Meßfehler (der sich ergibt aus statistischem Zählfehler + Fehler bei der Eichmessung + Fehler in der Reproduzierbarkeit der Meßanordnung) lag bei  $\pm 25\%$  der Meßergebnisse. Berechnet man mit diesen Meßwerten den abgeflossenen Traceranteil im Schmelzbach, so ergeben sich für den Zeitraum der Entnahme der Sammelprobe B 5  $3 \cdot 10^{-4}\%$ , für den Zeitraum der Sammelprobe B 6  $2 \cdot 10^{-4}\%$  der Impfmenge. Da der Entnahmezeitraum für die Probe B 6 sich nur über 18 Stunden gegenüber 26 Stunden für die Probe B 5 erstreckte, liegt trotz der höheren Jod-131-Konzentration in der Probe B 6 der Traceranteil hier niedriger.

Obwohl die gemessene Aktivität einwandfrei als Jod-131 identifiziert wurde, müssen die Ergebnisse bei diesen geringen Mengen des nachgewiesenen Tracers kritisch betrachtet werden. Insbesondere ist zu prüfen, ob eine Kontamination vorliegen kann. Da die Sammelproben von Hammerbach und Schmelzbach mit einer Apparatur verarbeitet wurden, wäre es zunächst denkbar, daß es sich um eine Kontamination aus den Hammerbachproben handelt. Dagegen spricht, daß die Apparatur vor jeder Anreicherung sorgfältig dekontaminiert wurde und insbesondere, daß die Proben B 5 und B 6 unmittelbar nacheinander verarbeitet wurden. Es kann also zumindest für die Probe B 6 ausgeschlossen werden, daß das darin nachgewiesene Jod-131 aus einer vorher verarbeiteten Hammerbachprobe stammt. Weiterhin muß in Betracht gezogen werden, daß mit frischen Spaltprodukten nach Kernwaffenversuchen auch Jod-131 in der Atmosphäre auftritt, das mit den Niederschlägen in das Grundwasser gelangen kann. Eine Herkunft des nachgewiesenen Jod-131 in den Proben B 5 und B 6 aus dieser Quelle kann jedoch ausgeschlossen werden. Einmal fanden, soweit bekannt, zur Zeit der Versuche keine Kernwaffentests in der Atmosphäre statt, zum anderen würde in das Grundwasser eingetretenes Jod-131 ziemlich gleichmäßig verteilt sein. In unserem Fall waren jedoch die Proben B 1 bis B 4 eindeutig negativ, während die Proben B 5 und B 6 sichere Meßwerte erbrachten. Das festgestellte Jod-131 ist als der Beginn eines Tracerdurchganges anzusehen, der wegen Abbruches der Messung nicht weiter erfaßt wurde. Die Laufzeit des Tracers beträgt dann mehr als sechs Tage.

## 1. 2. Die Ergebnisse mit Tritium

Die Einspeisung von 5 Ci Tritium in die Lurbachschwinde erfolgte durch die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien (J. MAIRHOFER, V. RAJNER) am 26. März 1966 um 10.00 Uhr.

1. 2. 1. Die Ergebnisse der Probenuntersuchung durch das Tritiumlabor der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien.

Beobachtet wurden der Hammerbach durch stündliche, der Schmelzbach durch sechsstündliche und der Badlbach durch halbtägliche Probenahme.

Die vom Hammerbach gezogenen Proben wurden destilliert, dann mit dem Szintillator versetzt und in einem Packard Tri-Carb-Spektrometer auf Tritium untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 6 wiedergegeben. Interessant erscheinen die dem Kurvenlauf nicht entsprechenden Zacken, wobei es sich nach Auffassung der Versuchsdurchführenden wegen der großen Konzentration kaum um Verseuchung oder Meßfehler handeln kann.

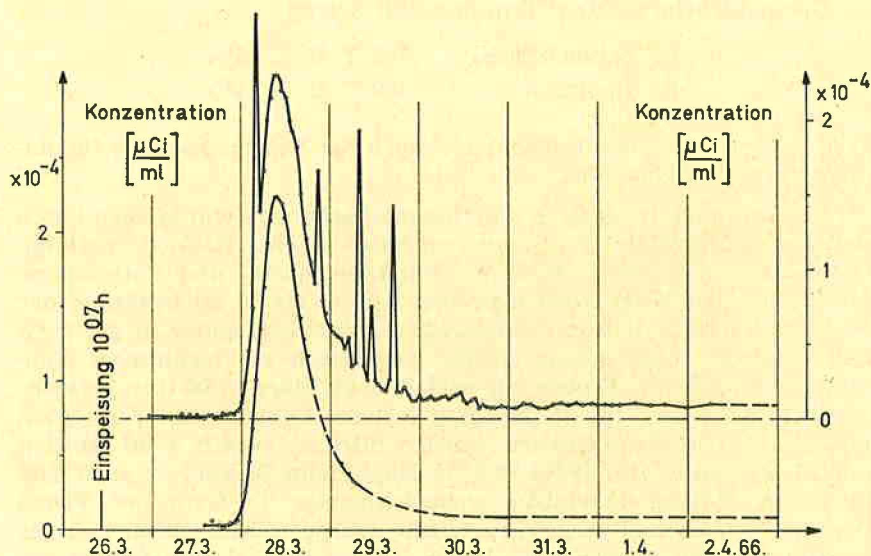


Abb. 6: Konzentration-Zeit-Kurve des Tracers Tritium an der Meßstelle Hammerbach. Nachweis durch Probenmessung im Flüssigkeitsszintillationszähler. Obere Kurve: Messung der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal. Untere Kurve: Messung der Forschungsstelle für Radiohydrometrie.

Der wiedergewonnene Anteil an Tritium beträgt bis 30. März 1966, 24.00 Uhr, bei einem mittleren Durchfluß von 136 l/s,

2,39 Ci oder 47,8%.

Die Menge des wiedererfaßten Tritiums bis zum 9. April 1966, 10.30 Uhr (dies ist die letzte für die BVFA gezogene Probe), bei einem mittleren Durchfluß von 136 l/s (bis 30. März 1966, 24.00 Uhr) bzw. 133,2 l/s (vom 30. März 1966, 24.00 Uhr, bis 9. April 1966, 10.30 Uhr), beträgt.

3,12 Ci oder 62,4‰.

Alle anderen Merkmale dieser Durchgangskurve sind in Tabelle 5 zusammengefaßt.

Die Proben aus dem Schmelzbach bzw. Badlbach wurden elektrolitisch angereichert (Anreicherungsfaktor ca. 13), um noch kleinere Konzentrationsänderungen messen zu können. Trotz dieses Anreicherungsverfahrens konnte weder im Schmelzbach noch im Badlbach außer dem natürlichen Hintergrund Tritium festgestellt werden.

Der natürliche mittlere Tritiumgehalt betrug

im Schmelzbach	383 T. U. $\pm$ 7,3‰
im Badlbach	460 T. U. $\pm$ 7,9‰

### 1. 2. 2. Ergebnisse der Tritiummessungen der Forschungsstelle für Radiohydrometrie München.

Der Tritiumdurchgang in der Hammerbachquelle wurde auch durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie (W. RAUERT) verfolgt. Gleichzeitig mit den Proben der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien wurden Proben von 30 bis 50 ml (während der Passage des Hauptteils der Tracerwolke stündlich, später in größeren Zeitabständen) entnommen. Leider ging durch ein technisches Versehen eine Reihe von Proben, die nach dem 28. März, 19.00 Uhr, entnommen worden waren, für die Messung verloren (gestrichelter Kurventeil in Abb. 6). Die Wasserproben wurden filtriert; jeweils 4 ml wurden mit 16 ml Szintillator (PPO-POPOP-Naphthalin-Dioxan) versetzt und in einem Flüssigkeitsszintillationsspektrometer Tri-Carb der Firma Packard gemessen. Durch Vorversuche wurde sichergestellt, daß die ebenfalls in den Proben enthaltenen Tracer Jod-131 und Uranin die Messung unter den gewählten Versuchsbedingungen nicht stören. Die Nachweisempfindlichkeit der Messung betrug  $1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$ , die Nachweisgrenze  $2 \cdot 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ .

Die ersten Tracerspuren wurden in der Wasserprobe nachgewiesen, die am 27. März um 23.00 Uhr, also 37 Stunden nach der Einspeisung, entnommen worden war. Ihren höchsten Wert erreichte die Tritiumkonzentration an der Meßstelle am 28. März um 9.00 bis 10.00 Uhr, also 47 bis 48 Stunden nach der Einspeisung (s. Tabelle 5). Innerhalb der Zeit vom 27. bis 30. März, 24.00 Uhr, haben nach den Messungen der Forschungsstelle für Radiohydrometrie 39‰ der geimpften Tritium-

menge die Meßstelle passiert, wenn man als Wasserführung 136 l/s und als Impfmenge 5,0 Ci Tritium annimmt. Eine grobe Abschätzung der Tritiummenge, die zusätzlich im „Kurvenschwanz“ in der Zeit vom 30. März, 24.00 Uhr, bis 10. April, 12.30 Uhr, bei einer durchschnittlichen Wasserführung von 133 l/s die Meßstelle passiert hat, ergibt, daß unter den genannten Voraussetzungen insgesamt ca. 55% der geimpften Tracermenge an der Meßstelle vorbeigeflossen sind.

### 1. 3. Die Ergebnisse mit Mangan

Der Einsatz von Mangan und dessen Nachweis wurden vom Atominstitut der österreichischen Hochschulen (K. BUCHTELA) übernommen.

#### 1. 3. 1. Einspeisungen

Bei dem Versuch sollte die Eignung von Mangan als Indikatormaterial zur Verfolgung unterirdischer Wasserläufe getestet werden. Mangan kann aktivierungsanalytisch auch in geringen Mengen ( $10^{-10}$ g) bestimmt werden und stellt außerdem ein sehr preiswertes Markierungsmaterial dar (ca. öS 10.— per kg). Allerdings kommt es in den meisten Gerinnen in Mengen von einigen Mikrogramm pro Liter bereits vor, so daß nicht nur der Nachweis des Vorhandenseins von Mangan, sondern auch die Bestimmung der Konzentrationsänderung bei der Untersuchung der Quellwasserproben erforderlich ist. Wie bei allen im Wasser vorliegenden Kationen spielt beim Mangan das Ionenaustauschvermögen der mit dem Wasser in Berührung stehenden Farbstoffe eine wichtige Rolle. Komplexbildung vor dem Einsatz des Indikators kann den Ionenaustausch erschweren, Verluste verhindern und gegebenenfalls quantitative Abschätzungen über den Durchgang des Indikatormaterials ermöglichen. Dies zu prüfen war ein Zweck der Versuche.

Am 26. März 1966 wurden von 10.10 bis 10.15 Uhr 1,5 kg Mangan in die Lurbachschwinde eingespeist. Das Mangan lag als Sulfat in wässriger Lösung vor und war mit 15 kg Natriumsalz der Äthylendiaminotetraessigsäure (ÄDTE) versetzt worden, um das Mangan komplex zu binden. So sollten die durch Kationenaustausch bedingten Verluste möglichst gering gehalten werden. Das Markierungsmaterial bildete nun eine dünnflüssige Suspension in 60 l Wasser und wurde innerhalb fünf Minuten in den Lurbach gegossen. Das suspendierte Material ging im vorliegenden großen Wasserüberschuß in Lösung.

Am 30. März 1966 um 12.00 Uhr wurden nochmals 3 kg Mangan als Sulfat in wässriger Lösung in die Lurbachschwinde eingespeist. Es wurde auf die Zugabe eines Komplexbildners verzichtet, um überprüfen zu können, ob dieser für den Markierungsversuch von Bedeutung ist.

### 1. 3. 2. Probenahme

Aus den zu beobachtenden Quellen wurden seit 27. März 1966, 0.00 Uhr, Proben entnommen. Für den Hammerbach erfolgte dies durchschnittlich stündlich, für den Schmelzbach alle 6 Stunden, für den Badlbach alle 12 Stunden. Für die Aktivierungsanalyse wurden je 10 ml Probenwasser benötigt.

### 1. 3. 3. Aktivierungsanalyse

Die Eigenschaften der bei der Neutronenbestrahlung entstehenden Radioisotope des Mangans sind in der folgenden Zahlentafel aufgezählt:

Kernreaktion	radioaktiver Isotop	Halbwertszeit	Strahlung in MeV	Folgeprodukt
$^{55}\text{Mn} (n, \gamma)$	$^{56}\text{Mn}$	2,58 h	$\beta$ 2,8 . . . . $\beta$ 0,85 . . .	$^{56}\text{Fe}$ (stabil)

Für die beschriebenen Analysen wurde die Aktivität des Mangan-56 gemessen.

#### 1. 3. 3. 1. Arbeitsvorschrift für die aktivierungsanalytische Bestimmung des Mangans.

Es wurden jeweils 10 ml Proben in Polyäthylenkapseln gefüllt und im Reaktor 3 Stunden bei einem Neutronenfluß von  $1,7 \cdot 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  bestrahlt. Gleichzeitig mit jeder Bestrahlungsserie wurden Vergleichsproben mit bekanntem Mangangehalt (Eichlösungen mit destilliertem Wasser) aktiviert. Eine halbe Stunde nach dem Ende der Bestrahlung wurden die Kapseln geöffnet und die Probenlösungen mit inaktivem Manganträger versetzt. Dazu wurden jeweils 5 ml einer 0,1 molaren Mangan-(II-)Sulfatlösung zugegeben. Nachdem die Proben in Zentrifugengläser eingefüllt worden waren, wurden sie mit 1 ml Bromwasser und 5 ml 5 n Ammoniak versetzt und in ein Becherglas mit heißem Wasser gestellt. Es bildet sich ein dunkelbrauner Niederschlag von Manganoxidhydrat. Dieser wurde abzentrifugiert und mit Wasser gewaschen. Durch Zugabe von einigen Tropfen 10%iger Natriumbisulfatlösung und 1 ml 5 n Salzsäure konnte der Niederschlag aufgelöst und anschließend, wie oben beschrieben, wieder umgefällt werden. Nach einer Wiederholung dieser Reinigungsoperation wurde die salzsaure Manganlösung auf dem Wasserbad einige Minuten erwärmt, um überschüssiges Schwefeldioxid zu entfernen. Es wurden 5 ml Wasser zugegeben, mit 1 n Ammoniak neutralisiert, zwei Spatelspitzen Natriumazetat zugefügt und das Mangan mit 10 ml einer 2%igen Natriumanthranilatlösung ausgefällt. Der abzentrifugierte Niederschlag

wurde mit Wasser gewaschen, in Äthanol suspendiert und auf Aluminiumschälchen übertragen. Nach dem Eindunsten und Trocknen wurden die Präparate gewogen und einer Radioaktivitätsmessung zugeführt. Aus den Ergebnissen der Wägung und dem Vergleich mit der bekannten eingesetzten Manganträgermenge konnten die durch die Aufarbeitung bedingten Verluste ermittelt und die Ergebnisse der Aktivitätsmessung korrigiert werden (Isotopenverdünnungsmethode). Da die Messungen von Proben und Eichlösungen innerhalb weniger Minuten durchgeführt werden konnten, war eine Halbwertszeitkorrektur nicht nötig. Die Messungen wurden mit einem Geiger-Müller-Zählrohr der Type Philips P 18 506 unter 5 cm Bleiabschirmung durchgeführt.

Durch Vergleich der Aktivitätswerte der Wasserproben mit jenem der Eichlösungen mit bekanntem Mangangehalt konnte die in den Proben enthaltene Mangankonzentration errechnet werden. Diese Werte (Mikrogramm Mangan/l) wurden in einem Diagramm gegen die Zeit der Probenahme aufgetragen.

#### 1. 3. 3. 2. *Empfindlichkeit und Genauigkeit*

Mit der beschriebenen Methode können  $10^{-2}$  Mikrogramm Mangan mit einer Genauigkeit von  $\pm 10^{-3}$  Mikrogramm nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze ist vor allem durch die vom Radioaktivitätsmeßinstrument stets gemessene Hintergrundstrahlung (kosmische Strahlung) bedingt.

#### 1. 3. 3. 3. *Zeitaufwand der Aufarbeitung*

Es können 10 bis 12 Proben gleichzeitig aufgearbeitet werden, der Zeitbedarf beträgt 2 bis 3 Stunden.

#### 1. 3. 4. *Ergebnisse*

In Abb. 7 ist der Verlauf der im Hammerbach gemessenen Mangankonzentrationen eingetragen. Man erkennt den ersten Anstieg am 27. März 1966 um etwa 20.00 Uhr, das Maximum am 28. März um etwa 11.00 Uhr und den langsamen Abfall des Mangangehaltes. Es kann nur ein Maximum festgestellt werden, das auf die Einspeisung des komplexgebundenen Mangans am 26. März 1966 um 10.00 Uhr zurückzuführen ist. Ein der Manganeinspeisung vom 30. März 1966, 12.00 Uhr, entsprechendes Maximum ist nicht nachweisbar. Dies ist durch Ionenaustauschvorgänge bedingt. Eine quantitative Auswertung dieses Indikatorversuches erscheint nicht sinnvoll, da auch beim Mangankomplex der Äthylendiaminotetraessigsäure der Ionenaustausch nicht völlig ausgeschaltet werden kann und zu einer Verfälschung der Ergebnisse führt. Aus dem Diagramm kann ermittelt werden, daß bis 30. März, 24.00 Uhr, nur etwa 230 g (15%) des komplexgebundenen Mangans im Hammerbach gefunden wurden.

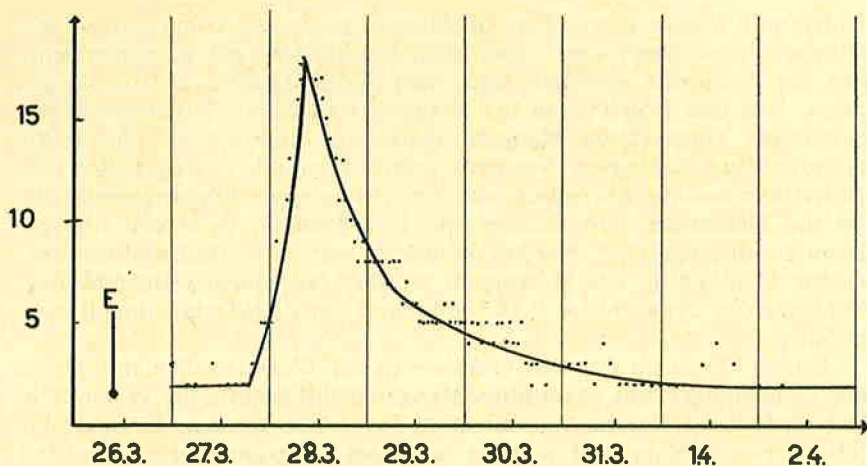


Abb. 7: Der Durchgang von Mangan im Hammerbach.  
 Ordinate: Mikrogramm Mangan pro Liter.  
 Abszisse: Zeit (26. März bis 2. April 1966).  
 E: Zeitpunkt der Einspeisung (26. März, 10.15 Uhr).

Im Schmelzbach und Badlbach konnte keine Erhöhung des Mangan-gehalts nachgewiesen werden.

#### 1. 4. Die Ergebnisse mit braunefärbten Lycopodiumsporen (Einspei-sung Lurbachschwinde)

Am 26. März 1966 wurden von 10.55 bis 11.00 Uhr vom Speläologi-schen Institut (F. BAUER) in die Lurbachschwinde 10 kg braunefärbte Lycopodiumsporen eingespeist.

Auf Sporenaustritte wurden alle in Frage kommenden Gewässer des Gebietes beobachtet, und zwar:

- Hammerbachquelle (ab 26. März, Detailprogramm),
- Schmelzbach (27. März bis 15. April, Probenahmen alle 6 Stunden),
- Badlbach (27. März bis 2. April, Probenahmen alle 12 Stunden),
- Schmelzbachursprung (27. März bis 2. April, Probenahme alle 24 Stun-den),
- Laurinsquelle (27. März bis 2. April, Probenahme alle 24 Stunden),
- Kaskadenbach im Lurhöhlensystem (29. März bis 2. April, insgesamt 4 Proben).

Am Hammerbach, wo ein Austritt von Sporen mit Sicherheit zu erwarten war, wurde ein detailliertes Vergleichsprogramm durch-geführt (siehe hinten).

Die übrigen Beobachtungsstellen wurden mit Planktonnetzen von 25  $\mu$  Maschenweite durch Organe der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen beobachtet (nur am Schmelzbach war ein Seidennetz mit einer Maschenweite von 40 bis 50  $\mu$  eingesetzt); die Aufarbeitung und Untersuchung der dort gezogenen Proben wurde nach der von A. HOFER (Steir. Beitr. zur Hydrogeologie, Jg. 1959, S. 140) beschriebenen Methode durchgeführt.

Braungefärbte Lycopodiumsporen konnten (mit einer fraglichen Ausnahme) nur im Hammerbach nachgewiesen werden.

Am Hammerbach wurden zu Vergleichszwecken verschiedene Methoden der Sporenprobensammlung mit Planktonnetzen nebeneinander angewendet. Sämtliche Netzgarnituren waren mit Juteschutzhüllen und Schutzgittern versehen (siehe F. BAUER: Die Durchführung und Auswertung von Sporentriftversuchen; in diesem Band, Abb. 1), die Aufbereitung der Proben wurde nach der ebenda beschriebenen Dekantiermethode durchgeführt.

#### 1. 4. 1. *Detailbeobachtungsprogramm am Hammerbach*

a) Vertikale Netzeinhängung mit verschieden langer Einhängdauer (Abb. 3 und 8)

In Bodenöffnungen einer vom Hammerbachwasser (mit gleichbleibendem Wasserstand) durchflossenen Holzrinne wurden nebeneinander 4 Planktonnetzgarnituren eingehängt (Netze aus Nylongaze mit 25 Mikron Maschenweite, Beschreibung und Art der Einhängung siehe Seite 255, Abb. 3 b), und zwar:

A 1 mit 2stündiger Einhängdauer (2 Garnituren)

A 2 mit 6stündiger Einhängdauer,

A 3 mit 12stündiger Einhängdauer.

Eine Serie der Proben von A 1 wurde zu Testuntersuchungen während des Versuches verwendet, die zweite Serie (deren Werte hier ausgewiesen sind) wurde mit den anderen Proben später im Labor untersucht.

b) Einhängung verschiedener Netztypen mit gleichzeitiger Probenahme im Hammerbach

Im Hammerbach wurden nebeneinander unter gleichem Anströmungsdruck 4 Netzgarnituren eingehängt (Art der Einhängung siehe Seite 255, Abb. 3 a), die mit Planktonnetzen aus Nylongaze mit verschiedenen Maschenweiten bestückt waren, und zwar:

B 1: Maschenweite 60 Mikron

B 2: Maschenweite 45 Mikron

B 3: Maschenweite 35 Mikron

B 4: Maschenweite 52 Mikron

Die Probenentnahme erfolgte aus allen 4 Netzgarnituren gleichzeitig nach 6stündiger Einhängdauer.

c) Einhängung gleicher Netztypen mit verschieden langer Einhängdauer im Hammerbach

Im Hammerbach wurden unter ähnlichen Bedingungen wie beim Teilprogramm b) (siehe vorher) 4 Netzgarnituren mit gleichartigen Planktonnetzen (Nylongaze mit 25 Mikron Maschenweite) eingehängt, aus denen nach verschieden langer Einhängdauer Proben genommen wurden, und zwar:

- C 1: Einhängdauer 2 Stunden
- C 2: Einhängdauer 6 Stunden
- C 3: Einhängdauer 12 Stunden
- C 4: Einhängdauer 24 Stunden

#### 1. 4. 2. Ergebnisse

Der Sporendurchgang wurde durch die Serie a) erfaßt (siehe Abb. 8). Die ersten Sporen konnten dort in folgenden Proben nachgewiesen werden:

- A 1: Einhängung 27. März, 22.00 bis 24.00 Uhr: 70 Sporen
- A 2: Einhängung 27. März, 18.00 bis 24.00 Uhr: 56 Sporen
- A 3: Einhängung 28. März, 0.00 bis 12.00 Uhr: 832 Sporen

Der erste Sporenaustritt in der Hammerbachquelle ist daher sicher am 27. März vor 24.00 Uhr und wahrscheinlich erst nach 22.00 Uhr desselben Tages erfolgt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß auch schon vor 22.00 Uhr einige wenige, durch die Netze nicht erfaßte Sporen ausgetreten sind, doch scheint dies wegen des steilen Kurvenanstieges äußerst unwahrscheinlich. In der Probe A 3 vom 27. März, 12 bis 24 Uhr, konnten keine Sporen nachgewiesen werden; das Netz war zur Zeit des ersten Sporenaustrittes bereits so stark verlegt, daß kein Wasser mehr durchfließen konnte.

Am 28. März ab etwa 10 Uhr traten im Hammerbach Sporenmengen der Größenordnung der Kulmination des Durchganges aus. Eine eindeutige Durchgangsspitze konnte wegen der Fehlerquellen, die der Methode anhaften, nicht exakt festgestellt werden; sie muß auf Grund der vorliegenden Ergebnisse für den frühen Nachmittag des 28. März angenommen werden. Bis zum 30. März ist der Sporenaustritt (im Verhältnis zu den mit anderen Tracern gewonnenen Durchgangskurven) nur schwach zurückgegangen (bis auf 30 bis 50% der Maximalwerte). Erst ab 1. April ist ein deutlicher Abfall erfolgt. Im Sammeldiagramm der Ergebnisse des Lurgrottenversuches (Tafel I) sind die aus den zweistündigen Planktonnetzproben der Serie A 1 erhaltenen Sporenzahlen in

Kurvenform dargestellt, wobei die einzelnen Punkte bei den Zeiten der Probenentnahmen eingezeichnet sind. Daraus ergibt sich eine Verschiebung der Kurve nach rechts, da die ausgewiesenen Sporenzahlen ja innerhalb der vorhergegangenen 2 Stunden in den Netzen gesammelt worden sind.

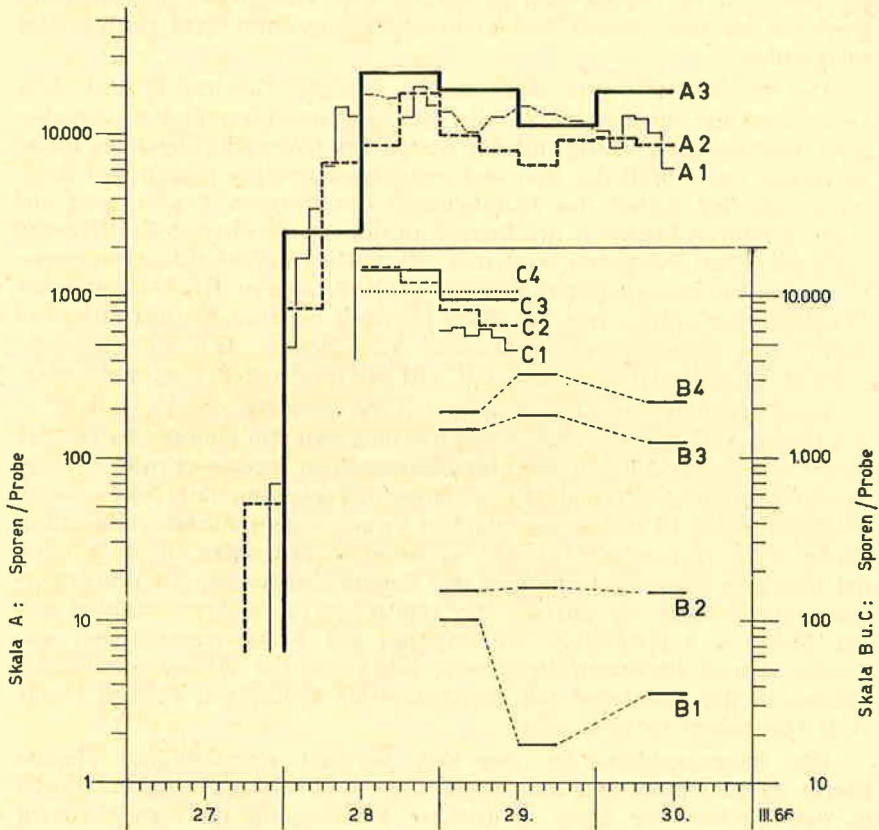


Abb. 8: Sporendurchgang im Hammerbach (27. bis 30. März 1966). Die in den einzelnen Proben festgestellten Sporenzahlen werden durch die horizontalen Linien bezeichnet, deren Längen die Einhängenzeiten der jeweiligen Netze (Zeitraum der Sporensammlung) angeben. Die Ergebnisse der Serien B und C wurden, um die Darstellung übersichtlicher zu gestalten, mit einem eigenen Maßstab ausgewiesen. — Weitere Erläuterungen im Text.

Zur weiteren Verfolgung des Sporendurchganges wurden nach Auflassung des Detailprogrammes bis August 1966 stichprobenweise aus eintägig eingehängten Netzen (Anordnung A) entnommen. Die bis 12. Juli gewonnenen Ergebnisse sind in Abb. 9 (Kurve SP) dargestellt. Ab September 1966 wurden in ca. 14tägigen Abständen Proben aus 2stündig eingehängten Netzen entnommen. Von diesem Zeitpunkt an nahm die Sporenführung des Hammerbaches langsam ab (10 Sporen in der Probe vom 29. Dezember 1966). Durch erhöhte Wasserführung konnten jedoch in der Probe vom 28. Jänner 1967 wieder 112 Sporen nachgewiesen werden. Dieses Probenentnahmeprogramm wird noch weiter fortgeführt.

Der Anstieg des Sporenaustrittes erfolgte gleichzeitig mit dem Uraninanstieg; ebenso waren die (größenordnungsmäßig) maximalen Sporenzahlen gleichzeitig mit der Spitze des Uranindurchganges nachzuweisen. Der Abfall des Sporendurchganges erfolgte jedoch viel langsamer als der Abfall des Durchganges der übrigen Tracer, was auf einen größeren Rückhalt der Sporen in der unterirdischen Triftstrecke hinweist. Zum Vergleich muß hier die mittels Aktivkohle gewonnene Uraninkurve herangezogen werden (Abb. 9, Kurve B): Während die Uraninkonzentration vom 28. März (Spitzel) bis zum 9. Juni auf rund 0,05% des Maximalwertes absank, verminderte sich der Sporenaustritt in der gleichen Zeit nur auf rund 2% des Maximalwertes.

Der Vergleich der Ergebnisse der Probenserien A 1 — A 2 — A 3 (siehe Abb. 8) zeigt, daß durch die längeren Einhängungszeiten der Netze A 2 und A 3 keine der Einhängungsdauer entsprechende erhöhte Sporensammlung erreicht wurde (rasche Verlegung der Netze durch Schwebstoffe!). In der Regel ergeben zwar längere Einhängungszeiten (siehe auch Kurven C 1—C 4) größere Sporenzahlen, doch können geringfügige Beeinträchtigungen der Beobachtungen bereits die Ergebnisse verfälschen. So dürften die relativ geringen Sporenzahlen aus der Serie A 2 (6stündige Einhängung) auf Ausschwemmungen aus diesen Netzen zurückzuführen sein, die durch die Wasserstandsänderungen in der Holzrinne bei Entnahme der 2stündigen Proben (Serie A 1) verursacht worden sind.

Die Sporenzahlen, die aus den vertikal eingehängten Netzen (Serie A) gewonnen wurden, liegen um ca. 50 bis 100% höher als die in den Proben der Serie C (direkte Einhängung im Hammerbach) nachgewiesenen. Die Kurven C 2 und C 3 lassen einen deutlichen Abfall ab 28. März, 12.00 bis 18.00 Uhr, erkennen, der in dieser Form bei den Kurven der Serie A nicht nachgewiesen werden konnte. Es liegt daher der Schluß nahe, daß die Netze der Serie A, durch die größere Wassermengen (mit stärkerem Druck!) als durch die Netze der Serie C gefiltert wurden, bereits nach einem Bruchteil der Einhängungszeit so stark durch Schwebstoffe verlegt waren, daß über die erzielten maximalen Sporenzahlen (um 10.000 bis 20.000 Sporen pro Probe) keine weiteren

Sporen mehr gesammelt werden konnten und eine allfällige Durchgangsspitze um etwa 12.00 Uhr des 28. März überhaupt nicht mehr erfaßt werden konnte. Möglicherweise hätten bei vertikaler Einhängung Netze mit ein- oder halbstündiger Probenentnahme einen ähnlichen Kurvenabfall ab 28. März, 12.00 bis 18.00 Uhr, ergeben wie C 2.

Die mit verschiedenen Planktonnetztypen (Serie B) gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß die größten Sporenzahlen durch Netze aus Nylongaze mit 25 Mikron Maschenweite (B 4) erzielt werden. Weitmaschigere Netze lieferten entsprechend geringere Sporenmengen (B 3 mit 35 Mikron ca. 60%, B 2 mit 45 Mikron ca. 10%, B 1 mit 60 Mikron ca. 0,5 bis 5%).

In der Zeit vom 26. bis 30. März 1966 wurden alle 2 Stunden je 1 l Hammerbachwasser durch feinporige Filter gesaugt und die auf den Filtern zurückgehaltenen Sporen unter dem Mikroskop ausgezählt. Die Filtration stieß jedoch wegen des großen Schwebstoffgehaltes des Wassers auf Schwierigkeiten, so daß diese Untersuchung nicht im geplanten Umfang durchgeführt werden konnte. Der durch die Filtration nachgewiesene Sporengehalt des Hammerbachwassers betrug am 28. März nachmittags bis zu 118 Sporen pro Liter Wasser. In den Zweistunden-Netzproben der Serie A 1 wurden zur gleichen Zeit bis zu 19.000 Sporen nachgewiesen. Daraus ergibt sich, daß durch ein Netz innerhalb von 2 Stunden rund 1,5 m<sup>3</sup> Wasser gefiltert worden sind, was einem Durchschnitt von rund 0,2 l/s entspricht. Da das Durchschnittsgewicht der Sporen nicht genau bekannt ist und dieses auch zweifellos je nach Herkunft, Behandlung und Austrocknungsgrad der Sporen jeweils verschieden groß ist, kann auch aus den durch Filtration abgemessenen Wassermengen gewonnenen Sporenzahlen nicht auf den Anteil des im Hammerbach wiederausgetretenen Einspeisungsgutes geschlossen werden.

Bei einer am 1. April 1966 von 20.00 bis 2. April, 8.00 Uhr, am Schmelzbach entnommenen Probe wurde eine braune Spore gefunden. Es handelt sich mit größter Wahrscheinlichkeit um eine Verschleppung aus den Hammerbachproben. Einer einzelnen Spore kann generell keine Beweiskraft beigemessen werden.

## 1. 5. Die Ergebnisse mit Uranin

Am 26. März 1966 wurden zwischen 11.25 und 11.30 Uhr 5 kg Uranin AP MERCK (Darmstadt) durch die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen (V. MAURIN) in die Lurbachschwinde eingesetzt. Die Beobachtung des Farbdurchganges erfolgte durch verschiedene Methoden.

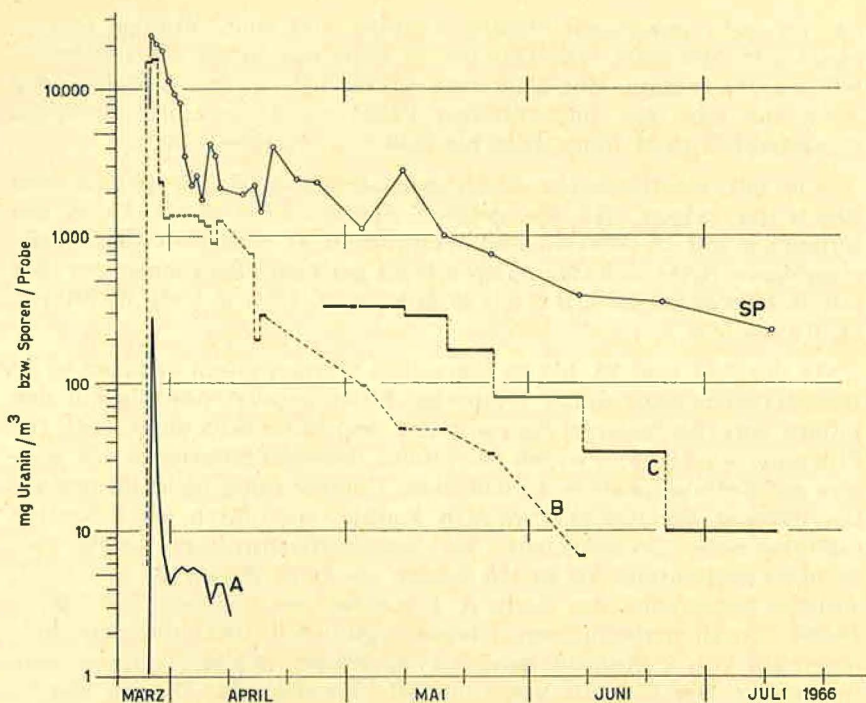


Abb. 9: Uranin- und Sporendurchgang im Hammerbach (27. März bis 12. Juli 1966).

A: Uranindurchgang nach den Messungen von W. Käss (mg Uranin/cbm Hammerbachwasser).

B-C: Uranindurchgang nach den Ergebnissen der kontinuierlichen Anreicherung mit Aktivkohle von F. BAUER (Uraningehalte der aus den Aktivkohlen gewonnenen Eluate in mg/cbm).

B = Werte aus eintägig eingehängter Aktivkohle.

C = Werte aus mehrtägig eingehängter Aktivkohle. (Die Längen der horizontalen Linien geben die Einhängzeiten der Aktivkohlen an.)

SP: Aus eintägig eingehängten Planktonnetzen gewonnene Sporenzahlen (vertikale Netzeinhängung!).

Weitere Erläuterungen im Text.

### 1. 5. 1. Die Untersuchung der Wasserproben mittels eines ZEISS-Spektralphotometers durch W. Käss.

Beobachtet wurden der Schmelz- und Hammerbach. Vom Schmelzbach kamen zwischen dem 27. März, 0,20 Uhr, und dem 9. April, 10.00 Uhr, 37 Proben zur Untersuchung. In keiner der Proben war Uranin vorhanden, oder es lag unterhalb der Nachweiskonzen-

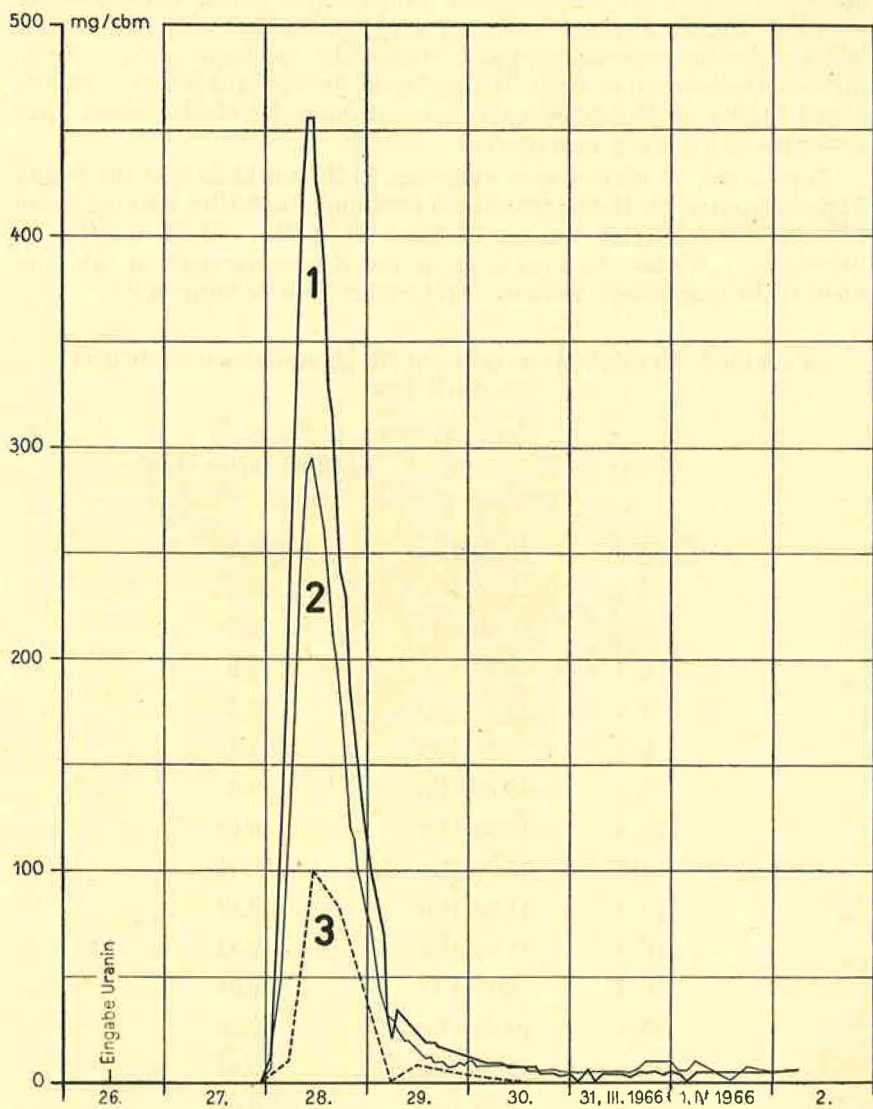


Abb. 10: Der Uranindurchgang im Hammerbach nach den Messungen von H. SAGL (1), W. KÄSS (2) und F. HRIBAR (3).

tration (0,2 mg Uranin/cbm). Aus dem Hammerbach wurden 120 Proben zwischen dem 26. März, 24.00 Uhr, und dem 3. April, 10.00 Uhr, entnommen. Die Untersuchung bis zur Entnahme am 30. März, 16.00 Uhr, einschließlich erfolgte mit einem Leihgerät der Firma C. ZEISS, Vertrieb optischer Erzeugnisse Ges. m. b. H. in Wien, im Institut für Mineralogie und Technische Geologie an der Technischen Hochschule in Graz. Die späteren Proben wurden in verschiedenen Serien im Geochemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes in Freiburg untersucht.

Bereits am 27. März trafen zwischen 20.00 und 21.00 Uhr die ersten Farbstoffspuren im Hammerbach ein (Messung 21.00 Uhr: 0,06 mg/cbm). Das stärkste Auftreten war am 28. März, 11.00 Uhr, mit 295 mg/cbm zu verzeichnen. Weitere Meßwerte, die in der Kurvendarstellung (Abb. 10) nicht mehr erscheinen, werden in folgender Tabelle mitgeteilt:

**Tabelle 4: Uraninkonzentrationen im Hammerbach nach dem 2. April 1966**

Tag	Zeit	mg Uranin / cbm Wasser
3. 4.	10.00 Uhr	5,3
4. 4.	15.15 Uhr	5,7
5. 4.	15.00 Uhr	5,3
6. 4.	14.25 Uhr	5,0
7. 4.	15.15 Uhr	3,2
8. 4.	10.00 Uhr	4,4
9. 4.	10.30 Uhr	4,4
13. 4.	10.00 Uhr	0,06
14. 4.	13.00 Uhr	0,11
15. 4.	11.00 Uhr	0,17
16. 4.	11.30 Uhr	0,32
18. 4.	8.15 Uhr	0,04
20. 4.	10.00 Uhr	0,26
22. 4.	12.30 Uhr	0,61
26. 4.	9.00 Uhr	0,08
3. 5.	10.00 Uhr	0,32

Die quantitative Auswertung ergab folgende Daten für die Fließzeiten und Fließgeschwindigkeiten (bei einer Luftlinienentfernung von 3000 m von der Eingabe- zur Austrittsstelle):

- erstes Auftreten nach 33 Std.; entsprechend einer Fließgeschwindigkeit von 91 m/h,
- stärkstes Auftreten nach 47,5 Std., entsprechend einer Fließgeschwindigkeit von 63 m/h,
- 50%iges Ausbringen nach 150 Std.; entsprechend einer Fließgeschwindigkeit von 20 m/h.

Bis zur letzten Probenahme am 3. Mai 1966 traten nach den Messungen von W. Käss im Hammerbach 3,3 kg Uranin oder 66% der eingegebenen Menge wieder aus. Die Werte wurden durch graphische Integration mit den täglichen Schüttungen gewonnen.

#### 1. 5. 2. Die Untersuchung von Einzelproben mit dem TURNER-Fluorometer durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie in München (H. SAGL).

Von den durch die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen an der Hammerbachquelle entnommenen Proben für die Tritiummessung wurden Teilvolumina (5 ml) abgezweigt und nach Beendigung des Versuches im Labor mit dem TURNER-Fluorometer (vgl. H. Moser und H. SAGL, Seite 179 ff.) ausgemessen. Die Messung erfolgte ohne Vorbehandlung der Proben. Für die Eichmessungen stand leider keine Teilmenge der Impfsubstanz zur Verfügung. Die Nachweisempfindlichkeit lag bei  $8 \cdot 10^{10}$  Skalenteilen/(g/ml). Die Nachweisgrenze ergab sich wegen des starken Schwebstoffgehaltes zu  $0,7 \cdot 10^{-9}$  g/ml. Sie liegt vergleichsweise für Uraninlösungen mit destilliertem Wasser bei  $1,2 \cdot 10^{-11}$  g/ml.

Den zeitlichen Verlauf der Uraninkonzentration an der Meßstelle Hammerbach zeigt die Abb. 10. Die ersten Spuren des Tracers wurden in der Probe vom 28. März, 0.00 Uhr, das sind 36,5 Stunden nach der Einspeisung, registriert. Das Maximum erreichte am 28. März, 10.30 Uhr, also 47 Stunden nach der Einspeisung, die Meßstelle. Die an der Meßstelle abgeflossene Tracermenge A errechnet sich aus dem Integral

$\int_0^{\infty} c dt$  der Durchflußkurve und der mittleren Wasserführung  $Q$  (135,4 l/s) nach der Formel  $A = Q \cdot \int_0^{\infty} c dt$ . Die Berechnung ergibt bis

30. März, 24.00 Uhr, 65%, bis zum Ende der Messung am 2. April, 6.00 Uhr, 68% der Impfmenge.

1. 5. 3. Der Uraninnachweis in der Hammerbachquelle mittels der absorptiven Ultramikromethode durch Aktivkohle (F. HRIBAR & L. OSTANEK).

Für jede Probe wurden 5 l Wasser aus dem Hammerbach entnommen und durch einen Absorptionsfilter filtriert (vgl. A. POLLAK et al.: „Absorptive Ultramikromethode zur Bestimmung des Fluoreszeins im Wasser“ in diesem Band).

Die Absorptionsfilter sind mit einer Füllung von Aktivkohle der Firma British-Drug Houses, die eine genügende Absorptionsfläche darbietet, versehen. Das Filtrieren dauert beiläufig zwei Stunden. Das absorbierte Uranin wird aus der Aktivkohle mit 10 ml Eluent (einer Mischung von 15%iger wässriger Kalilauge und Äthanol im Verhältnis 1 : 1) ausgelöst. Der Absorptionsfilter wird im Eluent ca. 15 Minuten eingeweicht, nachher wird das Eluat durch einen qualitativen Filter durchfiltriert. So wird im Eluent eine bis 500mal stärkere Konzentration des Uranins erreicht als sie im Probewasser war. Die erreichte Konzentration wird im Fluoroskop mit der Fluoreszenz von vorbereiteten Standardproben verglichen und nach dem Ausgangswert berechnet. Im Fluoroskop kann einwandfrei noch eine Konzentration des Uranins von  $1 : 10^9$  nachgewiesen werden. So ist mit dieser Methode die Bestimmung der Fluoreszenz in Konzentrationen geringer als  $1 : 10^{11}$  noch möglich.

Stärkere Konzentrationen des Uranins (z. B.  $1 \cdot 10^{-5}$ ) sind im Eluat fluoroskopisch mittels Vergleichung der Standardproben schwer genau festzustellen, in solchen Fällen ist es notwendig, die Proben zu verdünnen. Das Grundziel der Methode ist, die niedrigsten Konzentrationen festzustellen, während stärkere Konzentrationen einfacher direkt gemessen werden.

Die erste Probe wurde am 27. März um 14.00 Uhr entnommen. Sie hatte bei einer 500fachen Konzentration eine Stärke von  $7 \cdot 10^{-9}$  unter dem Fluoroskop bzw. einen Ausgangswert von 0,014 mg/cbm in der Probe. Um 18.00 Uhr desselben Tages war in der Probe eine Konzentration  $9 \cdot 10^{-9}$  bzw. ein Ausgangswert von 0,018 mg/cbm erreicht. Nun stieg die Konzentration der Proben stark an und erreichte um 24.00 Uhr einen Wert von  $2 \cdot 10^{-7}$ . Der Höhepunkt wurde am 28. März zu Mittag gemessen ( $5 \cdot 10^{-5}$  bzw. 100 mg/cbm des Ausgangswertes). Diese Probe war eine Stunde nach dem mit den anderen Verfahren festgestellten Maximum der Welle entnommen worden. Anschließend fielen die Werte der Konzentrationen wieder bis auf  $5 \cdot 10^{-7}$  (bzw.  $1 \cdot 10^{-9}$  des Ausgangswertes), wie sie bei der letzten Entnahmeprobe am 30. März um 12.00 Uhr gemessen wurde. Die Verbindungslinie der gemessenen Werte zeigt einen regelmäßigen Verlauf, von der nur ein Probepunkt vom 29. März um 6.00 Uhr abweicht. Diese Abweichung ist wahrscheinlich auf eine mangelhafte Probeentnahme oder einen bei der Filtrierung begangenen Fehler zurückzuführen.

Eine offene Frage besteht insofern, als unsere ersten zwei Proben, ca. 5 bis 7 Stunden früher ein Auftreten von Fluoreszein zeigten, als das bei den anderen Methoden der Fall war. Es besteht die Möglichkeit, daß es sich hier um eine sogenannte Naturfluoreszenz handelte. Leider hatten wir bei der Analyse kein Uranin der Impfsubstanz zur Verfügung und auch keine Möglichkeit, Blindproben von der Hammerbachquelle zu entnehmen, um die Anwesenheit des Uranins spektrophotometrisch beweisen zu können. Jedoch beweist der schnelle Anstieg der Kurve nach 18.00 Uhr (27. März) mit Gewißheit die Anwesenheit des geimpften Uranins, so daß das erste sichere Auftreten des Farbstoffes mit Gewißheit in der Zeit zwischen 18.00 und 21.00 am 27. März lag.

Da der Versuch nur eine Demonstration der neuen Methode war, wurde die Ausführung des Filterverfahrens nicht an Ort und Stelle kontrolliert. Ebenso wurden auch die Eluate von stärkerer Konzentration nicht verdünnt, und da auch kein Impfungsuranin für Standardproben zur Verfügung stand, sind die Konzentrationswerte an der Spitze der Kurve wahrscheinlich zu niedrig. Es ist daher nicht möglich, die durchgeflossene Tracermenge zu berechnen.

Wenn die ersten zwei Proben (von 14.00 und 18.00 Uhr am 27. März), die nicht ganz zuverlässig sind, nicht in Betracht gezogen werden, können wir die Zeit des ersten Auftretens des Farbstoffes am 27. März zwischen 20.00 und 21.00 Uhr annehmen, das ist ca. 32,5 Stunden nach der Impfung. Die stärkste Konzentration wurde am 28. März um 12.00 Uhr registriert (eine Stunde nach dem tatsächlichen Maximum, da die Proben nur alle 6 Stunden entnommen werden), also 48,5 Stunden nach der Impfung. Bei 3 km Luftlinie beträgt so die berechnete Geschwindigkeit 62 m/Std. bzw. 0,017 m/sec.

#### 1. 5. 4. Die Ergebnisse kontinuierlicher Uraninanreicherung mit Aktivkohle durch F. BAUER

Von F. BAUER (Speläologisches Institut, Wien) wurde der Uranindurchgang im Hammerbach durch Anreicherung in Aktivkohle erfaßt. Die Methode wurde im einzelnen von F. BAUER (Erfahrungen beim Uraninnachweis mit Aktivkohle; in diesem Band!) beschrieben. Im Gegensatz zu der von F. HRIBAR durchgeführten Uraninanreicherung aus Einzelproben (siehe oben!) wurde hier die Aktivkohle über bestimmte Zeiten dem fließenden Hammerbachwasser ausgesetzt. Zum Einsatz kamen sowohl Aktivkohlesäckchen wie auch Kohledurchflußfilter.

Die Aktivkohlesäckchen waren dem ca. 1 m/s fließenden Wasser ausgesetzt, die Durchflußfilter (Dicke der Kohlekörnerschicht ca. 30 mm, Durchmesser der Schicht ca. 25 mm) wurden gleichmäßig von rund 1,5 l Hammerbachwasser pro Minute durchflossen, das sind 1,08 cbm während der 12stündigen Einhängungszeit.

Um die Abhängigkeit der Uraninanreicherung von der Einhängedauer der Kohlen zu überprüfen, wurden parallel 5 Testreihen mit verschieden langer Einhängung der Aktivkohlen durchgeführt.

Die in den Eluaten der Aktivkohlen nachgewiesenen Uraninkonzentrationen sind in Abb. 11 dargestellt.

- B: 12stündige Kohledurchflußfilter
- C: 24stündige Aktivkohlesäckchen
- D: 12stündige Aktivkohlesäckchen
- E: 6stündige Aktivkohlesäckchen
- F: 2stündige Aktivkohlesäckchen

Die Schwankungen der Kurve F (2stündige Kohlesäckchen) können darauf zurückzuführen sein, daß die vorgesehenen Einhängungszeiten wegen des umfangreichen Probeentnahmeprogrammes von den Beobachtern nicht immer genau eingehalten werden konnten.

Sämtliche Kurven (B bis F) bilden den von W. KÄSS (siehe vorne) im Hammerbachwasser bestimmten Konzentrationsgang (Abb. 11, Kurve G) gut ab. Die Uraninanreicherung war um so stärker, je länger die Kohlesäckchen dem Hammerbachwasser ausgesetzt waren. Am stärksten war sie bei den 12stündigen Kohledurchflußfiltern (Kurve B); die aus ihnen gewonnenen Uraninkonzentrationen waren zwei- bis viermal so stark wie jene, die aus den ebenfalls 12stündig exponierten Kohlesäckchen (Kurve D) erhalten wurden.

In Abb. 11 ist den von F. BAUER und W. KÄSS erhaltenen Werten die von F. HRIBAR (Uraninanreicherung aus Einzelproben mit Papier-Kohlefiltern) erhaltene Kurve (A) gegenübergestellt. F. HRIBAR erhielt durch Filtration von nur 5 l Wasser durch die Papier-Kohlefilter in den Filtereluaten Uraninkonzentrationen, die nahe an die Konzentrationen heranreichten, die aus den von mehr als 1000 l Wasser durchflossenen Kohledurchflußfiltern (Kurve B) erzielt wurden. Dies kann darin begründet sein, daß die für die Kohledurchflußfilter verwendete Aktivkohle weniger für die Uranin-Absorption geeignet ist als die von F. HRIBAR verwendete Aktivkohle (die im Handel nur gepulvert erhältlich ist), oder daß bei den in der Beobachtungszeit herrschenden hohen Uraningehalten des Hammerbaches bei beiden Aktivkohlesorten bereits nach Filterung geringer Wassermengen der maximale Bedeckungsgrad erreicht wurde, so daß die Kohlen kein weiteres Uranin mehr aufnehmen konnten. Zur Klärung dieser Frage werden beide Methoden auch mit Wasser mit geringeren Uraningehalten (etwa 1 bis 10 mg/cbm) vergleichsweise zu überprüfen sein.

Nach Beendigung des Detailprogrammes am 1. April 1966 wurde das Hammerbachwasser noch bis September 1966 mit Aktivkohlesäckchen auf Uraninaustritte geprüft. Die in den Eluaten festgestellten Konzentrationen sind in Abb. 9 dargestellt. (B = eintägige Aktivkohle-

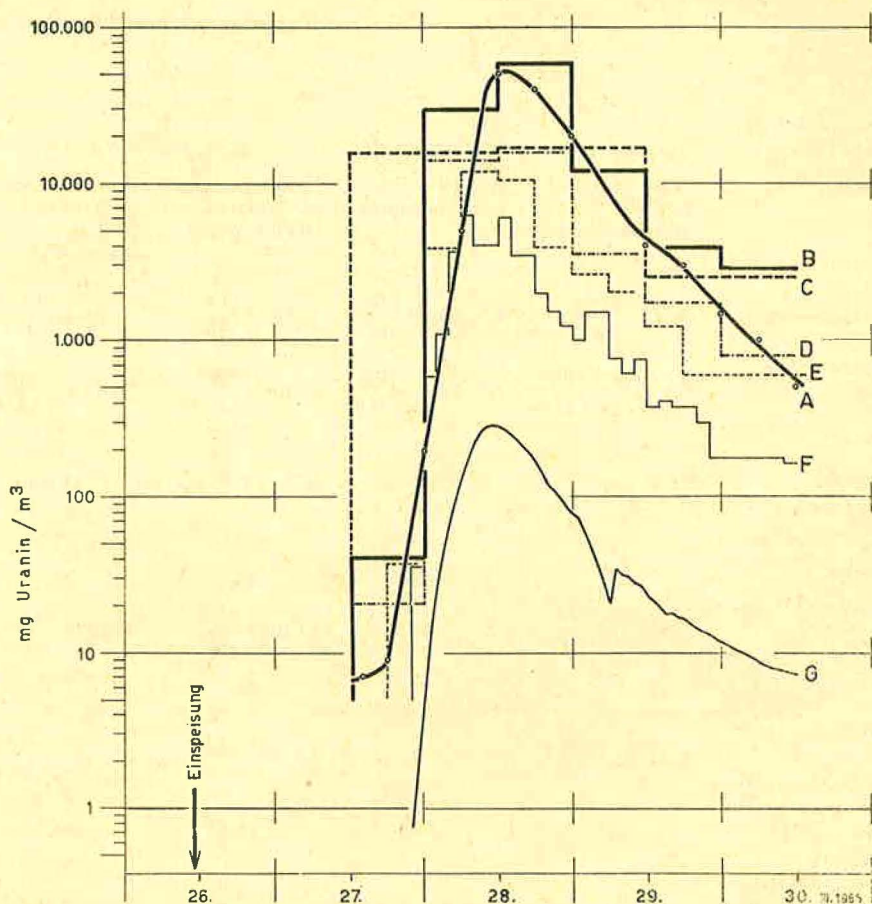


Abb. 11: Uranindurchgang im Hammerbach (27. bis 30. März 1966). Vergleichende Darstellung der nach verschiedenen Methoden gewonnenen Durchgangskurven.

A: Uraningehalte der Eluate von Papier-Kohlefiltern bei 500facher Anreicherung (Filtration von Einzelproben durch F. HRIBAR).

B—F: Uraningehalte der Eluate aus Aktivkohlen (kontinuierliche Urananreicherung mit Aktivkohle durch F. BAUER).

B = 12stündiger Kohledurchflußfilter,

C = 24stündige Aktivkohlesäckchen

D = 12stündige Aktivkohlesäckchen

E = 6stündige Aktivkohlesäckchen

F = 2stündige Aktivkohlesäckchen. (Die Längen der horizontalen Linien geben die Einhängzeiten der Aktivkohlen an.)

G: Uraningehalte des Hammerbachwassers (Bestimmung mit Spektralfuorometer durch W. KÄSS).

Weitere Erläuterungen im Text.

Tabelle 5: Übersicht über den

Tracer	Jod-131		Tritium	
Einspeisungsmenge	250 mCi		ca. 5 Ci	
Einspeisungszeit	26. 3. 1966, 10.00—10.05 Uhr		26. 3. 1966, 10.07 Uhr	
Nachweismethode	Direktmessung im 100-l- Durchflußbehälter	Anreicherung aus Sammelproben	Probenmessung im Tri-Carb. (BVFA Wien)	Probenmessung im Tri-Carb. (F. f. R. München)*
Nachweisgrenze	$3 \cdot 10^{-8} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$4,5 \cdot 10^{-10} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$
Nachweisempfindlichkeit	$1,8 \cdot 10^9 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$1,9 \cdot 10^{11} \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$6 \cdot 10^6 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$
Untergrund	1800 cpm	510 cpm	$1,75 \cdot 10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$	25 cpm
erster Nachweis (Stunden nach der Einspeisung)	38	< 29	37	37
Konzentration beim ersten Nachweis	$0,5 \cdot 10^{-7} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	—	$5 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$
Maximum (in Stunden nach der Einspeisung)	47,5	—	47	47,5
Konzentration im Maximum	$1,2 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	—	$2,3 \cdot 10^{-4} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2,1 \cdot 10^{-4} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$
Halbwertsbreite der Durchflußkurve in Stunden	8	—	14,5	14
Schwerpunkt (Stunden nach der Einspeisung; Kurve bis 2. 4., 24.00)	76	—	67	62
Wasservolumen (m <sup>3</sup> ) zwischen Impf- und Meßstelle (Berechnung aus Schwerpunkt)	36.600	—	(32.300) ?	29.900
nachgewiesene Tracermenge				
a) bis 30. 3., 24.00	4%	2,5%	47,8%	39%
b) bis Ende der Messung	4,5% bis 2. 4., 10.00 Uhr	3,5% bis 2. 4., 11.00 Uhr	62,4% bis 9. 4., 10.30 Uhr	55% bis 10. 4., 12.30 Uhr
	Seehöhe der Einspeisungsstelle: 640 m			
	Seehöhe Hammerbachquelle: 410 m			
	Höhenunterschied: 230 m			
	Entfernung Impf-Meßstelle (Luftlinie): 3000 m			

## racerdurchgang im Hammerbach

Mangan	Lycopodiumsporen	Uranin
1,5 kg	10 kg	5 kg
5. 3. 1966, 10.10—10.15 Uhr	26. 3. 1966, 10.55—11.00 Uhr	26. 3. 1966, 11.25—11.30 Uhr
ktivierungsanalyse	mikroskopische Untersuchung von Planktonnetzproben	Probenmessung mit Spektralphotometer (W. Käss)
		Probenmessung im Fluorometer (F. f. R. München)*
$10^{-3}$ g/10 ml	—	0,02 mg/cbm
		14 Skalenteile je 1mgUranin/cbm
$10^{-3}$ g/10 ml	—	0,3 Skalenteile entspr. 0,02 mgUranin/cbm
$\cdot 10^{-2}$ g in 10 ml	—	
		$8 \cdot 10^{10} \frac{\text{Skalenteile}}{\text{g/ml}}$
		$(1,4 \pm 0,7) \cdot 10^{-9} \frac{\text{g}}{\text{ml}}$
34	35—37	33,5
3 $\mu\text{g/l}$	56 Sporen	0,06 mg Uranin/cbm
47	47	47,5
		36,5
		$5,6 \cdot 10^{-9} \frac{\text{g}}{\text{ml}}$
18 $\mu\text{g/l}$	20.000 Sporen	2,05 mg/cbm
17	—	12,5
57	—	51
		53
27.500	—	24.600
		25.500
15%	—	49,6%
—		66% bis 3. 5. 1966
		65% bis 2. 4., 6.00 Uhr

\* F. f. R. = Forschungsstelle für Radiohydrometrie

säckchen; C = mehrtägige Aktivkohlesäckchen. Die horizontalen Linien geben die jeweiligen Einhängzeiten an.) Durch das vom 23. Juni bis 12. Juli 1966 eingehängt gewesene Kohlesäckchen konnte für diese Zeit noch ein eindeutiger Uraninaustritt nachgewiesen werden. In den später entnommenen Kohleproben war mit freiem Auge kein Uraninnachweis mehr möglich. Der Vergleich der Kurven B und C zeigt deutlich, daß besonders bei schwachen Uraninkonzentrationen durch längere Kohleinhängzeiten eine bedeutend stärkere Uraninanreicherung erzielt werden kann.

Die Uranin-Aktivkohlemethode gestattete hier mit geringstem Aufwand einen eindeutigen Uraninnachweis noch zu einer Zeit, wo die anderen Tracermethoden entweder wegen der zu geringen Nachweispfeindlichkeiten versagten oder eine langfristige Beobachtung nach anderen Methoden unwirtschaftlich gewesen wäre.

### 1. 6. Übersicht über den Tracerdurchgang im Hammerbach

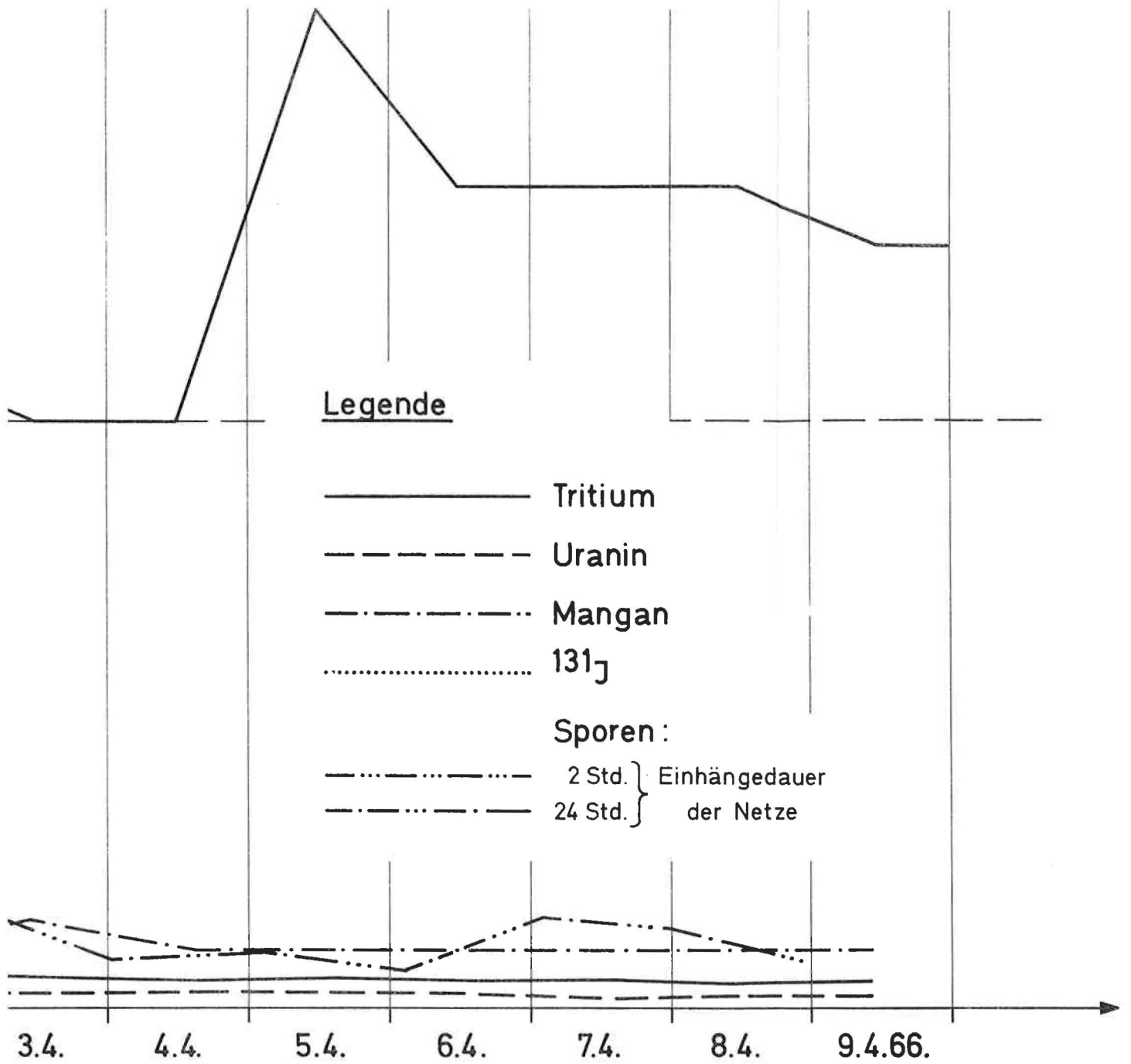
Neben den Kurven (Tafel I) soll die tabellarische Zusammenfassung (Tabelle 5) nicht nur einen Überblick über den Verlauf des Durchganges der einzelnen Tracer in der Hammerbachquelle, sondern auch Auskunft über Nachweisgrenzen und -empfindlichkeiten, Konzentrationen und Prozentsatz der Wiederausbringung geben. Die Berechnung der fiktiven Fließgeschwindigkeiten in bezug auf die Luftlinienentfernung kann durch die Angabe des ersten Auftretens bzw. des Peaks des Tracerdurchganges jederzeit erfolgen (vgl. Zusammenfassung). Diese Werte sind jedoch stark von der Wasserführung abhängig. Vollständige Angaben sind nur bei jenen Methoden zu erwarten, die eine genaue quantitative Auswertung erlauben.

### 1. 7. Die Ergebnisse mit blaugefärbten Lycopodiumsporen

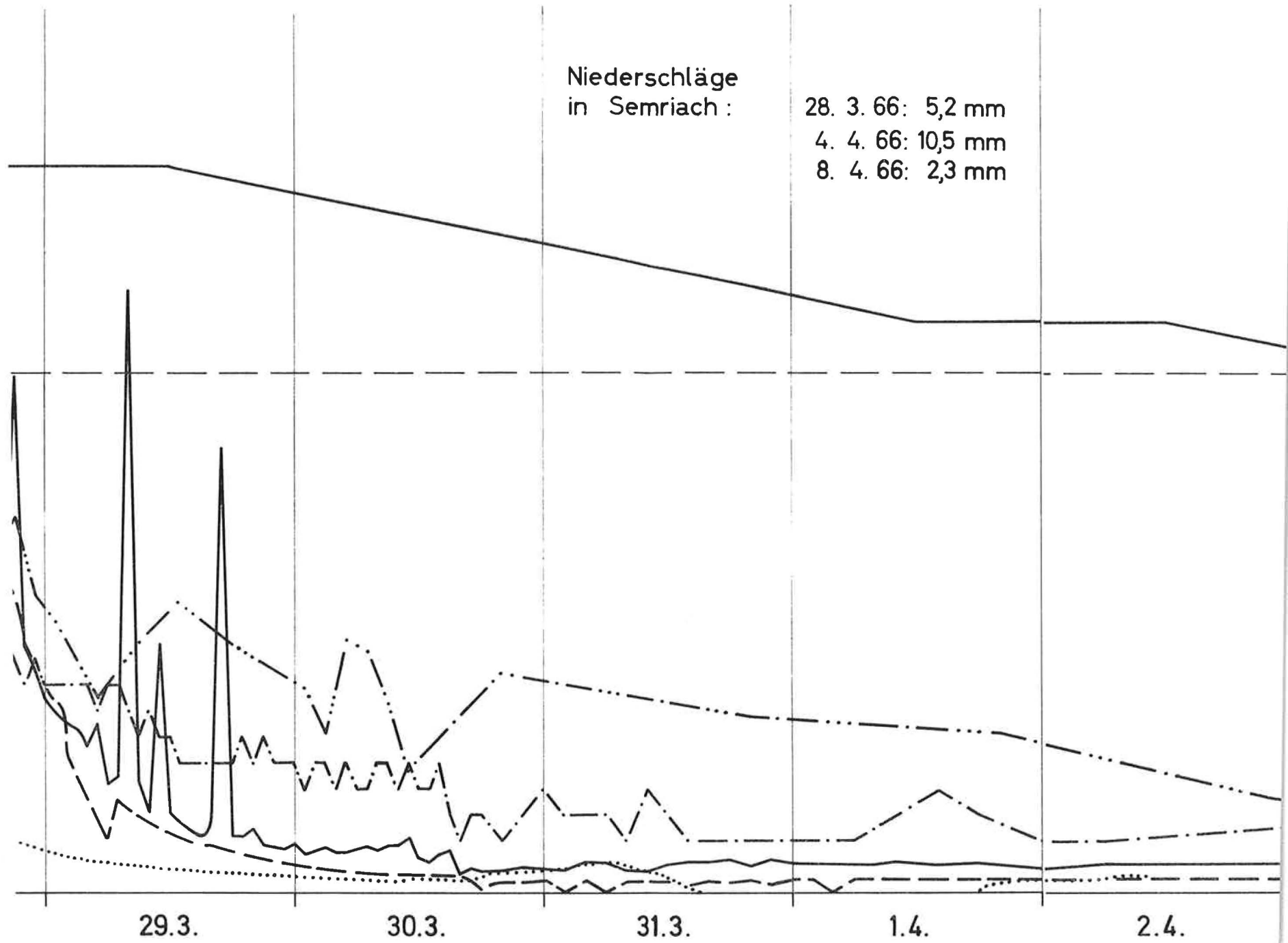
Die Einspeisung von 8 kg blaugefärbten Lycopodiumsporen in die Eisgrube (vgl. Abb. 1) wurde von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen durchgeführt (J. ZÖTL, H. NEUHERZ). Sie erfolgte am 26. März 1966 von 10.50 bis 12.50 Uhr. Die am Grund der Doline in den Schacht eintretende Wassermenge war gering (0,2 l/s), so daß der vorgelöste Sporenbrei nur sehr langsam zugesetzt werden konnte, wenn ein kontinuierlicher und vollständiger Abtransport des Triftgutes gewährleistet sein sollte. Aus diesen Umständen erklärt sich auch die lange Einspeisungsdauer.

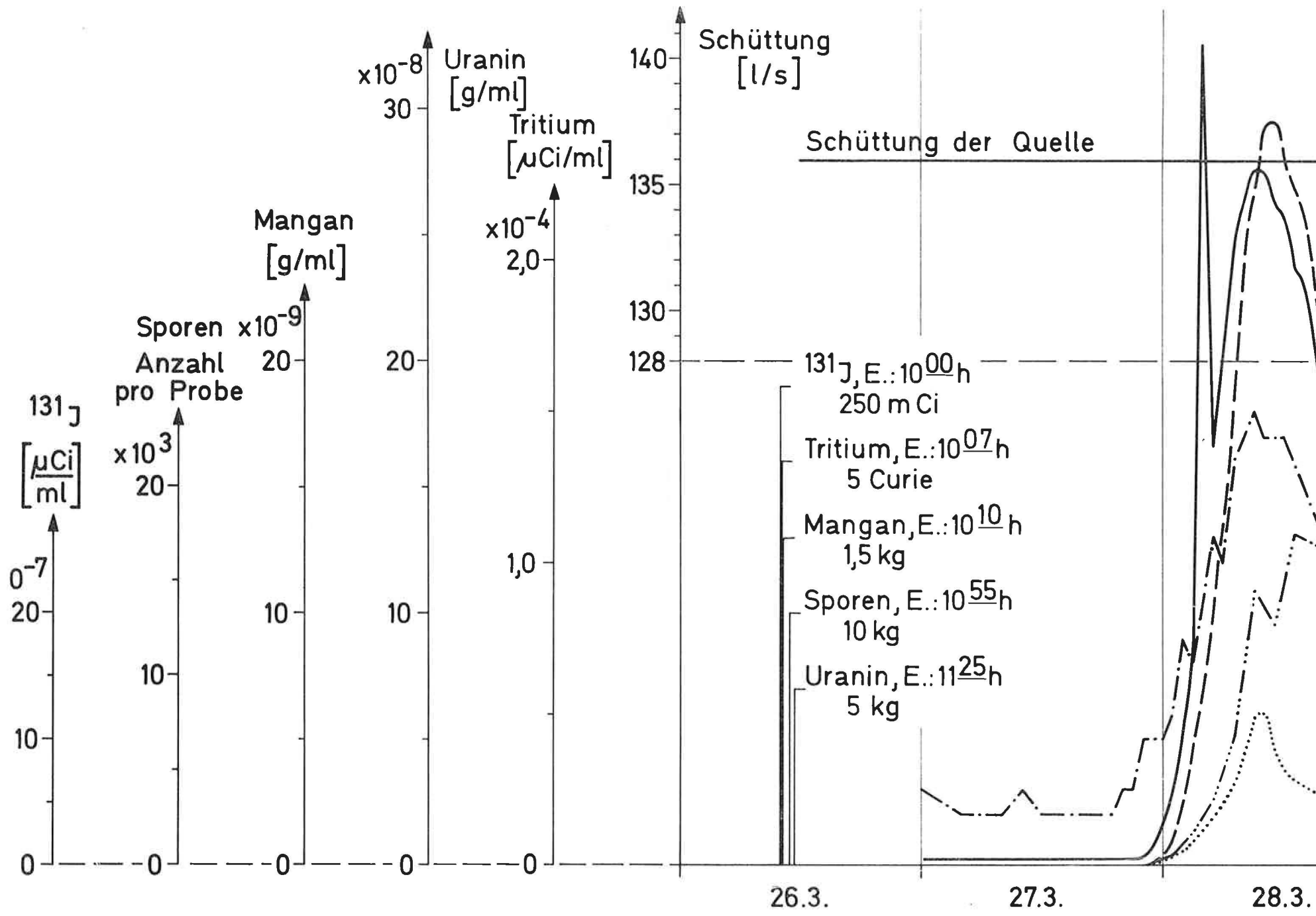
---

*Tafel I: Sammeldiagramm der Konzentration-Zeit-Kurven aller am Hammerbach nachgewiesenen Tracer. Für den Tracer Tritium wurde nur die Kurve der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal eingetragen, für den Tracer Uranin nur die Kurve von W. Käss. Bei der Kurve des Sporendurchganges wurden die Sporenzahlen jeweils in der Mitte des Zeitabschnittes aufgetragen, über den das Sammelnetz eingehängt war. E = Einspeisung.*



Hammerbach 1966





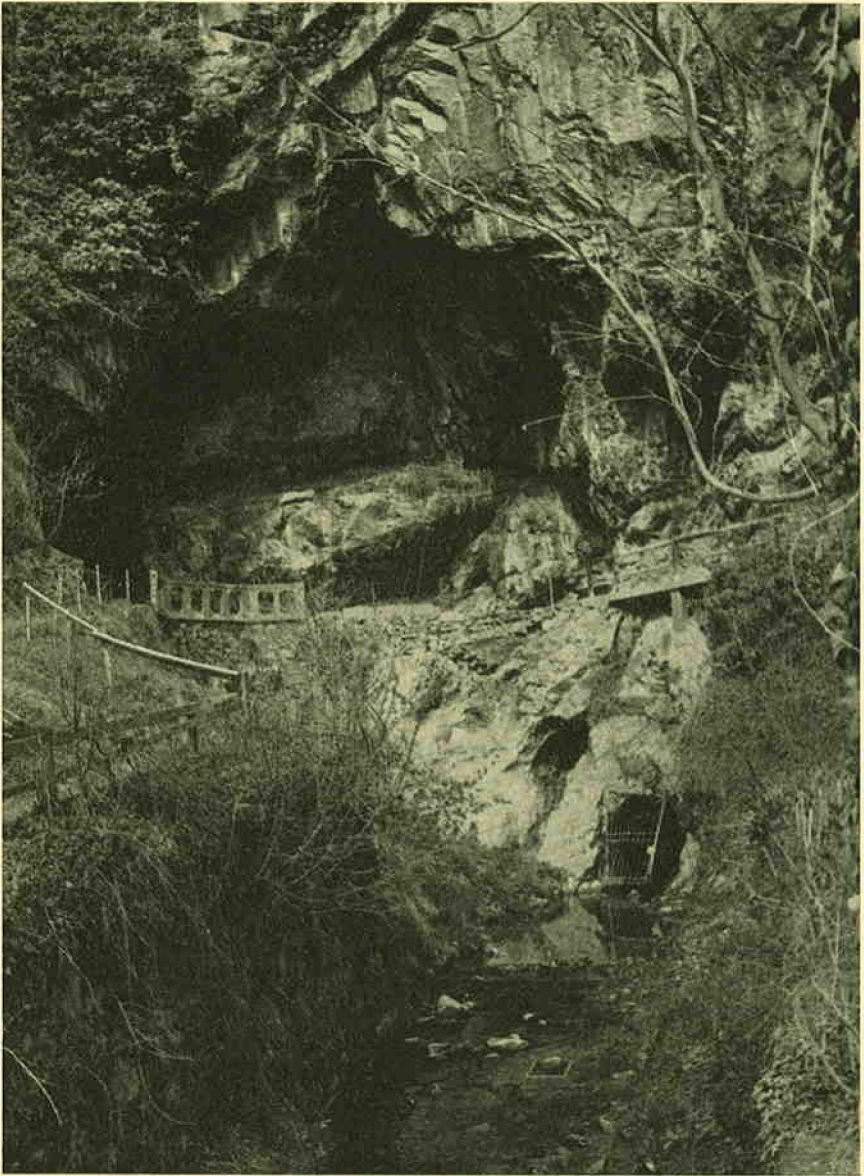


Abb. 12: Höhlenportal der Lurgrotte bei Peggau mit dem Austritt des Schmelzbaches.

Beobachtet wurden der Badl-, Schmelz- und Hammerbach; die Laurinsquelle, der Schmelzbachursprung und der Kaskadenbach in der Lurgrotte und die Schinnerlquelle (vgl. Abb. 1). Die Probenahmen am Kaskadenbach und bei der Schinnerlquelle waren gestört (Probenverlust bzw. Netzentfernung von der Schinnerlquelle durch Unbefugte). Die Beobachtung erfolgte mittels Planktonnetzen aus Nylongaze (Maschenweite 25  $\mu$ , 154 cm<sup>2</sup> obere Öffnung), nur am Schmelzbach war ein Seidennetz derselben Größe (aber Maschenweite 40 bis 50  $\mu$ ) eingesetzt.

Die Beobachtung auf blaugefärbte Sporen verlief negativ. Das Versuchsergebnis wird im Zuge der Zusammenfassung diskutiert.

### **1. 8. Die Ergebnisse mit grüngefärbten Lycopodiumsporen**

Der Einsatz von 10 kg grüngefärbten Lycopodiumsporen wurde von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen übernommen und geleitet (J. ZÖTL). Die Einspeisung erfolgte am 28. März 1966 von 14.45 Uhr bis 14.50 Uhr in die Schwinde des Katzenbaches (s. Abb. 1) als Demonstration für die Tagungsexkursion. Der Sporenbrei wurde mittels eines Siebtrichters und Schlauches dem im Schacht verschwindenden Katzenbach (1,3 l/s) zugeführt.

Beobachtet wurden die bei 1. 7. angeführten Quellen. Die gesamten Kosten der Sporenriftversuche im Raume Semriach—Peggau inklusive der Probenuntersuchung für die Versuche 1. 7. und 1. 8. trug das Speläologische Institut in Wien. Die mikroskopische Untersuchung der Sporenprouben von den Versuchen 1. 7. und 1. 8. führte A. HOFER (Graz) durch. Vergleichsprouben vom Schmelzbach wurden zudem durch das Speläologische Institut untersucht.

Die Proben vom Schmelzbach (Netzeinhängung beim Austritt des Schmelzbaches aus der Lurhöhle, Abb. 12) wurden bis 2. April halbtäglic und bis 6. April, 14.00 Uhr, täglich entnommen. Bei allen anderen Beobachtungsstellen wurde nur einmal täglich eine Probe gezogen. An eine quantitative Auswertung des Tracerdurchganges war von vornherein nicht gedacht, auch die Durchgangskurve konnte weitgehend vernachlässigt werden. Das Ziel der Einspeisung in die Katzenbachschwinde war die Aufdeckung des bisher unbekanntem unterirdischen Weges dieser am Nordrand des Untersuchungsgebietes versinkenden Wässer. Das Ergebnis ist Tabelle 6 zu entnehmen.

### **1. 9. Die Ergebnisse mit Ammonbromid**

Der Einsatz von 30 kg Ammonbromid wurde durch das Atominstitut der Österreichischen Hochschulen (K. BUCHTELA) getätigt. Die Einspeisung erfolgte am 28. März 1966 um 15.00 Uhr in die Schwinde des Katzenbaches. Beobachtet wurden der Hammerbach durch stündliche, der Schmelzbach durch 6stündliche und der Badlbach durch halbtägliche Probenahmen.

Tabelle 6: Sporendurchgang der Einspeisung Katzenbach

Beobachtungsstelle	Einhängezeit des Netzes	Anzahl der nachgewiesenen Sporen
Kaskadenbach	30. 3., 14.00 Uhr, bis 31. 3., 14.50 Uhr	2 grüne Sporen <sup>1</sup>
Schmelzbachursprung	28. 3., 16.00 Uhr, bis 29. 3., 14.00 Uhr	2 grüne Sporen
	29. 3., 14.00 Uhr, bis 30. 3., 14.15 Uhr	5 grüne Sporen
	30. 3., 14.15 Uhr, bis 31. 3., 14.00 Uhr	652 grüne Sporen
	31. 3., 14.00 Uhr, bis 1. 4., 13.00 Uhr	591 grüne Sporen
	1. 4., 13.00 Uhr, bis 2. 4., 10.45 Uhr	3 grüne Sporen
Laurinsquelle	29. 3., 13.45 Uhr, bis 30. 3., 14.00 Uhr	2 grüne Sporen
	30. 3., 14.00 Uhr, bis 31. 3., 13.45 Uhr	3 grüne Sporen
	31. 3., 13.45 Uhr, bis 1. 4., 12.45 Uhr	5 grüne Sporen
Schmelzbach	29. 3., 22.00 Uhr, bis 30. 3., 8.00 Uhr	— —
	30. 3., 8.00 Uhr, bis 30. 3., 20.00 Uhr	96 grüne Sporen, 1 violette Spore <sup>2, 3</sup>
	30. 3., 20.00 Uhr, bis 31. 3., 8.00 Uhr	336 grüne Sporen <sup>2</sup>
	31. 3., 8.00 Uhr, bis 31. 3., 20.00 Uhr	791 grüne Sporen <sup>2</sup>
	31. 3., 20.00 Uhr, bis 1. 4., 8.00 Uhr	480 grüne Sporen <sup>2</sup>
	1. 4., 8.00 Uhr, bis 1. 4., 20.00 Uhr	289 grüne Sporen <sup>2</sup>
	1. 4., 20.00 Uhr, bis 2. 4., 8.00 Uhr	303 grüne Sporen, 1 braune Spore <sup>2, 3</sup>
	2. 4., 10.00 Uhr, bis 3. 4., 10.30 Uhr	37 grüne Sporen <sup>4</sup>
	3. 4., 10.30 Uhr, bis 4. 4., 14.15 Uhr	38 grüne Sporen <sup>4</sup>
4. 4., 14.15 Uhr, bis 5. 4., 13.30 Uhr	79 grüne Sporen <sup>4</sup>	
5. 4., 13.30 Uhr, bis 6. 4., 14.00 Uhr	12 grüne Sporen <sup>4</sup>	

<sup>1</sup> Infolge schwieriger Netzanbringung wurde nur eine Probe entnommen.

<sup>2</sup> Untersuchung durch das Speläologische Institut Wien. Nylonnetz.

<sup>3</sup> Bei der einen violetten Spore dürfte es sich um eine Verschleppung vom Bründl handeln. Eine Ausschwemmung von früheren Versuchen ist nicht möglich. Bezüglich der braunen Spore vgl. Zusammenfassung im Text.

<sup>4</sup> Untersuchung durch A. HOFER. Seidennetz.

Die Beobachtung am Badlbach verlief gänzlich negativ. Im Hammerbach wurden nur braune Sporen (Einspeisung Lurbach), aber keine grünen Sporen nachgewiesen.

Die Verwendung von Ammoniumbromid hatte schon bei früheren Versuchen im Buchkogelgebiet gute Ergebnisse gebracht. Bei diesem Versuch sollte nun gemeinsam mit dem Einsatz grüner Lycopodiumsporen überprüft werden, ob sich eine Verbindung des Katzenbaches mit dem Hammerbach, Schmelzbach oder Badlbach nachweisen läßt.

### 1. 9. 1. Die Radioisotope des Broms

Die Eigenschaften der bei der Neutronenbestrahlung entstehenden Radioisotope des Broms sind in der folgenden Zahlentafel aufgezählt:

Kernreaktion	radioaktiver Isotop	Halbwertszeit	Strahlung in MeV	Folgeprodukt
$^{79}\text{Br}$ (n, $\gamma$ )	$^{80\text{m}}\text{Br}$	4,4 <sup>h</sup>	$\gamma$ 0,04, 0,05	$^{80}\text{Br}$
	$^{80}\text{Br}$	17,7 <sup>min</sup>	$\beta$ 2,0 . . .	$^{80}\text{Kr}$ (stabil)
$^{81}\text{Br}$ (n, $\gamma$ )	$^{82}\text{Br}$	35,9 <sup>h</sup>	$\beta$ 0,46 0,55	$^{82}\text{Kr}$ (stabil)

Für die Analysen wurde die Aktivität des Brom-82 gemessen.

### 1. 9. 2. Arbeitsvorschrift für die aktivierungsanalytische Bestimmung des Broms

Es wurden jeweils 10 ml Probe in Polyäthylenkapseln gefüllt und im Reaktor 10 Stunden bei einem Neutronenfluß von  $1,7 \cdot 10^{12}$  n  $\text{cm}^{-2}$   $\text{sec}^{-1}$  bestrahlt. Gleichzeitig wurden Eichproben mit bekanntem Gehalt an Ammonbromid aktiviert. 14 Stunden nach der Bestrahlung wurden die Kapseln geöffnet und die Probelösungen mit 5 ml 0,1 molarem Ammonbromid als Träger versetzt. Die Proben wurden in einen Scheidetrichter gefüllt und nach Zugabe von 5 ml 0,1-n-Kaliumpermanganatlösung und 1 ml 1-n-Salpetersäure konnte das Brom mit Tetrachlorkohlenstoff ausgeschüttelt werden. Der Extrakt wurde mit 10 ml Wasser überschichtet, mit Hydroxylaminhydrochlorid versetzt und geschüttelt, bis die organische Phase entfernt war. Bei der Wiederholung der Oxidations-Reduktionszyklen wurde Natriumbisulfid als Reduktionsmittel verwendet. Nach zwei Reinigungszyklen wurde der wässrige Extrakt mit 1-n-Salpetersäure angesäuert, zum Austreiben des Schwefeldioxids erwärmt und in der Hitze das Brom mit Silbernitrat ausgefällt. Das Silberbromid wurde in Äthanol suspendiert und auf Meßschälchen übertragen. Wägung, Radioaktivitätsmessung und Auswertung erfolgte wie beim Mangan beschrieben.

### 1. 9. 3. Empfindlichkeit und Genauigkeit

Mit der beschriebenen Methode kann 1 Mikrogramm Brom mit einer Genauigkeit von etwa  $\frac{1}{10}$  Mikrogramm bestimmt werden. Die Nachweisgrenze ist vor allem durch die vom Radioaktivitätsmeßinstrument stets gemessene Hintergrundstrahlung (kosmische Strahlung) bedingt.

#### 1. 9. 4. Zeitaufwand der Aufarbeitung

Es können zehn bis zwölf Proben gleichzeitig aufgearbeitet werden. Der Zeitbedarf beträgt drei bis vier Stunden.

#### 1. 9. 5. Ergebnisse

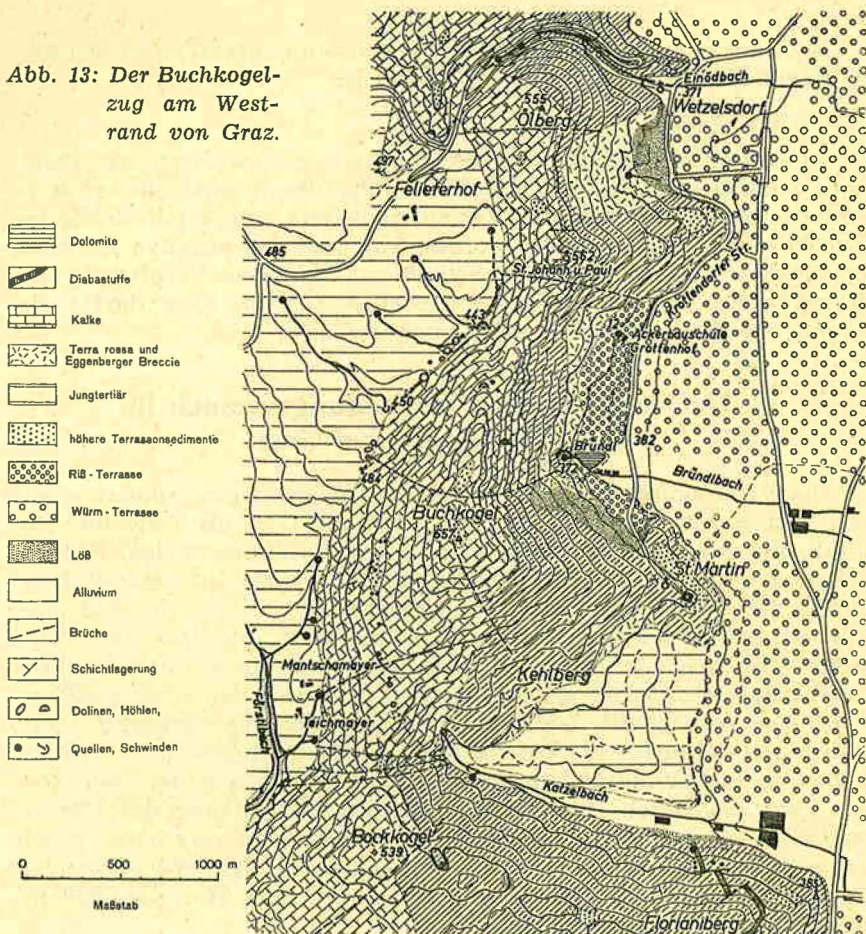
Es konnte in den aus dem Hammerbach, Schmelzbach und Badbach stammenden Proben keine Erhöhung des Bromidgehaltes festgestellt werden. Obwohl das Verfahren bereits früher mit Erfolg im Buchkogelgebiet angewendet worden war, läßt das negative Ergebnis bei diesem Versuch nicht den Schluß zu, daß keine Verbindung des Katzenbaches mit den Probenahmestellen besteht. Eher dürfte die eingesetzte Tracermenge zu gering gewesen sein.

## 2. Der vergleichende Markierungsversuch im Buchkogelgebiet bei Graz

Die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen benutzt schon seit Jahren den Buchkogel am Stadtrand von Graz als Testgebiet für die Erprobung und den Vergleich von Markierungsmethoden. Es handelt sich dabei um einen Höhenzug, der die pleistozänen Schotterterrassen des Grazer Feldes im W begrenzt (Abb. 13, 14). Er wird vorwiegend aus devonischen Kalken und Dolomiten aufgebaut. Diese Gesteine weisen ein generelles N-S-Streichen und ein mittelsteiles Einfallen nach W auf. Der ganze Bau wird zusätzlich von einer größeren Zahl von vorwiegend E-W-verlaufenden Störungen zerhackt. Diese Störungen waren für die Entwicklung der Hydrographie und Morphologie von Bedeutung und begünstigten die Ausbildung der zum Grazer Feld gewandten Buchten und Gräben am Osthang des Höhenzuges. Die Kalke und Dolomite sind außerdem stark verkarstet, neben zahlreichen Karren, Dolinen und Schächten in den höherliegenden Partien finden sich in den tieferen Hangteilen auch Horizontalhöhlen, die z. T. noch wasseraktiv sind.

Während des Neogens wurde dieser Rücken, wie auch ein Teil des übrigen Grazer Berglandes, vollkommen unter Lockersedimenten begraben. Erst durch eine im Oberpliozän einsetzende Höherschaltung des gesamten Gebietes wurde auch dieser Bereich wieder aus den verhüllenden Ablagerungen exhumiert, wobei durch die Erosionstätigkeit der Mur die neogenen Sedimente im E des Buchkogelzuges tiefer ausgeräumt wurden (etwa 360 m Sh.) als im W, wo sie bis 484 m Höhe der Flanke des Berges anlagern. Es handelt sich dabei um eine Wechselfolge von Lehmen, Sanden und Schottern. In diesem westlich des Höhenzuges gelegenen Neogenbereich haben sich kleine Gerinne entwickelt, die an der Grenze zu den Kalken des Buchkogelzuges in Ponore versinken. Dadurch wird ein etwa 1,4 Quadratkilometer umfassendes Gebiet völlig unterirdisch entwässert. Am tiefsten

Abb. 13: Der Buchkogelzug am Westrand von Graz.



Punkt dieses Kessels, südöstlich von „Feliferhof“, ist der versinkende Bach des Hauptponors (Feliferhofschwinde, Sh. 443 m) noch eine kleine Strecke als Höhlengerinne verfolgbar.

Schon seit langem wurde vermutet, daß der Wiederaustritt der im W des Höhenzuges absinkenden Wässer in der Bründlquelle am Ostfuß des Buchkogelzuges zu suchen ist. Diese Quelle liegt etwa 70 m tiefer als die tiefste Schwinde an der Westseite des Berges und ist von ihr etwa 800 m in der Luftlinie entfernt (Abb. 13).

Daß die Bründlquelle, deren Schüttung je nach Jahreszeit und Niederschlägen stark schwankt, an dieser Stelle austritt und daß das Wasser nicht wie in Peggau in so hohem Maße unkontrolliert in das

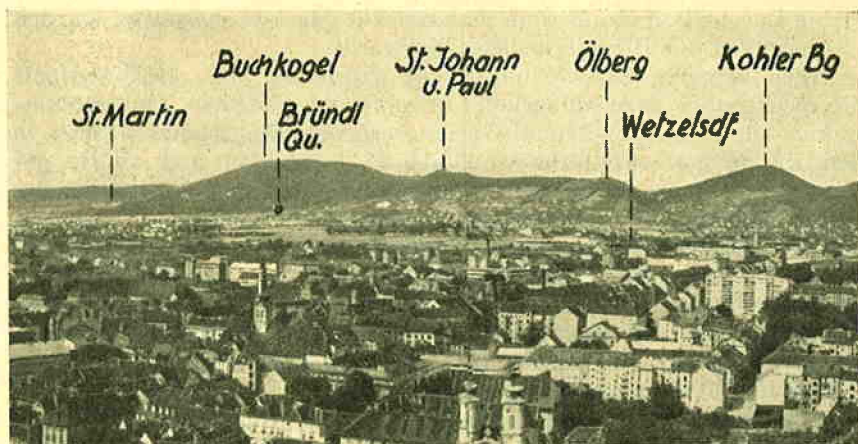


Abb. 14: Der Buchkogelzug vom Osten gesehen. Im Vordergrund die pleistozänen Terrassenflächen des Grazer Feldes.

Grundwasser des Murtales übertreten kann, ist in erster Linie der wasserstauenden Schürze der angelagerten Tertiärsedimente zuzuschreiben, die zwischen den verkarsteten Karbonatgesteinen und den pleistozänen Schotterterrassen des Grazer Feldes liegt.

Schon die genaue hydrogeologische Aufnahme der weiteren Umgebung, verbunden mit einer chemischen Untersuchung aller im E, S und SW des Buchkogelzuges austretenden Quellwässer, ergab Hinweise, daß nur die Bründlquelle als wesentlicher Wiederaustritt der im Kessel von Feliferhof versinkenden Wässer in Frage kommt.

Der endgültige Nachweis hiefür konnte durch einen im Mai 1956 durchgeführten Salzungsversuch erbracht werden (V. MAURIN & J. ZÖTL 1959). Es wurden damals 500 kg Gewerbesalz (NaCl) in vorgelöstem Zustand in die Feliferhofschwinde eingebracht. Diese große Salzmenge wurde gewählt, um für spätere Tests eine sichere Grundlage zu gewinnen. Beobachtet wurden alle in Frage kommenden Quellaustritte in der Umrahmung des Buchkogelzuges. Ein Nachweis des eingespeisten Markierungsmittels gelang aber nur an der Bründlquelle, die während der ganzen Beobachtungszeit (12. bis 14. Mai 1956) eine gleichbleibende Schüttung von 16,5 l/s aufwies. Die Kontrolle erfolgte durch Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit der Wässer und durch Titration des Chlorids. Die ersten erhöhten Chloridwerte wurden 21,5 Stunden, der Peak des Durchganges 55 Stunden nach der Einspeisung festgestellt. Dies entspricht einer theoretischen Fließgeschwindigkeit von 41 bzw. 14,5 m/h.

Ein erster kombinierter Markierungsversuch an dieser unterirdischen Karstgerinne lief in der Zeit vom 22. bis 28. Juni 1956. Neben 300 kg Gewerbesalz kamen damals 1,6 kg Uranin AP und 3 kg unge-

färbte Lycopodiumsporen zum Einsatz. Alle Markierungsmittel wurden wiederum in der Bründlquelle nachgewiesen.

Nach längerer Entwicklungsarbeit wurde im März 1957 erstmals die praktische Verwendbarkeit verschieden gefärbter Lycopodiumsporen am Feliferhof-Bründl-Gerinne erprobt. Eingespeist wurden in den Hauptponor (Feliferhofschwinde) je 1 kg blau und violett gefärbte Sporen, in eine zweite, in einer völlig analogen Position an der Grenze von Neogen und Devonkalk gelegenen Schwinde, je 1 kg grün und rot gefärbte Sporen. Alle Sporenfarben erwiesen sich als geeignet.

Ein im Mai 1958 durchgeführter kombinierter Triftversuch sollte die Brauchbarkeit anderer Triftstoffe, wie Diatomeen, Kunststoffpulver, Kartoffelstärke und Bakterien, überprüfen. Die Ergebnisse der Vergleichsversuche in den Jahren 1957 und 1958 wurden von V. MAURIN & J. ZÖTL (1959) eingehend dargestellt.

Die günstige Lage dieses hydrogeologisch gut durchforschten Karstwassersystems am Stadtrand von Graz gab bereits im Juli 1963 unter Beteiligung in- und ausländischer Forschungsinstitute Anlaß zur Durchführung eines groß angelegten kombinierten Markierungsversuches. Die Einspeisungen erfolgten wiederum in die Feliferhofschwinde. Es sollte dabei die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Lycopodiumsporen (5 kg), Rhodamin B (1,5 kg), Ammonbromid (30 kg) und Jod-131 (300 mCi) getestet werden (K. BUCHTELA et al. 1964). Neben einem neuen Farbstoff kamen damit radioaktive Isotope und mit der Verwendung von Ammonbromid erstmals ein aktivierungsanalytischer Tracer zur Anwendung. Die Ergebnisse dieses Vergleichsexperimentes werden am besten durch die in Abb. 15 dargestellten Durchgangskurven demonstriert. Es zeigt sich, daß sowohl das erste Auftreten als auch die Durchgangsspitze bei den einzelnen Markierungsmitteln beachtliche Verschiebungen erfahren können. Besonders die Lycopodiumsporen eilten den in Lösung befindlichen Stoffen wesentlich voraus. Dies zeigt auch die ebenfalls in Abb. 15 wiedergegebene Durchgangskurve des kombinierten Versuches vom Jahre 1956. Auch die Abhängigkeit der Durchgangszeiten von der wechselnden Wasserführung ist deutlich ersichtlich.

Bei dem im Rahmen der Fachtagung durchgeführten Vergleichstest (26. März bis 2. April 1966) wurden folgende Markierungsstoffe in die Feliferhofschwinde (Abb. 13, P. 443) eingespeist:

10 kg	Alkylbenzolsulfonat
5 Ci	Tritium
137 mCi	Chrom-51 als Chrom-ÄDTA-Komplex
300 kg	Kochsalz
100 kg	Kalidüngesalz
70 g	Sulforhodamin G extra
5 kg	violett gefärbte Lycopodiumsporen

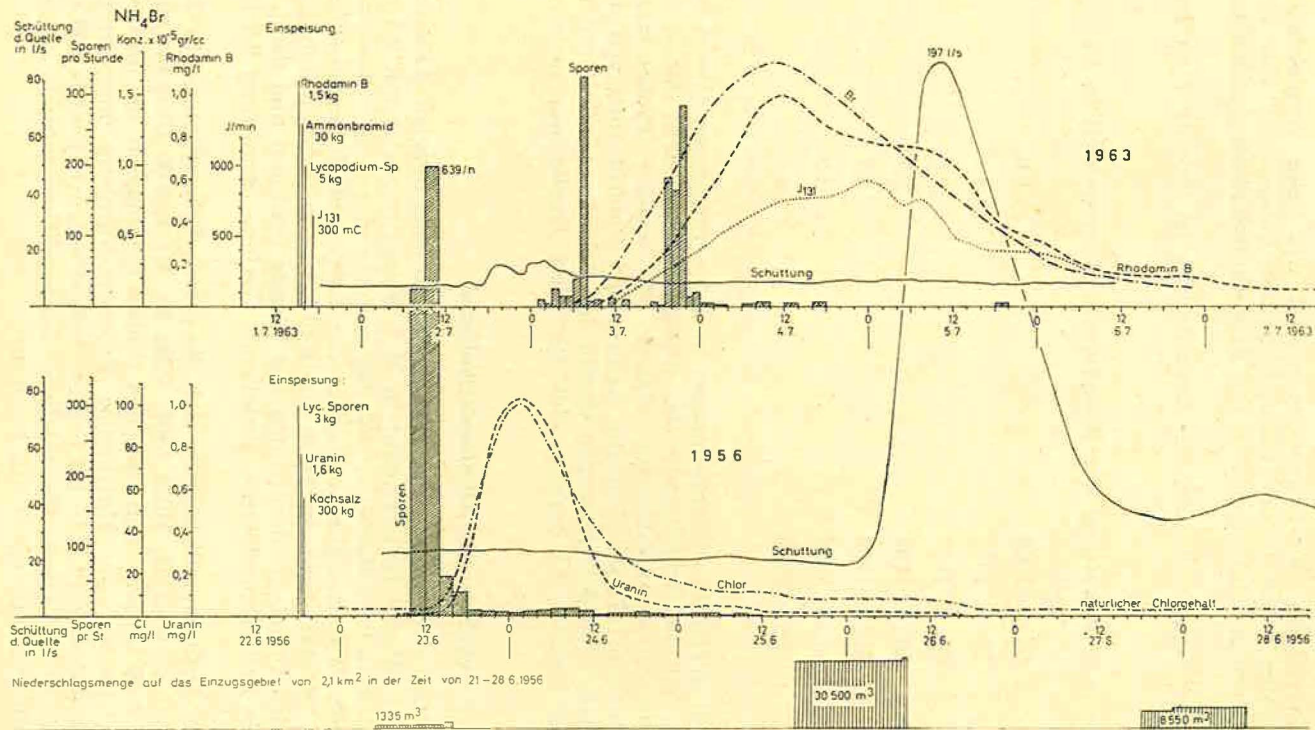


Abb. 15: Durchgangskurven an der Bründelquelle bei den kombinierten Versuchen in den Jahren 1956 und 1963.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt wie beim Vergleichstest im Lurhöhlensystem in der Reihenfolge der Einspeisung. Zur Zeit der Einspeisungen führte das in die Feliferhofschwinde versinkende Gerinne 0,8 l/s.

Die gemessene Schüttung der Bründlquelle ist Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: **Schüttung der Bründlquelle (Tagesmittel) in l/s**

27. 3. 1966 . . . . .	9,0
28. 3. 1966 . . . . .	9,4
29. 3. 1966 . . . . .	9,6
30. 3. 1966 . . . . .	9,75
31. 3. 1966 . . . . .	9,3
1. 4. 1966 . . . . .	8,9
2. 4. 1966 . . . . .	9,0

Obwohl durch die Untersuchungen in den vergangenen Jahren bekannt ist, daß die Bründlquelle der einzige Wiederaustritt der in die Feliferhofschwinde absitzenden Wässer ist, wurden Probenuntersuchungen auf Tritium, Natrium, Kalium und Chlorid auch von der 700 m weiter nördlich gelegenen Quelle der Ackerbauschule Grottenhof vorgenommen. Es ergaben sich für diese Quelle nur negative Resultate.

## 2. 1. Die Ergebnisse mit Alkylbenzolsulfonat

Die Einspeisung von 10 kg Alkylbenzolsulfonat (Marlon AFR der Chemischen Werke HÜLS) gelöst in 25 l Wasser, versetzt mit 0,5 kg Schaumstabilisator (Marlopon AT 50), erfolgte durch W. SCHNITZER (Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg) am 26. März 1966 von 16.30 bis 16.40 Uhr. Die viskosen Substanzen wurden zuerst in Blechtonnen mit Wasser verdünnt und dann in das in die Feliferhofschwinde absinkende Gerinne (Schüttung 0,8 l/s) eingebracht.

An der Bründlquelle zeigten sich die ersten Schaumpuren in der Nacht vom 27. zum 28. März 1966. Vom 28. März, 9.00 Uhr, bis zum 30. März, 5.00 Uhr, wurden stündlich Proben entnommen, die im Geologischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg ausgewertet werden konnten (Abb. 16). Im Schüttelkolben wurden jeweils 500 ml eine Minute geschüttelt. Die relativen Schaumhöhen wurden notiert und auf die Wasserhärte 11 °dH bezogen.

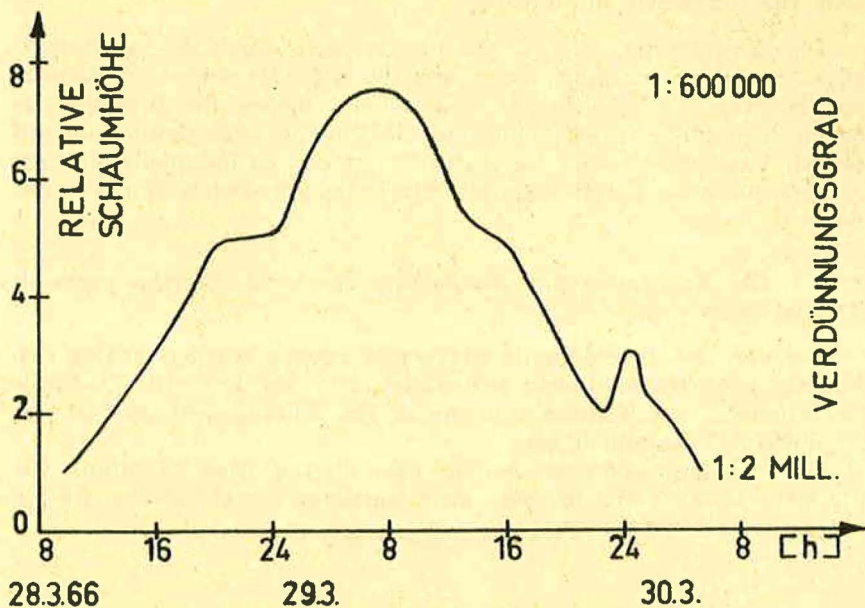


Abb. 16: Durchgangskurve des Alkylbenzolsulfonates in der Bründlquelle.

Wie aus Abb. 16 ersichtlich, betrug am 28. März um 9.00 Uhr der Verdünnungsgrad etwa 1:2 Mill., das Maximum des Durchganges konnte am 29. März gegen 6.00 Uhr morgens beobachtet werden. Ein zweiter Peak war am 30. März gegen 1.00 Uhr morgens festzustellen. Diese Spitze könnte eventuell mit der etwas stärkeren Schüttung der Bründlquelle zusammenhängen (vgl. Tabelle 7). Die Befahrung der Bründlquelle mit den Exkursionsteilnehmern am 29. März gegen 15.00 Uhr zeigte sehr deutliche Schaumbildung, jedoch war der Hauptdurchgang des Markierungsstoffes bereits vorüber. Soweit Proben gezogen wurden, wie sie Abb. 16 in ihrem Schaumanteil wiedergibt und die Schüttung der Bründlquelle berücksichtigt wird, sind in der Zeit vom 28. März, 9.00 Uhr, bis zum 30. März, 5.00 Uhr, etwa 25% der aufgegebenen Alkylbenzolsulfonate wieder ausgetreten. Es ist wahrscheinlich, daß auch noch in den folgenden Tagen Schaumbildung an der Bründlquelle beobachtet werden konnte.

Der Versuch im Buchkogelgebiet zeigt, daß die Anwendung von Alkylbenzolsulfonaten für Markierungszwecke nicht nur qualitativ von Bedeutung ist, sondern auch quantitativ ausgewertet werden kann.

## 2. 2. Die Ergebnisse mit Tritium

Die Einspeisung von 5 Ci Tritium erfolgte durch die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien (J. MAIRHOFER, V. RAJNER) am 26. März 1966, 16.40 Uhr. Beobachtet wurden die Bründlquelle durch 2stündliche Probenahme und die Quelle beim Grottenhof mit täglich einer Probe. Die Beobachtung an der Bründlquelle erfolgte weiters durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie München (W. RAUERT).

### 2. 2. 1. Die Ergebnisse der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien

Die von der Bründlquelle gezogenen Proben wurden analog den Proben vom Hammerbach aufbereitet und im Packard Tri-Carb-Spektrometer auf Tritium untersucht. Die Durchgangskurve ist der Abbildung 17 zu entnehmen.

Der wiedergewonnene Anteil des eingespeisten Tritiums bis 31. März 1966, 24.00 Uhr, bei einem mittleren Durchfluß von 9,4 l/s, beträgt

2,79 Ci oder 55,8%.

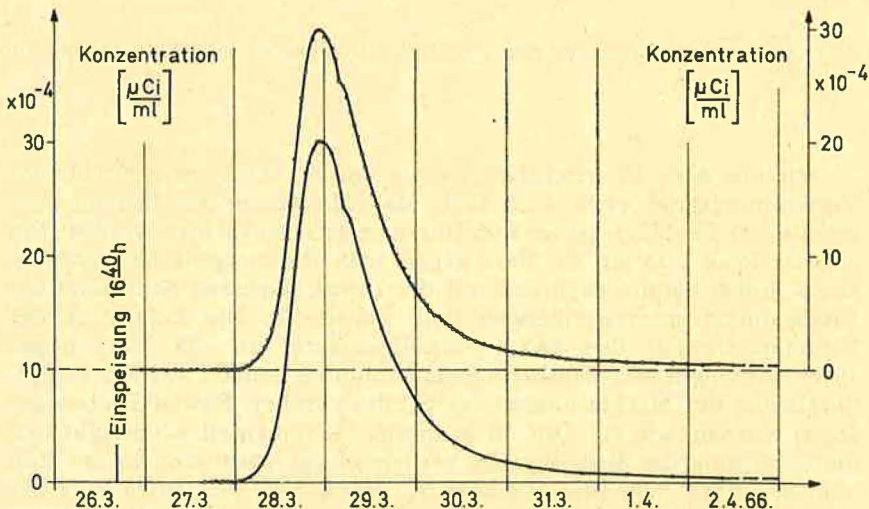


Abb. 17: Konzentration-Zeit-Kurve der Tracers Tritium an der Meßstelle Bründlquelle. Nachweis durch Probenmessung im Flüssigkeitsszintillationszähler. Obere Kurve: Messung der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal. Untere Kurve: Messung der Forschungsstelle für Radiohydrometrie.

Der wiedergewonnene Anteil des eingespeisten Tritiums bis 9. April 1966, 10.00 Uhr (die letzte für die BVFA gezogene Probe), bei einem mittleren Durchfluß von 9,4 l/s, beträgt

2,96 Ci oder 59,2<sup>0</sup>‰.

Die Auswertung der beim Grottenhof gezogenen Proben verlief für die Tritiumuntersuchung und für alle anderen Tracer negativ. Trotz des elektrolytischen Anreicherungsverfahrens für Tritium konnte bei der Grottenhofquelle außer dem natürlichen Tritiumgehalt keinerlei Konzentrationserhöhung festgestellt werden. Der natürliche Tritiumgehalt betrug bei der Quelle von Grottenhof

283 T. U.  $\pm$  11,6<sup>0</sup>‰.

### 2. 2. 2. Die Ergebnisse der Forschungsstelle für Radiohydrometrie München

Wie bereits am Hammerbach, wurde auch an der Bründlquelle parallel zu den Messungen der BVFA der Tritiumdurchgang von der Forschungsstelle für Radiohydrometrie (W. RAUERT) verfolgt. Es wurden 30 bis 50 ml-Proben während der Passage des Hauptteils der Tracerwolke stündlich, später in größeren Zeitabständen entnommen, doch wurde davon nach Erfassung des Konzentrationsmaximums nur noch jede dritte Probe gemessen. Die Messung erfolgte wie im Abschnitt 1. 2. 2. beschrieben, nachdem durch Vorversuche sichergestellt war, daß die übrigen in den Proben enthaltenen Tracer, vor allem Alkylbenzolsulfonat, Sulforhodamin G extra und Chrom-51 die Bestimmung des Tritiumgehalts unter den gewählten Meßbedingungen nicht stören. Die Nachweisempfindlichkeit und die Nachweisgrenze entsprechen etwa den Werten für die Hammerbach-Messung.

Die ersten Tracerspuren wurden in der Wasserprobe nachgewiesen, die am 28. März um 1.00 Uhr, also 32 Stunden nach der Einspeisung, entnommen worden war. Ihren höchsten Wert erreichte die Tritiumkonzentration an der Meßstelle am 28. März um 22.00 Uhr, also 53 Stunden nach der Einspeisung. Innerhalb der Zeit vom 27. März bis 31. März, 24.00 Uhr, haben 54<sup>0</sup>‰ der geimpften Tritiummenge die Meßstelle passiert, wenn man als Wasserführung 9,4 l/s und als Impfmenge 5,0 Ci Tritium annimmt. Berücksichtigt man unter denselben Voraussetzungen den „Kurvenschwanz“ bis zum 9. April, 11.00 Uhr, so ergeben sich für den gesamten Anteil der Impfmenge, welcher die Meßstelle passiert hat, ca. 58<sup>0</sup>‰.

### 2. 3. Die Ergebnisse mit Chrom-51

Die Einspeisung von Chrom-51-ÄDTA in die Feliferhofschiwinde erfolgte durch J. MAIRHOFER (Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien) am 26. März 1966 um 16.40 Uhr. Zur Verfügung gestellt wurde das Impfmateriale durch G. KNUTSSON (Chalmers-Universität, Göteborg). Das Chrom-51-ÄDTA wurde von B. EDROTH und J. V. LIL-

JENZIN hergestellt (vgl. G. KNUTSSON, "Tracing Ground-water Flow in Sand and Gravel" in diesem Band, p. 27 f.). Die Komplexbildung wurde von G. KNUTSSON mittels Methoden kontrolliert, wie sie p. 13 f. beschrieben sind. Es wurde festgestellt, daß die Komplexbildung vollständig war und daß Chrom-51-ÄDTA wie Tritium im Wasser transportiert wurde. Die Beobachtung erfolgte mit Direktmessung an der Bründlquelle durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie München (H. RAST).

Die Menge der eingespeisten Aktivität ist nicht sicher bekannt, den Berechnungen wurden 137 mCi zugrunde gelegt.

Der Nachweis des Tracers erfolgte an der Bründlquelle durch Direktmessung in einem 100-l-Durchflußbehälter auf die gleiche Weise, wie sie in Abschn. 1. 1. beschrieben wurde. Die Nachweisempfindlichkeit der Anordnung wurde mit einer durch G. KNUTSSON von der Impflösung abgezweigten Menge Chrom-51 bestimmt und ergab sich zu  $E = 1,3 \cdot 10^8$  cpm/( $\mu$ Ci/ml). Die zählstatistische Nachweisgrenze errechnet sich nach der auf Seite 392 angeführten Formel mit einer Meßzeit der Probe und des Nullprobeneffekts von je 60 min zu  $4 \cdot 10^7$   $\mu$ Ci/ml. Diese Nachweisgrenze gilt allerdings nur, solange der Nulleffekt nur nach den Gesetzen der Zählstatistik schwankt. Bei den Messungen an der Bründlquelle schwankte der Nulleffekt jedoch wesentlich stärker. Damit liegt die effektive Nachweisgrenze bei höheren Konzentrationen. Der gegenüber den anderen Tracern „verspätete“ Beginn des Chrom-51-Durchganges ist darin begründet.

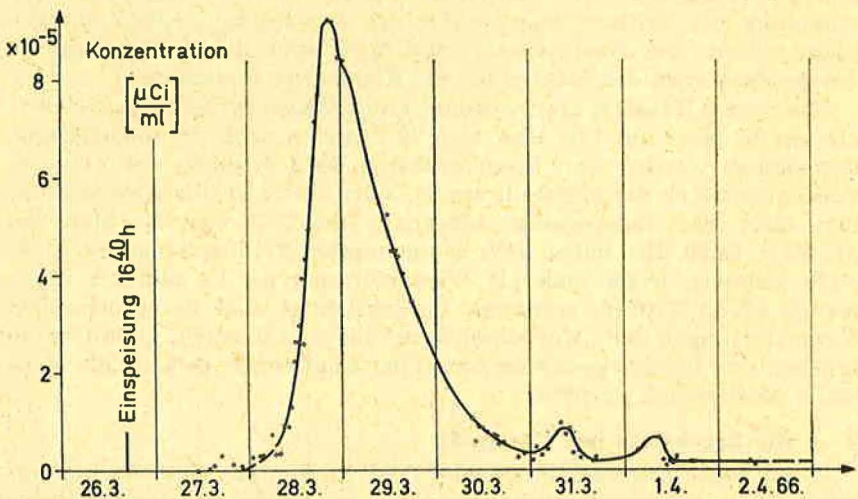


Abb. 18: Konzentration-Zeit-Kurve des Tracers Chrom-51-ÄDTA an der Meßstelle Bründlquelle. Nachweis durch Direktmessung im 100-l-Durchflußbehälter.

Die Durchflußkurve des Chrom-51 ist in Abb. 18 dargestellt. Der erste sichere Nachweis von Chrom-51 erfolgte unter diesen Bedingungen am 28. März, 5.00 Uhr, 37 Stunden nach der Impfung. Durch Extrapolation ergibt sich aus dem Kurvenverlauf eine Ankunft der ersten Tracerspuren etwa am 28. März, 0.00 Uhr. Das Maximum der Konzentration wurde am 28. März, 21.00 Uhr, d. h. nach einer Laufzeit von 52,5 Stunden erreicht. Der bis 31. März, 24.00 Uhr, registrierte Traceranteil ergab 58%, bis zum Ende der Messung am 2. April, 10.00 Uhr, flossen 61% ab.

## 2. 4. Die Ergebnisse der Salzungsversuche

### 2. 4. 1. Die Ergebnisse mit Kochsalz

Die Einspeisung von 300 kg Kochsalz in die Feliferhofschwinde erfolgte am Samstag, dem 26. März 1966, zwischen 16.45 und 17.05 Uhr durch die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz. Da das Salz mit je etwa 1% Verunreinigungen und Feuchtigkeit behaftet ist, dürften nur rund 294 kg Natriumchlorid eingespeist worden sein; dies entspricht 5,020 Grammäquivalenten (val) Natrium und Chlorid.

Die Untersuchung der während des Hauptdurchganges stündlich entnommenen Proben führte W. Käss (Geologisches Landesamt Freiburg i. Br.) durch. Zur Natriumbestimmung wurde ein ZEISS-Spektrophotometer PMQII mit Flammenzusatz (Leihgabe der Firma C. ZEISS, Vertrieb optischer Erzeugnisse Ges. m. b. H. in Wien) verwendet und mit Knallgas (Wasserstoff, Sauerstoff) betrieben.

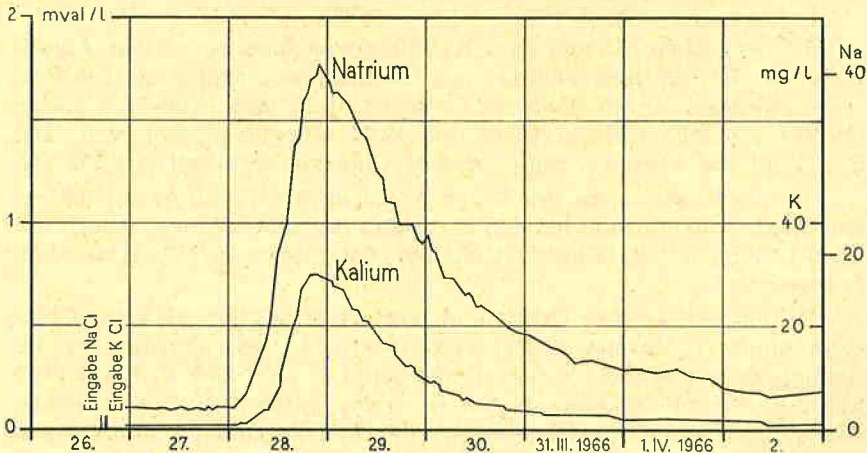


Abb. 19: Der Durchgang von Natrium und Kalium in der Bründlquelle.

Bei der Beobachtungsstelle Grottenhof war kein Salzaustritt feststellbar, wie Tabelle 8 zeigt. In der Bründlquelle war Natrium am 28. März um 22.00 Uhr mit 1,77 mval/l zu verzeichnen (vgl. Abb. 19). Bei der letzten Probenahme am 9. April, 11.00 Uhr, lag die Natriumführung mit 0,134 mval/l immer noch wesentlich über dem Blindwert (0,102 mval/l).

#### 2. 4. 2. Die Ergebnisse mit Kalisalz

Am 26. März 1966 wurden zwischen 17.05 und 18.00 Uhr durch die Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz 100 kg Kalidüngesalz 60%  $K_2O$  in die Feliferhofschwinde eingegeben. Das mit je etwa 2% Verunreinigungen und Feuchtigkeit behaftete Salz entspricht 1,285 Grammäquivalenten (val) Kalium und Chlorid.

Die Untersuchung der zur Zeit des Hauptdurchganges stündlich entnommenen Proben erfolgte flammenfotometrisch mit einem ZEISS-Spektralphotometer mit Flammzusatz durch W. Käss (Freiburg i. Br.). Als Treib- und Brenngas dienten Sauerstoff und Wasserstoff.

In der Quelle beim Grottenhof war kein Kalium nachweisbar. In der Bründlquelle trat es am 28. März zwischen 2.00 und 3.00 Uhr auf, während das stärkste Auftreten um 21.00 Uhr (0,750 mval/l) desselben Tages zu verzeichnen war (Abb. 19). Die letzte Probe vom 9. April, 11.00 Uhr, zeigte mit 0,020 mval/l einen Wert, der immer noch wesentlich über dem Durchschnittswert vor dem Auftreten (0,014 mval/l) lag.

#### 2. 4. 3. Die Ergebnisse des Chloridnachweises

Mit dem Kochsalz und dem Kalidüngesalz kam außer den Alkalimetallen Natrium und Kalium auch Chlorid zur Einspeisung. Die Einspeisezeit lag also am 26. März zwischen 16.45 und 18.00 Uhr, wobei die Hauptmenge Chlorid schon bis 17.05 Uhr eingegeben war. Die insgesamt zur Versickerung gebrachte Chloridmenge betrug 6,305 val.

Für die Bestimmung des Chlorids wurde die Titration mit 0,01-n-Quecksilbernitratlösung bei den niedrigen Konzentrationen, jedoch mit 0,1-n-Lösungen bei höheren Gehalten vorgenommen (W. Käss & H. PESENDORFER).

Bei den Proben vom Grottenhof war erwartungsgemäß keine Chloriderhöhung nachweisbar. Der erste deutliche Chloridanstieg in der Bründlquelle trat am 28. März zwischen 1.00 und 2.00 Uhr auf (0,10 und 0,30 mval/l). Das stärkste Auftreten wurde für 23.00 Uhr desselben Tages mit 3,90 mval/l ermittelt (Abb. 20). Zwischen dem 3. und 4. April wurde der Vertrauensbereich wieder unterschritten, so daß der letzte gesicherte Chloridschub am 3. April, 13.00 Uhr, zu verzeichnen war.

2. 4. 4. Zusammengefaßte Ergebnisse der Messungen von Natrium, Kalium und Chlorid

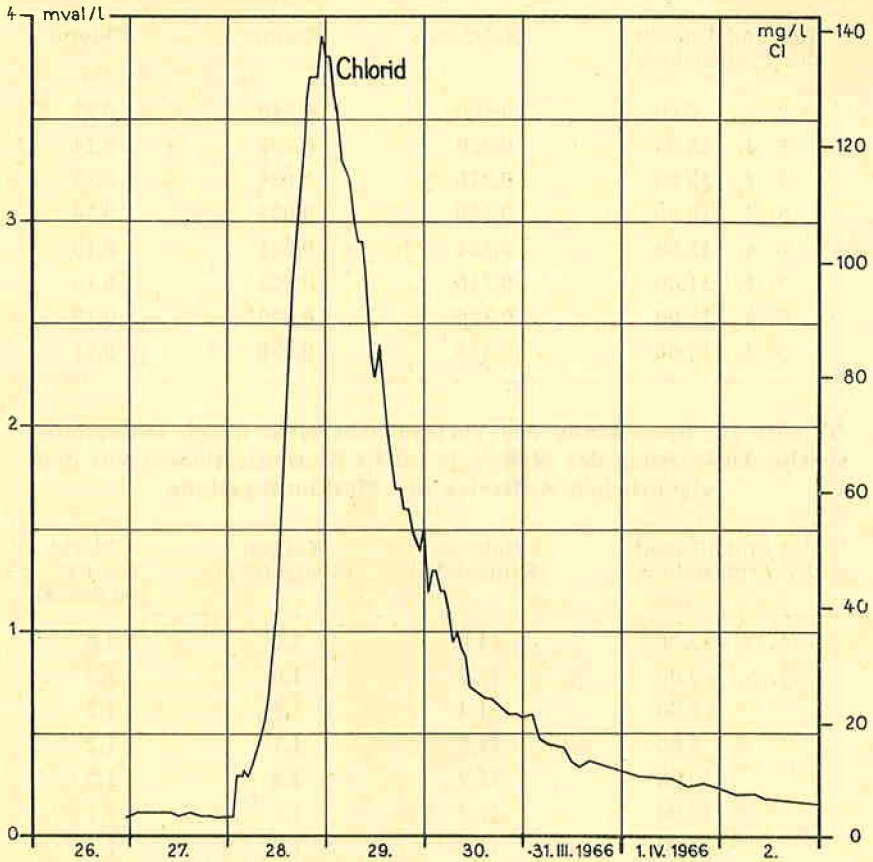


Abb. 20: Konzentration-Zeit-Kurve des Chlorids in der Bründlquelle.

Tabelle 8: Werte der Grottenhofproben (in mval/l)

Tag und Uhrzeit der Probenahme	Natrium	Kalium	Chlorid
28. 3. 13.00	0,179	0,088	0,26
29. 3. 6.00	0,180	0,085	0,24
30. 3. 6.00	0,185	0,084	0,26
31. 3. 6.00	0,178	0,082	0,26
1. 4. 6.00	0,176	0,076	0,24
2. 4. 6.00	0,276	0,076	0,26

**Tabelle 9: Werte der Proben von der Bründlquelle, soweit nicht auf der Kurvendarstellung enthalten**

Tag und Uhrzeit der Probenahme	Natrium	Kalium	Chlorid
2. 4. 8.00	0,198	0,040	0,21
3. 4. 13.00	0,226	0,036	0,14
4. 4. 13.00	0,216	0,034	0,13
5. 4. 16.00	0,142	0,034	0,14
6. 4. 13.00	0,134	0,021	0,10
7. 4. 11.00	0,146	0,025	0,13
8. 4. 11.00	0,136	0,020	0,13
9. 4. 11.00	0,143	0,020	0,11

**Tabelle 10: Berechnung der Vertrauensbereiche durch fehlerstatische Auswertung der Meßwerte (nicht Konzentrationen) vor dem eigentlichen Auftreten der Markierungsstoffe**

Tag und Uhrzeit der Probenahme	Natrium (Skalenteile)	Kalium (Skalenteile)	Chlorid (ml 0,01-n-Lösung)
26. 3. 23.00	11,5	1,7	1,0
27. 3. 2.00	11,8	1,9	1,2
6.00	11,4	1,7	1,2
8.00	11,3	1,7	1,2
10.00	11,2	1,8	1,2
12.00	11,3	1,8	1,1
14.00	11,2	1,7	1,2
16.00	11,4	1,6	1,1
18.00	11,2	1,7	1,1
19.00	11,8	1,9	1,0
20.00	11,4	1,7	1,0
21.00	11,7	1,8	1,0
22.00	11,6	1,8	1,0
23.00	11,4	1,7	1,0
24.00	11,6	1,6	1,0
28. 3. 1.00	12,3*	1,7	1,0
2.00	14,3	1,9	3,0*
3.00	16,9	2,5*	3,0

	Natrium	Kalium	Chlorid
Anzahl der Blindwerte vor dem 1. gesicherten Auftreten (*) — 1	14	16	15
Mittelwert	11,443	1,7375	1,087
Statistischer Fehler $\sigma$	0,21	0,0853	0,0915
$3\sigma$ -Vertrauensbereich	0,63	0,26	0,275
Fehlergrenze (Mittelwert + $3\sigma$ )	12,1	2,0	1,4
Umrechnungswert je Meßeinheit (mval/l)	0,0087	0,0079	0,10
Erfassungsgrenze (mval/l)	0,0061	0,0025	0,03
Erfassungsgrenze (mg/l)	0,356	0,10	1,07

Die ermittelten Erfassungsgrenzen berücksichtigen sowohl die natürlichen Salzschwankungen als auch die Bestimmungsfehler. Bei der Kaliumbestimmung wurde eine kleinere Galvanometerempfindlichkeit benützt, um für Vorführungszwecke mit einer einheitlichen Verstärkungseinstellung alle vorkommenden Konzentrationen auf der Skala zeigen zu können. Die hierfür errechnete Erfassungsgrenze für Kalium hätte sich also noch bedeutend erniedrigen lassen.

Tabelle: 11: **Fließzeiten und Fließgeschwindigkeiten (für eine Luftlinienentfernung von 800 m)**

	Natrium		Kalium		Chlorid	
1. Auftreten	28. 3.	1.00	28. 3.	3.00	28. 3.	2.00
Stunden nach Einspeisung		31,5		33		33
Fließgeschwindigkeit (m/h)		25,3		24,3		24,3
Stärkstes Auftreten	28. 3.	22.00	28. 3.	21.00	28. 3.	23.00
Stunden nach Einspeisung		53		51,5		54
Fließgeschwindigkeit (m/h)		14,1		14,5		14,8
50%iges Austreten	3. 4.	19.00	30. 3.	0.15	29. 3.	21.15
Stunden nach Einspeisung		194		79,75		76,25
Fließgeschwindigkeit (m/h)		4,1		10,2		10,5

Folgende wiederausgebrachte Mengen (bis 9. April, 24.00 Uhr) wurden durch graphische Integration mit den täglichen Schüttungen berechnet:

	Natrium	Kalium	Chlorid
in val	2,750	943	4,420
in % der Eingabemenge	54,8	73,5	70

## 2. 5. Die Ergebnisse mit Sulforhodamin G extra

Die Eingabe von 70 g Sulforhodamin G extra in wässriger Lösung erfolgte am 26. März, 18.20 Uhr, durch die Forschungsstelle für Radiohydrometrie (H. BATSCHKE, H. SAGL). Zum Nachweis des Tracers an der Meßstelle Bründlquelle wurde eine Teilströmung des Gerinnes durch die Durchflußküvette des TURNER-Fluorometers gepumpt, die Intensität der Fluoreszenzstrahlung digital abgelesen und außerdem laufend mit einem Schreiber registriert (s. H. MOSER u. H. SAGL, in diesem Band S. 179 ff.). Für die Darstellung in Abb. 21 wurden die digital abgelesenen Werte verwendet.

Die Bestimmung der Nachweisempfindlichkeit erfolgte mit Farbstofflösungen, welche mit dem Wasser der Bründlquelle und mit Farbstoff der gleichen Lieferung wie die Impflösung angesetzt worden waren. Sie ergab sich zu  $E = 2,3 \cdot 10^{10}$  Skalenteile/(g/ml). Die Nachweisgrenze beträgt etwa  $4 \cdot 10^{-11}$  g Farbstoff/ml Wasser.

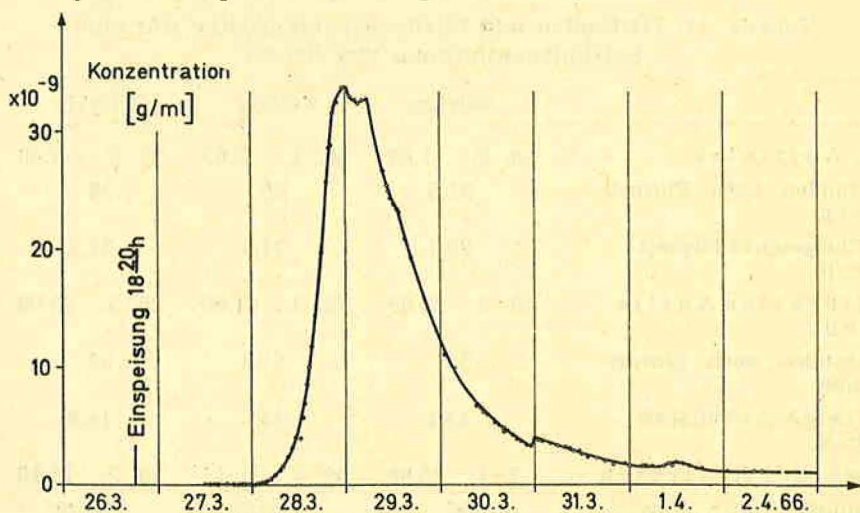


Abb. 21: Konzentrations-Zeit-Kurve des Tracers Sulforhodamin G extra an der Meßstelle Bründlquelle. Nachweis durch Direktmessung im Durchflußfluorometer.

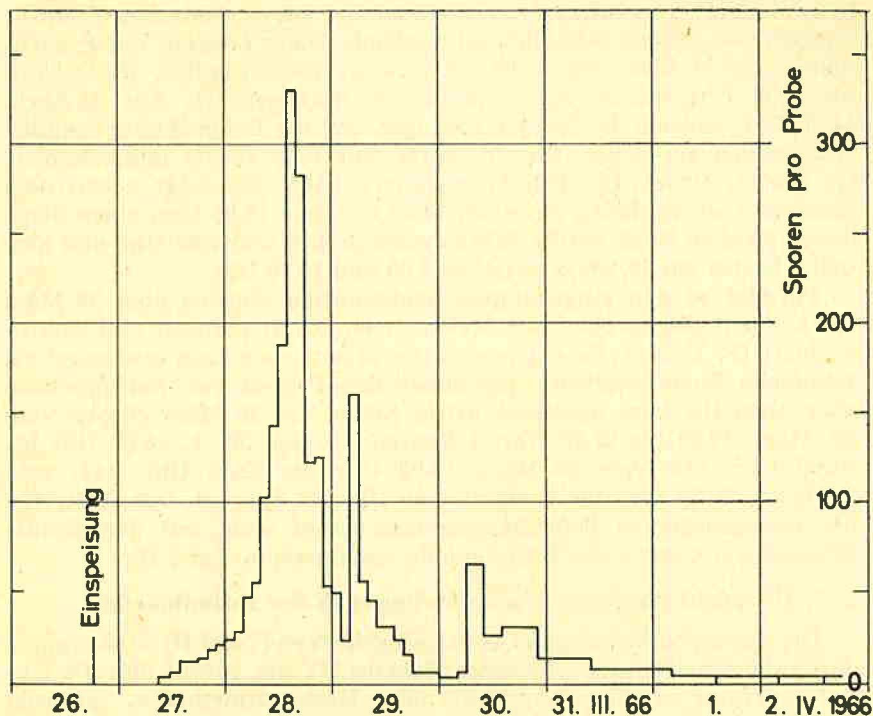


Abb. 22: Der Durchgang der violett gefärbten *Lycopodium*sporen in der Bründlquelle.

Die an der Meßstelle registrierte Farbstoffkonzentration ist in Abb. 21 als Funktion der Zeit dargestellt. Das erste Sulforhodamin wurde am 28. März, 2.00 Uhr, nachgewiesen, das Maximum am 28. März, 23.15 Uhr. Daraus errechnen sich Laufzeiten von 32 bzw. 53 Stunden. Die an der Meßstelle abgeflossene Tracermenge errechnet sich (in der gleichen Weise wie in Abschn. 1. 5. 2. für das Uranin) bis 31. März, 24.00 Uhr, zu 52% der eingesetzten Menge, bis zum Ende der Messung am 9. April, 11.00 Uhr, zu 56%.

## 2. 6. Die Ergebnisse mit violettgefärbten *Lycopodium*sporen

Der Einsatz von 5 kg violettgefärbten *Lycopodium*sporen wurde von der Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz (J. ZÖTL) übernommen. Die Einspeisung in die Feliferhofschwinde erfolgte am 26. März 1966 von 18.25 bis 18.30 Uhr.

Die Netze wurden am 26. März um 17.00 Uhr in die Beobachtungsstelle eingehängt und eine Vorprobe gezogen. Die regelmäßige Probenahme begann am 27. März um 2.00 Uhr, erfolgte bis 27. März, 18.00 Uhr,

in zweistündlichen Intervallen, ab dieser Zeit bis 30. März um 18.00 Uhr wurden die Proben stündlich entnommen. Dann erfolgte die Probenahme bis 31. März um 16.00 Uhr wieder zweistündlich, bis 2. April um 8.00 Uhr wurde sie vierstündlich durchgeführt. Am 2. April, 11.00 Uhr, wurden die Netze eingezogen und die Beobachtung beendet.

Von den gezogenen Proben wurde nur jede zweite mikroskopiert (A. HOFER, Graz). Die Durchgangskurve (Abb. 22) zeigt neben dem Maximum am 28. März, zwischen 14.00 Uhr und 16.00 Uhr, einen deutlichen zweiten Peak am 29. März zwischen 4.00 und 6.00 Uhr und eine dritte Spitze am 30. März zwischen 6.00 und 10.00 Uhr.

Parallel zu den eingehängten Seidennetzen wurden vom 29. März bis 1. April Stichproben mit Nylonnetzen ( $25 \mu$ ) gezogen und mikroskopiert (F. BAUER). Es ergab sich die bereits mehrfach erwiesene ca. zehnfache Sporenausbeute gegenüber den Proben von Seidennetzen, aber ebenfalls eine deutliche dritte Spitze am 30. März (Probe vom 29. März, 16.00 bis 21.00 Uhr, 4 Sporen [I], vom 30. 3., 18.00 Uhr bis 21.00 Uhr, 810, vom 31. März, 16.00 Uhr bis 22.30 Uhr, 144, vom 31. März, 22.30 Uhr, bis 1. April, 6.00 Uhr, 32 Sporen). Das Auftreten der nachgeordneten Durchgangsspitzen hängt wohl mit den Schüttungsschwankungen der Bründlquelle zusammen (s. Tafel II).

## 2. 7. Übersicht über den Tracerdurchgang in der Bründlquelle

Die Zusammenfassung der Durchgangskurven (Tafel II) wird ergänzt durch die tabellarische Übersicht (Tabelle 11), die, soweit dies die einzelnen Tracer erlauben, Auskunft über Nachweismethoden, -grenzen und -empfindlichkeit, Konzentrationen, Durchgangscharakteristika und nachgewiesene Mengen Auskunft gibt.

## 3. Zusammenfassung

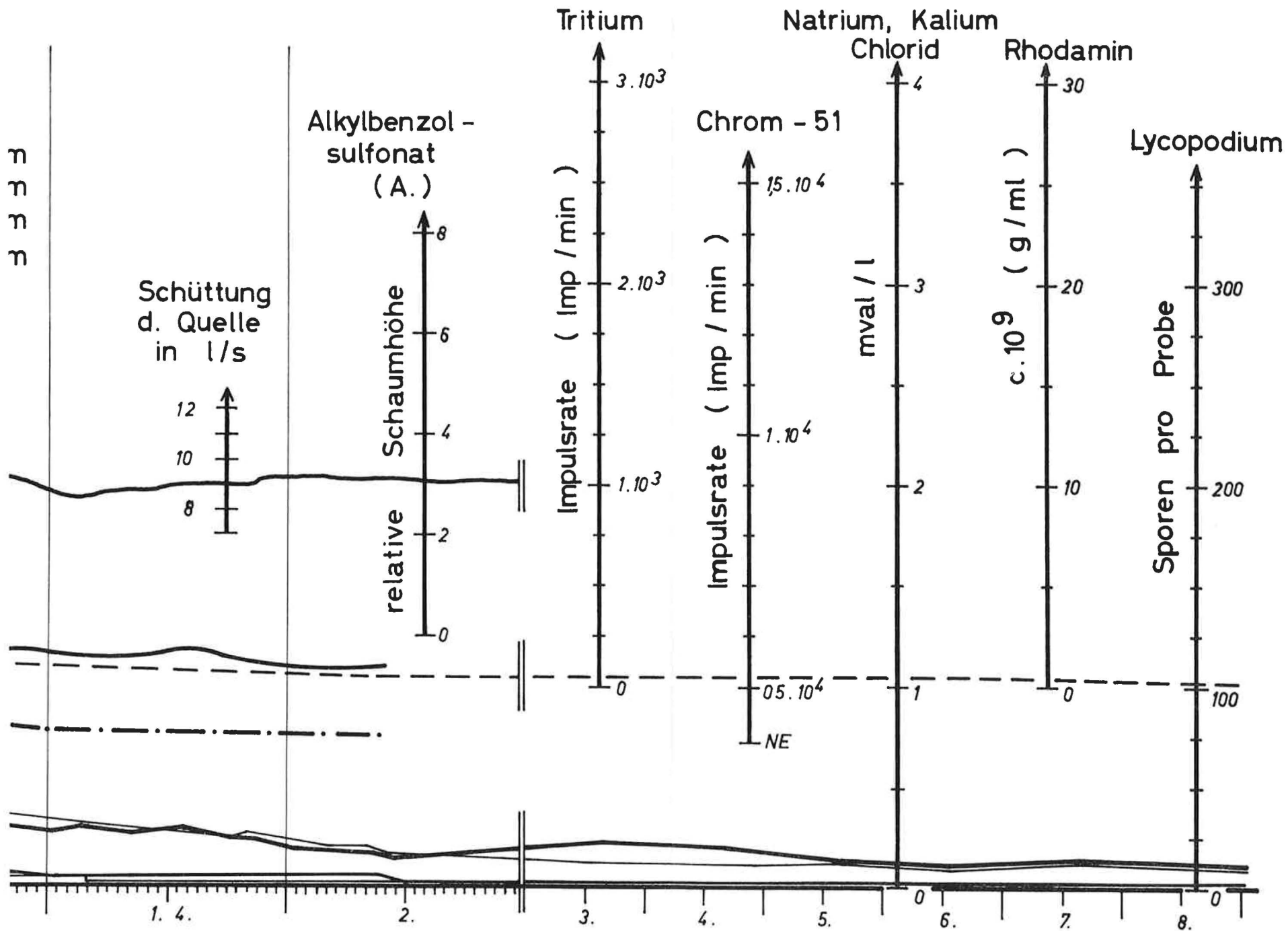
### 3. 1. Ergebnisse des Lurgrottenversuches

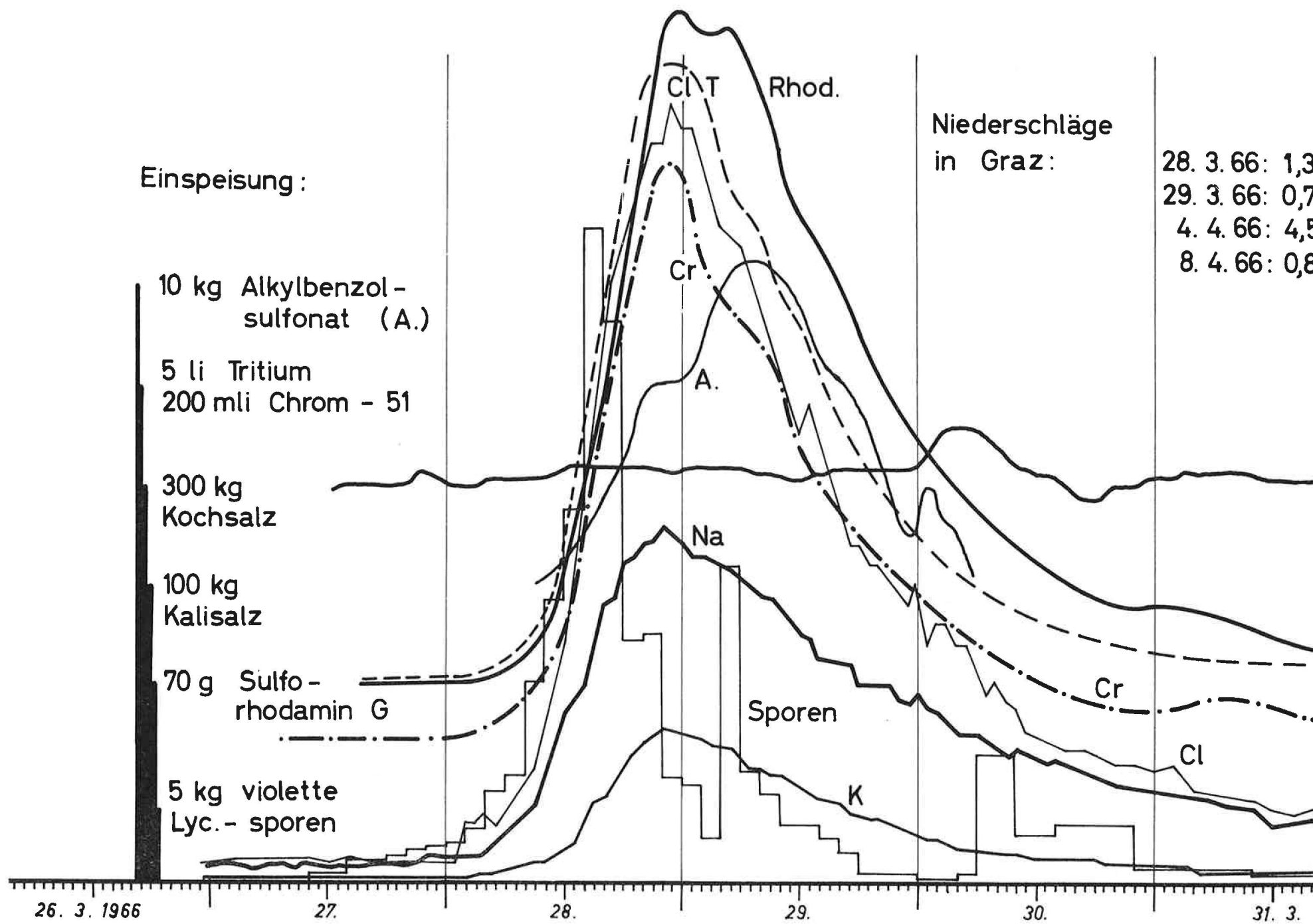
Vergleicht man den Durchgang der in die Lurbachschwinde eingespeisten und in der Hammerbachquelle wieder nachgewiesenen Tracer, so liegen zunächst die Peaks der Durchgangskurven in der Hammerbachquelle ziemlich einheitlich, denn das Maximum der Durchgänge trat allgemein zwischen 47 und 48 Stunden nach der Einspeisung auf. Die darauf bezogenen Fließgeschwindigkeiten liegen zwischen 63,8 und 62,5 m/h. Es kann damit gesagt werden, daß bezüglich der Durchgangsspitze die Tracer keine zeitlichen Unterschiede zeigten.

Das erste Auftreten der einzelnen Markierungsmittel ist zeitlich differenzierter, es liegt im allgemeinen, d. h. mit Ausnahme der Anreicherungsverfahren, zwischen 33,5 und 38 Stunden nach der Ein-

---

Tafel II: Sammeldiagramm der Konzentration-Zeit-Kurven aller in der Bründlquelle nachgewiesenen Tracer.





speisung; die darauf bezogenen Fließgeschwindigkeiten wären mit 89,5 bzw. 79 m/h zu bemessen. Ein eingehendes Studium der Beobachtungsergebnisse zeigt jedoch, daß die Feststellung des ersten Auftretens des Tracers in erster Linie von der Empfindlichkeit der Nachweismethoden abhängt. Unter dieser Sicht bekommt der an sich nicht gesicherte verfrühte Nachweis einer geringen Fluoreszenz durch die absorptive Anreicherung von F. HRIBAR doch Bedeutung, die dadurch unterstrichen wird, daß auch bei der Messung von Jod-131 durch Anreicherung bereits in der Sammelprobe vom 26. März, 15.00 Uhr, bis 27. März, 15.00 Uhr (326 l), eine sehr geringe Menge dieses Indikators festgestellt wurde (0,02% der Impfmenge), wobei wahrscheinlich ist, daß diese erst gegen Ende des Sammelzeitraumes im Hammerbach austrat. Eine Kontamination als Ursache für das hier nachgewiesene Jod-131 kann ausgeschlossen werden. Ob dieses überraschend frühe Auftreten darauf zurückzuführen ist, daß durch longitudinale Dispersion Spuren des Tracers dem Maximum wesentlich vorauseilten, oder darauf, daß ein kleiner Teil des Lurbachwassers eine Wegabkürzung nimmt, ist nur für die Beurteilung der Durchgangskurve von Einfluß. Wesentlich bleibt die Feststellung, daß die Fixierung des ersten Auftretens eines Markierungsmittels bei genügender Einspeismenge in erster Linie von der Nachweisgrenze abhängt. Eine Folgerung daraus ist, daß den aus dem ersten Nachweis berechneten Fließgeschwindigkeiten eine viel größere Ungenauigkeit anhängt als den auf das Maximum des Durchgangs bezogenen.

Der Verlauf der Durchgangskurve nach dem Maximum hängt sehr stark vom Tracer und dessen Beeinflussbarkeit durch die hydrogeologischen und hydrochemischen Bedingungen ab (Absorption, Zersetzung, pH-Wert des Wassers, Sedimentationsräume etc.). So lag der Wiedererhaltungsgrad des im Hammerbach nachgewiesenen Jod-131 im Untersuchungszeitraum wesentlich niedriger als bei Tritium und bei Uranin. Vergleicht man die Durchgangskurven der verschiedenen Tracer, so liegt beim Jod-131 die Konzentration im „Kurvenschwanz“, im Verhältnis zur Konzentration im Maximum, aber bedeutend höher als bei den anderen Tracern. Daraus kann mit großer Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, daß Jod-131 zunächst zum großen Teil adsorbiert und nachfolgend langsam wieder eluiert wurde. Hierfür können rein chemische oder auch biochemische Vorgänge verantwortlich sein. Das bei der Messung über Anreicherung im Probenahmezeitraum vom 31. März, 16.00, bis 1. April, 10.00 Uhr, auftretende zweite kleine Maximum in der Jod-131-Konzentration könnte auf eine Änderung der chemischen Verhältnisse im Karstwasser und eine dadurch erhöhte Eluierung zurückzuführen sein. Es ist weiter zu erwähnen, daß die zum Jod-131 zugesetzte Trägermenge (17 g NaJ) relativ klein war. Dadurch können chemische Umsetzungen des geimpften Jodids begünstigt werden.

Vergleicht man die von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal (Wien) und der Forschungsstelle für Radiohydrometrie (München) unabhängig voneinander gemessenen Konzentration-Zeit-Kurven für Tritium (Abb. 6), so läßt sich eine gute Übereinstimmung bezüglich der Ankunftszeiten des Tracers\*, der Durchgangszeiten des Konzentrationsmaximums und der zeitlichen Halbwertsbreiten der Durchflußkurven feststellen. Bei den Messungen am Hammerbach zeigt eine der beiden Kurven Nebenpeaks, die jeweils nur durch einen Meßpunkt repräsentiert werden, da die Probenahme nur stündlich erfolgte. Von den Meßpunkten der beiden Proben, die am 28. März 1966, 4.00 Uhr, gleichzeitig entnommen worden sind, fügt sich der eine direkt in den Kurvenverlauf ein, während der andere über dem Konzentrationsmaximum der Durchflußkurve liegt. In diesem Falle könnte es sich also um einen Meßfehler oder eine Kontamination handeln. Da aber von den anderen Zacken dieser Meßreihe die Parallelproben nicht gemessen wurden (vergl. Tritiummessung der Forschungsstelle für Radiohydrometrie am Hammerbach), kann daraus noch nicht grundsätzlich auf Fehler bei den anderen Zacken geschlossen werden. Außerdem trat bei den Probenmessungen der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal und der Forschungsstelle für Radiohydrometrie ein geringfügiger Unterschied der Gesamtnullprobeneffekte (apparativer Null-effekt plus natürlicher Tritiumgehalt) auf, der meßmethodisch bedingt ist und keinen Einfluß auf die Bestimmung der Strömungsparameter und des Wiedererhaltungsgrades hat.

Für die erfaßten Tritiummengen ergibt sich für die beiden Parallelbestimmungen am Hammerbach ein Unterschied von 13 bis 20% oder von 2%, je nachdem, ob die Nebenpeaks der einen Durchflußkurve bei der Integration der Kurvenfläche berücksichtigt werden oder nicht.

\* Die hierfür wichtige Nachweisgrenze  $c_{\min}$  wurde nach folgender Formel berechnet:

$$c_{\min} = \frac{\frac{4,5}{t_1} + \sqrt{\frac{20,3}{t_1^2} + 9n_0 \left( \frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_1} \right)}}{E} \quad [\mu\text{Ci/ml}]$$

$t_1$  = Meßzeit der Probe (min)

$t_0$  = Meßzeit des Nullprobeneffektes (min)

$n_0$  = (Gesamt-)Nullprobeneffekt (cpm)

$E$  = Nachweisempfindlichkeit  $\left( \frac{\text{cpm}}{\mu\text{ Ci/ml}} \right)$

Die Nachweisgrenze ist die kleinste Tracerkonzentration, die für gegebene Werte von  $n_0$ ,  $t_1$ ,  $t_0$  und  $E$  mit einem relativen zählstatistischen Standardfehler von  $\pm 33\%$  gemessen werden kann.

Tabelle 11: Übersicht über den Tracerdurchgang in der Bründelquelle

	Chrom-51	Natrium	Kalium	Chlorid	Sulforhodamin G extra	viol. Lycopodiumsporen
Uhr	137 mCi 26. 3., 16.40 Uhr	300 kg NaCl (5020 val) 26. 3., 16.45—17.05 Uhr	100 kg KCl (1285 val) 26. 3., 17.05—18.00 Uhr	300 kg NaCl + 100 kg KCl 26. 3., 16.45—18.00 Uhr	70 g 26. 3., 18.20 Uhr	5 kg 26. 3., 18.25—18.30 Uhr
benmessung Tri-Carb (F. R. München)*	Direktmessung in 100-l-Durchflußbehälter	flammenphotometrisch		Titration mit Hg (NO <sub>3</sub> )	Direktmessung im Durchflußfluorometer	mikroskop. Untersuchung von Planktonnetzproben
0- <sup>6</sup> $\frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$4 \cdot 10^{-7} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	0,356 mg/l	0,10 mg/l	1,07 mg/l	$4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{g}}{\text{ml}}$	—
10 <sup>6</sup> $\frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$1,3 \cdot 10^8 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	0,2 mg/Skalenteil	0,31 mg/Skalenteil	3,5 mg/l	$2,3 \cdot 10^{10} \frac{\text{Skalenteile}}{\text{g/ml}}$	—
cpm	3900 cpm	2,3 mg/l	0,68 mg/l	3,8 mg/l	8 Skalenteile (nur apparativ bedingter Untergrund)	—
32	<sup>37</sup> (vgl. Abschnitt 2. 3.)	31½	33	33	32	15½
0- <sup>6</sup> $\frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$6,8 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	2,4 mg/l	0,90 mg/l	10,4 mg/l	$5,3 \cdot 10^{-11} \text{ g/ml}$	3 Sporen
53	52	53	51½	54	53	ca. 45
0- <sup>3</sup> $\frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$9,1 \cdot 10^{-5} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	40,6 mg/l	2,93 mg/l	134 mg/l	$3,4 \cdot 10^{-8} \text{ g/ml}$	329 Sporen/Std.
21	21	37	36	26	21	ca. 7
64	67	<sup>69</sup> / <sub>4</sub> bis 29. 3., 14.45 Uhr	<sup>62</sup> / <sub>2</sub> bis 29. 3., 8.00 Uhr	60 bis 29. 3., 5.15 Uhr	71	ca. 48
2160	2300	2360	2100	2030	2400	—
54% 58% 9. 4., 11.00	58% 61% bis 2. 4., 10.00 Uhr	41,1% 54,8% bis 9. 4., 10.00 Uhr	59% 73,5% bis 9. 4., 10.00 Uhr	68,5% 70% bis 9. 4., 10.00 Uhr	52% 56% bis 9. 4., 11.00 Uhr	—

\* F. f. R. = Forschungsstelle für Radiohydrometrie

Tabelle 11: Übersicht über den Tracerdurchgang in der Bründlquelle

Tracer	Alkylbenzol-sulfonat	Tritium		Chrom-51	Natrium	Kalium
Einspeisungsmenge	10 kg	ca. 5 Ci		137 mCi	300 kg NaCl (5020 val)	100 kg KCl (1285 val)
Einspeisungszeit	26. 3. 1966, 16.30 Uhr	26. 3., 16.40 Uhr		26. 3., 16.40 Uhr	26. 3., 16.45—17.05 Uhr	26. 3., 17.05—18.00 Uhr
Nachweismethode	Ausschütteln der Schaumhöhe	Probenmessung im Tri-Carb (BVFA, Wien)	Probenmessung im Tri-Carb (F. f. R. München)*	Direktmessung in 100-l-Durchflußbehälter	flammenphotometrisch	
Nachweisgrenze	ca. $2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2 \cdot 10^{-8} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$4 \cdot 10^{-7} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	0,356 mg/l	0,10 mg/l
Nachweisempfindlichkeit	—	$6 \cdot 10^5 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	$1,3 \cdot 10^8 \frac{\text{cpm}}{\mu\text{Ci/ml}}$	0,2 mg/Skalenteil	0,31 mg/Skalenteil
Untergrund	—	$1,75 \cdot 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$	22 cpm	3900 cpm	2,3 mg/l	0,68 mg/l
erster Nachweis (Stunden nach der Einspeisung)	ca. 41	$32\frac{1}{2}$	32	37 (vgl. Abschnitt 2. 3.)	$31\frac{1}{2}$	33
Konzentration beim ersten Nachweis	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$2 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$6,8 \cdot 10^{-6} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	2,4 mg/l	0,90 mg/l
Maximum (Stunden nach der Einspeisung)	ca. 62	$55\frac{1}{2}$	53	52	53	$51\frac{1}{2}$
Konzentration im Maximum	$6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$3 \cdot 10^{-3} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	$9,1 \cdot 10^{-5} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{ml}}$	40,6 mg/l	2,93 mg/l
Halbwertsbreite der Durchflußkurve in Stunden	—	$22\frac{1}{2}$	21	21	37	36
Schwerpunkt (Stunden nach der Einspeisung; Kurve bis 2. 4., 24.00)	—	$66\frac{1}{2}$	64	67	$69\frac{3}{4}$ bis 29. 3., 14.45 Uhr	$62\frac{1}{2}$ bis 29. 3., 8.00 Uhr
Wasservolumen (m <sup>3</sup> ) zwischen Impf- und Meßstelle (Berechnung aus Schwerpunkt)	—	(2250) ?	2160	2300	2360	2100
nachgewiesene Tracermenge						
a) bis 31. 3., 24.00		55,8%	54%	58%	41,1%	59%
b) bis Ende der Messung	ca. 25%	59,2%	58%	61%	54,8% bis	73,5% bis
	bis 30. 3., 5.00	bis 9. 4., 10.00	bis 9. 4., 11.00	bis 2. 4., 10.00 Uhr	9. 4., 10.00 Uhr	9. 4., 10.00 Uhr
	Seehöhe der Einspeisestelle: 443 m Seehöhe der Bründlquelle: 372 m Höhenunterschied: 71 m Entfernung Impf-Meßstelle (Luftlinie): 800 m					

\* F. f. R. = Forschungsstelle für Radiohydrometrie

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß sowohl am Hammerbach wie auch an der Bründlquelle die Durchgangskurven einen relativ zur Halbwertsbreite langen Schwanz haben, der insbesondere beim Hammerbach einen beträchtlichen Anteil an Tritium enthält. Auch die letzten, am 9. bzw. 10. April entnommenen Proben enthalten noch eindeutig Tracertritium, so daß die angegebenen Wiedererhaltungsgrade (Verhältnis der an der Meßstelle erfaßten Tracermenge zur geimpften Tracermenge) untere Grenzwerte darstellen.

In seiner Eigenschaft als nahezu idealer Tracer für Wasser sollte Tritium prinzipiell hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit und der Wiedererhaltung als Vergleichstracer für andere Tracer dienen. Im allgemeinen — aber nicht notwendig in jedem Einzelfall — ist zu erwarten, daß der Wiedererhaltungsgrad aller anderen gelösten Tracer kleiner oder günstigstenfalls gleich dem des Tritiums ist. Die Genauigkeit, mit der die wiedererhaltenen Traceranteile angegeben werden können, hängt im wesentlichen ab von der Genauigkeit der Wasserführungswerte, der Genauigkeit der gemessenen Fläche unter der Konzentration-Zeit-Kurve (abzüglich Nullprobeneffekt) und der Genauigkeit, mit der die Impfmenge relativ zu der für die Bestimmung der Nachweisempfindlichkeit benutzten Tracermenge bekannt ist. Der Fehler der Wasserführungsmessungen ist  $\pm 5\%$ ; für den bloßen Vergleich der verschiedenen Tracer ist er jedoch unerheblich. Der Fehler, mit der die Fläche der Durchflußkurven innerhalb der Zeit vom 27. bis 30. bzw. 31. März bestimmt werden konnte, betrug schätzungsweise einige Prozent. Die Hauptunsicherheit des Wiedererhaltungsgrades für Tritium ergibt sich daraus, daß für die Bestimmung der Nachweisempfindlichkeit der Meßgeräte leider kein definierter Teil der Impfmenge zur Verfügung stand, so daß der Fehler, mit dem die Lieferfirma die Tritiumaktivität angegeben hat, voll in das Meßergebnis eingeht. Der Gesamtfehler des Wiedererhaltungsgrades für Tritium für die Zeit vom 27. März bis 9. bzw. 10. April wird auf 10 bis 20% geschätzt.

Der geringe Prozentsatz des wiederausgetretenen M a n g a n s kann durch Ionenaustauschvorgänge erklärt werden, da nicht komplexiertes Mangan nach einer Einspeisung in der Lurbachschwinde im Hammerbach keine Erhöhung des natürlichen Mangangehaltes zeigte. Laborversuche mit Ionenaustauschersäulen brachten weitere Hinweise für die Richtigkeit dieser Annahme. Da auf Grund dieses Ionenaustausches keine quantitativen Aussagen gemacht werden können, ist Mangan als aktivierungsanalytisch nachweisbarer Indikator für die Verfolgung unterirdischer Wasserläufe nur bedingt geeignet.

Der Durchgang der braun gefärbten Lycopodiumsporen zeigte bezüglich des ersten Auftretens (35 bis 37 Stunden nach der Einspeisung) und des Anstiegs zum Maximum des Durchganges (47 Stunden nach der Einspeisung) keine wesentlichen Abweichungen von den anderen Tracern. Erst mit dem Erreichen des

Maximums weicht die Sporenkurve durch die lange Dauer des Austrittes großer Sporenmengen erheblich vom Durchgang der anderen Tracer ab. Es zeigt sich, daß im Karstsystem bedeutende Sporenmengen zunächst zurückgehalten werden können, um dann über längere Zeit verteilt in der Quelle auszutreten. Geringe Sporenmengen konnten noch im Jänner 1967 in der Hammerbachquelle nachgewiesen werden. Es ist gerade in diesem Zusammenhang der langen und intensiven Beobachtung bemerkenswert, daß von den bei früheren Versuchen eingesetzten und im Hammerbach nachgewiesenen Sporen (blaues und ungefärbtes *Lycopodium*) kein Nachläufer gefunden werden konnte. Die Anzahl der nachweisbaren Sporen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Deren bedeutendster ist zweifellos die Maschenweite der Planktonnetze, wobei sich schon bei verschiedenen Versuchen Netze aus Nylongaze von 25 Mikron Maschenweite am besten bewährt haben. Gegenüber den früher verwendeten Seidennetzen bildet bei den Nylonnetzen auch die wesentlich stärkere Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung einen bedeutenden Vorteil. Die vertikale oder horizontale Einbringung der Planktonnetze in das zu beobachtende Gerinne beeinflußt die Durchströmung der Netze und damit auch die nachweisbare Sporenzahl. Letzten Endes ist auch die Fertigkeit und Gewissenhaftigkeit der Probenahme von Einfluß. Grundsätzlich muß festgehalten werden, daß eine quantitative Auswertung von Sporentriftversuchen bei einer Probensammlung mittels Planktonnetzen nicht möglich ist. Für den qualitativen Nachweis ist die Möglichkeit des gleichzeitigen Einsatzes verschieden gefärbter Sporen in verschiedene Schwinden, d. h. die Durchführung mehrerer Einsätze unter gleichartigen hydrologischen Bedingungen bei nur einem Beobachtungsvorgang für die Untersuchung unterirdischer Karstwasserwege von großer Bedeutung.

Die Anwendung des Fluoreszeinnatriums Uranin erhält durch die verschiedenen Nachweismethoden und die Möglichkeit von deren Wahl je nach den Erfordernissen besonderes Gewicht. Eine zeitlich dichte Probenahme und deren Untersuchung mit dem Spektralphotometer ermöglicht sehr genaue quantitative Aussagen, die absorptive Ultramikromethode Anreicherungen aus einem sehr hohen Verdünnungsgrad mit noch immer quantitativ verwertbaren Daten und die Anreicherung mit Aktivkohlesäckchen eröffnet die Möglichkeit einer zeitlich weit ausgedehnten Beobachtung mit dem Nachweis sehr geringer Tracermengen und unkomplizierter, billiger Beobachtung einer großen Anzahl von Quellaustritten. So konnten mittels der letzteren Methode Uraninspuren im Hammerbach noch bis über den Juli 1966 hinaus nachgewiesen werden. Der Vergleich der bis 30. März 1966 im Hammerbach nachgewiesenen Tracermengen (Tabelle 5) zeigt unter Einberechnung von Fehlerquellen dem Tritium etwa gleiche Uraninwerte, was darauf hinweist, daß von den Gründen für den hohen Anteil

des nicht nachzuweisenden Markierungsgutes (Zersetzung, pH-Wert des Wassers, Absorption etc.) vor allem der unkontrollierbare Austritt von Karstwasser in das Grundwasser des anlagernden Schotterkörpers verantwortlich ist. Bis zum 3. Mai 1966 (der letzten Probe für die Uraninbestimmung mit dem Spektralphotometer) wurden in der Hammerbachquelle 66% des eingegebenen Uranins nachgewiesen.

Ein Vergleich der Meßergebnisse von W. Käss und der Forschungsstelle für Radiohydrometrie zeigt Unterschiede im Nachweis der ersten Spuren und in der Konzentration des Tracers während des Durchganges. W. Käss erreicht durch Filtrieren der stark schwebstoffhaltigen Proben eine bessere Nachweisgrenze und kann die ersten Uraninspuren 3 Stunden früher als die Forschungsstelle der Radiohydrometrie nachweisen. Bei der Forschungsstelle wurden die Proben, da die Messung zunächst nicht eingeplant war, ohne Vorbehandlung gemessen.

Die Unterschiede in der Konzentration während des Tracerdurchganges sind sehr wahrscheinlich dadurch bedingt, daß für die Eichmessungen Uranin aus verschiedenen Lieferungen verwendet wurde. Bei Farbstoffen wie Uranin ist die Farbkraft der einzelnen bei der Herstellung anfallenden Chargen oft sehr unterschiedlich. Eine zweite mögliche Erklärung liegt darin, daß die Proben von W. Käss zwischen Entnahme und Messung einige Zeit dem Tageslicht ausgesetzt waren und ihre Fluoreszenz durch photochemische Zersetzung abnahm.

Der Versuch der Berechnung des Wasservolumens zwischen der Einspeisestelle und dem Hammerbach hat nur den Wert einer Anschätzung. Alle einfachen Ansätze zur Berechnung des Karstwasservolumens gehen von Annahmen aus, die sicher nicht erfüllt sind. Bei Berechnungen auf der Grundlage von Tracerverfahren gilt z. B., daß alles Wasser nicht erfaßt wird, mit dem sich der Tracer nicht vermischt. Die Ergebnisse können deshalb nur einen Hinweis auf die Größenordnung des Wasservolumens geben, im allgemeinen wird sich ein Mindestwert errechnen. Die Berechnung erfolgte nach verschiedenen Methoden. Bei Anwendung der Faustregel gespeicherte Wassermenge (cbm) = mittlere Schüttung (cbm/h) mal mittlere Fließzeit (h), wurde als mittlere Fließzeit die Zeit von der Einspeisung bis zum Schwerpunkt der Durchgangskurve angenommen.

Die aus den quantitativ auswertbaren Durchgängen mittels der Schwerpunkte der Durchgangskurven bis zum 2. April 1966, 24.00 Uhr, ermittelten Schätzwerte kommen bei einer mittleren Schüttung des Hammerbaches von 134 l/s (482 cbm/h) auf 24.600 bis 36.000 cbm unterirdisch gespeicherte Wassermenge. Ein Versuch, diesen Werten die Abschätzung des Volumens nach der gelegentlich angewendeten empirischen Formel A:  $c_{\max}$  (Verhältnis von Eingabemenge zur Konzentration im Maximum des Durchganges an der Meßstelle) gegenüberzu-

stellen, zeigt, daß die letztgenannte Art der Berechnung nur in einzelnen Fällen angenäherte Werte ergibt.

Die zusätzlichen Einspeisungen in die Schwinden des Katzenbaches und der Eisgrube brachten wertvolle neue Erkenntnisse über den Entwässerungsmechanismus des Karstgebietes von Semriach—Peggau. Es war bisher nicht bekannt, daß der Kaschadenbach, der Schmelzbach und die Laurinsquelle vom Katzenbach alimentiert werden. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der erfolgreichen, in den vergangenen Jahren durchgeführten Markierungen zeigt die Betrachtung des Gesamttraumes bei Mittelwasser eine im großen gegen SW und SSW gerichtete unterirdische Entwässerung (Katzenbach—Schmelzbach, Lurbach—Hammerbachquelle; Abb. 1). Die Wässer der Eisgrube scheinen bei Mittel- und Niederwasser südlich vom Hammerbachsystem vorbeizuziehen. Bei erhöhtem Mittelwasser und Hochwasserverhältnissen kommt es im Tannebenstock zu einer von S gegen N fortschreitenden Stauung, die die unterirdische Entwässerungsrichtung von allgemein SW gegen WSW verschiebt. So konnten im Gegensatz zu der 1966 negativ verlaufenen Einspeisung in die Eisgrube beim kombinierten Triftversuch 1959 die in die Eisgrube eingebrachten blauen Lycopodiumsporen im Siphonbach nachgewiesen werden. Es herrschten damals zu Versuchsbeginn erhöhte Mittelwasserhältnisse nach einem vorhergegangenen und einem dem Versuch folgenden neuerlichen Hochwasser (17. und 18. April 1959). Bei den Mittelwasserbedingungen 1966 floß der Siphonbach nicht. Auch die in die Lurbachschwinde eingesetzten ungefärbten Sporen wurden beim Versuch 1959 in den Siphonbach hinübergedrückt. Extreme Hochwässer des Lurbaches nehmen schließlich den Überlauf überhaupt durch die begehbare Lurgrotte und stellen so eine sichtbare Verbindung zwischen dem Lur- und dem Schmelzbach her.

Unter diesen Aspekten der Variabilität der unterirdischen Entwässerung im Rahmen einer komplexen Betrachtung des verkarsteten Gebirgsstockes bekommen zwei auf Grund der sehr geringen Konzentrationen ansonsten nicht sehr beweiskräftige Beobachtungsergebnisse doch noch ein gewisses Gewicht: Die Beobachtungen am Schmelzbach verliefen für die in die Lurbachschwinde eingebrachten Markierungsmittel negativ. Nur die Anreicherung von Jod-131 brachte in den Proben vom 31. März, 12.30 Uhr, bis 1. April, 14.30 Uhr, und 1. April, 14.30 Uhr, bis 2. April, 8.30 Uhr, den Nachweis einer sehr geringen Menge des Indikators. Die insgesamt im Schmelzbach durchflossene Menge von Jod-131 betrug ca.  $10^{-6}$  der in die Lurbachschwinde eingegebenen Indikatormenge. Die Nachweisempfindlichkeit lag bei den geimpften Tracermengen für die Jod-131-Messung durch Anreicherung um ca. eine Größenordnung höher als für die Tritiummessung. — Die Planktonnetzproben aus dem Schmelzbach erbrachten neben zahlreichen grünen Sporen (vgl. Tabelle 6) 1 violette und 1 braune

Spore. Während die erstere nur durch Verschleppung erklärt werden kann (violette Sporen waren im Lurbachsystem noch nie eingesetzt worden), könnte im Hinblick auf die Jod-131-Messung die braune Spore tatsächlich aus der Lurbachschwinde stammen. Sind die beiden Nachweise richtig, so hieße das, daß bei den während der Versuche von 1966 herrschenden Mittelwasserverhältnissen gerade noch ganz minimale Mengen vom südlich liegenden Lurbach-Hammerbach-System zum Schmelzbach überliefen.

### 3. 2. Ergebnisse des Buchkogelversuches

Der Durchgang der in die Feliferhofschwinde eingebrachten und in der Bründelquelle wieder nachgewiesenen Markierungsmittel unterscheidet sich in verschiedenster Hinsicht von den Ergebnissen beim Hammerbach.

Schon die Spitzen der Durchgangskurven liegen nicht so einheitlich wie beim Hammerbach (s. Tafel II und Tabelle 11). Das Maximum des Durchganges liegt bei den Sporen ca. 45 Stunden nach der Einspeisung (darauf bezogene Fließgeschwindigkeit 17,8 m/h), bei den Tracern Sulforhodamin G extra, Chlorid, Kalium, Natrium, Chrom-51-ÄDTA und Tritium zwischen 51,5 und 55,5 Std. (15,5 bis 14,4 m/h) und beim Alkylbenzolsulfonat ca. 62 Stunden nach der Einspeisung (zirka 13 m/h). Die Unterschiede sind aus der verschiedenen Exaktheit der einzelnen Methoden allein nicht mehr zu erklären. Ein Vergleich mit den Durchgangskurven von kombinierten Versuchen in den Jahren 1956 und 1963 zeigt, daß derartige zeitliche Unterschiede auch damals auftraten (Abb. 15). Das Vorausschleichen der Lycopodiumsporen ist bei allen Versuchen an diesem System eine stets wiederkehrende Erscheinung.

Auch der erste Nachweis der Tracer zeigt ähnliche Unterschiede. Er lag bei den Lycopodiumsporen ca. 15,5 Stunden nach der Einspeisung (darauf bezogene Fließgeschwindigkeit ca. 52 m/h), bei Sulforhodamin G extra, Chlorid, Kalium, Natrium, Chrom-51-ÄDTA und Tritium zwischen 32 und 33 Std. (25 bis 24 m/h) und bei Alkylbenzolsulfonat ca. 41 Stunden nach der Einspeisung (19,5 m/h, vgl. auch Abschnitt 2. 3.).

Der Verlauf der Durchgangskurve nach dem Maximum ist durch deutliche Unregelmäßigkeiten gekennzeichnet (Tafel II). Eine zweite Spitze des Sporendurchganges, etwa 58 Stunden nach der Einspeisung, hat in allen anderen Kurven in einem deutlichen Knick eine verzögerte Parallele, auch der dritte Peak des Sporendurchganges am 30. März widerspiegelt sich in der Kurve des Chrom-, Sulforhodamin- und Chloridurchganges. Es ist anzunehmen, daß diese Unregelmäßigkeiten in den Schüttungsschwankungen der Bründelquelle begründet sind. Im Vergleich zum Hammerbach ist auch die rasche Abnahme der Sporenzahlen von Interesse, die nicht auf verschiedene Beobachtungsmethoden zurückzuführen ist, da auch die Vergleichsproben vom 29. März,

Tabelle 12: Durchgangszeiten bei Markierungsversuchen im Buchkogelgebiet bei Graz

Erstes Auftreten in Stunden nach der Einspeisung

Versuchszeit	Schüttung der Bründlquelle	Sporen	Chlorid	Na	K	<sup>131</sup> J	<sup>51</sup> Cr	Tritium	Br	Uranin	Rhod. B	Sulfo-rhod. G	Alkyl-benzol-sulfonat
20. bis 24. 5. 1958	6 l/s konst.	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1. bis 12. 7. 1963	7,5 l/s bei Versuchsbeginn, Anstieg nach 30 Std. auf 16 l/s, später durchschnittlich 9 l/s	33	—	—	—	44	—	—	41 <sup>1/2</sup>	—	42	—	—
23. 3. bis 2. 4. 1966	9 l/s bei Versuchsbeginn, Anstieg auf 9,75 l/s während d. Versuches, später wieder 9 l/s	15 <sup>1/2</sup>	33	33 <sup>1/2</sup>	33	—	32 (37)*	32	—	—	—	32	41
12. bis 14. 5. 1956	16,5 l/s konstant	—	21 <sup>1/2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23. bis 25. 3. 1957	23 l/s zu Versuchsbeginn, später fallende Tendenz	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22. bis 28. 6. 1956	23 l/s konstant	13 <sup>1/2</sup>	19 <sup>1/2</sup>	—	—	—	—	—	—	13 <sup>1/2</sup>	—	—	—

\* Vgl. Abschnitt 2. 3.

Tabelle 13: **Durchgangszeiten bei Markierungsversuchen im Buchkogelgebiet bei Graz**

Maximum des Durchganges in Stunden nach der Einspeisung

Versuchszeit	Schüttung der Bründlquelle	Sporen	Chlorid	Na	K	<sup>131</sup> J	<sup>51</sup> Cr	Tritium	Br	Uranin	Rhod. B	Sulfo-rhod. G	Alkyl-benzol-sulfonat
20. bis 24. 5. 1958	Wie Tabelle 12	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1. bis 12. 7. 1963	Wie Tabelle 12	39 (1. Spitze) 52 (2. Spitze)	—	—	—	78	—	—	68	—	69	—	—
23. 3. bis 2. 4. 1966	Wie Tabelle 12	45	54	53	51 <sup>1/2</sup>	—	54	55	—	—	—	53	62
12. bis 14. 5. 1956	Wie Tabelle 12	—	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23. bis 25. 3. 1957	Wie Tabelle 12	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22. bis 28. 6. 1956	Wie Tabelle 12	19	31	—	—	—	—	—	—	31	—	—	—

16.00 bis 21.00 Uhr (vor dem 3. Peak der Kurve), und nach der dritten Spitze vom 31. März, 22.30 Uhr, bis 1. April, 6.00 Uhr, mit einem Nylonnetz von 25  $\gamma$  Maschenbreite nur 4 bzw. 32 Sporen lieferten. In der Bründlquelle zeigt die Durchgangskurve der Sporen von allen Tracern die kleinste, in der Hammerbachquelle die weitaus größte Halbwertsbreite.

Der Vergleich mit dem Durchgang am Hammerbach scheint den Schluß zu rechtfertigen, daß die Differenz der Durchgangszeiten der verschiedenen Tracer in der Bründlquelle sich in erster Linie in den spezifischen hydrogeologischen Verhältnissen dieses Karstsystems begründet.

Die Tatsache, daß im Buchkogelgebiet nunmehr bereits sechs Markierungsversuche durchgeführt wurden, macht einen Vergleich der Durchgangszeiten wünschenswert. Die Reihung der Versuche nach der Schüttung der Bründlquelle zeigt eindeutig die Abhängigkeit der Durchgangszeit und Fließgeschwindigkeit von der Wasserführung (Tabellen 12 und 13).

Bezüglich der Menge der nachgewiesenen in der Bründlquelle ausgetretenen Tracer ist beim Alkylbenzolsulfonat und bei den Lycopodiumsporen keine exakte quantitative Auswertung möglich.

Die von der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal und der Forschungsstelle für Radiohydrometrie an den Meßstellen der Bründlquelle erfaßten Tritiummengen unterscheiden sich um 3%, d. h. sie sind innerhalb der Meßgenauigkeit gleich.

Die gleichzeitige Verwendung von zwei verschiedenen Salzen als Markierungsmittel erlaubt einen quantitativen Vergleich. Bei Natrium liegt die höchste Konzentrationserhöhung mit 1,76 mval/l 293mal über der Erfassungsgrenze. Es besteht somit eine 293fache Sicherheit. Dies entspricht einer Mindesteinsatzmenge von 1,00 kg Kochsalz. Beim Kaliumchlorid beträgt dieser Faktor 300; die Mindesteinsatzmenge betrüge hier theoretisch  $\frac{1}{3}$  kg Kalisalz.

Bei einer empfindlichen Geräteeinstellung hätte die Erfassungsgrenze und damit die errechnete Mindesteinsatzmenge für Kalisalz noch wesentlich erniedrigt werden können.

Für das Chlorid liegt die Erfassungsgrenze um etwa 1 Größenordnung höher als bei den Alkalien. Hier hätte man nur durch umständliche gravimetrische Methoden zu genaueren Ergebnissen gelangen können.

Die bei der Besprechung der Ergebnisse mitgeteilten %-Zahlen des Ausbringens würden sich nach Schluß der Beobachtung noch etwas erhöhen, da zu diesem Zeitpunkt noch deutliche Alkalikonzentrationen über dem Blindwert vorlagen. Der unempfindliche Chloridnachweis zeigte jedoch bei Beobachtungsende keine Erhöhung mehr über dem Normalwert.

Auffallend ist das schlechtere Abschneiden des Natriums gegenüber dem Kalium. Das Natriumchlorid wurde jedoch in ziemlich konzentrierter Lösung sehr rasch eingegeben, was beim Kalisalz nicht der Fall war. Zwei Gründe können für die geringere Natriumausbeute angeführt werden:

1. Absorption und Ionenumtausch am Gestein, besonders durch hohe Konzentrationen (Massenwirkung) unterstützt.
2. Absinken in tiefere Karstwasserräume durch die höhere Dichte der konzentrierten NaCl-Solen.

Die Summe der wiederausgebrachten Alkaliäquivalente (3700 val) liegt bedeutend unter dem Chloridäquivalent (4420 val), so daß ein Ionenumtausch wahrscheinlicher ist. In diesem Fall hätten vermehrt Erdalkalien ausgetragen werden müssen, was jedoch nicht untersucht wurde.

Die Anschätzung des Wasservolumens zwischen der Einspeisestelle und der Bründelquelle, bezogen auf die aus dem Schwerpunkt der Kurvenauswertung bis 2. April, 24.00 Uhr, gewonnene mittlere Fließzeit bei einer mittleren Schüttung der Bründelquelle von 9,4 l/s (33,84 cbm/h), liegt bei den quantitativ auswertbaren Methoden zwischen 2030 und 2400 cbm. Die Schätzung, Eingabemenge (val) durch stärkste Konzentration (mval/l), ergibt nach den Tracern

Natrium	Kalium	Chlorid
2850	1750	2130 cbm

und liegt bei Chrom-51, Tritium und Sulforhodamin zwischen 1500 und 2080 cbm. Die Berechnung des Volumens zwischen Schwinde und Quelle bei den Versuchen 1963 ergab aus dem Einsatz von Ammonbromid 2240 cbm, aus dem wieder ausgebrachten Jod-131 3310 cbm.

Es ist offensichtlich, daß auf Grund der Vielzahl von Fehlerquellen die Volumsberechnungen nur den Wert einer Schätzung haben, doch halten sich die Werte in einer gewissen Größenordnung und vermitteln zumindest eine Vorstellung vom Speichervermögen des jeweiligen Systems.

### 3. 3. Vergleichende Betrachtung der Gesamtergebnisse

Vergleicht man die Gesamtergebnisse der Versuche 1966 im Buchkogelgebiet und im Raume Semriach—Peggau, so ergeben sich wesentliche, vor allem in den verschieden gearteten hydrogeologischen Verhältnissen begründete Unterschiede. Die größeren Wassermengen im Peggauer Karstsystem bedingen trotz des geringeren fiktiven Gefälles (77‰ gegen 88,7‰ im Buchkogelsystem) sehr viel höhere Fließgeschwindigkeiten (bezogen auf das Maximum des Durchganges 62 bis

64 m/h gegen 13 bis 8 m/h im Buchkogel). Andererseits stellt die Bründelquelle mehr als die Hammerbachquelle den einzigen bedeutenden Wiederaustritt des Karstwassers dar, wie der generell höhere Prozentsatz der Wiederausbringung der eingesetzten Tracer beweist. Hoher Prozentsatz der Wiederausbringung und rasches Ansprechen der Schüttung und des Tracerdurchganges auf geringe Niederschläge deuten auf ein einfacheres System der Wasserwege im Buchkogelgebiet als im Lurhöhlensystem, wo die unter dem heutigen Talboden von Peggau hinabreichende Verkarstung nicht nur eine direkte Alimentation des Talgrundwassers durch das Karstwasser ermöglicht, sondern große Stauräume mit hohen Wirbeln und Sedimentationstaschen schuf, die einen Teil der Tracer lange zurückhalten und erst sukzessive wieder abgeben. Diese Verhältnisse werden besonders durch den langen Sporendurchgang in der Hammerbachquelle dokumentiert, aber auch durch das monatelange Austreten geringer Uraninkonzentrationen.

Zeigten diese Vergleichsversuche ganz eindeutig, daß wesentliche Charakteristika des Tracerdurchganges in den hydrogeologischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes ihre Begründung finden, so ist zu hoffen, daß vermehrte Vergleiche dieser Art gestatten, Kriterien zu sammeln, die umgekehrt die Beurteilung und Gliederung von Karstsystemen erlauben.

Bezüglich der Anwendbarkeit der Tracer für die Untersuchung unterirdischer Wasserwege konnten die Erfahrungen erweitert werden. Es ist bereits bekannt, daß die Lycopodiumsporen mit Ausnahmen (z. B. geklüftete Sandsteine) nur in Karstgebieten anwendbar sind; sie werden vor allem in Lockersedimenten rasch abgefiltert. Weiters gestatten die bisherigen Methoden der Sporenriftung keine genaueren quantitativen Aussagen. Eine qualitative Auswertung war bei allen bei den kombinierten Markierungsversuchen angewendeten Tracern gegeben.

Im besonderen ist darauf hinzuweisen, daß kationische Tracer in Gesteinsarten der Alumosilikate nur bedingt verwendbar sind. Durch den Ersatz von Silizium durch Aluminium sind in der Gitterstruktur der Mineralien Hohlräume für vagabundierende Kationen und damit die Möglichkeit zum Kationen-Austausch vorhanden. Ein Anionenaustausch in Mineralien kann ebenfalls diskutiert werden (Hydroxyapatit). Aus den erwähnten Gründen wurde Mangan als ÄDTA-Komplex eingespeist. Mangan und Jod erwiesen sich in der bei diesen Versuchen angewendeten Form für eine quantitative Auswertung wenig geeignet.

Die Verwendbarkeit der einzelnen Tracer hängt auch vom pH-Wert der Wässer ab. Dieser Einfluß macht sich besonders bei Fluoreszenzfarbstoffen bemerkbar. So ist z. B. die Fluoreszenz des Sulforhodamin G nur im basischen Bereich, dagegen die des Uranins sowohl im sauren als auch im basischen Bereich vom pH-Wert abhängig.

Ein besonderes Problem bildet die Anwendbarkeit aller Tracer bei Gegenwart von Abwässern. Dieser Fragenkomplex wurde bisher noch nicht genauer untersucht. In diesem Zusammenhang dürfte die Verwendung von Alkylbenzolsulfonaten weitgehend eingeschränkt sein.

Eine vergleichende Untersuchung von Tracersubstanzen in Abwässern steht noch aus. Die Lichtempfindlichkeit mancher Farbtracer (Uranin) braucht nur in besonderen Fällen (offene Gerinne, Probenentnahme und Probentransport) berücksichtigt zu werden. Nach allem erscheint Tritium als idealer Tracer, da er weitgehend von allen Umwelteinflüssen unabhängig ist. Trotzdem muß vor einer großräumigen Tritiumanwendung gewarnt werden, da dadurch der natürliche Tritiumhaushalt gestört wird und Datierungsversuche beeinträchtigt werden.

**Ganz allgemein kann festgestellt werden, daß eine Registratur von Markierungsversuchen von Untergrundwässern anzustreben wäre, um bei späteren Wiederholungen oder weiteren Versuchen eine Übersicht zu haben.**

Vergleiche des personellen und materiellen Aufwandes beim Einsatz der verschiedenen Tracer wurden diskutiert. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die vorliegenden Unterlagen zu einer befriedigenden Darstellung nicht ausreichen, so daß es zweckmäßig erscheint, diesen Fragenkomplex bei der nächsten Fachtagung zur Diskussion zu stellen.

## Literatur

- BOCK, H.: Charakter des mittelsteirischen Karstes. — Mitt. Höhlenk., **6**, Graz 1913.
- BUCHTELA, K., J. MAIRHOFER, V. MAURIN, T. PAPADIMITROPOULOS & J. ZÖTL: Vergleichende Untersuchungen an neueren Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wässer. — Wasserwirtschaft, **54**, Stuttgart 1964.
- FLÜGEL, H.: Geologische Wanderkarte des Grazer Berglandes (1 : 100.000). — Wien 1960.
- FLÜGEL, H.: Die Geologie des Grazer Berglandes. — Mitt. Museum Bergb., Geol. u. Techn., **23**, Graz 1961.
- KYRLE, G.: Kombinierte Chlorierung von Höhlengewässern. — Spel. Monogr., **12**, Wien 1928.
- MAURIN, V.: Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurhöhlensystems. — Mitt. naturw. Ver. Stmk., **81/82**, Graz 1952.
- MAURIN, V.: Hydrogeologie und Verkarstung des Grazer Berglandes. — Mitt. Mus. Bergb., Geol. u. Techn., **23**, Graz 1961.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. — Steir. Beitr. Hydrogeol., **1959**, Graz 1959.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Geologisches Kräftespiel und Landformung. — Wien 1957.
- ZÖTL, J.: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Raume des Buchkogelzuges bei Graz. — Beitr. Hydrogeol. Steiermark, **6**, Graz 1953.
- ZÖTL, J.: Die hydrogeologischen Verhältnisse des Plabutsch-Kollerberg-Zuges bei Graz. — Steir. Beitr. Hydrogeol., **1958**, **1/2**, Graz 1958.

## Rückblick

Der vorliegende Bericht gibt die Erfahrungen aus dem bisher wohl umfangreichsten Vergleich der für die Markierung unterirdischer Wässer verwendbaren Tracer wieder. Er ist das Resultat einer Gemeinschaftsarbeit, die nicht zuletzt in den Worten von siebzehn Autoren ihren Ausdruck findet. Die Publikationen der Versuchsergebnisse gemeinsam mit den Tagungsreferenten soll auch den nicht direkt mit dieser Materie Befassten Fingerzeige für die Möglichkeiten der einzelnen Methoden und deren Auswahl für spezielle Fragestellungen geben. Für die unmittelbar an den Arbeiten Beteiligten brachte dieses Teamwork nicht nur einen gewinnbringenden Erfahrungsaustausch, sondern auch wertvolle menschliche Kontakte und manche Stunde ungetrübter Geselligkeit. Als deren Ausdruck mögen die launigen Verse (H. MOSER) den Bericht beschließen.

### Hydrologische Karstuntersuchung

In da Lurgrottn bei Graz, des werds ja wissn,  
hams allerhand Zeig d' letzt Wochn einigschmissn.  
Isotopn und Farb, und Sporn, ois mitananda,  
und rumgstandn haufaweis san gscheide Manda.

Jeda im Land woäß, daß der Lurbach, der söll,  
im Murtal kimmt aussa als Hammerbachquell,  
und drum ham de Professa in Peggau druntn  
Apparateln higschleppt und Methodn erfundn.

Fest messn deans und sammeln des Wassa in Flaschln  
und lassn die Filter und Netzl durchwaschln.  
Und akkurat find jeda, was er drobn hat verlorn,  
der oane die Farb, der ander die Sporn.

Grad frein dean si da drüber d' Professa,  
denn jetzt wissens a sie, und glei no bessas,  
daß, wennst a Wassa tuast in a Grottn leitn,  
des söll Wasser kimmt aussa auf der andern Seitn!