

Vergleichende Markierungsversuche an Hangwässern in einem Bergsturzgelände

C. JOB, G. MUTSCHLECHNER (Innsbruck) und J. ZÖTL (Graz)¹

Die Markierung unterirdischer Wässer zum Nachweis von Zusammenhängen zwischen Versickerungsstellen und Quellaustritten, zur Bestimmung von Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung, zur Abgrenzung von Einzugsgebieten und nicht zuletzt zur Beobachtung der Auswirkung baulicher Eingriffe in den Gebirgskörper hat in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung gewonnen. Mit der vermehrten Zahl von Untersuchungen ging die Verbesserung alter bzw. Einführung neuer Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wässer und die Ausweitung der Anwendungsbereiche Hand in Hand.

Auf Grund der spezifischen Entwicklung eines unterirdischen Entwässerungsnetzes in Form zum Teil großlumiger Wasserwege und des offensichtlichen Zusammenhanges von Schwinden und Quellen kam die Markierung von in den Untergrund absinkenden Wässern sehr früh in Gebieten verkarstungsfähiger Gesteine zur Anwendung. Noch heute wird die überwiegende Zahl von Markierungsversuchen in Kalk- und Dolomitbereichen abgewickelt. Die Klärung der grundsätzlichen Züge der unterirdischen Entwässerung verkarsteter Gebirge und der Abbau sich hartnäckig haltender irriger Theorien ist nur der großzügigen Anwendung von Markierungen versinkender Wässer zu verdanken. Ähnliche Erfolge zeitigten Experimente in Gebieten aus stark zerklüftetem Sandstein.

Auch in Grundwässern von Lockergesteinskörpern sind Markierungsversuche nicht selten. Besondere Anwendungsbereiche sind hier die Untersuchung von Versickerungen von Obertagwässern und Schutzgebietsfragen. Spezielle Untersuchungsmethoden wurden hierfür entwickelt.

Demgegenüber ist die Zahl der Versuche der Markierung unterirdischer Wässer in den Bereichen nicht-carbonatischer Festgesteine (mit Ausnahme des Sandsteins) äußerst gering. Dies äußert sich nicht nur in mangelhafter Kenntnis der Wasserbewegung im Granit, Gneis und den kristallinen Schieferen, sondern auch darin, daß über

¹ Aus dem Forschungsinstitut Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Vorstand: Prof. Dr. F. SCHEMINZKY, Mitteilung Nr. 352) und dem Institut für Mineralogie und Technische Geologie an der Technischen Hochschule Graz (Vorstand: Prof. Dipl.-Ing. Dr. A. POLLAK).

die Anwendungsmöglichkeit der verschiedenen Markierungsmethoden in diesen Gesteinen kaum Erfahrungen vorliegen. Das ist ein um so empfindlicherer Mangel, als gerade in den Wässern nicht-carbonatischer Festgesteine und deren Verwitterungsprodukten verschiedene Markierungsmittel chemischen Reaktionen unterliegen, die in Carbonatgesteinen nicht auftreten. Berücksichtigt man ferner, daß auch die Anwendung der in den Carbonatgebirgen so erfolgreich eingesetzten Triftmittel (Lycopodiumsporen) hier nicht in Frage kommt, so kommt bei der Einschränkung brauchbarer Markierungsmittel für die Verfolgung unterirdischer Wasserwege Untersuchungen über die Anwendungsmöglichkeit von Tracern eine besondere Bedeutung zu.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen über den Einzugsbereich der Thermen von Badgastein wurden von den Verfassern Testmarkierungen in einem Gelände durchgeführt, dessen geologisch-petrographische Verhältnisse jenen im Bereich der Thermalquellen entsprechen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen haben nicht nur lokale Gültigkeit, sondern sollen auch eine Anregung zu weiteren Untersuchungen in dieser Richtung geben.

Das Untersuchungsgebiet

Als Teststrecke wurde der versickernde Abfluß des Reedsumpfes, in 1770 m Seehöhe nördlich des Reedsees gelegen, gewählt (Fig. 1).

Das Testgebiet liegt in den nordwestlichen Ausläufern der Ankogel-Gruppe. Den geologischen Untergrund bildet der östlich von Badgastein vorherrschende Zentralgneis der Hohen Tauern². Dieser gewaltige Granitgneiskörper ist durch muldenförmige Einstülpungen seiner auflagernden schieferigen Hüllgesteine unterteilt. Der hier in Betracht kommende Teil wird nach einer der höchsten Erhebungen dieses Gebietes zwischen dem Kötschachtal und dem Anlaufftal, dem Hölltorkogel (2905 m), Hölltor-Kern genannt. Die stoffliche Beschaffenheit seiner verschiedenen Gesteinsarten ist für den Chemismus des daraus entspringenden Wassers maßgebend.

Die felsige Unterlage der Teststrecke und des näheren Einzugsgebietes bildet porphyrischer, flaserig ausgebildeter Zentralgneis mittlerer Korngröße. Seine Bestandteile sind Quarz, Feldspäte, Flasern von Hellglimmer (Muskowit) und Schüppchen von dunklem Glimmer (Biotit). Der Feldspat ist Kalifeldspat, untergeordnet auch Plagioklas (Natronfeldspat).

Das weitere Einzugsgebiet des hier austretenden Wassers wird von einem kleinkörnigen Granitgneis eingenommen, der durch größere helle Glimmerflasern von elliptischem Umriß ein charakteristisches

² Vgl. dazu Fig. 2 in C. JOB & J. ZÖTL: Zur Frage der Herkunft des Gasteiner Thermalwassers. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 21, Graz 1969.

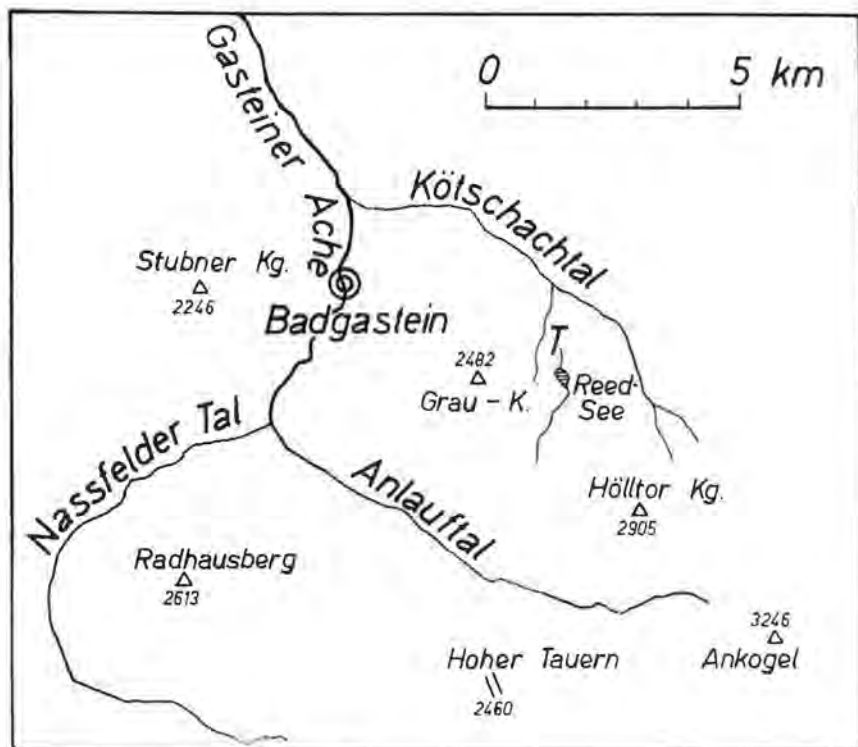


Fig. 1: Lage des Testgebietes (T).

Aussehen aufweist und „Forellengneis“ genannt wird. Dieses quarzreiche Gestein enthält annähernd gleich viel Kalifeldspat und Plagioklas. Die Glimmerfasern bestehen überwiegend aus Muskowit und führen vereinzelte Biotitschuppen. Dazu kommen örtlich kleine, rötliche Granatkörner.

Das aus dem Reedsumpf versickernde Wasser läuft nur selten direkt auf der gewachsenen Felsunterlage ab. Mit Ausnahme des obersten Teiles und der Steilstufe zwischen den Beobachtungsstationen bzw. Entnahmestellen I und II (Fig. 2) nimmt es seinen Weg mehr oder minder oberflächennah durch Blockwerk, das mit Rohhumus durchsetzt und mit Moosen bewachsen ist. Es ist teils Bergsturzmaterial, teils vom eiszeitlichen Gletscher abgelagerter Schutt, so daß auch mit Gesteinen vom Hölltorkogel und dessen Umgebung gerechnet werden muß. Dieses Gebiet besteht aus einem mehr granitartig beschaffenen Fels, nämlich porphyrischem Gneisgranit mit großen Kalifeldspäten, mit wenig oder keinem hellen Glimmer, wohl aber mit dunklem Glimmer.

Sowohl im porphyrischen Granitgneis als auch im porphyrischen Gneisgranit kommen Gänge von sehr grobkörnigen Pegmatiten mit

großen Kalifeldspäten vor. Das andere Extrem sind feinkörnige Aplite aus Feldspat und Quarz. Kalifeldspat herrscht vor.

Der tatsächlich zurückgelegte Weg des Wassers in dieser verhältnismäßig kurzen Teststrecke ist bedeutend länger als ein direkt zu Tal führendes Oberflächengerinne. Der Abfluß des Reedsumpfes verschwin-

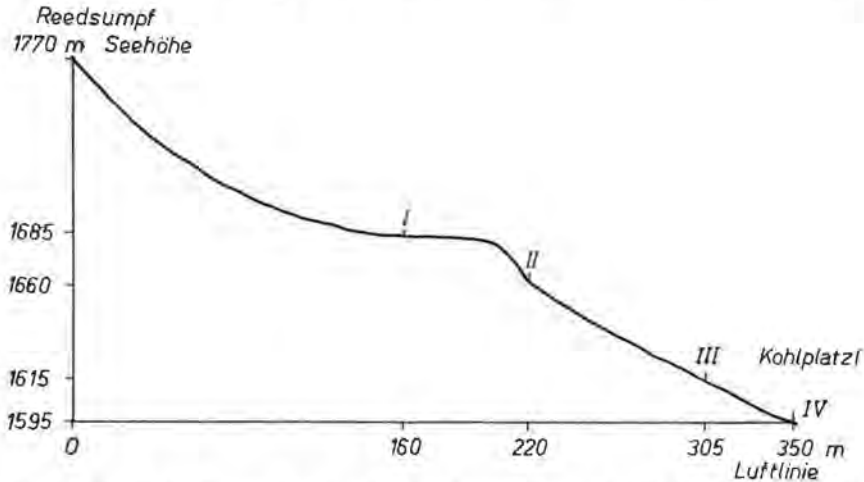


Fig. 2: Profil des Versuchsgeländes Reedsumpfeschwinde-Kohlplatzl. I, II, III, IV = Beobachtungsstellen.

det nach wenigen Metern zwischen Felsblöcken. Man hört das Wasser unter dem Versturzmateriale am Hang ablaufen, wobei es sich fächerförmig in mehrere verdeckte Gerinne verzweigt. Die Abflußmenge lag bei beiden Versuchen bei ca. 5 l/s. Bei Seehöhe 1685 m kommt eines der Gerinne kurz an die Oberfläche (Fig. 2, Beobachtungsstelle I), verschwindet aber sofort wieder unter Gesteinsblöcken. Anschließend quert das Wasser unterirdisch eine etwa 50 m breite Hangverebnung, um dann oberflächlich über eine ca. 20 m hohe Felswand abzufließen (Fig. 2, Beobachtungsstelle II, Seehöhe 1660 m). Am oberen Rand der Felswand verteilen sich die Wasseradern auf eine Breite von 60 bis 80 m. Sie sammeln sich zum Teil in kleinen Rinnen des anstehenden Felsen und verschwinden am Wandfuß wieder im Blockwerk. Von den nun über den Hang verteilten unterirdischen Abflüssen ist ein stärkeres Gerinne bei Seehöhe 1615 m zwischen den Blöcken zugänglich (Fig. 2, Beobachtungsstelle III). In Seehöhe 1595 m liegt dann die unterste, in der Fallinie zugängliche Beobachtungsstelle (IV). Von hier fließt das Wasser in den Bach, der vom Seekarlsee durch den Reedgraben zum Kötschachtal führt.

Das Gefälle des unterirdisch abfließenden Wassers beträgt im Durchschnitt 50‰. Bei der starken Hangneigung von durchschnittlich

27 Grad ergibt sich, daß die aus der Karte entnommene Entfernung von 350 m Luftlinie von der Reedsumpfschwinde bis zur Beobachtungsstelle IV beim Kohlplatzl einer Geraden von 390 m im Hanggefälle entspricht. Der tatsächliche Weg des Wassers ist freilich viel länger, es hat im Blockschutt viele Krümmungen zu durchlaufen und zahlreiche kleine Staustellen zu überwinden. Bei diesem verzögerten Durchfluß hat es mehr Gelegenheit, mit dem Gestein, mit dem Rohhumus und mit der Vegetation in Berührung zu kommen, als dies beim oberflächlichen Abfließen der Fall wäre.

Der Färbeversuch mit Uranin

Der Fluoreszenzfarbstoff Uranin zählt in Karstgebieten und Grundwasserfeldern im Lockergestein zu den am häufigsten verwendeten Tracern. Bei der hohen Nachweisgrenze mit Qualitätsspektralphotometern (bis zu 10^{-11}) können auch große Mengen unterirdischen Wassers eindeutig markiert werden, wenn nicht eine starke Adsorption im Untergrund erfolgt.

Schon lange ist bekannt, daß das Uranin zur Markierung von Wässern in Kohlengruben nicht geeignet ist. Kleinere Versuche in anderen Teilen der weiteren Umgebung des hier beschriebenen Gebietes ließen die Frage offen, ob die Ursache des negativen Befundes von Quellwasserkontrollen unterhalb von mit Uranin beschickten Schwinden auf ein Absinken des gefärbten Wassers in tiefere Bereiche oder auf eine Adsorption des Farbstoffes zurückzuführen war. Eine Klärung dieser Frage sollte die Markierung der Wässer der Teststrecke Reedsumpfschwinde—Kohlplatzl mit verschiedenen Markierungsstoffen bringen. Da dabei auch wenigstens ein weiterer Farbstoff zur Erprobung gelangen sollte, mußten die Versuche in zwei Etappen durchgeführt werden.

Am 5. Oktober 1966 wurde um 10 Uhr 1 kg Uranin, vorgelöst in 10 l Wasser, in die Reedsumpfschwinde eingespeist. Der Versuch wurde von M. EGGER, C. JOB und G. MUTSCHLECHNER durchgeführt. Der Abfluß betrug ca. 5 l/s. Der Beginn des Farbdurchganges konnte bei Beobachtungsstelle I 45 Minuten nach der Einspeisung, bei der Beobachtungsstelle II (am Fuße der Felswand) 65 Minuten nach der Einspeisung mit freiem Auge festgestellt werden. Bei den Beobachtungsstellen III und IV war der Farbdurchgang trotz der geringen Entfernung (ca. 96 bzw. 144 m unterhalb der Beobachtungsstelle II) mit freiem Auge nicht mehr zu verfolgen.

Bei den vier Beobachtungsstellen wurden im zeitlichen Abstand von 5 bis 30 Minuten Wasserproben gezogen, deren Uraningehalt mit einem Fluoreszenzphotometer bestimmt wurde. Fig. 3 zeigt den Verlauf des Farbdurchganges in den vier Beobachtungsstellen. An Station I stieg der Uraningehalt nach 45 Minuten rasch an und erreichte nach

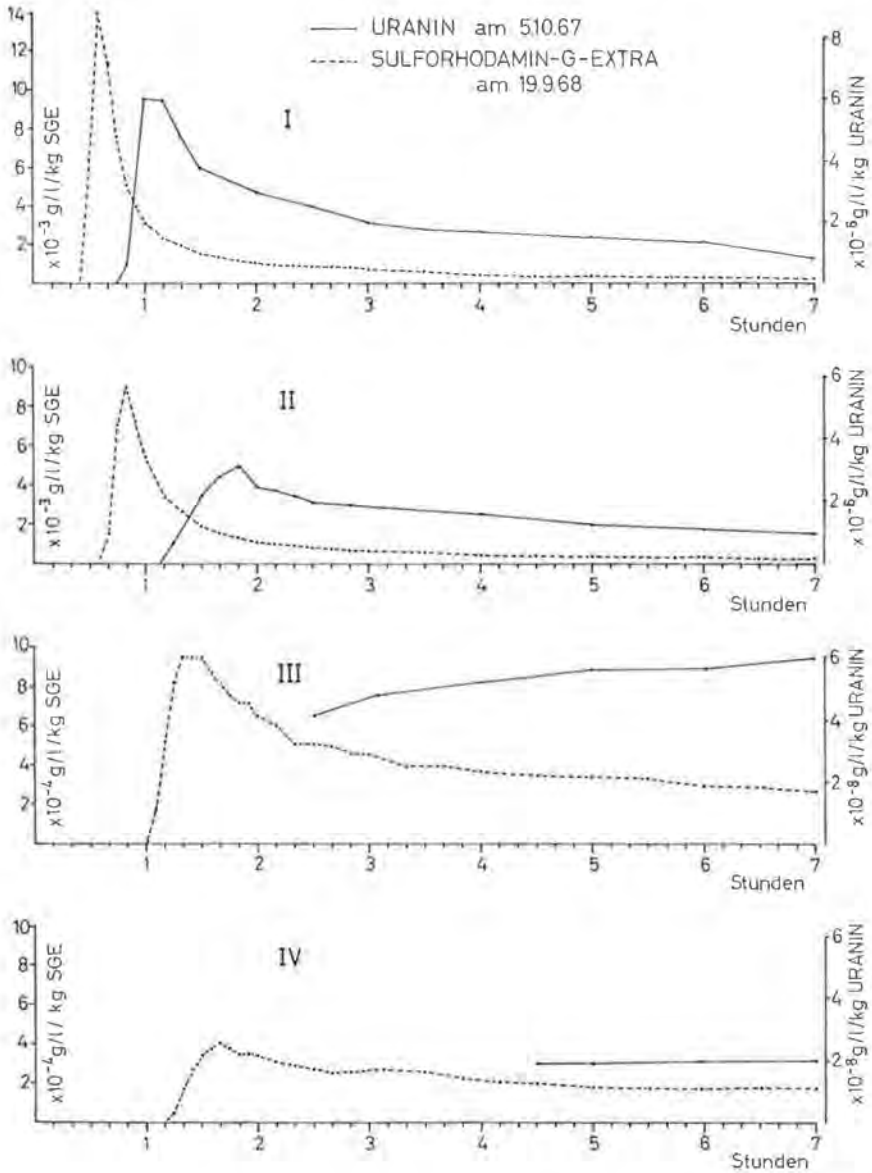


Fig. 3: Durchgangskurven der bei den Versuchen 1966 und 1968 in den Abfluß des Reedseesumpfes eingespeisten Farbstoffe in den Beobachtungsstellen I bis IV.

60 Minuten das Maximum von 6×10^{-6} g/l pro Kilogramm Einspeisungsgut. An Station II erfolgte der Anstieg nach 65 Minuten verzögert und erreichte erst nach 110 Minuten die Maximalkonzentration von 3×10^{-6} g/l/kg. Nach kurzdauernden Höhepunkten nahm die Färbung an beiden Stationen langsam und exponentiell ab. Bei den Stationen III und IV konnten die ersten Proben erst $2\frac{1}{2}$ bzw. $4\frac{1}{2}$ Stunden nach der Farbeingabe entnommen werden, so daß der Beginn des Farbdurchganges nicht erfaßt wurde. Der Uraningehalt nahm hier während der ganzen Beobachtungsperiode zu und erreichte an Station III 6 mal 10^{-8} g/l/kg, an Station IV 2×10^{-8} g/l/kg. Die in Tab. 1 angegebenen Verdünnungsfaktoren ergeben multipliziert mit der maximalen Konzentration der jeweiligen Station die Konzentration der nächst höheren Beobachtungsstelle. Der Verdünnungsfaktor zwischen den Stationen I und IV beträgt somit $2 \times 50 \times 3 = 300$. Insgesamt ist der Uraningehalt auf einem Weg von rund 400 m in der Falllinie auf 2×10^{-8} g/l pro Kilogramm Einspeisungsgut gesunken.

Tabelle 1

Übersicht über den Zeitpunkt (min nach der Einspeisung) und die Konzentration (g/l pro kg Tracer) der Durchgangsgipfel der in den Versuchen 1966 (Uranin) und 1968 (SGE, Nitrat, Natrium) in den Abfluß des Reedumpfes eingespeisten Markierungsmittel in den Beobachtungsstellen I bis IV. Im rechten Stab der Tabelle sind die Verdünnungsfaktoren zwischen den einzelnen Stationen I und IV angegeben. Daraus ergibt sich, daß in Station IV der Uranin-Gehalt auf 1/300, der SGE-Gehalt auf 1/36, der Nitrat-Gehalt auf rund 1/17 und der Natrium-Gehalt auf rund 1/22 der Konzentrationen in Station I abgesunken sind.

Markierungsmittel	Durchgangsgipfel min nach der Einspeisung	Maximale Konzentration g/l pro kg	Verdünnungs- faktor
Uranin	I 60	6,0	} 300
	II 110	3,0	
	III	6,0	
	IV	2,0	
Sulforhodamin-G- extra (SGE)	I 35	14,0	} 36
	II 50	9,0	
	III 80	1,0	
	IV 100	0,4	
NO ₃ ⁻	I 40	20,5	} 17,4
	II 50	15,9	
	III 80	2,4	
	IV 95	1,1	
Na ⁺	I 40	13,3	} 22,2
	II 50	8,9	
	III 90	1,2	
	IV 115	0,6	

Für diese starke Abnahme kommen mehrere Ursachen in Betracht. Die starke Verzweigung der Wasseradern verteilt den Farbstoff auf ein weites Gebiet, und seitliche Zuflüsse ungefärbten Wassers verdünnen die Farbe. Außerdem zeigt der flache Verlauf der Durchgangskurven, daß ein Teil des Farbstoffes zunächst adsorbiert und nur sehr langsam durch nachfließendes Wasser wieder ausgewaschen wurde.

Der Färbeversuch mit Sulforhodamin-G-extra

Dieses Markierungsmittel wurde 1968 durch M. EGGER, C. JOB, G. MUTSCHLECHNER und J. ZÖTL auf der gleichen Teststrecke geprüft wie das Uranin zwei Jahre vorher.

Am 19. September 1968 wurde um 7 Uhr früh $\frac{1}{2}$ kg Sulforhodamin-G-extra (SGE), vorgelöst in 10 l Wasser, in die Reedsumpfschwinde eingespeist, durch die schätzungsweise 5 l/s abfließen. Der Beginn des Farbdurchganges konnte an den Beobachtungsstellen I nach 25 Minuten, II nach 35 Minuten, III nach 60 Minuten und IV nach 75 Minuten schon mit freiem Auge festgestellt werden. An den vier Beobachtungsstellen wurden in zeitlichen Abständen von 5 bis 30 Minuten Wasserproben zur photometrischen Bestimmung des SGE-Gehaltes entnommen.

Die in Fig. 3 dargestellten Durchgangskurven lassen erkennen, daß das SGE die Teststrecke im Jahre 1968 wesentlich rascher durchlaufen hat als das Uranin zwei Jahre vorher. Hiefür dürfte in erster Linie eine größere Strömungsgeschwindigkeit im Gerinne verantwortlich gewesen sein. Außerdem dürfte das SGE infolge einer — verglichen mit dem Uranin — geringeren Adsorption im Erdreich die Nachweisgrenze früher erreicht haben als das Uranin. Für diese Annahme spricht vor allem der vergleichsweise raschere Anstieg des SGE an Station II.

An den Stationen I und II stieg der SGE-Gehalt, wie Fig. 3 und Tab. 1 zeigen, nach 35 bzw. 50 Minuten auf maximal 14 bzw. 9 mal 10^{-8} g/l pro Kilogramm der eingespeisten Menge an. In III und IV traten die Höhepunkte des Durchganges nach 80 bzw. 100 Minuten auf, wobei 1×10^{-8} g/l bzw. $0,4 \times 10^{-8}$ g/l erreicht wurden. Der Verdünnungsfaktor zwischen I und IV beträgt 36. Der SGE-Gehalt ist auf dem ca. 400 m langen Testweg auf $0,4 \times 10^{-8}$ g/l/kg Einspeisungsgut gesunken. Das SGE hat demnach die Teststrecke mit rund 20.000fach stärkerer Konzentration durchlaufen als das Uranin.

Der Markierungsversuch mit Natriumnitrat

Gleichzeitig mit dem SGE wurden 10 kg Natriumnitrat, vorgelöst in 20 l Wasser, auf die Teststrecke geschickt, um die Durchgangsfähigkeit dieser beiden Tracer unter denselben hydrologischen Bedingungen zu vergleichen. Zur Analyse des Natrium- und Nitratgehaltes wurden dieselben Wasserproben verwendet wie zur SGE-Bestimmung. Das

Natrium wurde flammenphotometrisch, das Nitrat photometrisch nach MULLIN und RILEY (1955) bestimmt.

Das Salz erschien an den einzelnen Stationen praktisch zur selben Zeit wie das SGE, jedoch waren die Konzentrationen der Na- bzw. Nitrat-Ionen ganz verschieden. Der Salzdurchgang ist in Fig. 4 in Mikroval/l dargestellt. Die Maximalkonzentrationen sind in Tab. 1 in g/l pro kg Einspeisungsgut angegeben. An allen Stationen war die Konzentration der Na-Ionen wesentlich geringer als die der Nitrat-Ionen³. Da Salzlösungen aus Gründen der Elektroneutralität stets äquivalente Mengen von Kationen und Anionen enthalten, sind an die Stelle der fehlenden Na-Ionen andere Kationen getreten. Diese Ionen konnten nur aus dem Erdboden stammen und im Austausch gegen Na in das Wasser gelangt sein, weil das zur Einspeisung verwendete Salz zu 99,7% aus Natriumnitrat bestand und auch im Rest nur Na-Salze (Natriumnitrit, Natriumchlorid und Natriumkarbonat) enthielt.

Eine nähere Untersuchung der an Station III entnommenen Wasserproben ergab dann, daß mit dem Eintreffen des Na und des Nitrats der Erdalkaligehalt zugenommen hatte und während der Beobachtungsdauer gegenüber den Ausgangswerten erhöht blieb. An Station III betrug die Nitrat-Konzentration im Maximum rund 275 $\mu\text{val/l}$, während der Na-Gehalt nur rund 135 $\mu\text{val/l}$ erreichte. Dafür aber nahm der Ca- und Mg-Gehalt der Wasserproben von anfänglich rund 85 $\mu\text{val/l}$ auf rund 215 $\mu\text{val/l}$, also um rund 130 $\mu\text{val/l}$ zu, wodurch die Kationen-Anionen-Bilanz im Zeitpunkt der Durchgangsspitze bis auf den kleinen Rest von ca. 10 $\mu\text{val/l}$ ausgeglichen wurde. Im späteren Verlauf des Salzdurchganges trat jedoch neuerlich eine deutliche Differenz (schraffierte Fläche der Fig. 4) zwischen den Nitrat-Werten und der Summe der Na-, Ca- und Mg-Ionen auf, was dafür spricht, daß im Zeitabschnitt zwischen 1 $\frac{1}{2}$ und 6 $\frac{1}{2}$ Stunden nach der Einspeisung nicht nur Erdalkalien, sondern auch noch andere Kationen des Erdbodens gegen das eingespeiste Na ausgetauscht wurden. Hierbei dürfte es sich vor allem um einen Kalium-Schub aus dem Kaliumbestand der Pflanzen und Bodenorganismen handeln. Diese Vermutung konnte leider nicht mehr analytisch überprüft werden, weil die verfügbaren Wasserproben für die Kalium-Bestimmungen nicht reichten.

Ein Vergleich der Nitrat-Maxima mit den Höhepunkten des SGE-Durchganges (Tab. 1) zeigt, daß die Durchgangsfähigkeit der Nitrat-Ionen merklich besser war als die des SGE. Trotz der Austauschvorgänge hatten sogar die Na-Ionen die Teststrecke mit geringeren Verlusten durchlaufen als das SGE. Daraus folgt, daß auch dieser Farbstoff merklich absorbiert wird, wenn auch bei weitem nicht so stark wie das Uranin.

³ Über ähnliche Beobachtungen mit NaCl und KCl siehe W. Käss, Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1966/67, p. 277.

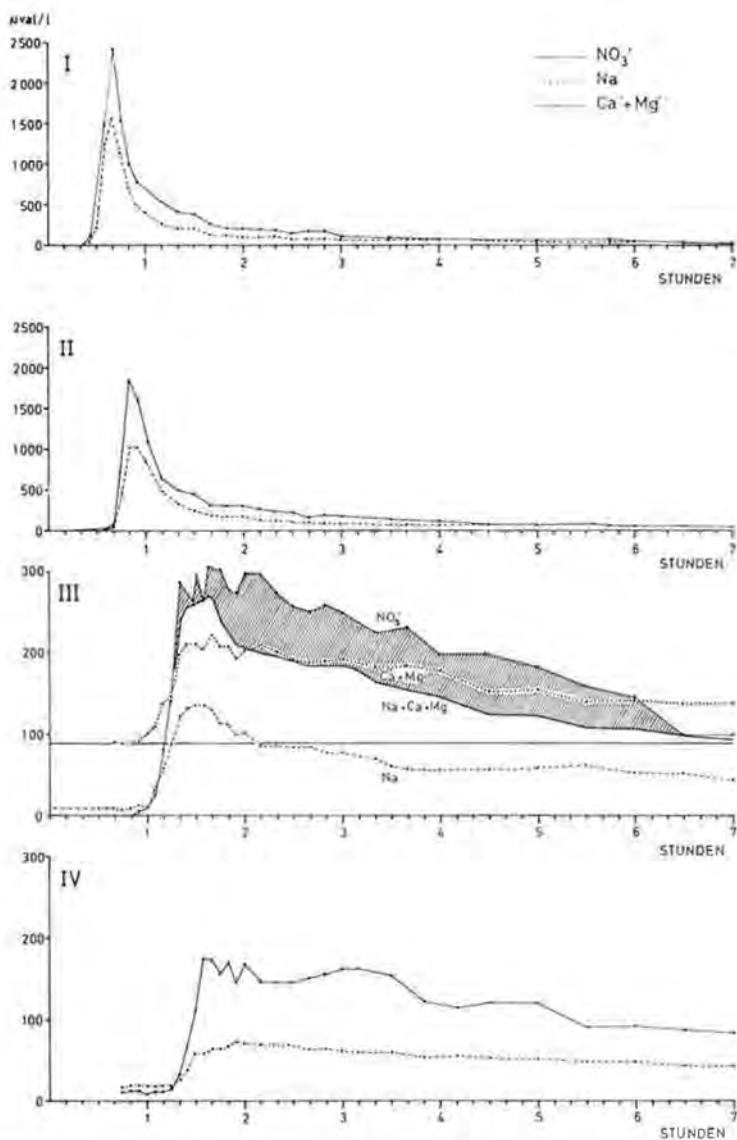


Fig. 4: Durchgangskurven der Natrium- und Nitrat-Ionen in den Beobachtungsstellen I bis IV. Änderung des Erdalkali-Gehaltes in Station III durch Austausch der eingespeisten Na-Ionen gegen die Erdalkalien des Bodens. Die Differenz (schraffiert) zwischen der Nitratkurve und der Summenkurve der Na-, Ca- und Mg-Ionen zeigt an, daß die Na-Zufuhr nicht nur Erdalkalien, sondern auch andere Kationen des Erdreichs (vorwiegend wohl Kalium) mobilisiert hat.

Abschließend soll betont werden, daß es sich hier um Ergebnisse kurzzeitiger Versuche handelt, bei denen keine nennenswerten Verluste an Markierungsmittel durch biologische Intervention auftraten. Bei längerer Verweildauer der beiden verglichenen Tracer im Erdreich könnte sich die Durchgangsquote unter Umständen zugunsten des SGE verschieben, weil das Nitrat eine wichtige Stickstoffquelle für einige Bodenbakterien und für nahezu alle Pflanzen darstellt und daher verbraucht wird.

Im ganzen betrachtet zeigen diese Markierungsversuche in einem Bergsturzgelände, daß das SGE und das Nitrat dem Uranin weit überlegen sind. Als wichtigen Nebebefund erbrachten sie den Nachweis, daß die Na-Ionen gegen Erdalkali- und wahrscheinlich auch gegen K-Ionen ausgetauscht werden, wobei diese Austauschvorgänge nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ablaufen und verschieden lang andauern.

Summary

Although there exists much experience in the tracing of subterranean waters in carbonate rock areas such experiments are relatively rare in granite and gneiss. So the results of an experiment carried out in the granite-gneiss-area of Gastein (Austrian Central Alps) seems of general interest. The materials tested in a subterranean water way of 390 m length between 1595 and 1770 m above sea level (fig. 2) were the dyes uranine and sulforhodamine-G-extra (SGE) and the salt NaNO_3 .

Concerning the dyes uranine was much more adsorbed than SGE, which reached the end of the test course in a concentration 20.000 times higher than uranine.

The concentration-time-curve of the salt (fig. 4) shows differences of high interest. At all observation stations the concentration of the Na-ions was much lower than that of the NO_3 -ions. Since in salt-solutions there is always an equivalent quantity of cations and anions another kind of cations had to appear. These new cations could only originate from the soil and rock since only sodium salt was injected. A detailed investigation of the samples of station III (fig. 4) showed that the NO_3 -concentration in its maximum reached 275 $\mu\text{val/l}$ while the Na-content was only 135 $\mu\text{val/l}$. At the same time the Ca- and Mg-content increased from 85 $\mu\text{val/l}$ at the beginning of the experiment to 215 $\mu\text{val/l}$ at the peak of the curve. So the kation-anion-balance was again restored.

This result of an effective ion-exchange is not only of interest for tracing experiments but also for critical examinations of the chemism of groundwaters in general.

Anschriften der Verfasser:

Univ.-Dozent Dr. C. JOB, Balneologisches Institut der Universität Innsbruck, Schöpfstraße 41, A-6020 Innsbruck.

Univ.-Dozent Dr. G. MUTSCHLECHNER, Geologisches Institut der Universität Innsbruck, Innrain 30 a, A-6020 Innsbruck.

ao. Univ.-Professor Dr. J. ZÖTL, Vereinigung für hydrogeologische Forschungen in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz.