

Zur Karst-Hydrogeologie im Gebiet des Rawilpasses (Berner Oberland und Wallis)

Autor(en): **Wildberger, Andres / Badoux, Héli / Nabholz, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **71 (1978)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164731>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 71/2	Seiten 277–292	5 Textfiguren und 3 Tabellen	Basel, Juli 1978
---------------------	-----------	----------------	---------------------------------	------------------

Zur Karst-Hydrogeologie im Gebiet des Rawilpasses (Berner Oberland und Wallis)

Von ANDRES WILDBERGER¹⁾, HÉLI BADOUX²⁾ und WALTER NABHOLZ¹⁾

ABSTRACT

A combined tracer experiment (Uranin, Amidorhodamin-G extra, red and violet spores of *Lycopodium clavatum*) was conducted in the calcareous Alps in southwestern Switzerland. Three subterranean entrances were marked and the water reemerged at seven karstic springs (see Fig. 3). The waters mainly follow the synclines. The detection limit of the dyes by fluorescence photometry was lower for water samples than for elutants from fluorocaptors. The tracing of secondary water connexions worked best with the spores.

RÉSUMÉ

Le tunnel projeté du Rawil de la route nationale N6 devrait traverser les Hautes Alpes calcaires helvétiques entre la haute vallée de la Simme et celle du Rhône, près de Sion. Dans cette région, la présence de roches fortement karstifiées, particulièrement de l'Urgonien, pouvait avoir du point de vue hydrologique une incidence importante sur les travaux souterrains. Aussi, après une étude préliminaire approfondie des précipitations et des écoulements, une importante campagne de marquage fut entreprise.

Les pertes du lac d'Iffigen furent colorées avec de l'uranine et le ponor de la doline de la Grande Croix (col du Rawil) avec de l'amidorhodamine-G extra. En ce dernier point, des spores de *Lycopodium clavatum* colorées en violet furent injectées et des spores colorées en rouge dans l'entonnoir du Rawilsee-leni-Bach (col du Rawil). Des liaisons avec sept sources karstiques furent ainsi prouvées, cela jusqu'à une distance maximum de sept kilomètres du point d'introduction du marqueur. Les écoulements souterrains suivent de préférence les synclinaux, mais ils peuvent aussi traverser les anticlinaux à la faveur de failles ou de diaclases, ce qui ralentit leur vitesse apparente (voir fig. 3 et tabl. 3).

Le photomètre à fluorescence Perkin-Elmer a permis de détecter dans les échantillons d'eau des concentrations de colorant extrêmement faibles, invisibles dans les éluants des fluorocapteurs. Les spores se sont révélées supérieures aux colorants pour préciser les cheminements secondaires de l'eau; par contre, des estimations quantitatives basées sur le nombre de spores récoltées sont rarement possibles.

Einleitung

Im Zusammenhang mit dem geplanten Rawiltunnel der Nationalstrasse N6, der das bernische Simmental bei Pöschienried oberhalb Lenk mit dem Rhonetal zwischen Sion und Sierre verbinden würde, laufen seit 1972 hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Wildhorn und Wildstrubel. Sie dienen dem Ziel, konkrete Angaben über die Hydrogeologie des Untergrunds zu liefern. Hierüber war bisher wenig bekannt. Mit Hilfe bestehender und einer Reihe neu

¹⁾ Geologisches Institut der Universität, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

²⁾ Institut de Géologie de l'Université, Palais de Rumine, CH-1005 Lausanne.

installierter Meßstationen³⁾ versuchten wir vorerst einmal, den Niederschlag und die Oberflächengewässer quantitativ zu erfassen. Voraussetzung hiezu bildete eine sorgfältige kartographische Aufnahme der Quellen und Karst-Versinkungen; danach folgte eine dreijährige Phase mit regelmässigen Ablesungen an sämtlichen Meßstationen. Nach dieser ersten Phase (1972–1975) konnten wir uns ein Bild über den bedeutenden Anteil des Wassers machen, der in Karstschläuchen verläuft, die im Felssockel eingebettet sind. Der örtliche Verlauf dieser Karstwasser-Röhren aber blieb weitgehend unbekannt, insbesondere auch im Bereich des Tunnelprojekts. Im Auftrag der Kantone Bern und Wallis, vertreten durch ihre Autobahnämter, führten wir deshalb im August 1975 eine kombinierte Karstwasser-Markierung durch, über die im folgenden berichtet werden soll.

Zum guten Gelingen des Versuchs, der sich auf einer Fläche von rund 100 km² Hochgebirgslandschaft abspielte, trugen Dutzende von temporären Hilfskräften und von Fachleuten bei, die zum Autobahnamt des Kantons Wallis, zum Kantonalen Laboratorium Bern und zum Geologischen Institut der Universität Bern gehören. Insbesondere gebührt unser Dank Herrn Prof. Dr. E. Baumgartner und Frau Gerda Gehring-Oesterhaus vom Kantonalen Laboratorium, wo sämtliche kolorimetrischen Untersuchungen ausgeführt worden sind, sowie den Auftraggebern, vertreten durch die Herren Oberingenieure U. Kunz (Kt. Bern) und J. Vouilloz (Kt. Wallis) mitsamt dem zu seinem Amt gehörenden Geologen E. M. Fardel.

Tektonik

Das Untersuchungsgebiet von etwa 100 km², das – abgesehen von der SE-Ecke – auf den Blättern 32 *Gemmi* (1956), 41 *Lenk* (1962) und 35 *St-Léonard* (1959) des Geologischen Atlases der Schweiz 1:25 000 enthalten ist, liegt in der Axialdepression zwischen Aar- und Aiguilles-Rouges-Massiv und ist der helvetischen Wildhorn-Decke zugehörig. Diese steigt aus dem Rhonetal kontinuierlich bis zum Hauptgebirgskamm an und bildet dann eine nach Norden absinkende Faltenkaskade, deren Front unter die ultrahelvetische Sattelzone taucht. Dieser ganze Komplex, insbesondere die starren Kalke und Sandsteine, ist intensiv von verschiedenen Bruchsystemen zerhackt (vgl. Profil Fig. 1 und Fig. 3).

Stratigraphie und Verkarstungsanfälligkeit

Der im Süden etwa 2 km mächtige Schichtstapel der Wildhorn-Decke nimmt gegen Norden auf weniger als die Hälfte ab (vgl. Fig. 1). Als besonders gut verkarstungsfähig können der Schrattenkalk (Barrémien–Aptien) und der Malmkalk gelten; der letztere ist allerdings im untersuchten Gebiet wegen seiner tiefen Lage nicht in die grossen Karstsysteme einbezogen. Von geringerer Bedeutung sind der

³⁾ Bis heute speziell für diese Untersuchungen u. a. installiert: 5 Limnigraphen an Quellbächen sowie 15 Messwehre an Quellen, Bächen und Ponoren, 2 Totalisatoren. Weitere Messgeräte betr. Abfluss und Niederschlag werden vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft und vom Geographischen Institut der Universität Bern betrieben.

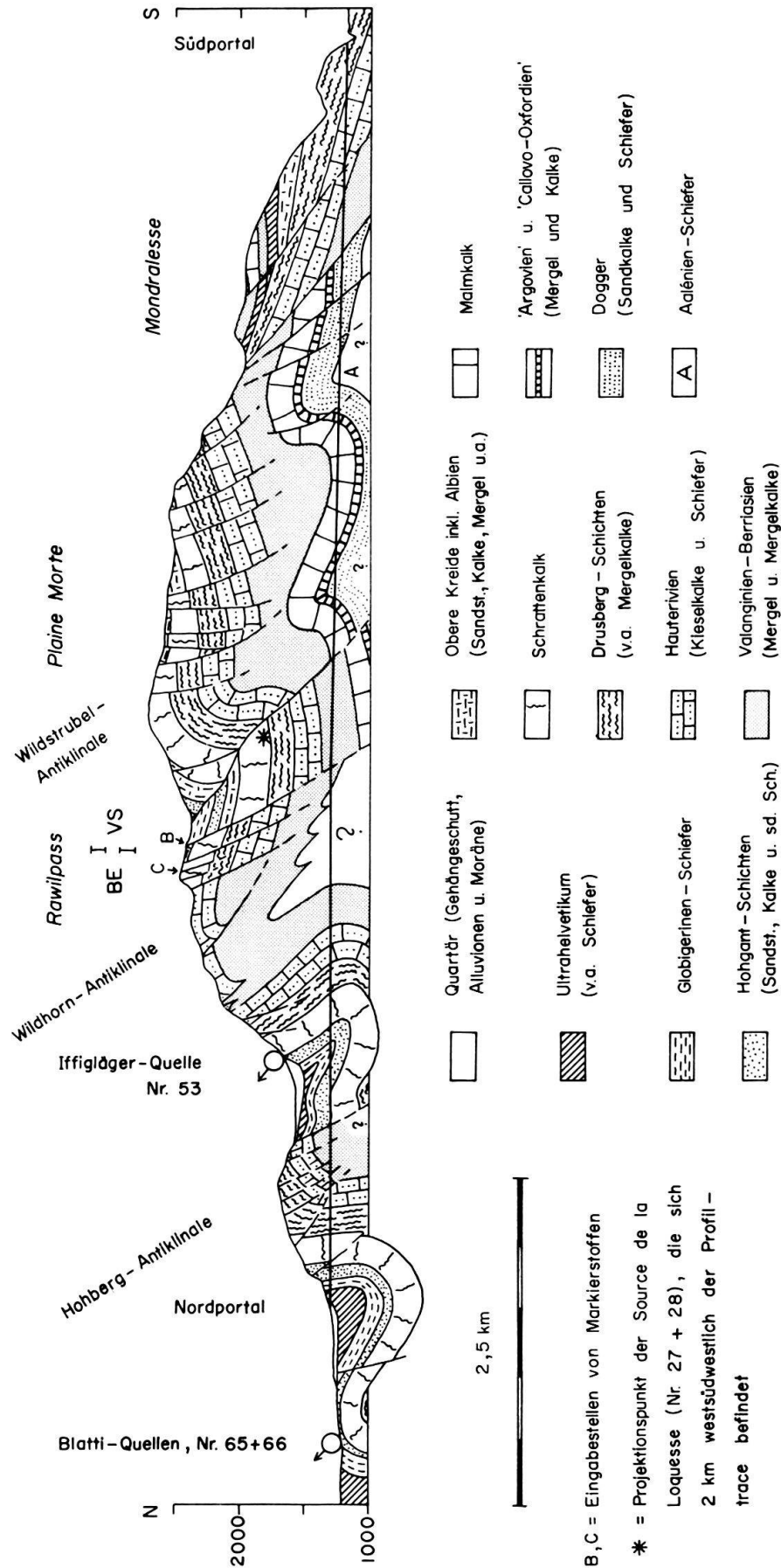


Fig. 1. Geologisches Profil durch das Rawilgebiet entlang dem geplanten Tunnel der N6.

Seewer Kalk (Coniacien–Santonien) im Süden und die Kalke des Lutétien und der Hohgant-Schichten (Priabonien) im Norden.

Eine geringere Gebirgsdurchlässigkeit weisen der Kieselkalk des Hauterivien, die Schichten des Gaults (Albien–Cénomaniens), die Sandkalke der Wang-Schichten (Maastrichtien) und der Hohgant-Sandstein auf. Als Wasserstauer erweisen sich in hohem Masse die Mergel und Mergelkalke des Berriasien–Valanginien; ebenfalls wenig durchlässig sind die Drusberg-Schichten (Barrémien), Choltal-Schiefer und Amdener Mergel (Santonien–Campanien) und Globigerinenschiefer (Priabonien). Allerdings sind die letztgenannten Einheiten nicht vollständig undurchlässig, bedingt durch Brüche und Klüfte.

Generell sind auch die ultrahelvetischen Gesteinsabfolgen als nicht wasserwegsam zu bezeichnen.

Die quartären Ablagerungen (v.a. Gehängeschutt und Moräne, gelegentlich Alluvionen) sind wegen ihrer groben Beschaffenheit gut durchlässig; oft werden sie insofern in die Karstsysteme einbezogen, dass sie Wasseraustritte im Festgestein maskieren.

Unterirdisch entwässerte Gebiete und grössere Karstquellen

Ausgedehnte Karrenfelder haben sich vor allem im Schrattenkalk gebildet, so u.a. im Gebiet Wildhorn–Schnidehorn–Les Audannes, beim Rawilpass und auf der Plaine Morte. Im weiteren ist der Karst im Rawilgebiet durch eine intensive Verzahnung von Gebieten mit ober- und unterirdischer Entwässerung gekennzeichnet; dies ist einesteils bedingt durch die unterschiedliche Verkarstungsanfälligkeit der diversen Gesteine, andererseits durch die Verfaltungen und die zahlreichen Störungen.

Grössere Karstquellen mit ihren wichtigsten Schüttungsdaten werden in Tabelle 1 aufgeführt. Die Angaben stützen sich grossenteils auf Messungen; bei einigen Quellen verfügen wir nur über Angaben der Summe verschiedener Wasseraustritte oder über Schätzungen.

Tabelle 1: *Schüttungsdaten der wichtigsten Karstquellen des Rawilgebietes*

Auf der Karte (Fig. 2) sind die Quellen mit ihren Nummern angegeben

Quelle (mit Nr.)	mittlere Schüttung (m ³ /s)	Maximum (m ³ /s)	Schüttungsdauer
Source de Vatseret (23)	ca. 0,04	ca. 0,5	ganzjährig/Febr.–Jan.
Source de la Loquesse (27 + 28)	ca. 1	ca. 9	März/April–Nov./Dez.
Source de Laurantse (29)	ca. 0,03	ca. 0,2	April/Mai–Okt./Nov.
Source du Six (36)	ca. 0,4	ca. 3–4	März/April–Nov.
Iffgläger-Quelle (53)	0,52	7,0	April/Mai–Nov./Dez.
Alte Blatti-Quelle (65)	0,14	0,87	Febr./März–Nov./Dez.
Neue Blatti-Quelle (66)	0,12	0,18	ganzjährig
Rezli-Quelle (72)	0,13	0,23	ganzjährig
Siebenbrünnen (73)	0,50	2,8	ganzjährig

Frühere Färbeversuche

Im Gemmi-Gebiet wurden 1917 zwei Färbungen durchgeführt, bei denen jeweils drei Quellen im Rhonetal bei Salgesch ansprachen (FURRER 1962; vgl. Fig. 2). In den 30er Jahren sowie 1957 wurde der Abfluss des Iffigsees (unsere Eingabestelle A) ohne Erfolg gefärbt (mündl. Mitteilung A. Rösti, St. Stefan); ebenso negativ verlief eine Färbung des Rawilseeleni-Baches (unsere Eingabestelle C) anfangs der 60er Jahre (mündl. Mitteilung H.-R. Gassmann, Bern).

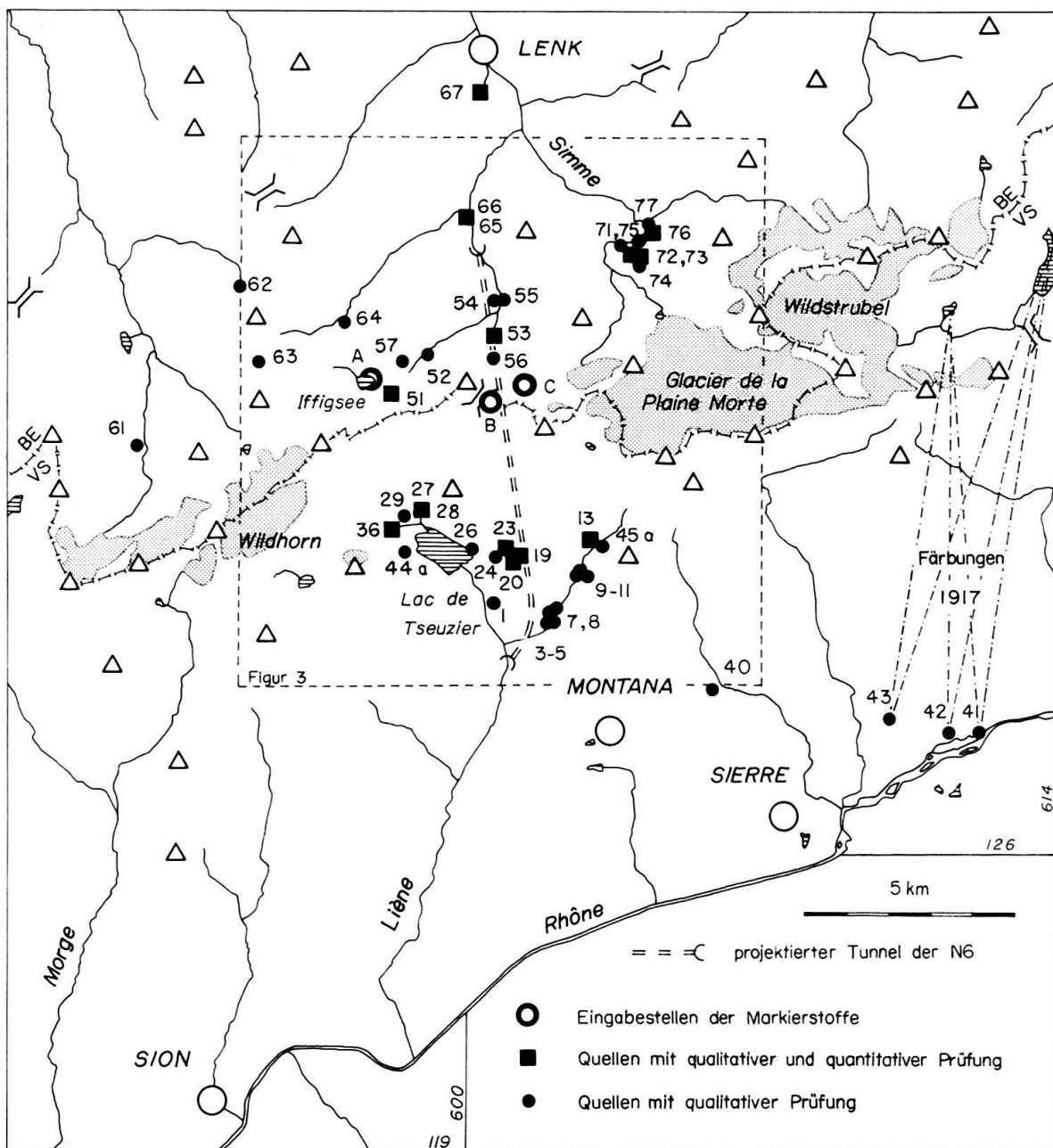


Fig. 2. Geographische Lage des Untersuchungsgebietes sowie Impfstellen der Markiermittel und beprobte Quellen (graue Flächen = Gletscher).

Markierversuch 1975

Art und Menge der eingesetzten Markiermittel sowie deren Eingabe

Die Komplexität des Karstes im Rawilgebiet implizierte die Impfung verschiedener Schluckstellen. Es wurden folgende nebeneinander anwendbare Markiermittel eingesetzt:

- 100 kg Uranin für den unterirdischen Abfluss des Iffigsees = *A* auf Figur 2 und 3 (Koord. 597.650/137.350, Höhe 2065 m).
- 250 kg Amidorhodamin-G extra⁴⁾ in die Doline de la Grande Croix = *B* auf Figur 1–3 (Koord. 600.480/136.730, Höhe 2379 m).
- 10 kg violette Sporen in die Doline de la Grande Croix = *B* (siehe oben).
- 40 kg rote Sporen in den Ponor des Rawilseeleni-Baches = *C* auf Figur 1–3 (Koord. 601.240/137.160, Höhe 2435 m).

Die Verwendung der semiquantitativ auswertbaren Sporen-Trift nebst der quantitativ auswertbaren Färbung des Abflusses der Doline de la Grande Croix erlaubte Vergleiche der Anwendungsmöglichkeiten der beiden Markiermittel.

Um die Menge der einzusetzenden Färbemittel zu berechnen, benützten wir die Formel von Bendel (cit. nach ZÖTL 1974, S. 54); sie ergab aus der Distanz und der Quellschüttung die grosse Menge von 90 kg, aufgerundet auf 100 kg für das Uranin (Nachweisgrenze 0,02 mg/m³) und 250 kg für das Amidorhodamin-G extra (Nachweisgrenze 0,05 mg/m³). Andere Berechnungsarten mittels geschätzter Laufzeit, erwarteter Quellschüttung und einer minimalen Nachweisdauer von ca. 3 Tagen lieferten Quantitäten derselben Grössenordnung. In der Formel von Ravier-Hours-Schneebli (cit. nach MATHEY 1971) ist ein Glied für das schwierig abzuschätzende Volumen der unterirdischen Wässer reserviert; in unserem Falle sind sie aber durch isotopenhydrologische Studien (SCHOTTERER et al. 1978) grössenordnungsmässig bekannt (über 10⁸ m³). Eingesetzt in die genannte Formel würden einige Tonnen Tracer resultieren.

ZÖTL (1974) empfiehlt die 1½- bis 2fach grössere Menge Sporen als Fluoreszenz-Farbstoffe. Wir reduzierten die Quantität aber auf 40 kg rote (Rawilseeleni-Bach = *C*) und 10 kg violette Sporen in der Doline de la Grande Croix (= *B*) und erzielten gute Resultate.

Das Gesagte zeigt die Schwierigkeit, die Tracer-Mengen richtig festzulegen. Die in einigen Quellen nur knapp überschrittene Nachweisgrenze gibt den eingesetzten grossen Quantitäten aber ihre Berechtigung.

Untersuchte Quellen (vgl. Tabelle 2)

Die während des Versuches beobachteten Wasseraustritte waren so ausgewählt worden, dass sicher alle möglicherweise positiv reagierenden Quellen oder Quellgruppen erfasst waren; die Anzahl und der geographische Rahmen wurden dementsprechend gross gewählt.

Aus Kostengründen konnten nicht alle der z.T. abgelegenen Quellen gleichermaßen beobachtet werden. In jedem Quellbach hingen deshalb wartungsfreie

⁴⁾ Dem Sulforhodamin-G extra der Literatur entsprechend.

Tabelle 2: Beobachtete Quellen

Probeentnahmestelle mit Nr. (vgl. Fig. 2)	Koordinaten	Höhe	Eingesetzte Nachweismethoden
<u>Südseite</u>			
1 Source de Mayentsets	600.540/132.020	(1440m)	F
3 " près Commailire	601.850/131.770	(1680m)	F
4 " " "	602.010/131.840	(1680m)	F
5 " " "	602.050/131.900	(1690m)	F
7 " des Loyes	602.110/131.800	(1660m)	F
8 " du Coin	602.150/132.120	(1760m)	F
9 " du Plat	602.700/132.700	(1900m)	F
10 " du Torrent	602.750/132.750	(1895m)	F
11 " du Tunnel	602.720/132.790	(1910m)	F
13 " de l'Ertentse	602.950/133.570	(2040m)	C S F
45 Limnigraphie de l'Ertentse	602.430/132.430	(1800m)	C
45a Source de Pochet	603.270/133.400	(2160m)	F
19 Source des Urgesses I	601.220/133.220	(2000m)	C F
20 " " " II	601.130/133.080	(1945m)	C S F
23a " de Vatsret	600.940/133.320	(1980m)	C S F
23b-d " " "	601.050/133.200	(1980m)	je F
24 " de Diuc	600.640/133.270	(1930m)	F
26 " des Arolles	600.090/133.420	(1915m)	F
27 Source de la Loquesse	598.900/134.230	(1920m)	C F
28 " " " "	598.820/134.200	(1880m)	C S F I
29 " de Laurantse	598.510/133.980	(1815m)	F
36 " du Six	598.120/133.720	(1895m)	C S F I
44 Limnigraphie de la Liène	598.730/133.900	(1795m)	C
44a Source de Serune	598.350/133.350	(1940m)	F
40 Source de Mollens (Raugea)	605.820/129.940	(1200m)	F
41 Russenbrunnen	612.220/129.000	(565m)	F
42 Tschudana-Quelle	611.400/128.950	(560m)	F
43 Larnessy-Quelle	610.050/129.300	(595m)	F
<u>Nordseite</u>			
51 Felsen-Quelle	598.190/136.920	(2100m)	C S F
52 Alte Groppi-Quelle	599.075/137.930	(1720m)	F
53 Iffigläger-Quelle	600.630/138.370	(1580m)	C S F I
54 Wallisdole West	600.680/139.140	(1540m)	F
55 Wallisdole Ost, W-Quelle	600.710/139.200	(1540m)	F
56 Winterchäle	600.600/137.850	(2130m)	S F
57 Hohbergtäli	598.310/137.700	(1830m)	F
61 Quelle beim Geltenschuss	592.110/135.770	(1900m)	F
62 Quelle nördlich Rothorn	594.500/139.420	(1720m)	F
63 Stieretungel (Färrich)	594.900/137.770	(2015m)	F
64 Quelle beim Stiegelberg	596.670/138.350	(1805m)	F
65 Alte Blatti-Quelle	599.950/141.220	(1215m)	C S F I
66 Neue Blatti-Quelle	599.930/141.250	(1210m)	C S F I
67 Quelle beim Lenggerseeli	600.270/144.140	(1070m)	C S F
71 Qu. beim Limnigr. Trüebbach	603.700/140.510	(1405m)	F
72 Rezli-Quelle	603.910/140.270	(1407m)	C S F I
73 Siebenbrunnen	604.030/140.250	(1460m)	C S F I
74 Quelle südl. Siebenbrunnen	603.980/140.070	(1540m)	F
75 Quelle im Sumpf	604.120/140.630	(1410m)	F
76 Quelle beim Laubach	604.340/140.760	(1420m)	C S F
77 Quelle beim Ammertebach	604.250/141.010	(1380m)	F

C = Wasserproben für Farbstoff-Untersuchungen
 S = Proben aus den Planktonnetzen für Sporen-
 Untersuchungen

F = Fluorocaptoren
 I = Wasserproben für Isotopen-Untersuchungen

Fluorocaptoren (F); nur bei den wichtigen Wasseraustritten wurden zusätzlich Proben für den Farbnachweis im Fotometer (C) entnommen und regelmässig die dort eingesetzten Planktonnetze, die u.a. die Sporen aus dem Wasser filtrierten, geleert (S). Wasserproben bei Fluss-Limnigraphen sollten erlauben, die Verdünnung zwischen den gefärbten Wasseraustritten und der Meßstelle und damit deren Quellerguss zu berechnen.

Als Ergänzung einer längerdauernden Untersuchung über Wasser-Isotope in Quellwässern der Rawil-Nordseite (SCHOTTERER et al. 1978) wurden auch je drei Proben in den grösseren Quellen erhoben (I).

Nachweismethoden

Die Wasserproben für den Farbstoff-Nachweis wurden im Kantonalen Labor in Bern mit einem Gitter-Fluoreszenz-Fotometer Perkin-Elmer mit zwei Monochromatoren durchgeführt. Die Nachweisgrenzen für das Uranin liegen bei dieser Apparatur bei $0,02 \text{ mg/m}^3$, für das Amidorhodamin-G extra bei $0,05 \text{ mg/m}^3$. Vorgängig dem Markierversuch waren die wichtigsten Quellen auf störende Eigenfluoreszenz untersucht worden – mit negativem Befund. Die genannten Mindestkonzentrationen müssen allerdings erhöht werden, wenn eine geringe Farbstoffmenge des einen Tracers neben einer grossen des andern nachgewiesen werden soll.

Als Fluorocaptoren verwendeten wir in zwei Kammern unterteilte Nylonsäcklein, jede mit der für Uranin bzw. Amidorhodamin-G extra optimalen Art Aktivkohle gefüllt (vgl. MATHEY 1971 und WITTWEN et al. 1971). Nach MATHEY liegt bei diesem Verfahren die Nachweisgrenze bei $0,1$ bis $0,01 \text{ mg/m}^3$, je nach Einhängszeit der Fluorocaptoren, Wassertemperatur und Fliessgeschwindigkeit. In unserem Falle war nur angestrebt, mit wenig Aufwand zu wissen, ob Farbe die betreffende Quelle passiert habe oder nicht.

Um die etwa $0,03 \text{ mm}$ grossen Sporen des Keulen-Bärlapps (*Lycopodium clavatum*) aufzufangen, verwendeten wir Planktonnetze (aus Nylongaze) von $0,025 \text{ mm}$ Maschenweite und ca. 13 dm^2 Oberfläche. Die Netze wurden in Holzrahmen gehängt und mit Maschendraht geschützt (MAURIN & ZÖTL 1959, S. 125ff.; ZÖTL 1974, S. 56ff.). Statt eines Glastrichters am Ende des Netzes benützten wir einen solchen aus Plastik.

Die zur Konservierung mit Formalin versetzten Proben aus den Planktonnetzen waren durch Schwebstoffe und Gröberes oft stark verunreinigt und wogen bis zu über 100 g ; mikroskopierbare Präparate aus dieser grossen Menge gewannen wir innert kurzer Zeit durch eine Kombination der Methoden von BAUER (1967) und EISSELE (1961): Vollständiges Dispergieren in etwa 3 dl Wasser, 1 Minute stehenlassen und abdekantieren auf Papierfilter. Dieser wird mit Klarsichtfolie auf ein Blatt mit der Probenbezeichnung geklebt und kann unter dem Binokular bei 72facher Vergrösserung ausgezählt werden. Zur Orientierung im Präparat diente ein Punktraster auf einer Glasplatte.

Tests ergeben die gute Brauchbarkeit dieser Präparationsmethode: Die Sporen liegen stets an der Oberfläche des Filtrates; die Nichtauswertung des Grobanteils der Proben führt zu einem Verlust an Sporen von etwa 8% . Diese Methode erlaubt, die Geschwindigkeit der Untersuchungen auf $12\text{--}20$ pro Arbeitstag zu steigern, das

heisst um mehr als das Doppelte gegenüber der konventionellen (HOFER 1959; BAUER 1967).

Verlauf des Markierversuches

Die Beschickung der Ponore mit den Farbstoffen erfolgte am 12. August 1975 durch von der Auswertung und Probenahme unabhängige Equipen. Das Uranin wurde mit Auto und Maultier zum Iffigsee transportiert und zwischen 10 und 12 Uhr in die zu dieser Jahreszeit aktive Schwinde am Nordost-Ufer eingegeben. Das Amidorhodamin-G extra gelangte mittels Luftseilbahn und Schlitten in die Doline de la Grande Croix und verschwand zwischen 9.50 und 11.45 Uhr im Untergrund, bei einer Wasserführung des Ponores von etwa 200 l/s.

Die Sporen trafen leider verspätet aus Graz ein, so dass deren Eingabe erst am 14. August erfolgen konnte: Nämlich zwischen 10 und 11 Uhr die violetten in der Doline de la Grande Croix und zwischen 11.30 und 13.30 Uhr die roten im Ponor des etwa 130 l/s bringenden Rawilseeleni-Baches.

Zu Beginn des Versuches waren sechs unabhängige Equipen zu zwei Personen zur Probennahme eingesetzt. Mit dem Kleinerwerden der Probeentnahme-Frequenz konnte die Zahl reduziert werden. Die letzten Fluorocaptoren wurden am 25. September eingezogen.

Resultate und ihre Interpretation

Die wichtigsten Ergebnisse des Markierversuchs sind in Tabelle 3 und den Figuren 3 bis 5 zusammengefasst.

Der Bach der Iffiglärer-Quelle (Nr. 53) verliert auf den ersten 600 m über 200 l/s in die Alluvionen des Iffigtales. Das infiltrierte Wasser tritt in diversen Grundwasseraufstößen in der Wallisdole wieder zutage. In der Quelle Wallisdole-West (Nr. 54) wurde das Uranin mittels zweier Fluorocaptoren nachgewiesen (Einhängedauer 12.8. – 19.8. bzw. 19.8. – 25.9.75); die Quelle Wallisdole-Ost (55) reagierte erst nach dem 19. August 1975.

Wie der Figur 4 entnommen werden kann, wiesen die Blatti-Quellen einen kleinen Farbpeak vorgängig des sichtbaren Hauptpeaks auf. Diese Vorphase betrachten wir als eine Infiltration des nahe an den Quellen vorbeiführenden, durch die Iffiglärer-Quelle (Nr. 53) stark gefärbten Iffigbaches. Die grössten Uraninkonzentrationen dieser Vorphase erfolgten 3½ Stunden (Nr. 65) bzw. 5 Stunden nach Verfärbung des Iffigbaches. Als geologisch möglicher Infiltrationsort ist deshalb die Gegend des Iffigfalles (Distanz 1,3 km) weniger wahrscheinlich als die unmittelbare Umgebung der Blatti-Quellen im Fenster von Schwand, wo die Wildhorn-Decke noch einmal die Oberfläche erreicht (vgl. Fig. 3).

Die Quantität des beigemengten Iffigbach-Wassers kann während des Markierversuches auf 0,25 l/s von 300–340 l/s bei der Alten Blatti-Quelle (Nr. 65) und 0,05 l/s von 136–139 l/s bei der Neuen Blatti-Quelle (Nr. 66) geschätzt werden. Letztere, für Trinkwasserzwecke von Lenk gefasste Quelle, ist also besser vor Bach-Infiltrationen geschützt als die Alte Blatti-Quelle, welche früher dazu verwendet wurde.

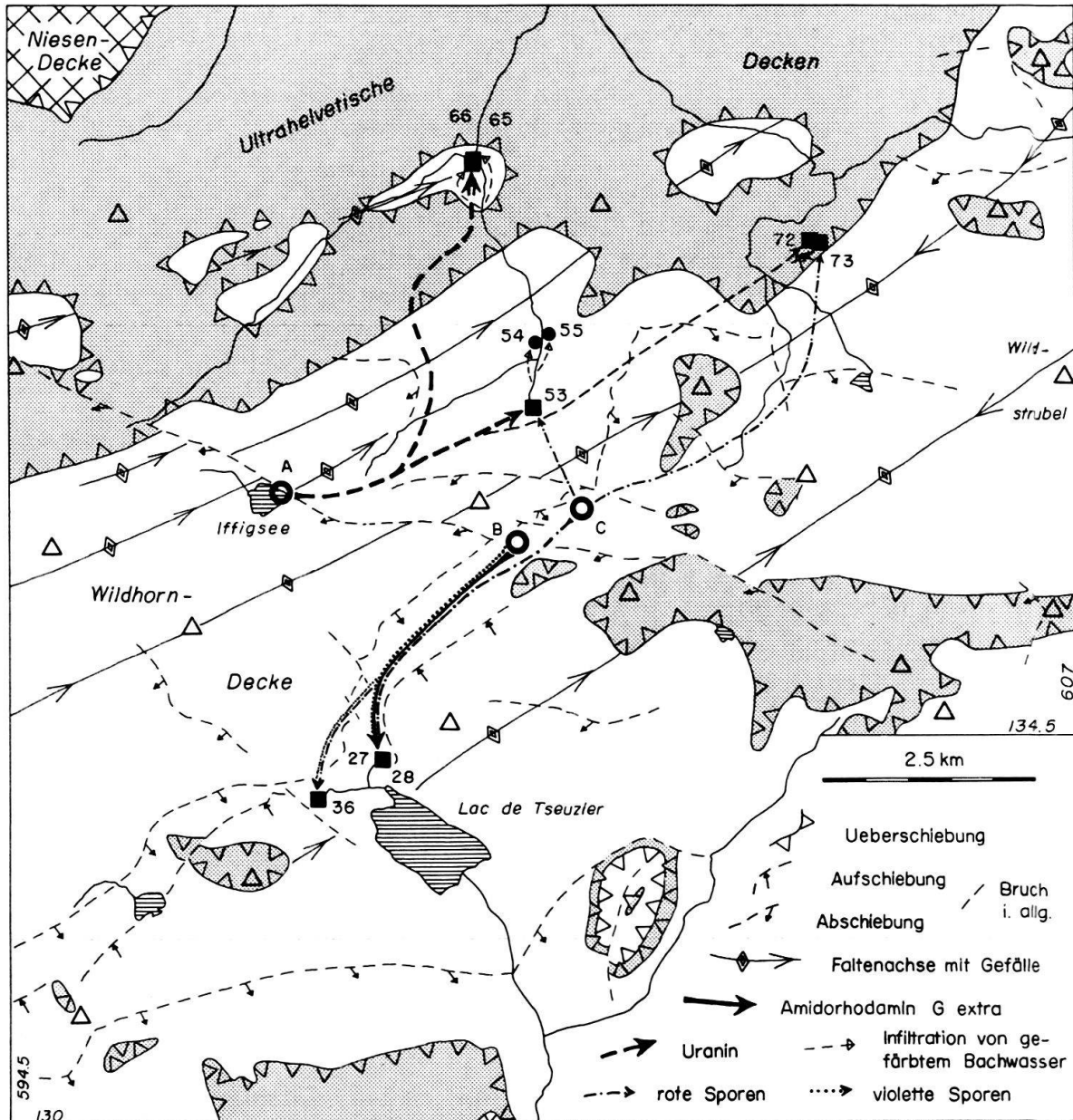


Fig. 3. Tektonische Skizze des Untersuchungsgebietes und approximative Wege der Markiermittel (weisse Flächen = Helvetikum; graue Flächen = Ultrahelvetikum).

Wir hatten zum voraus mit der Möglichkeit gerechnet, dass die Blatti-Quellen von dem in den Iffigsee eingegebenen Uranin gefärbt werden könnten. In der modern eingerichteten Fassungsanlage der Neuen Blatti-Quelle, die mit Filtern und Chlorierungsdosimetern ausgerüstet ist, waren deshalb vorsorglich grosse Mengen von Aktivkohle bereitgestellt worden. Leider gelang es im entscheidenden Moment nicht, den Filtern die nötige Absorbermenge einzugeben, so dass der sichtbare Hauptschub des Uranins vom Leitungsnetz der Lenk nicht ferngehalten werden konnte. So erlebte die von den Gemeindebehörden zum voraus orientierte Bevölkerung zuerst einen leuchtend grünen Iffigbach und eine grüne Simme, nachher – zum Frühstück des zweiten Tages nach der Farbeingabe – grünes Leitungswasser.

Bemerkenswert sind die Verhältnisse in Quellgruppen bezüglich des Auftretens der ersten Farbspuren: In der Alten Blatti-Quelle (Nr. 65), die den Überlauf der Neuen (Nr. 66) bildet, war das Uranin 15 Minuten vor dem Austreten in der Neuen Blatti-Quelle feststellbar. Ähnlich auf dem Rezliberg, wo in der Rezli-Quelle (Nr. 72) das gefärbte Wasser 3–4 Stunden nach den Siebenbrünnen (Nr. 73), die den Überlauf bilden, austrat. Umgekehrt war es bei der Loquesse-Quelle (Nr. 27 + 28), wo die unteren Austritte schneller als die oberen ansprachen, welche allerdings schon am 14. August frühmorgens versiegten. Diese Befunde bestätigen die Annahme von LEGRAND & LAMOREAUX (1975, S. 16), die die grösste Wasserwegsamkeit im Bereich des permanenten Karstwasserspiegels fanden.

Die Farbkonzentrationskurven in den Figuren 4 und 5 zeigen im Abfallen deutliche Schwankungen. Generell hinken diese kurzen Anstiege einige Stunden hinter den Schüttungsanstiegen nach, die durch den täglichen Schmelzwassergang bedingt sind. Wir erklären uns dies damit, dass die Tagesgänge während der Schneeschmelze durch eine Druckwelle im Karstwasser-Körper ausgelöst werden. Diese Druckwelle wird von frisch hinzukommendem Schmelzwasser ausgelöst und remobilisiert älteres Wasser. Sinngemäss dasselbe gilt für Input durch Regen. Alle Peaks der Farbkonzentrationskurven sind allerdings nicht so erklärbar, vielmehr müssen verzweigte Zubringer und zugehörige Kluftsysteme (Klüfte und Fugen 1. und 2. Ordnung nach TRIPET 1973, S. 100ff.) und damit verschiedene Transportzeiten angenommen werden (vgl. z. B. Blatti-Quellen am 17.8. in Fig. 4).

Berechnet man die ausgespülte Menge des Uranins aus Konzentration und Quellschüttung, ergibt sich das überraschende Resultat, dass in der Iffiglärer-Quelle ca. 98%, in der Alten Blatti-Quelle ca. 3,5% und in der Neuen ca. 1,7% ausgespült wurden, während es auf dem Rezliberg (Quellen Nr. 72 und 73) etwa 0,003% waren. Die offensichtlich zu hohe Gesamtsumme beruht unseres Erachtens darauf, dass die diversen Wasserproben nicht die Durchschnittskonzentration in der Quelle repräsentieren, sondern eine höhere; dies könnte u. a. eintreten, wenn kurz vor dem Quellaustritt ungefärbtes Wasser dazukommt, ohne sich bis zur Probenahmestelle vollständig zu homogenisieren. HRIBAR & BIDOVEC (1972, S. 43ff.) verweisen auf diese Möglichkeit, die in unserem Falle am ehesten bei der Iffiglärer-Quelle verwirklicht ist, deren Austritte auf ca. 100 m Länge verteilt sind. Diese unterschiedliche Farbkonzentration kann man übrigens auch bei der Loquesse-Quelle (vgl. Fig. 5) beobachten.

Das Amidorhodamin-G extra wurde zu ungefähr 80% in der Source de la Loquesse ausgespült. Bei dieser Quelle existieren allerdings keine Schüttungsmessungen, sondern die Wassermenge wurde mit Farbkonzentrationsvergleichen zwischen dem Limnigraphen an der Liène oberhalb des Stausees von Tseuzier und dem Wasseraustritt approximativ errechnet. Dieser Limnigraph steht ca. 300 m nach der Quelle und misst vor allem die Loquesse-Quelle (27 + 28), Source du Six (36) und die Laurantse (29), neben wenig bedeutenden Bächen.

Die roten und violetten Sporen traten zum überwiegenden Teil in der Source de la Loquesse (Nr. 27 + 28) wieder zutage (es wurden über 6 Mio. festgestellt). Einige Sporen fanden aber auch den Weg zur Source du Six (Nr. 36), nämlich 2 rote und eine violette Spore; im weiteren haben 4 rote Sporen den Weg zu den Siebenbrünnen (Nr. 73) und eine zur Iffiglärer-Quelle (Nr. 53) gefunden.

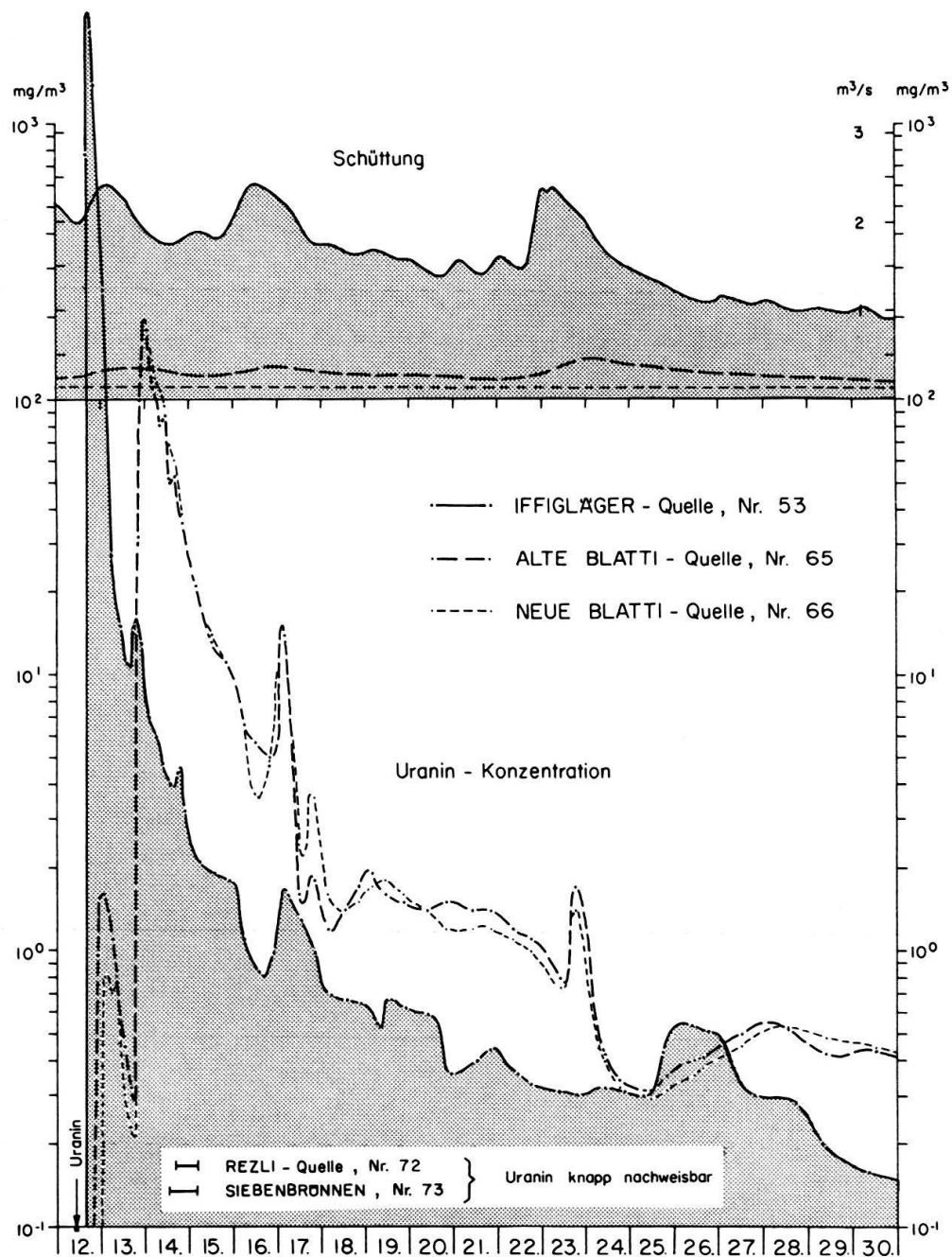


Fig. 4. Uranin-Konzentration und Schüttung der Iffigläger-Quelle und der Blatti-Quellen vom 12. bis 30. August 1975.

Während bei der Impfung das Verhältnis der roten zu den violetten Sporen 4:1 betrug, war es bei der Ausbeute 2,72:1.

Der Weg vom Rawilseeleni-Bach (40 kg rote Sporen) zur Loquesse-Quelle beträgt 3,8 km, während er von der Doline de la Grande Croix (10 kg violette Sporen) her nur 3,05 km misst; zusätzlich zur längeren Distanz spielt wahrscheinlich auch die weniger grosse Vereinheitlichung des Abflusssystems eine gewisse Rolle,

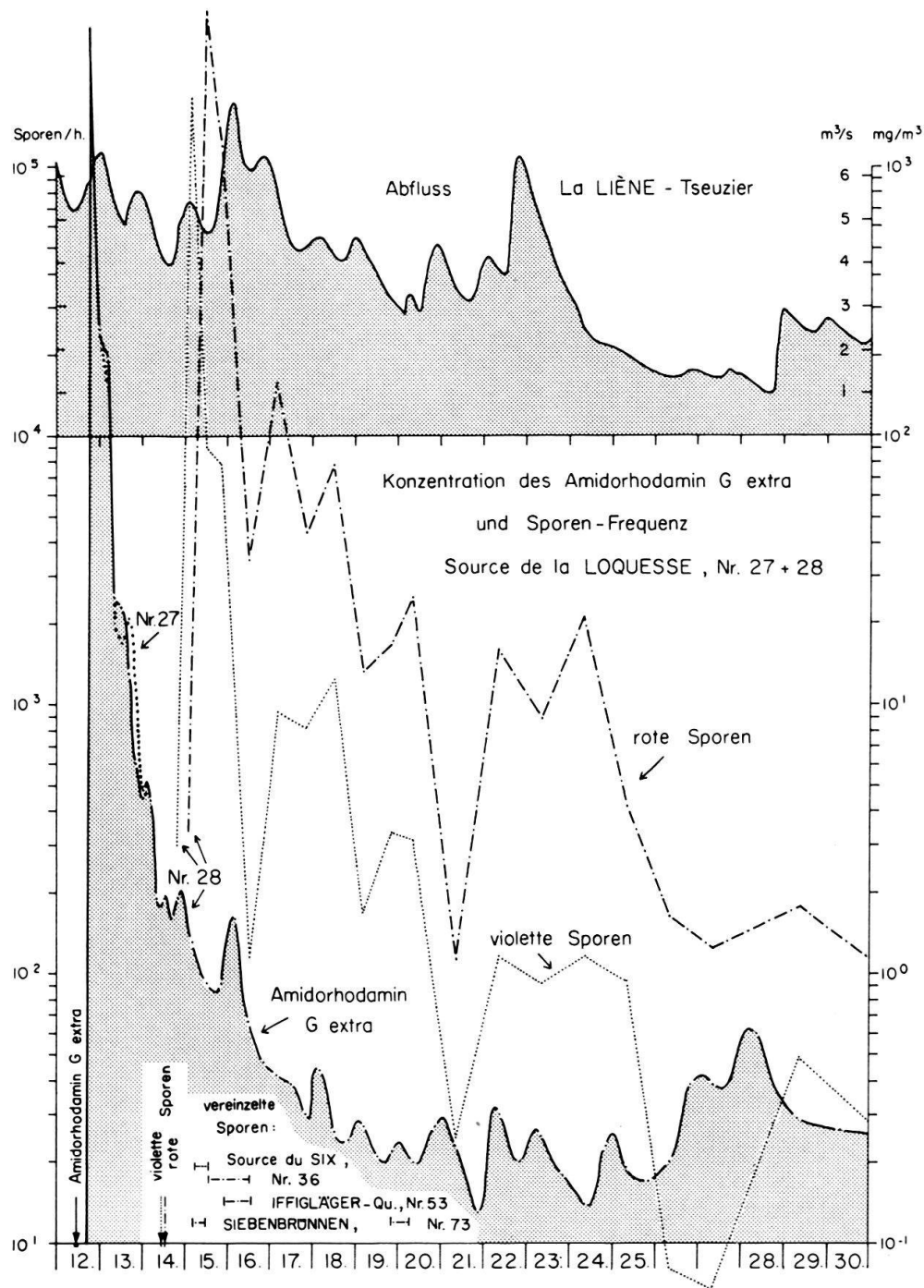


Fig. 5. Amidorhodamin-G-extra-Konzentration und Sporen-Frequenz in der Source de la Loquesse sowie Abfluss der Liène bei Tseuzier vom 12. bis 30. August 1975.

denn die roten Sporen erschienen ja in 4 Quellen gegenüber den zweien, in denen violette Triftkörper festgestellt werden konnten.

Wie der Tabelle 3 entnommen werden kann, finden sich die grössten Fließgeschwindigkeiten dort, wo die Impfstelle in derselben Synklinale liegt wie der Austrittsort. Kleinere Geschwindigkeiten sind bei Verbindungen, bei denen Antiklinalen durchquert und damit der Schrattenkalk verlassen werden muss bzw.

Tabelle 3: *Berechnete Laufzeiten und Geschwindigkeiten der Farbstoffe*

<i>Quelle mit Nr.</i>	Loquesse (28)	Iffgläger (53)	Alte Blatti (65)	Neue Blatti (66)	Rezli (72)	Siebenbrünnen (73)
Horizontaldistanz zur Impfstelle	3050 m	3075 m	4500 m	4500 m	6950 m	6950 m
Höhendifferenz	480 m	495 m	855 m	855 m	655 m	625 m
Gefälle	15,7%	16,1%	18,9%	18,9%	9,6%	9,0%
Maximale Abstandsgeschwindigkeit (Beginn Impfung – erstes Auftreten Farbstoff)	435 m/h	560 m/h	130 m/h	130 m/h	135 m/h	145 m/h
Geschwindigkeit der Höchstkonzentration (Mitte Impfung – Auftreten Höchstkonzentration)	350 m/h	455 m/h	120 m/h	120 m/h	130 m/h	130 m/h
Mittlere Geschwindigkeit (Mitte Impfung – Hälfte des in betreffender Quelle ausgeschwemmten Farbstoffes)	330 m/h	370 m/h	100 m/h	95 m/h	120 m/h	125 m/h

bei Quellen, bei der der Tracer nur einen sekundären Zubringer markiert, festzustellen.

Schlussfolgerungen

Aus dem Karstwasser-Markierungsversuch 1975 im Rawilgebiet konnten folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die versinkenden Wässer folgen in erster Linie den Synklinalen und dort dem Schrattenkalk. Antiklinalen können durchquert werden, wohl längs Klüften; dabei werden aber die Fliessgeschwindigkeiten bedeutend kleiner, und das Schüttungsverhalten zugehöriger Quellen ist gedämpft im Vergleich zu den via Synklinalen gespiesenen.
- Der Karst im Gebiet zwischen Wildhorn und Wildstrubel weist einige Hauptabflussbahnen zu den grossen Quellen hin auf; grosse Gebiete werden aber zusätzlich in Richtung zu anderen Wasseraustritten hin entwässert.

Auf die Diskussion möglicher Karstwasser-Scheiden und deren Verschiebung im Jahresablauf treten wir hier nicht ein. Nebst einer Reihe weiterer Probleme wird diese Frage in der Dissertation WILDBERGER (in Vorbereitung) behandelt.

Neben diesen Schlussfolgerungen regionaler Natur sollen hier noch solche methodischer Art folgen:

- Die eingesetzte grosse Menge der Farbstoffe führte zum Nachweis nicht nur der grossen, sondern auch von sehr kleinen unterirdischen Wasserwegen, die aber für das Verständnis der Entwässerung im Rawilgebiet wichtig sind.

- Der Farbnachweis an Wasserproben zeigte sich den Fluorocaptoren überlegen: ein Uranin-Durchgang von 12 bis 16 Stunden mit einer Konzentration von 0,02 bis 0,03 mg/m³ in der Rezli-Quelle und den Siebenbrünnen liess sich mit dem Fotometer nur an den Wasserproben, nicht aber am Eluat der Fluorocaptoren feststellen.
- Der Verbindungsnachweis mittels Sporen erwies sich bei den eingesetzten Tracer-Mengen gegenüber dem Fotometer als empfindlicher: zur Source du Six (Nr. 36) gelangte zwar zum mindesten eine violette Spore, hingegen konnte kein Amidorhodamin-G extra festgestellt werden.
- Nachteilig beim Einsatz von Bärlapp-Sporen als Tracer ist deren höchstens semiquantitative Aussagemöglichkeit; rote Sporen können, wenn keine Vergleichspräparate zur Hand sind, unter dem Binokular nur schwierig von roten Mineralkörnern unterschieden werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- BADOUX, H. (1945): *La géologie de la Zone des cols entre la Sarine et le Hahnenmoos*. – Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 84.
- (1946): *L'Ultrahelvétique au nord du Rhône valaisan*. – Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 85.
- BAUER, F. (1967): *Die Durchführung und Auswertung von Sporentriftversuchen*. – Steir. Beitr. Hydrogeol. 1966/67, 249–266.
- EISSELE, W. (1961): *Erfahrungen mit der Sporentriftmethode*. – Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 5, 345–350.
- ELLENBERGER, W. (1976): *Hydrologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Simme oberhalb Zweisimmen (Lenk und Umgebung)*. – Diss. Univ. Bern.
- FURRER, H. (1962): *Erläuterungen zu Blatt 32 Gemmi*. Geol. Atlas Schweiz 1:25000. – Schweiz. geol. Komm.
- HOFER, A. (1959): *Das Mikroskopieren der Planktonnetzproben*. – Steir. Beitr. Hydrogeol. 1959, 140–145.
- HRIBAR, F., & BIDOVEC, F. (1972): *Hydrologische und hydraulische Gesichtspunkte bei Markierungsversuchen*. – Geol. Jb. (C), 2, 35–60.
- LAUBER, TH. (1975): *Geologie der Gebirgsregion zwischen Rawilpass und Iffigenalp (Wildhorn-Decke)*. – Liz.-Arb. Univ. Bern (unpubl.).
- LEGRAND, H.E., & LAMOREAUX, P.E. (1975): *Hydrogeology and Hydrology of Karst*. In: BURGER, A., & DUBERTRET (Ed.): *Hydrogeology of karstic terrains* (p. 9–19). – Int. Assoc. Hydrogeol. Paris.
- LUGEON, M. (1914/16/18): *Les Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander*. – Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 30/1–3.
- LUGEON, M., & JEREMINE, E. (1911): *Les bassins fermés des Alpes suisses*. – Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 17.
- MATHEY, B. (1971): *La méthode au charbon actif dans les essais de coloration à la fluorescéine*. – Actes 4^e Congr. natl. Spéléol. 1970, 53–61.
- MAURIN, V., & ZÖTL, J. (1959): *Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse*. – Steir. Beitr. Hydrogeol. 1959, 1–184.
- OBERHÄNSLI, H. (in Vorb.): *Mikropaläontologische Untersuchungen in der Amdener Formation*. – Beitr. geol. Karte Schweiz.
- SCHAUB, H.P. (1936): *Geologie des Rawilgebietes*. – Eclogae geol. Helv. 29/2, 337–407.
- SCHOTTERER, U., WILDBERGER, A., NABHOLZ, W., OESCHGER, H., & SIEGENTHALER, U. (1978): *Isotope Study in the Alpine Karst Region of Rawil (Switzerland)*. – Proc. int. Symp. Isotope Hydrol. Neuberberg; Int. At. Energy Agency Vienna.
- STACHER, P. (1977): *Stratigraphie, Mikrofazies und Mikropaläontologie der Wang-Formation*. – Diss. Univ. Zürich (unpubl.).
- TRIPET, J.-P. (1973): *Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse*. – Matér. Géol. Suisse, Hydrol. 21.

- WILDBERGER, A. (1975): *Zur Geologie des Iffigtales und des Fensters von Schwand (Obersimmental)*. – Liz.-Arb. Univ. Bern (unpubl.).
- WITTWEN, R., WASER, H., & MATHEY, B. (1971): *Essai de fixation de la sulforhodamine B et de la sulforhodamine G extra sur charbon actif*. – Actes 4^e Congr. natl. Spéléol. 1970, 78–83.
- ZÖTL, J. (1974): *Karsthydrogeologie*. – Springer, Wien.

GEOLOGISCHE KARTEN

- Blatt 32: *Gemmi* (1956); Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, mit Erläuterungen (1962).
- Blatt 35: *St-Léonard* (1959); Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, mit Erläuterungen (1959).
- Blatt 41: *Lenk* (1962); Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, mit Erläuterungen (1962).