**Zeitschrift:** Geographica Helvetica : schweizerische Zeitschrift für Geographie = Swiss journal of geography = revue suisse de géographie = rivista svizzera di geografia

**Herausgeber:** Verband Geographie Schweiz ; Geographisch-Ethnographische Gesellschaft Zürich

**Band:** 24 (1969)

**Heft:** 3

**Artikel:** Neue Wege in der Markierung von Grundwasser

**Autor:** Gygax, Fritz / Schwab, Werner

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-49393

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

**Download PDF:** 22.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Neue Wege in der Markierung von Grundwasser

Fritz Gygax und Werner Schwab

## 1. Einleitung

Zu allen Zeiten hatte das Wasser eine überragende Bedeutung für die Entwicklung der menschlichen Kultur. Dies trifft besonders in unserem modernen industrialisierten Jahrhundert zu, das gebieterisch nach einem immer größeren Wasserangebot verlangt. Die natürlichen Wasserquellen decken den Bedarf nicht mehr. Das unterirdisch fließende Wasser, das Grundwasser, muß in verstärktem Maß herangezogen werden. Wir möchten über seine Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung und Menge Auskunft erhalten. Dazu dienen auch physikalische, chemische und statistische Verfahren.

## 2. Allgemeines über die Methoden zur Untersuchung der Wasserbewegung im Untergrund

Zur Verfolgung der unterirdischen Wasserströme wurden vor allem im Verlaufe der letzten Jahre verschiedene Verfahren entwickelt. Im folgenden seien die heutigen Möglichkeiten kurz beschrieben.

### *2.1. Markierung des Wassers mit Hilfe geeigneter Indikatoren*

Seit über 100 Jahren hat man auf diese Weise zahlreiche unterirdische Laufstrecken von Gewässern bestimmt (z. B. Ausfluß aus dem Lac de Joux). Es gilt, Indikatoren mit möglichst günstigen Eigenschaften zu finden. Zu wünschen wäre, daß sie einfach und ungefährlich in der Anwendung sind, einfache Nachweismöglichkeit und niedere Nachweisgrenze aufweisen und sich mühelos von andern, gleichzeitig angewendeten Markierungsstoffen unterscheiden lassen. Die Partikelchen sollten einen genügend kleinen Durchmesser haben, damit sie die wasserführenden Schichten passieren können. Weitere Erfordernisse sind geringe Adsorption, Temperaturunabhängigkeit, pH-Unabhängigkeit, geringer photochemischer Effekt, keine gesundheitsschädigenden Auswirkungen in den untersuchten Gebieten, automatische Vernichtung des Indikators nach bekanntem kürzerem oder längerem Aufenthalt im Grundwasser, Billigkeit. Diesen idealen Markierungsstoff gibt es aber nicht. Bei einem bestimmten Feldversuch muß der Hydrologe den für diesen Fall geeignetsten Indikator aussuchen.

#### 2.1.1. Färbestoffe

Neben Fluoreszein werden heute noch andere Färbestoffe wie Uranin und Sulforhodamin verwendet. Sulforhodamin G-extra hat besonders günstige hydrologische Eigenschaften.

#### 2.1.2. Salze

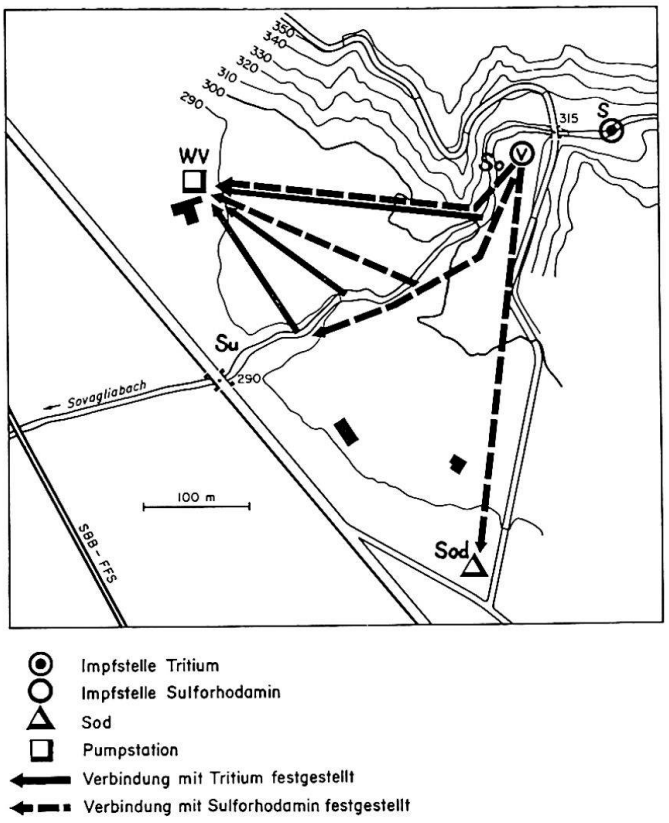
Meistens wird Steinsalz (NaCl) oder Kalidüngsalz (KCl) verwendet. Der Nachweis von Steinsalz durch Chloridtitration ist nicht schwierig. Dagegen muß die Kaliumbestimmung flammenphotometrisch vorgenommen werden. Das Kalidüngsalz bietet dafür den Vorteil, daß eine geringere Impfstoffmenge genügt.

#### 2.1.3. Radioaktive Isotope

Diese Markierungsstoffe besitzen gegenüber Färbestoffen wesentliche Vorteile, da ihre Halbwertszeiten und Energien unbeeinflußbar und genau bekannt sind. Dies ermöglicht die gleichzeitige Verwendung verschiedener Radioisotope, da sie im untersuchten Wasser leicht zu unterscheiden sind. Auch kann genau angegeben werden, wann das Wasser nicht mehr radioaktiv ist und wieder als Trinkwasser verwendet werden darf. Gewisse in der Hydrologie verwendete Isotope haben eine recht lange Halbwertszeit, so Tritium 12,3 Jahre. Durch die Emission ionisierender Strahlen können aber größere Untersuchungsgebiete gefährdet sein. Feldversuche mit Radioisotopen dürfen deshalb nur mit Bewilligung des Eidgenössischen Gesundheitsamtes durchgeführt werden. Daß die Verwendung von Tritium und Uran zu falschen Schlüssen führen kann, zeigt das folgende Beispiel: Durch die Explosion von Atombomben wurde der natürliche Tritium-Strahlenpegel in der Atmosphäre und Hydrosphäre stark verändert. Wenn also bei einem Feldversuch mit Tritium geringe Konzentrationsunterschiede in den zeitlich aufeinanderfolgenden Wasserproben festgestellt werden, so könnten diese auch

durch die Explosion einer Wasserstoffbombe verursacht worden sein. Ferner sind aus den Zeit- und Konzentrationsunterschieden zwischen dem Radioaktivitätsanstieg nach einer Bombenexplosion und dem radioaktiven Anstieg im Grund- oder Quellwasser hydrologische Rückschlüsse möglich, deren Interpretation sorgfältig geprüft werden muß.

Es ist auch möglich, primär nichtradioaktive Markierungsstoffe zu verwenden. Erst bei den Auswertungsarbeiten werden die Wasserproben mit Neutronen bestrahlt. Dadurch erhalten die allfällig vorhandenen primär nichtradioaktiven Stoffe eine induzierte Radioaktivität und können nachgewiesen werden. Das Verfahren ist aber kompliziert und deshalb für größere Versuche kaum anwendbar.




Figur 1. Situationsplan Rovio

### 2.1.4. Sporen

Lycopodiumsporen können, verschieden gefärbt, gleichzeitig als verschiedene Markierungsstoffe verwendet werden. Die gefärbten Sporen sind ungiftig. Aber da der Sporendurchmesser rund 35 $\mu$ beträgt, halten Sand, Ton und feiner Schotter diese Partikel zurück. In Karstgebieten jedoch, wo das Wasser in Klüften zirkuliert, werden gefärbte Sporen oft mit Erfolg verwendet.

### 2.1.5. Detergentien

Auch die im Handel für wenig Geld erhältlichen Schaumstoffe können als Indikatoren verwendet werden. Die Anwendung für Feldversuche ist allerdings beschränkt, da im Grundwasser Schaumstoffe in geringer Konzentration bereits vorhanden sind und weil die Abwässer, die ins Grundwasser eindringen, heute meistens große Detergentienmengen enthalten.

### 2.1.6. Herabsetzung der Nachweisgrenze

Mit bestimmten, teilweise kostspieligen Apparaten können sowohl bei Färbestoffen wie bei Radioisotopen noch geringste Konzentrationsunterschiede festgestellt werden. Mit mathematisch-statistischen Verfahren ist noch eine Verfeinerung möglich. In der Praxis sind allerdings Grenzen gesetzt, da sowohl die Eigenfluoreszenz der untersuchten Wasserproben infolge Trübung (etwa nach heftigen Niederschlägen) als auch die bereits erwähnte Radioaktivität infolge von Atombombenexplosionen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Vor dem Feldversuch sind daher während längerer Zeit Blindproben zu nehmen. Bei der Deutung der festgestellten Konzentrationsunterschiede ist große Vorsicht geboten. Sowohl bei Färbestoffen als auch bei radioaktiven Indikatoren besteht die Möglichkeit der Anreicherung.

### *2.2. Messungen in einem einzigen Bohrloch, das mit radioaktiven Isotopen geimpft wurde*

Seit Ende der fünfziger Jahre entwickelten ausländische Forschungsstellen verschiedene für die Praxis geeignete Methoden zur Erfassung des Grundwasserstroms. Aus zeitlichen und räumlichen Konzentrationsänderungen im geimpften Beobachtungsrohr sind an der Beobachtungsstelle Aufschlüsse über Grundwasserbewegungen in verschiedenen Tiefen des Grundwasserkörpers möglich. Dazu sind nur geringe Mengen radioaktiver Isotope von relativ kurzer Halbwertszeit erforderlich.

### *2.3. Geoelektrische Messungen*

Aus Messungen des spezifischen Widerstandes im Untergrund, der meist nur vom Porengehalt und der Konzentration der im Grundwasser gelösten Stoffe abhängig ist, können Rückschlüsse auf die Grundwasserbewegungen gezogen werden.

*2.4. Statistische Untersuchungen über Grundwasserspiegelschwankungen*

Mit Hilfe der Korrelation von Zeitreihen kann der Einfluß des Niederschlages, der Verdunstung und der benachbarten Oberflächengewässer auf das Grundwasser untersucht werden. Die Auswertungen erfolgen mit einem Computer.

## 3. Ergebnisse eigener Feldversuche

### *3.1. Feldversuch in Rovio/TI*

#### 3.1.1. Problemstellung

Es ist abzuklären, ob das Trinkwasser der neu erbauten Pumpstation von Rovio durch die Abwässer einer Straßenbaufirma, die in einen ziemlich nahe gelegenen Versickerungsschacht geleitet werden, oder durch den benachbarten Sovagliabach verschmutzt wird. Ferner ist die Frage zu klären, ob eine hydrologische Verbindung zwischen Versikkerungsschacht und Sovagliabach besteht.

#### 3.1.2. Impfung und Probeentnahmen

Situationsplan Rovio und festgestellte unterirdische Verbindungen: siehe Figur 1.

Es wurden zwei Stellen geimpft:

V Versickerungsschacht am 3. März um 13.30 Uhr mit 1 kg Färbestoff Solforhodamin G-extra. Nachspülung am Impftag 13,5 m³, am Nachtag 6,5 m³.

S Sovagliabach am 3. März von 14.00 bis 16.30 Uhr mit 5 Ci radioaktivem Stoff Tritium ³H. Die Wasserführung betrug an der Impfstelle zur Zeit der Impfung etwa 400 l/s. Die Schneeschmelze verursachte große tageszeitliche Schwankungen.

Wasserproben wurden an vier Stellen entnommen:

WV Wasserversorgung Rovio. In den ersten Tagen wurde ständig gepumpt (28 l/s).

Sod Sod beim Bauernhaus. Pumpe nur zur Probeentnahme in Betrieb.

So Sovagliabach oben. Entnahme unterhalb des Versickerungsschachtes.

Su Sovagliabach unten. Entnahme vor der Versickerung des Baches.

#### 3.1.3. Zusammenstellung der Messergebnisse

| Impfstellen | S | V | S | V | S | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entnahmestellen | WV | WV | Sod | Sod | So | Su |
| Distanzen in m | 155—290 | 325 | 290 | 405 | 65 | 285 |
| Spiegelgefälle in % min. | 10,4 | | | | | |
| max. | 13,2 | | | | | |
| Zeit zwischen Impfanfang und der Ankunft der Indikatorwolke in h | 4 | 24 | | 29 | | |
| Geschwindigkeit in m/h | 40 | 13,5 | | 14 | | |
| Zeit Impfanfang bis Höchstkonzentration in h | 8 | 26 | 170 | 32 | | 31 |
| Geschwindigkeit in m/h | 20 | 12,5 | 1,7 | 12,6 | | 9,2 |
| Zeit Impfanfang bis Ende der Hauptwolke (soweit meßbar) | 172 | 37 | | 40 | | |
| Geschwindigkeit in m/h | 9,3 | 8,8 | | 10 | | |
| Gemessene Höchstkonzentrationen: Sulforhodamin in mg/m³ | | 0,3 | | 1,5 | | 0,06 |
| Tritium in pCi/ml (1 pCi/ml = 0,001 mCi/m³) | 58 | | 1,5* | | | |
| Wiederaufgefundener Impfstoff: Sulforhodamin in g | | 0,2 | | | | |
| Tritium in Ci | 0,25 | | | | | |
| In % der Impfmenge | 5 | 0,02 | | | | |
| Förderzeit total in h | 168 | 13 | | 11 | | |
| Davon für die 1. Hälfte | 29 | 4 | | | | |

* Konzentrationsanstieg mit 98% Sicherheit festgestellt

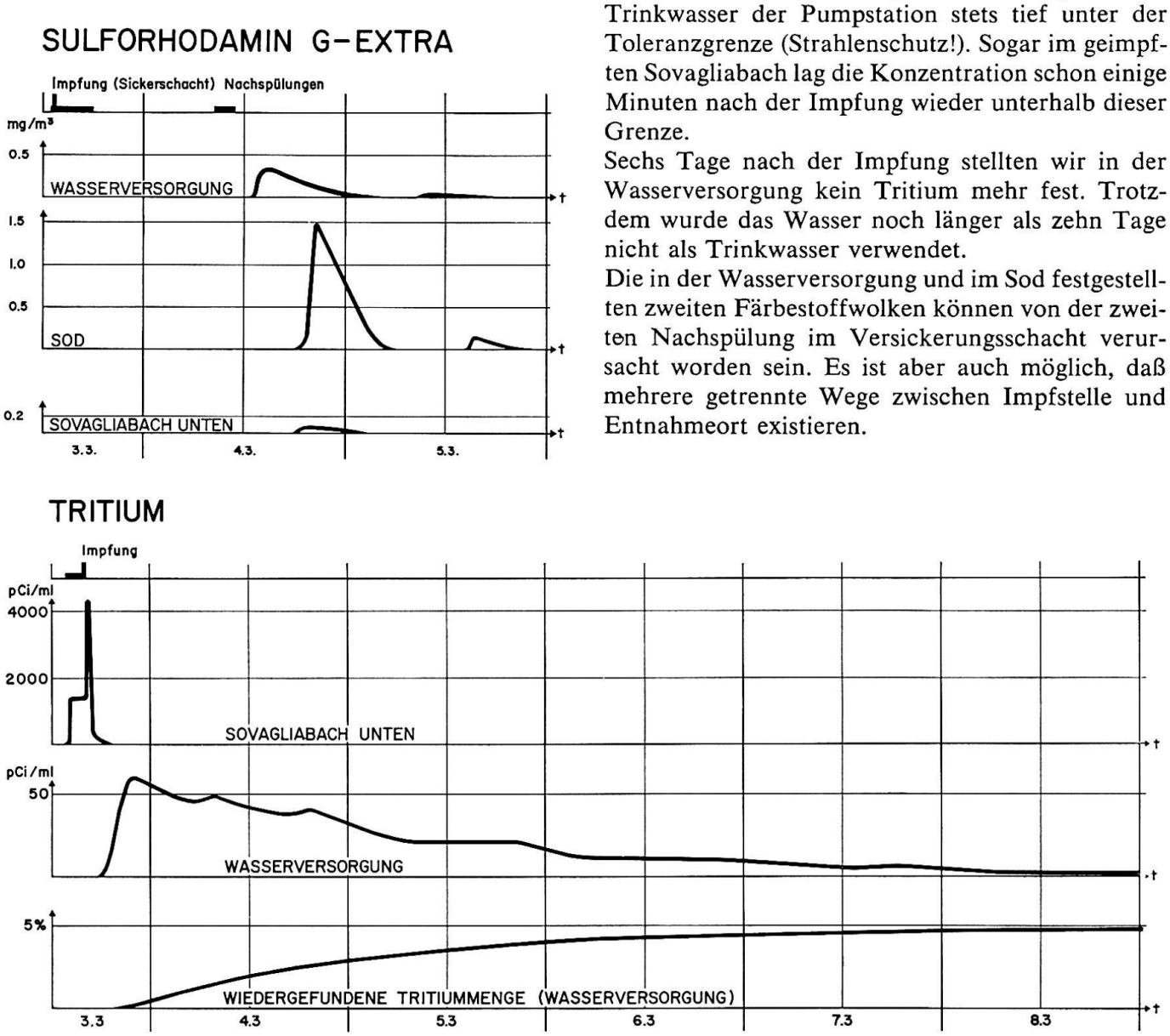
3.1.4. Ergebnisse

*Mit Sicherheit* wurden folgende unterirdischen Verbindungen festgestellt:

Sovagliabach—Wasserversorgung
Versickerungsschacht des Abwassers—Wasserversorgung
Versickerungsschacht des Abwassers—Sod beim Bauernhaus
Versickerungsschacht des Abwassers—Sovagliabach unten (vor der Versickerung)

Vermutlich besteht auch eine unterirdische Verbindung zwischen dem Sovagliabach und dem Sod beim Bauernhaus.
Durch diesen Feldversuch wurde dagegen keine unterirdische Verbindung zwischen dem Versickerungsschacht des Abwassers und der etwas unterhalb davon gelegenen Entnahmestelle im Sovagliabach festgestellt.

Aus den verwendeten Daten geht hervor, daß vermutlich etwa die Hälfte des Trinkwassers aus der Pumpstation der Wasserversorgung Rovio infiltriertes Sovagliawasser ist.
Wie aus dem Konzentrationsvergleich im Abschnitt 3.3 hervorgeht, sind die oben angegebenen Verbindungen zwischen den Impfstellen und der Wasserversorgung gut gesichert, da die festgestellten Höchstkonzentrationen etwa das Fünfzehn- bzw. Dreißigfache der für diesen Versuch erhaltenen Nachweisgrenze betragen. Andrerseits ist auch ersichtlich, daß dieser Färbeversuch keinesfalls erfolgreich verlaufen wäre, wenn man ihn mit Fluoreszein und die Prüfung mit einer UV-Lampe vorgenommen hätte, es sei denn, man hätte mindestens 20 kg dieses Färbestoffes verwendet. Auch bei einer Anreicherung des Fluoreszeins mit Aktivkohle und späterer Untersuchung mit einer UV-Lampe wäre der Nachweis wesentlich schwieriger und eine qualitative Auswertung nur beschränkt möglich gewesen.
Bei unserem Versuch lag der Tritiumgehalt im Trinkwasser der Pumpstation stets tief unter der Toleranzgrenze (Strahlenschutz!). Sogar im geimpften Sovagliabach lag die Konzentration schon einige Minuten nach der Impfung wieder unterhalb dieser Grenze.
Sechs Tage nach der Impfung stellten wir in der Wasserversorgung kein Tritium mehr fest. Trotzdem wurde das Wasser noch länger als zehn Tage nicht als Trinkwasser verwendet.
Die in der Wasserversorgung und im Sod festgestellten zweiten Färbestoffwolken können von der zweiten Nachspülung im Versickerungsschacht verursacht worden sein. Es ist aber auch möglich, daß mehrere getrennte Wege zwischen Impfstelle und Entnahmeort existieren.




Figur 2. Konzentration/Zeitdiagramme Rovio

*3.2. Feldversuch in Coldrerio/TI 9.4. bis 9. 10.*

3.2.1. Problemstellung

Es sind folgende Fragen zu klären:

Dringt im Gebiet der Autobahn Wasser in die Leitung zwischen Quellfassung und Pumpstation ein? Besteht eine unterirdische Verbindung zwischen dem Bach Ruscia und der Wasserversorgung von Coldrerio?

3.2.2. Impfung und Probeentnahmen

*Färbeversuch*

Impfung am 9. April von 09.00 bis 12.00 Uhr mit 1 kg Färbestoff Sulforhodamin G-extra.

Impfstellen:

Versickerung von rund 700 g Färbestoff in rund 30 cm tiefe Löcher im Gebiet der Autobahn. Diese Löcher wurden im Laufe des Tages mehrmals mit Wasser aufgefüllt.

Impfung des Bachbettes oberhalb der Hartverbauung mit rund 300 g Färbestoff.

Wetter am Impftag: ergiebige Niederschläge.

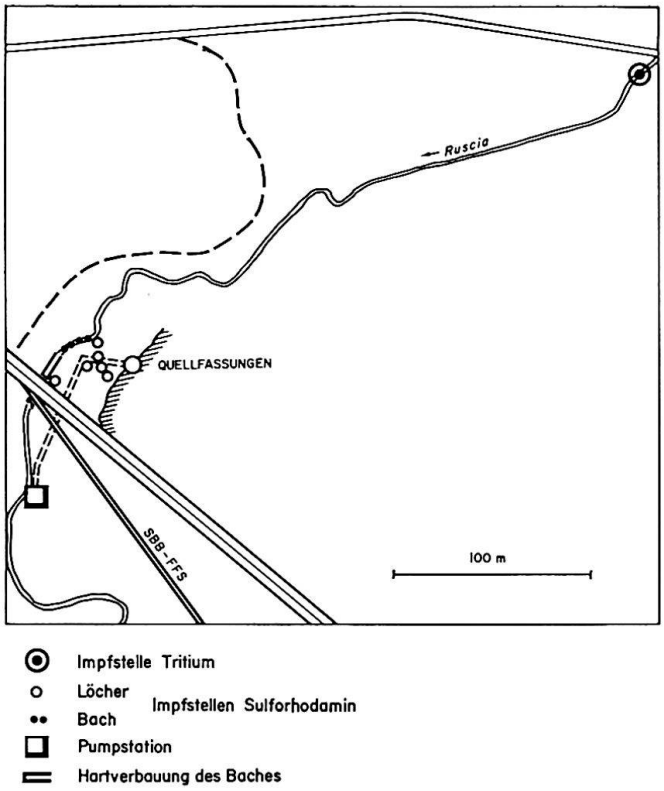
*Versuch mit radioaktivem Stoff*

Impfung: 21. September von 11.20 bis 18.00 Uhr mit 2,1 Ci Tritium. Impfstelle: Bach Ruscia, etwa 320 m oberhalb der Färbestellen. Entnahmestelle: Wasserversorgung Pumpstation Coldrerio.

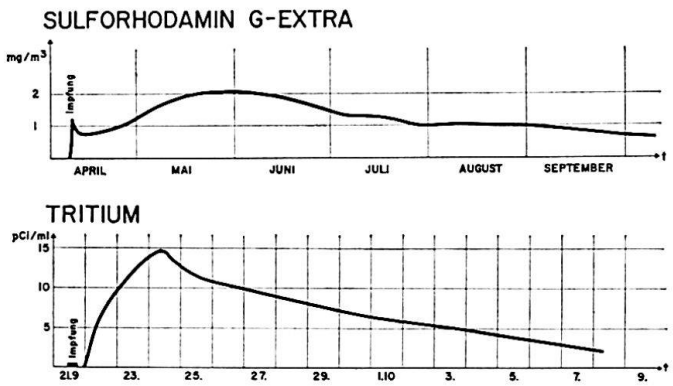
Verlauf der Impfung mit Tritium: Zu Beginn der Impfung betrug die Wasserführung an der Impfstelle rund 1 l/s. Etwa auf halber Strecke zwischen Markierungsplatz und Quellfassung versickerte der Bach vollständig. Um die Mittagszeit begann es zu regnen, und kurz darauf bestand wieder ein durchgehender oberirdischer Abfluß. Etwa 0,5 Ci dürften versickert sein.

3.2.3. Ergebnisse

Schon einige Stunden nach der Impfung vom 9.4. mit Sulforhodamin G-extra erfolgte ein steiler Konzentrationsanstieg von 1,2 mg/m³. Der weitere Konzentrationsverlauf ist aus der graphischen Darstellung ersichtlich. Da die Konzentration noch nach Monaten recht hoch war, andererseits die Untersuchung abgeschlossen werden sollte, wurde, wie oben erwähnt, im Herbstversuch Tritium als Indikator verwendet. Dabei betrug die Höchstkonzentration in der Wasserversorgung etwa 15 pCi/ml. Sie lag sehr weit unter der Toleranzgrenze, war aber doch noch gut feststellbar. Es ergab sich daher mit Sicherheit, daß einerseits im Gebiet der Autobahn Wasser in die Leitung zwischen Quellfassung und Pumpstation eindringt und daß andererseits eine unterirdische Verbindung zwischen dem Bach Ruscia und der Wasserversorgung besteht.




Figur 3. Situationsplan Coldrerio




Figur 4. Konzentration/Zeitdiagramm WV Coldrerio

*3.3. Einige Konzentrationsvergleiche*

3.3.1. Sulforhodamin G-extra

| mg/m³ | |
|---|---|
| 100 | Nachweisgrenze mit bloßem Auge |
| 10 | Nachweisgrenze von Fluoreszein mit UV-Lampe<br>Festgestellte Höchstkonzentration in Coldrerio (Wasserversorgung)<br>Festgestellte Höchstkonzentration in Rovio (Sod) |
| 1 | Festgestellte Höchstkonzentration in Rovio (Wasserversorgung) |
| 0,1 | Festgestellte Höchstkonzentration in Rovio (Sovaglia unten) |
| 0,01 | Nachweisgrenze im Trinkwasser der untersuchten WV |
| 0,001 | Nachweisgrenze eines Fluoreszenzunterschiedes in Trinkwasser mit konstanter Eigenfluoreszenz. Viele Einzelmessungen mit Turner-Fluorometer und statistische Auswertungen erforderlich |

3.3.2. Tritium

| pCi/ml | |
|---|---|
| 100 000 | Toleranzgrenze im Trinkwasser bei dauerndem Genuß für Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen (Verordnung über den Strahlenschutz vom 19.4.63) |
| 10 000 | Toleranzgrenze im Trinkwasser bei dauerndem Genuß für Personen in unbewachten Gebieten (Verordnung über den Strahlenschutz vom 19.4.63) |
| 100 | Festgestellte Höchstkonzentration in Rovio (Wasserversorgung) |
| 10 | Festgestellte Höchstkonzentration in Coldrerio (Wasserversorgung)<br>Konzentrationsanstieg in unserem Regenwasser nach Atombombenexplosionen (Höchstwert 1964–1965 4,3) |
| 1 | Nachweisgrenze eines Konzentrationsunterschiedes mit einem TRI CARB-Szintillationsspektrometer |

---

**4. Schlußbemerkungen**

Ausgedehnte Laborversuche mit Sulforhodamin G-extra haben immer wieder gezeigt, daß die mit Hilfe statistischer Methoden (F-Test und t-Test) berechneten Signifikanzen und Vertrauensgrenzen mit der Versuchsanordnung im Einklang waren.

Die Ergebnisse der beschriebenen Feldversuche haben bestätigt, daß die angewendeten Markierungsmethoden geeignet sind. Insbesondere erwies sich die Kombination zweier voneinander verschiedener Indikatoren als günstig. Vorversuche haben ergeben, daß keine gegenseitige Beeinflussung stattfindet.

Fehlen aber bei einem Feldversuch geeignete Markierungsplätze und Beobachtungsstellen längs der Fließrichtung, so führt die Grundwassermarkierung nicht immer zum Ziel.

Wünschenswert wäre die gleichzeitige Anwendung möglichst verschiedener Untersuchungsmethoden. Wenn die Ergebnisse miteinander im Einklang sind, steigt der Aussagewert erheblich.

Wir möchten nicht unterlassen, dem Direktor des Laboratorio Cantonale d'Igiene Lugano, Herrn Ingenieur Massarotti, für die große Unterstützung, die er diesen Versuchen gewährte, herzlich zu danken.