

Zeitschrift: Jahrbuch Oberaargau : Menschen, Orte, Geschichten im Berner Mitteland

Herausgeber: Jahrbuch Oberaargau

Band: 18 (1975)

Artikel: Färbversuche im Grundwasser des Oberaargaus : zur Erkundung unterirdischer Wasserwege

Autor: Leibundgut, Christian

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1071946>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

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

FÄRBVERSUCHE IM GRUNDWASSER DES OBERAARGAUS

Zur Erkundung unterirdischer Wasserwege

CHRISTIAN LEIBUNDGUT

1. Der Einsatz von Tracern in der Hydrologie

Wasser hat die Menschen zu allen Zeiten zur Suche, zur Forschung herausgefordert. Für die Binnenländer war stets die Frage nach dem Woher und Wohin der unterirdischen Wasser besonders erregend. Dass dabei die Karstgebiete mit ihren zahlreichen geheimnisvollen hydrologischen Phänomenen als erste untersucht wurden, erstaunt nicht. Die Unmöglichkeit, die in Höhlen verschwindenden oder im Untergrund versinkenden Wasser persönlich zu verfolgen, rief nach einem geeigneten Hilfsmittel. So wurden denn bereits früh in der modernen Hydrologie sogenannte Markierstoffe oder Tracer eingeführt. Die erste bekannte Anwendung erfolgte im Jahre 1877 durch *Ten Brink* an der Donauversickerung/Achquelle. In diesem Versuch wurde Fluoreszein verwendet. Dieser stark fluoreszierende Farbstoff wurde in der Folge zum klassischen Wassermarkierstoff, der heute noch mit grösstem Erfolg angewandt wird.

Die Methode ist grundsätzlich einfach: Der Markierstoff wird ins interessierende Gewässer, zum Beispiel in eine Schwinde, eingegeben. Die mutmasslichen Wasseraustritte werden dann auf den Gehalt an Markierstoff untersucht. Am einfachsten ist der qualitative visuelle Nachweis. Die Tracer-Technik hat sich in neuerer Zeit stark weiterentwickelt. Der genaue quantitative Nachweis steht im Vordergrund und die Analysenverfahren wurden derart verfeinert, dass heute auch geringste Spuren von gelösten Markierstoffen im Wasser noch nachgewiesen werden können. Die gebräuchlichsten Tracer sind:

- Fluoreszierende Farbstoffe (Uranin, Rhodamine, Eosin u.a.)
- Sporen (vorwiegend Bärlappsporen [*Lycopodium-*] in verschiedenen Farben)
- Bakterien (*Serratia marcescens*)
- Salze (NaCl, KCl)

- Detergentien
- radioaktive Tracer (Tritium u.a.)
- aktivierbare Tracer (Brom u.a.)
- Geruchsstoffe (Dipenten)
- verschiedene (Beispiel: Die in die Reka [Jugoslawien] ausgesetzten Aale wurden in den Timavo-Quellen bei Triest wiedergefunden.)

In ihrer Anwendung als hydrologische Tracer weisen die aufgeführten Markierstoffe gegeneinander Vor- und Nachteile auf. Es ist die Aufgabe des Hydrologen, von Fall zu Fall den geeigneten Markierstoff zu finden. Unter welchen Voraussetzungen welcher Tracer eingesetzt werden soll und über die Methodik orientiert ein umfangreiches Schrifttum [1, 2, 3, 8, 9, 10, 17].

Da für die Trinkwasserversorgung bei uns die Grundwasservorkommen der Schotterkörper im Vordergrund stehen, hat sich die Methodik vorerst auf die spezifischen Probleme von Markierungen in Lockergesteinsmassen konzentriert. Am Geographischen Institut der Universität Bern liegt der Schwerpunkt der Anwendung deshalb bei den fluoreszierenden Farbstoffen, die sich als Indikatoren zur Markierung von Porengrundwasser bewährt haben. Die Methodik wurde in den Jahren 1971—1973 erarbeitet und erlaubt es heute, fluoreszierende Farbstoffe in breitem Anwendungsspektrum einzusetzen [12, 13]. Labor- und Feldversuche haben gezeigt, dass sich zur Anwendung in Lockergesteinsmassen am besten Uranin, zu jener in Oberflächenwässern grundsätzlich Sulforhodamin G extra eignet.

Mit dem Markierversuch in Lockergesteinsmassen werden verschiedene Ziele anvisiert. Die wichtigsten sind der Nachweis von hydrologischen Verbindungen, die Bestimmung der Fliessrichtung, des Einzugsgebietes und der Fliessgeschwindigkeiten. Eine besondere Bedeutung hat der Markierversuch heute im Zusammenhang mit den Schutzzonenfragen für Trinkwasserfassungen und von Umweltschutzfragen verschiedener Art, wie beispielsweise der Beeinflussung von Grundwasservorkommen durch Kehrichtdeponien oder Abwasserversickerungen, erhalten.

2. Färbversuche im Oberaargau in den Jahren 1973 und 1974

In diesen Jahren wurden vom Geographischen Institut fünf Feldversuche durchgeführt. In allen Fällen standen praktische Interessen im Hintergrunde. Dies brachte den Vorteil mit sich, dass nicht Forschung als Selbstzweck be-



Gruenholz und Brunnmatten (hinten), Roggwil, mit Spuren des Hochwassers vom 30. August 1975; gleichentags fotografiert.

Infrarot-Flugaufnahme Val. Binggeli, Langenthal

trieben werden musste, sondern Versuche im öffentlichen Interesse, meist im Zusammenhang mit geplanten oder bestehenden Fassungsanlagen, durchgeführt werden konnten. Dies allerdings mit dem Nachteil, dass einzelne Teile der Versuchsanordnungen eingeengt wurden.

Die Versuche «Langenthal», «Roggwil» und «Oberönz» wurden in den fluvioglazialen Niederterrassenschottern, die beiden Madiswiler Versuche in den Alluvionen des Langetetales durchgeführt (Fig. 1). Die Schottermächtigkeiten liegen zwischen 4—20 m. Für nähere Angaben über die Landschaft, die geologischen und hydrologischen Verhältnisse sei auf die Literatur verwiesen [4, 5, 6, 7, 14]. Wesentliche Einzelheiten erscheinen in den Versuchsberichten (Kap. 2.1.—2.5.). Obgleich bei Untersuchungen in Schottern nicht derart spektakuläre Resultate erwartet werden dürfen, wie sie sich in Karstgebieten etwa ergeben, fielen doch einige bemerkenswerte Ergebnisse in bezug auf die Fliessgeschwindigkeiten an.

Bei den im folgenden gemessenen Grundwassergeschwindigkeiten han-

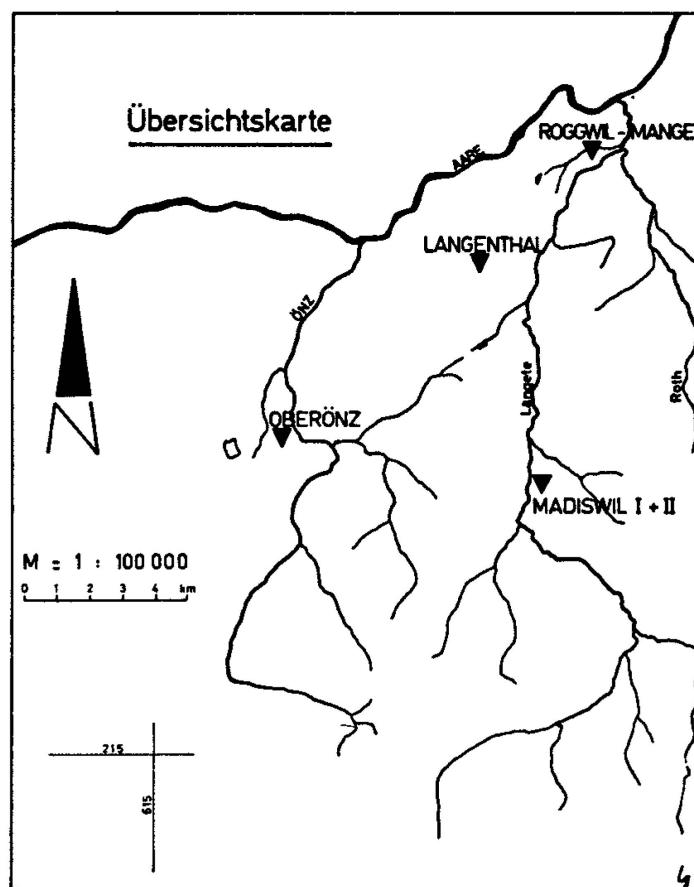


Fig. 1.
Färbversuche
im Grundwasser
des Oberaargaus.
Topographie
und Gewässernetz.

delt es sich um Abstandsgeschwindigkeiten (v_a). Diese berechnen sich aus dem horizontalen Abstand zwischen Einspeise- und Probeentnahmestelle und der Zeitdifferenz zwischen Einspeisung und Beginn/Maximum/Medianwert/Ende des Farbdurchgangs. Die einzelnen Zeitpunkte sind auf der Farbdurchgangskurve ablesbar. Der Medianwert nennt den Zeitpunkt, an dem die Hälfte des wiedergefundenen Farbstoffes ausgebracht ist. Im Kap. 2.1.4. sind als Beispiel die Abstandsgeschwindigkeiten durchgerechnet. Da mit Ausnahme des Versuches «Madiswil II» die Einspeisung des Farbstoffes direkt ins Grundwasser erfolgte, handelt es sich um reine Abstandsgeschwindigkeiten. Diese sind kleiner als die wahren Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers.

2.1. Färbversuch Langenthal

2.1.1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen der Grundwassererschliessung im Raum Langenthal musste der Standort für ein zweites Grundwasserpumpwerk der Gemeinde Langenthal bestimmt werden. Ende Juni 1973 begann der Pumpversuch im Versuchsbrunnen im Mittelhard. Neben den direkt zum Pumpversuch gehörenden Messungen sollte ein Färbversuch näheren Aufschluss über die Fliessvorgänge des Grundwassers geben. Um eine möglichst sichere Aussage zu erhalten, wurde ein kombinierter Versuch mit zwei Einspeisungsstellen vorgesehen. Im besonderen sollte der Versuch die Ermittlung der Fliessrichtung und der Abstandsgeschwindigkeiten ermöglichen.

Vorbereitungen in grösserem Rahmen erübrigten sich, da das gesamte in Frage stehende Versuchsgebiet zum Untersuchungsgebiet Oberaargau (mit permanenten Messungen) gehört [14]. Die Spiegelmessungen des Grundwassers wurden in Verbindung mit dem Pumpversuch durchgeführt. Die Pumpleistung betrug im Dauerpumpversuch 4500 l/min (Vertikalbrunnen, 60 cm Durchmesser).

2.1.2. Ablauf des Versuches

Die Einspeisung I erfolgte in das 2"-Piezometer-Rohr RB 17 (11,00 m Vollprofil, 11,00 m gelocht), 28,40 m vom Versuchsbrunnen entfernt; am

5. Juli 1973 als Momenteingabe um 11.40—11.42 Uhr mit nachfolgendem fünfminütigem Spülen. Als Markierstoff wurde 500 g Uranin, vorgelöst in Wasser, eingegeben (Spülwassermenge 50 Liter, Einspeisung über Schlauch direkt ins Grundwasser, ca. 1,70 m unter Wasserspiegel).

Die Einspeisung II erfolgte in das 4"-Piezometer-Rohr RB 15 (10,50 m Vollprofil, 8 m gelocht, unten verschlossen), 240 m vom Versuchsbrunnen entfernt; am 9. Juli 1973 als Momenteingabe um 15.17 Uhr (Ende Spülen 15.25 Uhr). 1 kg Uranin, vorgelöst in Wasser, wurden über Schlauch direkt ins Grundwasser, ca. 2,75 m unter den Wasserspiegel eingespielen (Spülwassermenge 40 Liter).

Neben dem Versuchsbrunnen wurden die Gemeindefassungen Hard Langenthal und Hard Aarwangen beprobt, um allfällige, ausserhalb der Erwartung liegende, Fliessrichtungen feststellen zu können. Der Versuchsbrunnen wurde automatisch überwacht mittels registrierendem Fluorometer vom 5. 7. 1973 bis 9. 7. 1973. Sicherheitshalber wurden über die ganze Zeit Einzelproben erhoben:

vom 5. 7. 1973 bis 6. 7. 1973 alle 2 Stunden

vom 7. 7. 1973 bis 19. 7. 1973 alle 4 Stunden

vom 20. 7. 1973 bis 26. 7. 1973 3mal täglich

Die Gemeindefassungen wurden je einmal täglich ab 7. 7. bis 19. 7. 1973 und jeden zweiten Tag bis 28. 7. 1973 beprobt.

2.1.3. Resultate der fluorometrischen Analysen

Die Blindwerte (natürliche Fluoreszenz oder als solche gemessene Wasserinhaltsstoffe) bewegten sich in den Normalwerten für Grundwasser. Da für die beiden Entnahmestellen der Gemeindefassungen längere Messreihen bereits bestanden, die ausnahmslos Normalwerte ergaben, darf für den Versuchsbrunnen dies ebenfalls angenommen werden. Die drei gemessenen Blindwerte des Versuchsbrunnens stimmten genau mit jenen der Gemeindefassungen überein.

Der Farbdurchgang im Versuchsbrunnen ist in der Fig. 2 graphisch dargestellt. Die Kurve gibt die Durchgangskonzentration des Farbstoffes durch den Versuchsbrunnen wieder.

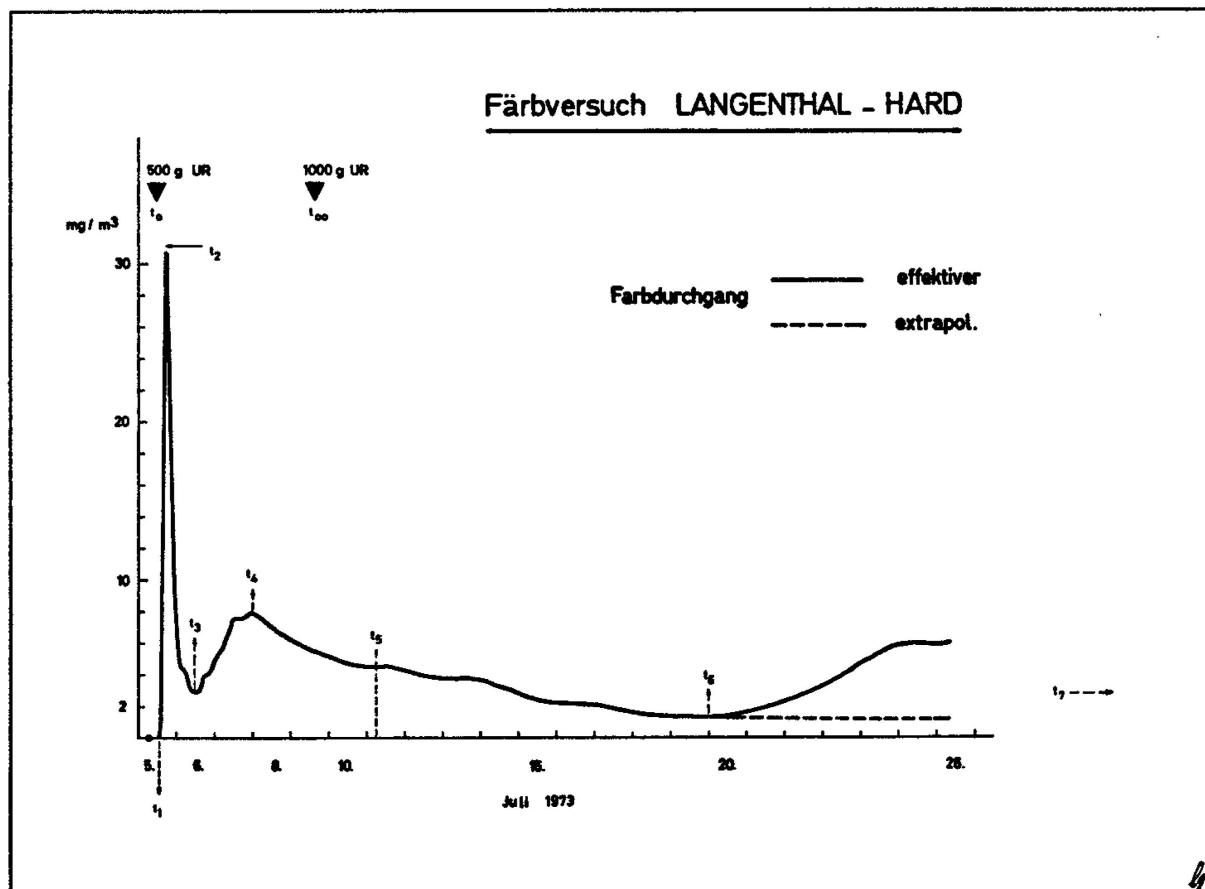


Fig. 2. Farbdurchgangskurve dargestellt als Konzentrations-/Zeitdiagramm. Zwei-malige Anwendung des gleichen Farbstoffes im gleichen Versuch. Die Möglichkeit der quantitativen Erfassung des Markierstoffes ist dabei Bedingung, $t_0 = 1$. Einspeisung, $t_{00} = 2$. Einspeisung, t_1 = Beginn des Farbdurchganges, t_2 = 1. Maximum, t_4 = 2. Maximum, t_5 = 50%-Grenze, t_6 = Beginn des Farbdurchganges aus 2. Einspeisung, t_7 = Ende des Farbdurchganges.

Beginn des Farbdurchganges:

5. 7. 1973, 12.55 Uhr

1. Maximum:

5. 7. 1973, mit Probe von 17.30 Uhr

2. Maximum:

8. 7. 1973, mit Probe von 23.00 Uhr

3. Maximum:

26. 7. 1973, mit Probe von 07.30 Uhr

Dank der automatischen Registrierung konnte der Beginn des Uranin-Eintrittes zeitlich genau festgehalten werden. Sämtliche Proben der Gemeindefassungen reagierten negativ auf die Uranin-Analysen. Weitere Proben wurden vom Geographischen Institut bis Ende Jahr erhoben, doch zeigte sich nie Farbstoff.

2.1.4. Auswertung der fluorometrischen Daten

Die quantitative Berechnung ergab folgende Prozentwerte:

	in % von 500 g	in % von 1000 g
für V_1 = 432,0 g	86,4	
+ Extrapolation über Versuchsende hinaus = 4,5 g	0,9	
für V_2 = 111,2 g	22,2	11,0
$V_1 + V_2$ = 547,7 g	109,5%	

V_1 = 1. Versuch (Einspeisung I)

V_2 = 2. Versuch (Einspeisung II)

Dieser Berechnung wurde zugrunde gelegt, dass der Wiederanstieg der Farbdurchgangskurve am 20. Juli von der Einspeisung II herrührt. Die Begründung dazu s. Kapitel 2.1.5.

Die Abstandsgeschwindigkeiten für den ersten Versuch (Einspeisung I):

$$v_a \max^1 = \frac{s}{(t_1 - t_0)} = 545 \text{ m/d}$$

wobei v = Geschwindigkeit

s = Abstand — 28,40 m

t_0 = Zeitpunkt der Einspeisung I

t_1 = Auftreten der ersten Farbspuren

$$v_a \max^2 = \frac{s}{(t_3 - t_0)} = 27 \text{ m/d}$$

wobei t_3 = Beginn des zweiten Konzentrationsanstieges

$$v_a \text{ int}^1 = \frac{s}{(t_2 - t_0)} = 117 \text{ m/d}$$

wobei t_2 = erstes und absolutes Konzentrationsmaximum

$$v_a \text{ int}^2 = \frac{s}{(t_4 - t_0)} = 11 \text{ m/d}$$

wobei t_4 = zweites, relatives Konzentrationsmaximum

$$v_a \text{ mit} = \frac{s}{(t_5 - t_0)} = 5 \text{ m/d}$$

wobei t_5 = Zeitpunkt an dem 50% des wiedergefundenen Farbstoffes (inkl. Extrapolation) ausgetreten sind

$$v_a \text{ min} = \frac{s}{(t_7 - t_0)} = < 1 \text{ m/d}$$

wobei t_7 = Ende des Farbdurchgangs (extrapoliert)

Abstandsgeschwindigkeit für den zweiten Versuch (Einspeisung II):

$$v_a \text{ max}^3 = \frac{s}{(t_6 - t_{00})} = 23 \text{ m/d}$$

wobei s = Abstand = 240 m

t_{00} = Zeitpunkt der Einspeisung II

t_6 = Beginn des Farbdurchgangs aus zweiter Einspeisung

2.1.5. Interpretation und Besprechung der Resultate

Ein kombinierter Versuch mit mehreren Einspeisungsstellen ist wertvoll, da die unterschiedlichen Fliessverhältnisse in ihrer Gesamtheit besser erfasst werden. Bei stetiger Ueberwachung kann je nach Versuchsablauf die Verwendung des gleichen Farbstoffes gewagt werden.

Bei der Betrachtung der Farbdurchgangskurve müssen die beiden Versuche (Einspeisung I und II) auseinandergehalten werden (Fig. 2). Nur zum ersten Versuch gehört die Kurve von t_1 – t_6 und die gestrichelte Linie ab t_6 . Das Teilstück der effektiven Farbdurchgangskurve ab t_6 bis Versuchsende ist zusammengesetzt aus der ansteigenden Konzentration des zweiten Versuches und der abnehmenden Konzentration des ersten Versuches. Die *zweigipflige Kurve* entspricht nicht der Vorstellung der klassischen Farbdurchgangskurve. In unserem Falle dürfte dieses Phänomen durch die Lage der Einspeisungsstelle I (RB 17) im Absenkungstrichter des Versuchsbrunnens zu erklären sein. Der starke, aber schmale Peak des absoluten Konzentrationsmaximums könnte dadurch zustande gekommen sein, dass durch eine gut entwickelte Wasserbahn Farbstoff sehr schnell zum Versuchsbrunnen geschwemmt wurde. Für

eine Zone besserer Durchflutung spricht auch das schnelle Wiederabsinken der Konzentration. Auf dem gesamten Schotterkörper bezogen, deutet dies auf heterogene Untergrundverhältnisse allgemein hin.

Die für den ersten Versuch bestimmten Abstandsgeschwindigkeiten dürfen nicht als repräsentativ für das Versuchsgebiet bezeichnet werden, da die Einspeisungsstelle im Absenkungstrichter lag. Immerhin nähert sich V_{\max}^2 mit 27 m/d bereits stark der maximalen Abstandsgeschwindigkeit von 23 m/d aus dem zweiten Versuch. Der richtige Gebietswert dürfte daher sicherlich in diesem Bereich liegen.

Einmal mehr hat dieser Versuch gezeigt, dass eine Durchführung und Auswertung eines Färbversuches mit *quantitativer Zielsetzung von entscheidender Wichtigkeit* sein kann. Nur die quantitative Auswertung lässt uns mit Sicherheit sagen, dass der Konzentrationsanstieg ab 20. Juli aus dem zweiten Versuch (Einspeisung II) resultiert. Da total 547,7 g Uranin wiedergefunden wurden, jedoch beim ersten Versuch nur 500 g eingespeist wurden, kann der dritte Konzentrationsanstieg nicht vom ersten Versuch stammen. Selbst wenn wir einen Fehler von einigen Prozenten berücksichtigen, bleibt zuviel Farbstoff, um so mehr als nach unsrern Erfahrungen im Untergrund stets etwas Farbstoff zurückbleibt. Es ist denkbar, dass sich der Anstieg ab 20. Juli kombiniert aus den Einwirkungen des zweiten Versuches und aus solchen des ersten Versuches zusammensetzt. Dabei ist nicht die bereits berücksichtigte Extrapolation gemeint, sondern Ausschwemmungen von abgelagertem Farbstoff aus dem vorübergehend trockengefallenen Schotterkörper infolge Wiederanstieges des Grundwassers wegen der starken Niederschläge.

2.2. Färbversuch Oberönz

2.2.1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen der Grundwassererschliessung im Raum Herzogenbuchsee wurde nach den vorbereitenden hydrologischen Untersuchungen der Brunnenbau im Brüel beim Schützenhaus Oberönz in Aussicht genommen. Anfang Juli begann der Pumpversuch im Versuchsbrunnen. Um weitere Informationen über das Fliessverhalten des Untergrundes, im besonderen um sichere Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung der Schutzzone zu erhalten, wurde ein Färbversuch vorgesehen.

Die Zielsetzung entspricht jener des Versuches Langenthal (vgl. Kapitel 2.1.1.). Das gleiche gilt für die Vorbereitungen.

2.2.2. Ablauf des Färbversuches

Die Einspeisung von 500 g Uranin UR, vorgelöst in Wasser, erfolgte in einen Baggerschlitz, 49,5 m SW des Versuchsbrunnens, ca. 2,7 m tief bis unter Grundwasserspiegel hinabreichend, am 9. Juli 1973 in Momenteingabe um 19.00 Uhr, direkt ins Grundwasser.

Da es sich um einen Färbversuch in Verbindung mit einem Pumpversuch handelte, wurde nur der Versuchsbrunnen beprobt. Sodbrunnen mit installierten Pumpen oder natürliche Grundwasseraustritte waren in nützlicher Entfernung nicht vorhanden.

Der Versuchsbrunnen wurde mittels registrierendem Fluorometer automatisch überwacht. Sicherheitshalber wurden über die ganze Zeit Einzelproben erhoben:

vom 5. 7. 1973 bis 12. 7. 1973 alle 4 Stunden

vom 13. 7. 1973 bis 19. 7. 1973 alle 8 Stunden

2.2.3. Resultate der fluorometrischen Analysen

Die Blindwerte bewegten sich in den Normalwerten für Grundwasser. Da an Grundwässern aus der Umgebung bereits früher Normalwerte gemessen wurden, durfte dies für den Versuchsbrunnen ebenfalls angenommen werden. Die Blindwertmessungen vom 5. bis 9. Juli bestätigen diese Annahme. Einzelne, plötzliche, kurze und schwache Anstiege sind auf vorübergehende Trübungen zu Beginn des Pumpversuches zurückzuführen.

Die Resultate der fluorometrischen Analysen sind in der Farbdurchgangskurve der Figur 3 graphisch dargestellt. Die Kurve gibt die Durchgangskonzentration des Farbstoffes durch den Versuchsbrunnen wieder.

Beginn des Farbdurchgangs: am 11. 7. 1973, 22.00 Uhr

Maximum des Farbdurchgangs: am 16. 7. 1973, 08.00 Uhr (± 1 h)

Ende des Farbdurchgangs: am 19. 7. 1973 (Versuchsende) noch
nicht, extrapoliert anfangs August 1973

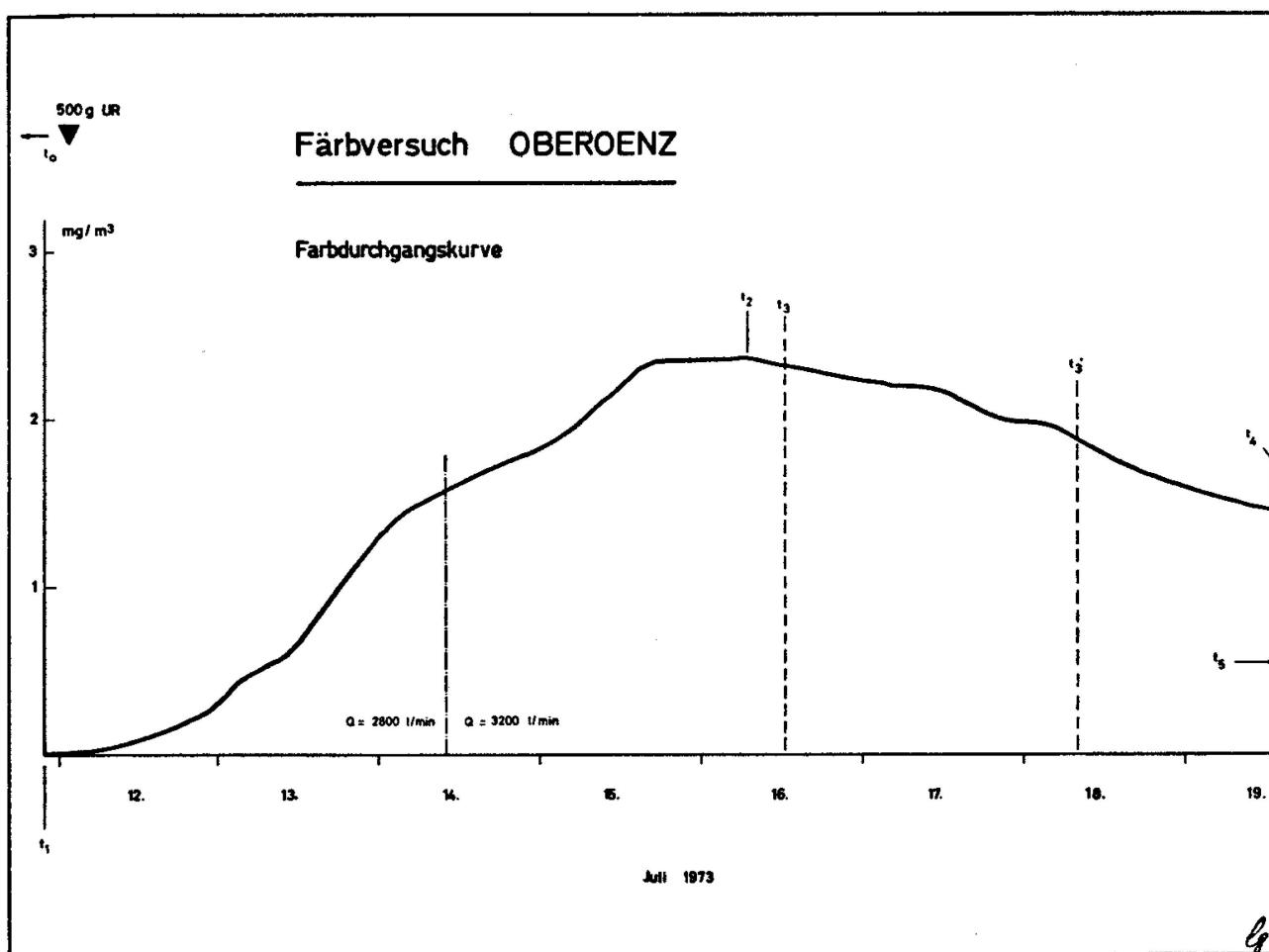


Fig. 3. Der Verlauf der Farbdurchgangskurve lässt auf diffuse Fliessverhältnisse im Untergrund schliessen, \blacktriangledown = Zeitpunkt der Einspeisung des Markierstoffs.

In der Tabelle 1 sind die quantitativen Beziehungen dargestellt:

ausgebrachter Farbstoff	in % der Einspeisungsmenge	in % der EM bei Ad = 20 %*
bis zum Versuchsabbruch = 52,59 g	10,5	13,0
+ Extrapolation über Versuchsende hinaus = 33,60 g	6,5	8,5
	17,0%	21,5%

Anteil des Extrapolationswertes am gemessenen Wert während der Versuchsdauer = 64%.

* Mit diesem Schätzwert soll die durch die Grundwasserabsenkung zusätzlich erfolgte Adsorption (Ad) von Farbstoff im Untergrund berücksichtigt werden.

Die Abstandsgeschwindigkeiten ergaben folgende Werte:

$$v_{a \max} = 23,30 \text{ m/d}$$

$$v_{a \text{ int}} = 7,60 \text{ m/d}$$

$$v_{a \text{ mit}} = 7,30 \text{ m/d}$$

$$v_{a \text{ mit'}} = 6 \text{ m/d}$$

$$v_{a \min} = \text{ca. } 2 \text{ m/d}$$

2.2.4. Interpretation und Besprechung der Resultate

Auch in diesem Falle hat sich die Mühe zusätzlicher Kontrollproben bei automatischem Betrieb gelohnt. «Wegen Ausfalls eines Potentiometers im Fluorometer am zweitletzten Tag mussten zur Konzentrationsbestimmung die Einzelproben herangezogen werden.

Die Farbdurchgangskurve (Fig. 3) zeigt einen relativ flachen Verlauf. Insbesondere fehlt der steile Anstieg der Konzentration von t_1 zum Konzentrations-Maximum. Daraus lässt sich schliessen, dass die Hauptfliessrichtung nicht in der Achse Einspeisungsstelle—Versuchsbrunnen liegt. Der Farbstoff dürfte sich mehr oder weniger diffus im Untergrund verteilt haben oder, wenn eine deutliche Hauptfliessrichtung vorliegt, nur randlich durch die Einwirkungen des Absenktrichters berührt worden sein. Der Verlauf der Grundwasserisohypsen im Bereich des Brunnens impliziert die vorliegende Farbdurchgangskurve nicht.

Der Farbstoff wurde in einen Baggerschlitz direkt ins Grundwasser eingespeist. In den folgenden Tagen liess sich beobachten, wie durch die Absenkung des Grundwassers ein Teil des Farbstoffes an der Bodenoberfläche hängen blieb. Der gleiche Vorgang dürfte sich auch im Schotterkörper selbst abgespielt haben. Wir dürfen daher nicht die ganze Einspeisungsmenge als wirksam betrachten. Es ist denkbar, dass diese Erscheinung den Verlauf der Farbdurchgangskurve mitbeeinflusst hat. Eine Extrapolation der Farbdurchgangskurve ist bei der gegebenen Ausgangslage problematisch.

Die bis zum Versuchsende ausgebrachte Farbstoffmenge von 10,5% ist zu gering, um eine verlässliche Berechnung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit zuzulassen. Mit 64% der effektiv wiedergefundenen Farbmenge ist der Extrapolationsanteil ausserordentlich hoch. Von den beiden errechneten mittleren Abstandsgeschwindigkeiten ist der zweite Wert von < 6 m/d der richtige Wert. t_3 wurde errechnet, um zu zeigen, dass als Berechnungsgrund-

lage nicht etwa nur der kurze Beobachtungszeitraum dienen kann. Die quantitative Berechnung mit dem Ad-Koeffizienten von 20% zeigt, dass auch mit dieser extremen Berechnungsgrundlage die Grössenordnung nicht verschoben wird.

Bis jetzt wurde noch nichts gesagt zum Umstand, dass am fünften Versuchstag die Pumpleistung von 2800 1/min auf 3200 1/min heraufgesetzt wurde. Wie weit dadurch die Farbdurchgangskurve beeinflusst wurde, ist schwierig zu sagen. Pumpleistungen sollten während eines Färbversuches unbedingt konstant gehalten werden.

23. Färbversuch Roggwil—Mange

2.3.1. Einleitung und Problemstellung

Das Versuchsgebiet liegt in den fluvioglazialen Schottern der Terrasse von Roggwil (Fig. 4). Diese Niederterrassenschotter zeichnen sich durch eine sehr gute Durchlässigkeit aus. Aeusserlich ist diese Eigenschaft am Vorhandensein von Wässermatten ersichtlich. Jene des Gruenholzes werden gröss-

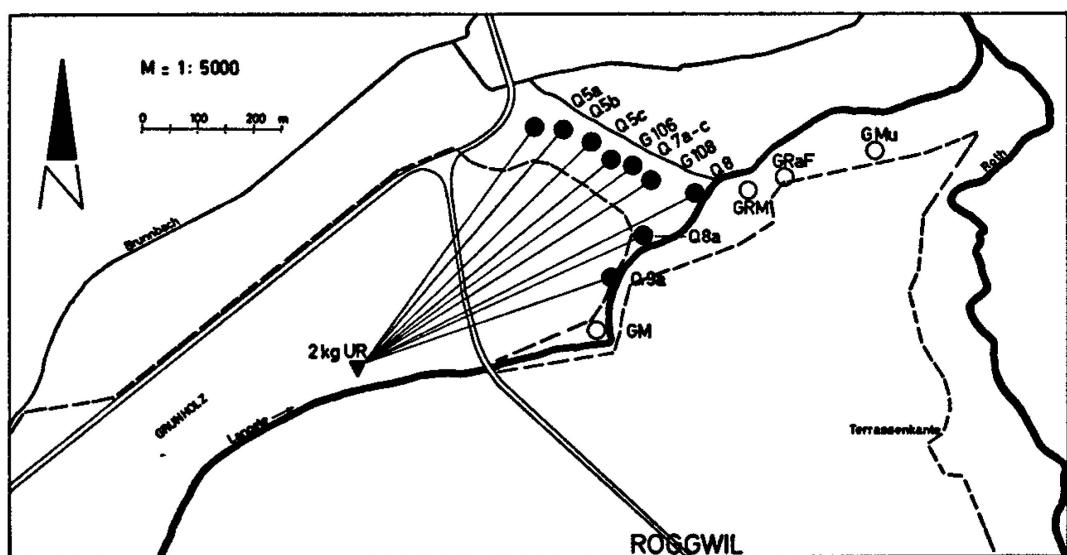


Fig. 4. Situationsplan zum Färbversuch Roggwil-Mange in den Niederterrassenschottern. Von der Einspeisungsstelle (▼) im unteren Gruenholz fliesst das Grundwasser fächerförmig der westlichen Quellgruppe (●) am nördlichen Terrassenrand zu. Im Wasser der östlichen Quellgruppe mit der Gemeindefassung GRM konnte kein Markierstoff nachgewiesen werden (○).

tenteils noch gewässert. Wie wir heute wissen, erfolgt beim Wässern eine Grundwasseranreicherung. Es darf als weitblickend bezeichnet werden, dass die Gemeinde Roggwil diesen Mattenstreifen als Wässermatten und damit als Grundwasseranreicherungsgebiet in der Ortsplanung ausgeschieden hat. Das Geographische Institut der Universität Bern hat 1971 im Gruenholz ein hydrologisches Testgebiet errichtet, um die Wässerungseinflüsse auf das Grundwasser zu erforschen.

Dabei stellte sich auch die Frage, wohin die bei den Wässerungen versickernden Wassermengen fliessen. Für die Wasserversorgung der Gemeinde Roggwil ist es wichtig, das Einzugsgebiet der Fassung abzugrenzen.

Da im Testgebiet die nötigen Messungen zur Kennzeichnung der hydrologischen Randbedingungen permanent durchgeführt werden, erübrigten sich spezielle Vorbereitungen. Die Ziele des Versuches waren die Bestimmung der Fliessgeschwindigkeiten und der Grundwasser-Fliessrichtung im untern Gruenholz; insbesondere sollte die Frage beantwortet werden, ob die auf der Höhe des Einspeisungspunktes (Fig. 4) versickernden Wässerwasser der Trinkwasserfassung in der Mange noch zufließen.

2.3.2. Ablauf des Versuches

Die Einspeisung von 2 kg Uranin erfolgte am 27. November 1973 um 9.30 Uhr ohne Vorlösung direkt in die Versickerungsstelle im untern Gruenholz (Fig. 4). Bei der Versickerungsstelle handelt es sich um das eigenartige Phänomen einer «Schotter-Schwinde», in der das Ueberwasser aus den Wiesenwässerungen (ca. 50 l min^{-1}) gurgelnd in einen Schlot von schuhgrossem Durchmesser fällt.

Probeentnahmen erfolgten vom 26. 11. 73 bis 13. 10. 74 an sämtlichen Quellaustritten des Terrassenrandes Gsteig—Mangi—Fryberg und in der Betriebsfassung der Firma Meyer AG im Paradiesli (Fig. 4).

2.3.3. Resultate der fluorometrischen Analysen

Positiv haben die Austritte westlich der Lanete — mit Ausnahme des Brunnens Meyer AG — reagiert. Negativ waren alle Brunnen östlich der Lanete. Resultatentafel der positiv reagierenden Quellaustritte:

Tabelle 2: Färbversuch Roggwil: Tabelle der Fliessgeschwindigkeiten

	Beginn des Farbdurchgangs	v_a max	Maximum des Farbdurchgangs	v_a int	v_a mit	v_a min	Abstand (s)
G108	29. 11.	292 m/d	4.12.	93 m/d	~ 7 m/d	~ 2 m/d	650 m
G106	30. 11.	200 m/d	10. 12.	46 m/d			600 m
Q 5a und 5b	1. 12.	122 m/d	24. 1. 74	9,5 m/d			550 m
Q 5c	1. 12.	150 m/d	12. 12. 73	40 m/d			600 m
Q 7a, 7b, 7c	30. 11.	200 m/d	6. 12. 73	69 m/d			625 m
Q 8a und 8	2. 12.	150 m/d	12. 12. 73	47 m/d			700 m
Q 9a	30. 11.	183 m/d	4. 12. 73	79 m/d			550 m

Die Farbdurchgangskurven sind in Figur 5 als Konzentrations-Zeitdiagramm dargestellt.

2.34. Hydrologische Auswertung

Auffallend ist das ungleiche Bild der Fliessgeschwindigkeiten. Während die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten und besonders die mittleren und minimalen in der gleichen Grössenordnung liegen, zeigen die intensiven Geschwindigkeiten starke Differenzen. Wenn wir versuchen, uns aufgrund dieser Resultate ein Bild der Fliessvorgänge im Untergrund zu machen, lassen sich etwa folgende Schlüsse ziehen:

Die Wässerungen haben hohe Spiegelschwankungen zur Folge, welche sich in verschiedenen Tiefen, besonders im lateralen Bereich, stark auf die Fliessgeschwindigkeiten auswirken können. Man kann sich ein sehr schnelles Abfliessen des Infiltrationswassers «auf der Kuppe des Grundwasserberges» vorstellen.

Etwas wahrscheinlicher dürfte die Hypothese von bevorzugten Wasserbahnen (drains) sein, die das Wasser sehr schnell zu leiten vermögen. Wir postulieren solche auf der Molasseoberfläche als Relikte tertiärer Erosion. Diese Vorstellung stimmt auch überein mit den hydrochemischen Resultaten, die die Wässerungseinflüsse nur «verzerrt» wiedergeben, d.h. als Mischwasser aus schnelleitenden drains und langsamer fliessendem autochthonem Grundwasser.

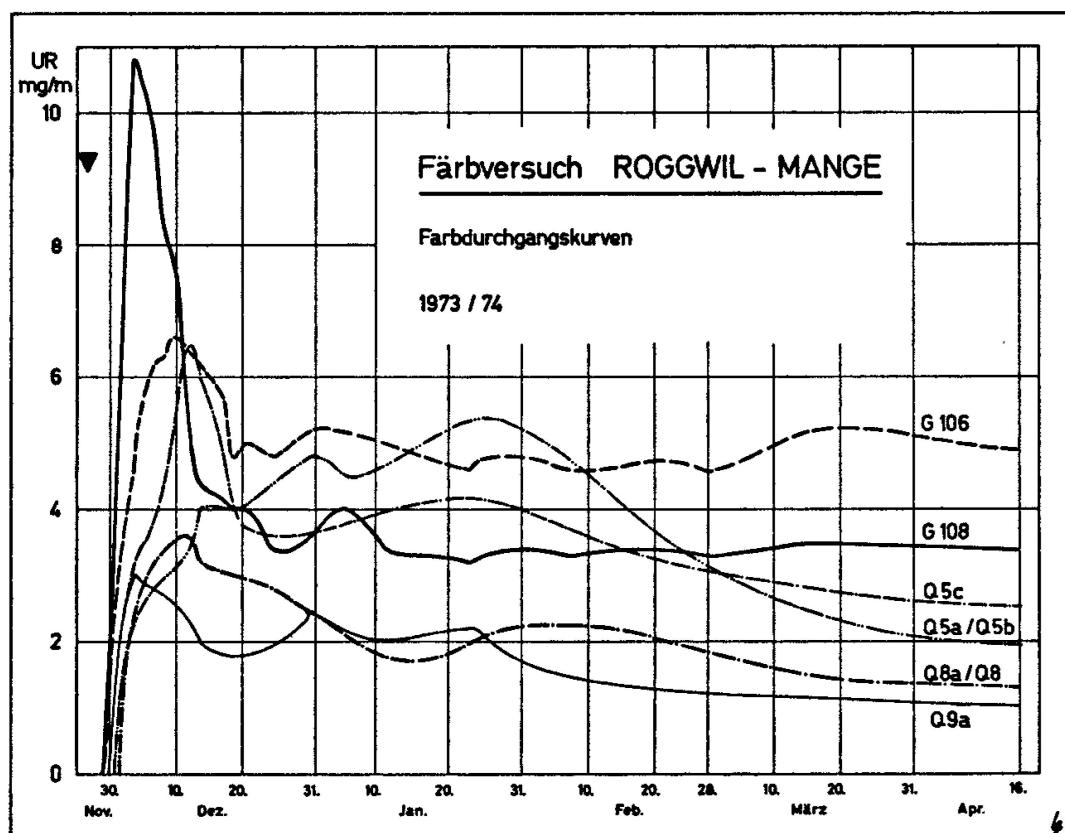


Fig. 5. Die Farbdurchgangskurven geben die Farbstoffkonzentration an, die während der Versuchsdauer an den einzelnen Beobachtungsstellen gemessen wurden. Am deutlichsten war der Farbdurchgang in der gefassten Quelle G 108. Diese scheint durch eine stark durchlässige Wasserbahn in den Schottern gespiesen zu werden. Gesamthaft verhalten sich alle Quellen der westlichen Quellgruppe ähnlich.

Erstaunlich ist die Reaktion im Brunnen Meyer AG. Während die nur einige Zehnermeter weiter nördlich liegende Quellgruppe 9 deutlich positiv reagierte, zeigten sich im genannten Brunnen nicht einmal Spuren. Dieser Brunnen wird offenbar aus Uferfiltrat der Langete gespiesen.

Die Fliessrichtung stimmt mit der Erwartung überein, die sich aus den Spiegel- und Quellergussmessungen ergeben hat, welche eine direkte Reaktion der westlichen Quellengruppe auf Wässerungen im Einspeisungsgebiet gezeigt hatten. Dass die östliche Quellgruppe mit der Gemeindefassung nicht direkt aus dem Versickerungsgebiet des untersten Gruenholzes gespiesen wird, ist aus hygienischer Sicht beruhigend. Die auf der Höhe der Einspeisungsstelle nur noch knapp über dem Molassefels fliessende Langete

stellt eine wirkungsvolle Trennungslinie dar, indem sie für das Grundwasser als Vorfluter wirkt.

2.4. Färbversuch Madiswil I

2.4.1. Problemstellung und Ziel des Versuches

Ein wichtiges Kriterium bei der Festlegung der Schutzzonen ist die Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund. Das Mass zur Berechnung der Aufenthaltszeit ist die Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers. Mit dem Färbversuch Madiswil sollte die Fliessgeschwindigkeit im Räume der Wasserfassung bestimmt werden. Weiter sollte der Versuch Angaben liefern über Fliessrichtung und quantitative Beziehungen.

Nähtere Hinweise zum speziellen Problem der Markierversuche lieferten die in ähnlichen Untergrundverhältnissen erfolgten oben beschriebenen Versuche. So waren wir namentlich auf eine hohe Fliessgeschwindigkeit gefasst und konnten das Versuchsprogramm entsprechend gestalten. Besondere Störungen waren weder vom Untergrund noch von der Wasserbeschaffenheit her zu erwarten.

2.4.2. Versuchsablauf

Die Einspeisung erfolgte am 4. 3. 1974 um 19.00 Uhr ins Piezometerrohr GW 240 in den Steinlenmatten Madiswil (Koord. 223 350/626 875, LK-Blatt Nr. 1128). Der Rohrdurchmesser des PVC-Rohres beträgt 200 mm (Schlitzung 5×2 cm vertikal, freie Eintrittsfläche = 15%, 3,5 m geschlitzt, 4 m voll).

In Momenteingabe wurden 500 g Uranin (UR), gelöst in 5 l Wasser, direkt über einen Schlauch ins Grundwasser eingespiesen. Die Spülwassermenge betrug 25 Liter, die Nachspülung erfolgte am 15. 3. 1974, 18.15 Uhr, mit 30 Liter Wasser.

Beprobt wurden die neue Fassung (MQ 1) und die alte Fassung (MQ 2) Madiswil der Gemeinde Langenthal in der Zeit vom 4. 3. 1974 bis 11. 5. 1974. Tests zeigten, dass eine sorgfältig genommene Eintauchprobe in der Zulaufrohrmündung einwandfreie Resultate erbrachte.

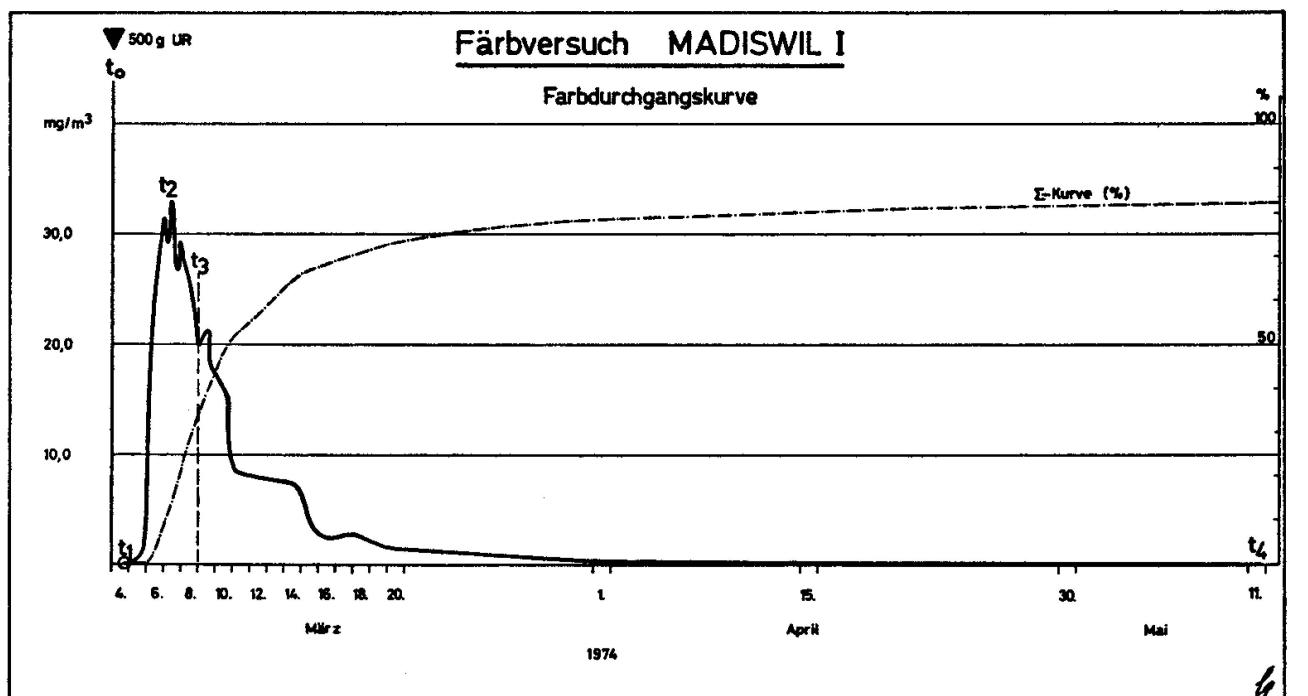


Fig. 6. Der Farbdurchgang erfolgte hier rasch und wie die Summenkurve zeigt auch beinahe vollständig. Der asymptotische Abfall der Kurve ist typisch. Er führt dazu, dass viele Versuche vor dem Erreichen der Nachweigrenze (Nullwert) aus zeitlichen Gründen abgebrochen werden.

2.4.3. Resultate der fluorometrischen Analysen

Die Ermittlung der Farbstoffkonzentration der einzelnen Proben ergab das in Tabelle 3 zusammengestellte Resultat. Hier die wichtigsten Daten von MQ 1:

Beginn des Farbdurchgangs: 5. 3. 1974, 01.00 Uhr
 Maximum des Farbdurchgangs: 7. 3. 1974, 11.45 Uhr
 Medianwert: 8. 3. 1974, 24.00 Uhr
 Ende des Farbdurchgangs: am 11. 5. 1974

In der Graphik Figur 6 sind diese Werte in Form eines Konzentrations/Zeit-Diagrammes dargestellt. Die stichprobenartige Ausmessung der Fluoreszenzspektren liess eindeutig auf Uranin schliessen. Sämtliche Proben von Q 2 zeigten negative Werte.

Mit Hilfe der Konzentrationswerte und des Konzentrations/Zeit-Diagrammes liessen sich die wieder ausgetretenen Farbstoffmengen berechnen oder graphisch ermitteln:



Madiswil, Steinlenmatte. Versuche zur Grundwasseranreicherung der Fassung Madiswil
der Gemeinde Langenthal 1974.

Aufn. H. Scheidiger, Langenthal

Einspeisungsmenge = 500 g UR = 100%
 ausgetretener Farbstoff bei M Q 1 = 412 g UR = 82,4%

Tabelle 3: Färbversuch Madiswil. Quellertrag — Farbstoffkonzentration

Datum	l/min	m ³ /d	mg/m ³	mg/d	mg
März 4.	1860	2678	0	0	0
5.	1860	2678	0,625	1674	1674
6.	1680	2419	21,9	52916	54589
7.	1680	2419	27,8	67278	121868
8.	1660	2390	25,0	59750	181618
9.	1640	2360	19,4	45725	227343
10.	1620	2333	14,1	32808	260151
11.	1620	2333	8,28	19320	279471
12.	1620	2333	7,81	18227	297697
13.	1620	2333	7,50	17498	315195
14.	1620	2333	7,19	16768	331963
15.	1620	2333	4,22	9842	341806
16.	1620	2333	2,50	5833	347638
17.	1620	2333	2,66	6197	353835
18.	1620	2333	2,34	5468	359308
19.	1800	2592	1,88	4860	364163
20.	1840	2650	1,41	3727	367890
21.	1860	2678	1,41	3766	371655
22.	1860	2678	1,25	3348	375003
23.	1860	2678	1,09	2929	377932
24.	1860	2678	0,938	2511	380443
25.	1820	2621	0,938	2459	382901
26.	1760	2534	0,938	2377	385278
27.	1660	2390	0,781	1867	387145
28.	1700	2448	0,781	1913	389058
29.	1700	2448	0,625	1530	390588
30.	1700	2448	0,469	1148	391735
31.	1700	2448	0,469	1148	392883
April 1.	1760	2534	0,313	792	393675
2.	1700	2448	0,313	766	394441
3.	1700	2448	0,313	766	395207
4.	1700	2448	0,250	612	395819
5.	1700	2448	0,250	612	396431

Datum	1/min	m ³ /d	mg/m ³	mg/d	mg
6.	1700	2448	0,250	612	397043
7.	1700	2448	0,250	612	397655
8.	1700	2448	0,250	612	398267
9.	1700	2448	0,188	459	398726
10.	1680	2419	0,188	455	399181
11.	1680	2419	0,188	455	399636
12.	1680	2419	0,188	455	400091
13.	1760	2534	0,188	476	400567
14.	1760	2534	0,188	476	401043
15.	1760	2534	0,188	476	401519
16.	1760	2534	0,188	476	401995
17.	1760	2534	0,188	475	402470
18.	1760	2534	0,188	475	402945
19.	1620	2333	0,188	439	403384
20.	1620	2333	0,188	439	403823
21.	1620	2333	0,188	439	404262
22.	1660	2390	0,188	449	404711
23.	1660	2390	0,188	449	405160
24.	1660	2390	0,188	449	405609
25.	1660	2390	0,156	373	405983
26.	1660	2390	0,156	373	406356
27.	1660	2390	0,156	373	406729
28.	1660	2390	0,156	373	407102
29.	1660	2390	0,156	373	407475
30.	1660	2390	0,156	373	407848
Mai 1.	1660	2390	0,156	373	408220
2.	1660	2390	0,156	373	408594
3.	1620	2333	0,156	364	408958
4.	1620	2333	0,156	364	409322
5.	1620	2333	0,156	364	409686
6.	1660	2390	0,156	373	410059
7.	1620	2333	0,156	364	410423
8.	1620	2333	0,156	364	410787
9.	1620	2333	0,156	364	411151
10.	1660	2390	0,156	373	411524
11.	1660	2390	0,125	299	411822

2.4.4. Hydrologische Relevanz der fluorometrischen Daten

Die Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeiten ergab:

$$v_{a \max} = 13,333 \text{ m/h oder } 320 \text{ m/d}$$

$$v_{a \text{ int}} = 1,96 \text{ m/h oder } 47 \text{ m/d}$$

$$v_{a \text{ mit}} = 0,79 \text{ m/h oder } 19 \text{ m/d}$$

$$v_{a \min} = 1,16 \text{ m/d}$$

Trotzdem die gemessenen Werte nicht in einem Absenkungstrichter, verursacht durch Pumpbetrieb, gemessen wurden, liegen die Werte aus Madiswil hoch. Die sehr grosse Differenz zwischen maximaler und mittlerer Abstandsgeschwindigkeit und der zögernd einsetzende Farbdurchgang zu Beginn lassen erkennen, dass wahrscheinlich auch hier bevorzugte Wasserbahnen (drains, Präferenzströmungen) bestehen, die sehr kleine Wassermengen sehr schnell zu leiten vermögen.

Die Prozentzahl von 82,4% wiedergefundenen Farbstoffes zeigt, dass bei den damaligen hydrologischen Verhältnissen rund $\frac{4}{5}$ des im Querschnitt der Fassung talwärts fliessenden Grundwassers gefasst worden ist. Zeitlich wird dieser Anteil etwas variiert haben. Bei Niedrigwasserstand dürfte der ungefassste Anteil heute nur noch rund 10% betragen, bei Hochwasserstand kann dieser Anteil auf das Mehrfache ansteigen.

Dieses Versuchsergebnis stimmt überein mit der gemessenen Grundwassermächtigkeit, die grösser sein muss als die Sperriegelhöhe, mit den Ergebnissen der Qualitätsuntersuchungen und der Tatsache, dass die Fassung Q 2 aus Hangwasser gespiesen wird.

2.5. Färbversuch Madiswil II

2.5.1. Einleitung und Problemstellung

Dieser Versuch erfolgte im Zuge der Untersuchungen zur Grundwasseranreicherung der Madiswiler Fassung. Aus dem ersten Versuch waren die Abstandsgeschwindigkeiten des horizontalen Fliessens bekannt, ebenso die Fliessrichtung. Neben der Ermittlung der hydrologischen Grösse Sickergeschwindigkeit sollte mit diesem Versuch besonders auch eine methodische

Neuigkeit erprobt werden. Der Farbstoff wurde nicht in flüssiger, sondern in fester Form in die Bodenschicht eingespeist. Dabei gingen wir von der Annahme aus, dass bei jedem Anreicherungsstoss über den Filterkörper ein Teil der Farbe gelöst und mit dem Sickerwasser in die Tiefe geführt würde. Dieser Vorversuch sollte zeigen, ob mit fluoreszierenden Tracern die natürliche Sickergeschwindigkeit bestimmt werden kann. Der Verlauf der Farbdurchgangskurve sollte Rückschlüsse auf das allgemeine Fliessverhalten bei Anreicherung des Grundwassers über Wässermatten geben.

2.5.2. Ablauf des Versuches

Spezielle Vorbereitungen zu diesem Versuch erübrigten sich, da die nötigen hydrologischen Messungen für den Anreicherungsversuch durchgeführt werden. Soweit relevant werden sie im Verlaufe des Versuchsberichtes aufgeführt.

Die Einspeisung erfolgte in folgender Form: 250 g kristallisiertes Uranin wurde in ein Stoffsäckchen eingenäht und dieses in den A-Horizont, 5 cm unter die Oberfläche, eingebbracht. Es wurde darauf geachtet, dass die Bodenschicht möglichst unverletzt blieb, so dass in bezug auf die gesamte vertikale Sickerstrecke von ungestörten Verhältnissen gesprochen werden kann (20. 8. 1974, 19.45 Uhr, 5 m südlich Piezometer Nr. 240). Die Probeentnahmen erfolgten vom 20. August bis zum 23. Oktober 1974.

2.5.3. Resultate der fluorometrischen Analysen

Die wichtigsten Daten des Farbdurchgangs:

Beginn: 21. 8. 1974 mit Probe von 22.00 Uhr
Maximum absolut: 5. 9. 1974
Medianwert: 6. 9. 1974
Ende: 4. 10. 1974

In der Graphik Figur 7 sind die Werte in Form eines Konzentrations-/Zeitdiagrammes dargestellt. Die Berechnung der wiederausgetretenen Farbstoffmenge ergab rund 160 g. Dies entspricht 64% der Einspeisungsmenge.

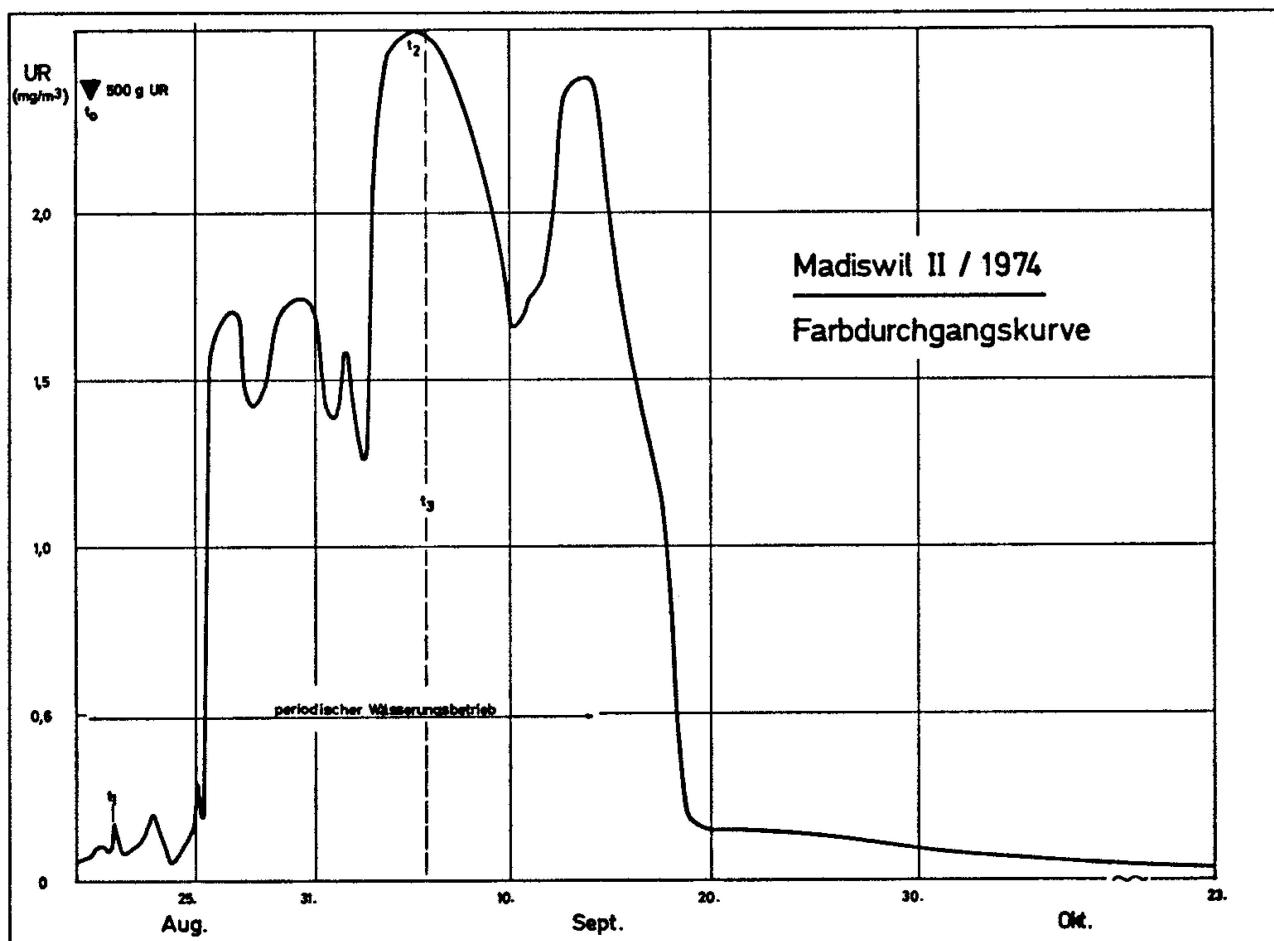


Fig. 7. Die Ermittlung der Sickergeschwindigkeit mittels Färbversuch. Der Farbdurchgang ist abhängig von der zeitlichen und mengenmässigen Verteilung der Infiltrationen (Wässerwasser).

2.5.4. Hydrologische Auswertung

Bei den Abstandsgeschwindigkeiten (v_a), wie sie in den übrigen Versuchen dieses Beitrages besprochen werden, handelt es sich definitionsgemäss um jene des horizontalen Fliessens. Im vorliegenden Falle haben wir es mit einer Fliessgeschwindigkeit zu tun, die zusätzlich eine vertikale Komponente beinhaltet ($v_{a'}$).

$$v_{a' \max} = 90 \text{ m/d}$$

$$v_{a' \text{ int}} = 5,6 \text{ m/d}$$

$$v_{a' \text{ mit}} = 5,3 \text{ m/d}$$

$$v_{a' \min} = 2 \text{ m/d}$$

Die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeiten an sich scheint für diesen Fall nicht sinnvoll. Die periodischen Wässerungen, für den Transport des Uranins in die Tiefe verantwortlich, sind offensichtlich für die Abstandsgeschwindigkeiten stark mitbestimmend. Als Vergleich und Berechnungsbasis für die reine Sickergeschwindigkeit können sie jedoch verwendet werden.

Der Einfluss der periodischen Wässerungen auf den Verlauf des Farbdurchganges zeigt die Figur 7. Mit dem Einsetzen der Wässerungen beginnt der Farbdurchgang, mit dessen Abschluss endet er. Die Ausschwemmungen haben noch rund vier Tage angehalten, womit auch ein Hinweis auf die Speicherfähigkeit dieses Schotterkörpers gegeben wäre. Den besagten Einfluss zeigt aber auch der Vergleich der Abstandsgeschwindigkeiten mit jenen aus dem ersten Madiswiler Versuch. Die dort ermittelten Werte unterscheiden sich von den hier gefundenen um folgende Faktoren:

$$v_a \text{ max} : v_{a'} \text{ max} = 3,5 : 1$$

$$v_a \text{ int} : v_{a'} \text{ int} = 8,4 : 1$$

$$v_a \text{ mit} : v_{a'} \text{ mit} = 3,6 : 1$$

$$v_a \text{ min} : v_{a'} \text{ min} = 0,58 : 1$$

Während sich für die drei erstgenannten Geschwindigkeiten die Verzögerung durch den zusätzlichen Sickerweg deutlich bemerkbar macht, liegt die minimale Abstandsgeschwindigkeit, bedingt durch die starken Ausschwemmungen der grossen Sickerwassermengen, rund doppelt so hoch.

Unter der Annahme, dass die Abstandsgeschwindigkeiten (v_a) gleich geblieben sind wie im ersten Versuch, lässt sich die maximale Sickergeschwindigkeit (v_s) berechnen:

$$v_s = 0,56 \text{ m/h oder } \sim 13 \text{ m/d}$$

Das angewandte Verfahren hat sich damit bei geeigneter Modifizierung der Versuchsanlage als gangbarer Weg zur Bestimmung der natürlichen Sickergeschwindigkeit erwiesen.

Der Wert von 64% für den wiedergefundenen Farbstoff stimmt in der Grössenordnung mit dem Wert von 82,4% des ersten Versuchs überein. Die Differenz erklärt sich einerseits durch Verluste im Boden durch Trockenfallen nach Abschluss der Grundwasseranreicherung und andererseits durch das ungenutzte Abfliessen von Grundwasser während der Beschickung mit Spitzenmengen, die über dem Fassungsvermögen der Anlagen liegen.

3. Vergleichende Betrachtung der Feldversuche

3.1. Methodische Erfahrungen

In den beschriebenen Versuchen wurde ausschliesslich der fluoreszierende Farbtracer Uranin eingesetzt. Dieser Farbstoff hat sich in Lockergesteinsmassen als der weitaus geeignetste erwiesen [12, 13]. Vom Markierstoff her lassen sich damit die Versuche ohne weiteres vergleichen.

Die Einspeisungen erfolgten mit Ausnahme des Versuches «Madiswil II» gleichartig als «Momenteingabe». Die wirkliche Dauer der Momenteingaben erstreckte sich von einigen Sekunden (Oberönz, Roggwil) bis einigen Minuten (Madiswil I, Langenthal). Die Ausweitung in Minuten ist durch die nötige Einspeisung über Schläuche direkt ins Grundwasser bedingt. Die Ansicht, der Tracer müsse während längerer Zeit (Stunden) kontinuierlich eingegeben werden, erachten wir als falsch. Die theoretischen Betrachtungen dieser Art Markierversuche gehen vom einzelnen Wasserteilchen aus, dessen Fliessrichtung und dessen Fliessgeschwindigkeit gesucht ist. Sie gehen auch von der Wassermenge aus, die in einem bestimmten Zeitpunkt an der Einspeisungsstelle vorhanden ist und deren Mischungsvorgänge während des Fliessens und deren Durchgang als «Wolke» an den Probeentnahmestellen interessieren. Die Wahl der Entfernung ist, wie der Langenthaler Versuch zeigte, wesentlich. Besonders bei gestörten Verhältnissen im Untergrund, wie Betrieb von Probebrunnen mit hoher Leistung, können sich lokal die gesamten Fliessverhältnisse ändern.

In allen Versuchen angewandt wurde auch das methodische Prinzip der Einspeisung von relativ hohen Farbstoffmengen. Trotz der Möglichkeit, auch geringste Spuren nachweisen zu können, scheint es uns wichtig, einen (meist teuren) Versuch nicht durch geringe Einspeisungsmengen zu gefährden, da die Kosten des Markierstoffes in keinem Verhältnis zu den übrigen Kosten eines Versuchs stehen. Die Berechnung der Einspeisungsmengen nach der von uns empirisch gefundenen Formel hat sich in allen Fällen als grössenordnungsmässig richtig erwiesen.

Die Dauer der Probeentnahmen erstreckt sich selbst bei Versuchen in durchlässigen Schottern auf Wochen bis Monate. Bei praxisorientierten Versuchen müssen die Entnahmen aus technischen oder finanziellen Gründen oft drastisch beschränkt werden. Damit können wertvolle Informationen ver-

loren gehen, wie beispielsweise beim Versuch Langenthal. Beschränkung der Entnahmedauer heisst meistens Sparen am falschen Ort.

Unserem hochtechnisierten Zeitalter angepasst wäre eine möglichst volle Automatisierung der Probeentnahme, resp. eine Direktmessung des Tracers im Felde (s. Versuch Langenthal, Seite 146). Ob automatische Ueberwachung oder Entnahme von Einzelproben mit nachfolgender Messung im Labor, wird in jedem Falle neu zu entscheiden sein. Während in den Madiswiler Versuchen eine Direktmessung wünschenswert gewesen wäre, aber wegen anderweitiger Beanspruchung des Fluorometers nicht möglich war, kam für die vielen Einzelquellen des Roggwiler Versuches nur die Einzelprobeentnahme in Frage. Der Direktmessung im Felde muss ein auch bei schwierigen Feldbedingungen betriebssicheres System zur Verfügung stehen. Wie frühere Versuche zeigten, ist die Enttäuschung sonst gross.

3.2. Hydrologische Gesichtspunkte

Die Fliessrichtungen sind an den jeweiligen Standort gebunden und erlauben keine vergleichende Betrachtung. Wechselnde Fliessrichtungen in verschiedenen Tiefenstufen, wie sie u.a. Käss [11] angibt, sind bei unsren relativ geringmächtigen Grundwasserleitern nicht zu erwarten. Die technischen Voraussetzungen zur Lösung dieser Frage fehlten jedoch. Es dürfte aber zutreffen, dass lokale Fliessrichtungen (vgl. Versuch Oberönz) nicht mit den grossräumigen übereinstimmen. Dies besonders in Randgebieten, wo sich Hangwassereinflüsse oder Uferfiltrat bemerkbar machen oder in der näheren Umgebung von Quellen, Aufstössen und Brunnen.

In der Tabelle 4 sind die ermittelten Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers zusammengestellt. Nicht aufgeführt sind die Werte des Versuches Madiswil II, da es sich nicht um reine Abstandsgeschwindigkeiten handelt. Aus dem Roggwiler Versuch wird nur der Mittelwert aller ermittelten Geschwindigkeiten als Vergleichsbasis angenommen.

Die Schwankungsbreite ist naturgemäß bei der maximalen Abstandsgeschwindigkeit am grössten (12,7), um bis zur minimalen (1,7) stark abzunehmen. Im Ueberblick zeigen sich zwei Gruppen, die sich bezüglich der maximalen und der intensiven Geschwindigkeiten deutlich unterscheiden: erstens die beiden Versuche Langenthal und Oberönz in Niederterrassen-schottern und nicht durch Wässerungen beeinflusst und zweitens Roggwil



Die Murg bei der Ruuschi, Walliswil.

Aufn. F. Ramseyer, Langenthal

(Wässerungen) und Madiswil II in den Alluvionen des Langetetales. Erstaunlicherweise stellt diese Geschwindigkeit den absolut grössten Wert dar.

Da ähnliche Werte auch in weiteren Versuchen in Mittellandschottern gemessen wurden, erachten wir diese Zahlen als gültigen Näherungswert für die Schotter des nördlichen Alpenvorlandes zwischen Aare und Rhein.

Die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten in den Schottern des Oberaargaus liegen jedenfalls in der Grössenordnung von Zehner bis Hunderten von Metern. Die intensiven Abstandsgeschwindigkeiten liegen bereits ein Zehnerpotenz niedriger. Es ist dies die Grössenordnung, mit der auch die mittleren und die minimalen Geschwindigkeiten bei grossen Ausgangsgeschwindigkeiten weiter abnehmen.

Tabelle 4: Uebersicht Fliessgeschwindigkeiten

Versuch	v_a max (m/d)	v_a int (m/d)	v_a mit (m/d)	v_a min (m/d)
Langenthal	545 ^{1, 2} 27 ^{1, 2} 23	117 ^{1, 2} 11 ¹	5 ¹	1 ¹
Oberönz	23	7,6	6	2
Roggwil	Max 292 Mittel 185 Min 122	93 55 9,5	7	2
Madiswil I	320	47	19	1,2
arithm. Mittel \bar{x}	138	30	9,3	1,6
Standard- abweichung s	144	24	6,6	0,5
Min Max	12,7	7,2	3,8	1,7

¹ durch Pumpbetrieb stark beeinflusste Werte (Absenkungstrichter)

² zur Mittelbildung nicht berücksichtigte Werte

Das breite Spektrum der Resultate lässt auf heterogene Untergrundverhältnisse schliessen. Diese Heterogenität ist weniger hinsichtlich der lithofaziellen Zusammensetzung als in bezug auf die Durchlässigkeit ausgeprägt.

Die hohen Grundwassergeschwindigkeiten haben Konsequenzen namentlich für die Schutzzonenfrage der Trinkwasserfassungen. Sie führen bei An-

wendung der bisher gültigen Kriterien (20-, 50-Tage-Grenzen) zu politisch nicht realisierbaren bis unsinnigen (über Wasserscheiden hinaus) Schutz-
zonen-Dimensionen. Da die gemessenen Fliessgeschwindigkeiten Fakten darstellen, muss die Korrektur bei den Kriterien angebracht werden.

Die Verschiedenartigkeit der Resultate zeigt, dass noch längst nicht alle Fragen der Grundwasserbewegungen in unseren Lockergesteinsmassen geklärt sind. So dürfte denn eine Uebertragung der limnologischen Erkenntnis, dass jeder See ein Individuum darstelle, für die Grundwasservorkommen zulässig sein. Wir müssen heute annehmen, dass die einzelnen Grundwasservorkommen in ihrer Gesamtheit zwar den gleichen Gesetzmässigkeiten folgen, dass jedoch die Einzelheiten, die den besonderen Charakter prägen, in jedem Gebiet neu erforscht werden müssen.

Literaturverzeichnis

- ¹ Batsche H. u.a.: Vergleichende Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Graz 1967.
- ² Batsche H. u.a.: Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversickerung in den Jahren 1967—1969. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Graz 1970.
- ³ Behrens H.: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Feststellung von Fliesswegen im Grundwasser.
- ⁴ Binggeli V.: Landschaft und Menschen im Oberaargau. Jahrbuch Oberaargau I, Langenthal 1958.
- ⁵ Binggeli V.: Gesteinsaufbau und Landschaftsform. Jahrbuch des Oberaargaus V, Langenthal 1962.
- ⁶ Binggeli V.: Hydrologische Studien im zentralen schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete. Beiträge zur Geologie der Schweiz — Hydrologie, Bern 1974.
- ⁷ Binggeli V. und Leibundgut Ch.: Zur Lösung der wasserwirtschaftlichen Probleme in der Region Langenthal/Langetetal, Flusskorrektion und Grundwasserschutz und Halbnatürliche Grundwasseranreicherung. Schweizerische Bauzeitung, Zürich 1974.
- ⁸ Gygax F. und Schwab W.: Neue Wege in der Markierung von Grundwasser. *Geographica Helvetica*, 1969.
- ⁹ Käss W.: Die unmittelbare Bestimmung von Uranin-Spuren bei Färbversuchen. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Graz 1964.
- ¹⁰ Käss W.: Erfahrungen mit Uranin bei Färbversuchen. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Graz 1967.
- ¹¹ Käss W.: Grundwasser-Markierungen im Pleistozän der Freiburger Bucht. Deutsches Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Hannover 1972.

- ¹² Leibundgut Ch.: Anwendung von Markierfarbstoffen in der Hydrologie unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse.
Geographisches Institut der Universität Bern, Bern 1973.
- ¹³ Leibundgut Ch.: Fluoreszierende Markierfarbstoffe in der Hydrologie. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Neue Folge, 31. Band, Bern 1974.
- ¹⁴ Leibundgut Ch.: Beiträge zur Hydrologie des Oberaargaus. Bern 1974.
- ¹⁵ Leibundgut Ch. und Binggeli V.: Schutzzonenbestimmung für die Fassung Madiswil der Wasserversorgung Langenthal. Langenthal 1975.
- ¹⁶ Leibundgut Ch. und Binggeli V.: Grundwasseranreicherung der Madiswiler Fassung mittels Wässermatten. Langenthal 1975.
- ¹⁷ Zötl J.: Die Untersuchung unterirdischer Wässer mittels künstlicher und natürlicher Tracer.
Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 2, Hannover 1972.