

Karsthydrogeologie im südlichen Berner Jura

Autor(en): **Rutsch, Rolf, F. / Schwab, Werner / Thalmann, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **62 (1969)**

Heft 1

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163702>

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.

Zur Karsthydrogeologie im südlichen Berner Jura

von ROLF F. RUTSCH, WERNER SCHWAB und HANS THALMANN

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wasserversorgung der Stadt Biel deckt einen wesentlichen Teil ihres Trink- und Brauchwasserbedarfs aus der Merlinquelle, einer Karstquelle, welche aus einem Schlund in der Schlucht der Suze nördlich Frinvillier im südlichen Berner Jura zutagetritt. Grundwasserleiter dieser in ihrer Schüttung ausserordentlich stark schwankenden Quelle sind die verkarsteten Kalke des Ob. Malm («Séquanien»-Kalke, Reuchenetteformation und Twannbachformation) im Südschenkel der Chaseral-Antiklinale. Die Grundwassersohle wird durch die Dachfläche der Effingermergel gebildet.

Da das mutmassliche Einzugsgebiet dieser Quelle in den letzten Jahren teilweise überbaut worden ist, musste die Frage abgeklärt werden, ob zwischen diesem Siedlungsgebiet und der Merlinquelle ein hydrologischer Zusammenhang besteht. Untersuchungen hierüber wurden im Frühjahr 1968 anhand eines Färbeversuchs mit Sulforhodamin G extra unter Verwendung eines Turner-Fluorometers durchgeführt.

Das erste Auftreten des Färbestoffs – die Distanz zwischen Impfstelle und Quellpunkt beträgt in der Luftlinie etwa 7 km – wurde bereits nach 16 Stunden festgestellt, was einer maximalen Abstandsgeschwindigkeit von 437 m/h entspricht. Die Geschwindigkeit der Höchstkonzentration beträgt 368 m/h, die Schwerpunktgeschwindigkeit 311 m/h. Die Zeit von der Impfung bis zum Zeitpunkt, da in der Merlinquelle zuletzt mit Sicherheit Färbestoff festgestellt wurde, beträgt 19 Tage; vom eingeschwemmten Färbestoff wurden beim Quellpunkt 88,5% wiedergefunden.

Damit ist der hydrologische Zusammenhang zwischen dem Siedlungsgebiet bei Prés d'Orvin und der Merlinquelle eindeutig nachgewiesen, und es werden die unerlässlichen Schutzmassnahmen durchzuführen sein.

Ausser der Merlinquelle wurde eine Reihe weiterer Quellen in der Schlucht der Suze, im Tal von Orvin und am Südrand des Kettenjuras auf einen eventuellen Färbestoffgehalt untersucht; keine dieser Quellen hat auf den Färbestoff reagiert. Die Châtelquellen, die nördlich der Merlinquelle in der Suzeschlucht austreten, gehören einem tieferen Karststockwerk an, wobei die Birnenstorferkalke den Grundwasserleiter bilden.

Einleitung

Die Stadt Biel deckt einen wesentlichen Teil ihres Trink- und Brauchwasserbedarfs aus der Merlinquelle¹⁾, einer Karstquelle, die auf der westlichen Talflanke der Suze nördlich Frinvillier (Friedliswart) zutagetritt.

Die Verfasser haben im Auftrag der Wasserversorgung Biel seit 1955 hydrogeologische Untersuchungen über diese Quelle durchgeführt, wobei namentlich auch die Fragen nach der Umgrenzung des Einzugsgebietes, der gütemässigen Beeinträchtigungsmöglichkeiten und der Errichtung einer Schutzzone abzuklären waren.

¹⁾ In älteren Berichten wird sie auch als Schwarzbrünli bezeichnet. Im Jahr 1967 hat die Merlinquelle 54% des Wasserbedarfs von Biel gedeckt.

Im Frühjahr 1968 haben wir einen Färbeversuch durchgeführt, der zu interessanten hydrogeologischen Erkenntnissen geführt hat; in der vorliegenden Arbeit sind die Resultate dieser Untersuchungen zusammengefasst.

Die Verfasser danken Herrn Dir. E. Renz für die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Arbeitsergebnisse, ferner für mannigfache Hilfe den Herren W. Schiess und R. Meyer von der Wasserversorgung der Stadt Biel, Herrn Prof. Dr. F. Gygax (Geographisches Institut der Universität Bern), Herrn Dr. E. Baumgartner (Kant. Laboratorium, Bern) und Herrn Dr. E. Bosset (Inspecteur cantonal des eaux, Lausanne).

Quellpunkt, Schüttung

Der Standort des Quellpunktes der Merlinquelle ist aus Tafel II ersichtlich. Koord.: Ca. 585.900/ca. 224.340/ca. 535 m ü. M.

Die Schüttung schwankt, wie das bei Karstquellen häufig der Fall ist, ausserordentlich stark. Es sind folgende Extremwerte bekannt:

Minimum: 4,7 m³/min.

Maximum: 540 m³/min. (geschätzt)

Geologische Situation

Tektonik

Die Merlinquelle tritt aus einem Schlund²⁾ in den Kalksteinen im Südschenkel der Chasseral-Antiklinale zutage, die mit ca. 60 bis 70° nach Süden einfallen (vgl. H. THALMANN 1966, W. SCHÜRER 1928). Dieser Südschenkel setzt sich, SW-NE streichend, nach Westen gegen Orvin und Les Prés d'Orvin fort.

Östlich des Quellaustritts wird die Antiklinal-Südflanke durch die Schlucht der Suze quergeschnitten und streicht nach Osten in die Forêt de la Paroi (Montagne de Romont-Antiklinale) weiter. Die Klus der Suze liegt vermutlich im Bereich einer Axialdepression der Falte.

Im Süden schliesst an die Chasseral-Antiklinale die Synklinale von Orvin-Vauffelin an, deren Achse ungefähr dem Talzug Frinvillier-Orvin parallel läuft. Sie wird ihrerseits durch die Seeketten-Antiklinale und im Westen durch die Mont Sujet (Spitzberg)-Antiklinale begrenzt.

Stratigraphie

Der Quellpunkt der Merlinquelle liegt in den Kalksteinen der Reuchenetteformation («Kimmeridgien»), die hier eine Mächtigkeit von ca. 150 m aufweist. Das Liegende bilden die ca. 120 m mächtigen Kalke des «Séquanien», die ihrerseits von den Effingermergeln («Argovien») unterlagert werden.

Im Hangenden der Reuchenetteformation folgt die ebenfalls vorwiegend kalkig ausgebildete, hier ca. 50+x m mächtige Twannbachformation («Portlandien»).

Als Füllung der Orvin-Vauffelin-Synklinale sind östlich Frinvillier Unterkreidekalke und -mergel nachgewiesen (THALMANN 1966: 57); den Kern der Synklinale bilden Molassesedimente.

²⁾ Terminologie nach D. PFEIFFER.

Im Tal von Orvin sind diese Festgesteine durch pleistozäne (Moräne, Schotter) und holozäne (Gehängeschutt, Blockschutt usw.) Lockergesteine bedeckt.

Hydrogeologische Situation

Vgl. Tafeln II und III und Fig. 1.

Grundwasserleiter der Merlinquelle sind die Kalke der Twannbach- und Reuchenetteformation sowie des «Séquanien». Diese Kalke sind verkarstet, wobei über die Beschaffenheit der Karsthohlräume ausser der durch Froschmänner untersuchten unmittelbaren Nachbarschaft des Quellaustritts bis jetzt nichts bekannt war. Der Färbeversuch lässt vermuten, dass zumindest ein grösseres Becken vorhanden ist (siehe Seite 294).

Die *Grundwassersohle* wird durch die Dachfläche der Effingermergel gebildet.

Grundwasserscheide ist im Abschnitt zwischen Forêt de Châtel und Les Coperies die Oberfläche der Effingermergel, soweit sie südlich des Antiklinalscheitels der Chaseral-Antiklinale gelegen ist, im Westen bildet entsprechend der Scheitel der Mont-Sujet-Antiklinale die Trennlinie (vgl. Tafel II).

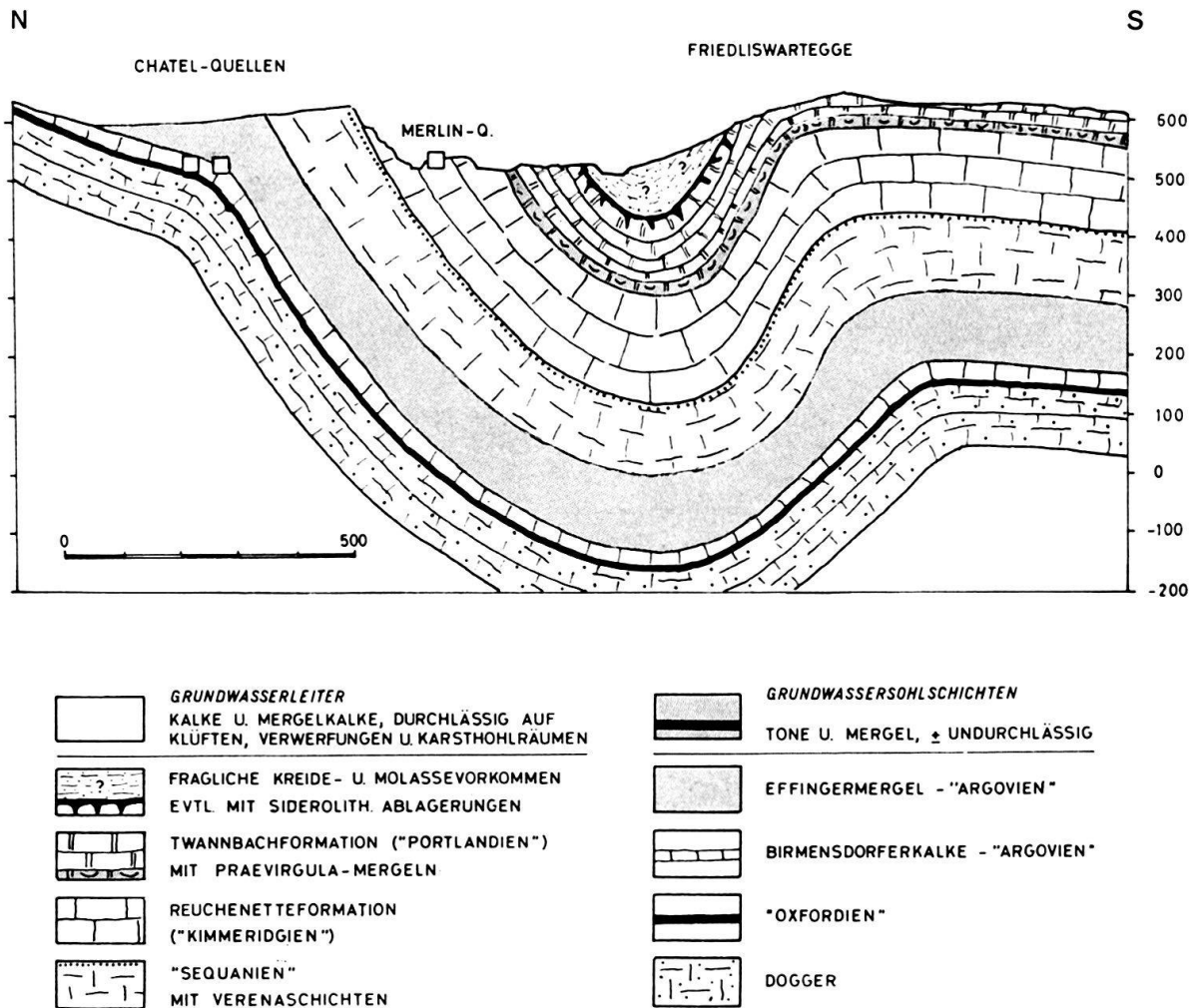


Fig. 1 Hydrogeologische Situation der Merlin- und Châtel-Quellen.

Im übrigen Gebiet (Crête de Jobert bis le Schild und Forêt de Châtel bis zur Suze) bildet die Erosions- und Denudationsgrenze «Séquanien»-Kalke/Effingermergel die Grundwasserscheide³⁾.

Die Dachfläche des Grundwasserleiters kann durch die Mergel und Mergelkalke der Unterkreide, durch siderolithische Tone oder Molassesedimente gebildet werden.

Der Quellpunkt der Merlinquelle liegt, wie Figur 1 zeigt, weder direkt über der Sohlfläche noch an der Dachfläche des Grundwasserleiters. Der Austritt ist offenbar durch (scheinbare) Zufälligkeiten der Karstersion innerhalb des Grundwasserleiters bedingt.

CH. SPRECHER hat in einem unveröffentlichten Gutachten die Vermutung ausgesprochen, die Karstwege in den «Kimmeridgien»-Kalken könnten nach Süden (Synklinalachse) durch infiltrierte Moränenablagerungen abgedichtet sein.

Einen weiteren Grundwasserleiter bilden die Birmensdorferkalke; Grundwasser-sole ist die Oberfläche der «Oxfordien»-Tone, Dachfläche die Basis der Effingermergel.

Diesem tieferen Karststockwerk entstammen die Châtelquellen der WV Biel und der WV Evilard (vgl. Taf. II und Fig. 1). Der hydrologische Zusammenhang ist schon 1921 durch CH. SPRECHER abgeklärt worden, der bei Sur la Roche Fluorescein in eine Doline geimpft hat, das in beiden Châtelquellen nachgewiesen werden konnte (vgl. Taf. II). Es war also von vornherein anzunehmen, dass die Châtelquellen durch einen Färbeversuch in Les Prés d'Orvin nicht beeinflusst würden, was sich, wie wir noch sehen werden, bestätigt hat.

Ferner stellt sich die Frage, ob ein Teil des Karstwassers im Südschenkel der Chasseral-Antiklinale einen Weg nach Süden in die Seeketten-Antiklinale findet (vgl. Fig. 1). Zu ihrer Beantwortung wurde eine Reihe von Quellen an ihrem Südfuss in unsere Untersuchungen einbezogen (vgl. Taf. I). Auch hier hat der Färbeversuch keine hydrologischen Zusammenhänge erkennen lassen.

Entnahmestellen der Wasserproben

Über die Lage der Entnahmestellen für die Wasserproben orientiert Tafel I.

Für die Auswahl waren die auf Seite 288 erwähnten Überlegungen massgebend. Zu prüfen war, ob ein hydrologischer Zusammenhang zwischen Impfstelle und folgenden Quellen, Grundwasserfilterbrunnen und Vorflutern nachweisbar ist:

- Merlinquelle, Q 1;
- Châtelquellen, Q 2 und Q 3;
- Quellen in der Südflanke der Seeketten-Antiklinale, Q 4 ... Q 13, Q 28 ... Q 30;
- Quellen im Talzug von Orvin, Q 15 ... Q 18, Q 22 ... Q 27;
- Orvinbach, Bo 19, Bm 20, Bu 21;
- Grundwasserfassung WV Orvin, G 14.

Bei jeder Probenahme wurden jeweils drei 30 ml-Fläschchen abgefüllt.

³⁾ Offen ist die Frage, ob der Merlinquelle zusätzlich auch Wasser aus der Südflanke der Montagne de Romont-Antiklinale östlich der Suzeschlucht zufließt, was auf Grund des Axialgefälles nicht ausgeschlossen ist. Sie müsste durch einen weiteren Färbeversuch abgeklärt werden.

Tabelle 1. Liste der Entnahmestellen für Wasserproben.

+++	Q 1	Merlinquelle	Einlaufschacht in der Fassung
+++	Q 2	Châtelquelle WV Biel	Nach Zusammenfassung der drei Einläufe
++	Q 3	Châtelquelle WV Evilard	Durchlaufbrunnstube
+++	Q 4	Leugenquelle 1	Pumpenschacht
++	Q 5	Leugenquelle 2	Quellaufstoss
+++	Q 6	Römerquelle	Austritt vor der Tür
+++	Q 7	Seefelsquelle	Fassungsbrunnstube
+	Q 8	Gottstatterhausquelle 10	Becken
+++	Q 9	Gottstatterhausquelle 11	Becken
+	Q 10	Vessazquelle Evilard	im brauchbaren Schacht
++	Q 11	Schlössliquelle	Fassung
+	Q 12	Eselquelle	Austrittsstelle
+	Q 13	Nidaubergliquelle	Schacht
+++	G 14	Grundwasserfassung WV Orvin	Schacht
+++	Q 15	Quelle WV Orvin	Einlaufschacht
+	Q 16	Quelle WV Orvin	Sammelschacht
++	Q 17	Quelle WV Orvin	Sammelschacht
+	Q 18	Tränkebrunnen Orvin	Brunneneinlauf neben Pumpstation
++	Bo 19	Orvinbach oben	vor der Versickerung
++	Bm 20	Orvinbach Mitte	nach dem Wiederaustritt
+++	Bu 21	Orvinbach unten	bei Petit-Moulin
+	Q 22	Hofbrunnen Petit-Moulin	Brunneneinlauf
+	Q 23	Küche Petit-Moulin	Einlauf Spültrog
+	Q 24	Foncet	Schacht
+	Q 25	Prés-de-Millièr	Einlauf Hofbrunnen
++	Q 26	Prés-de-Millièr	Reservoir
+	Q 27	Wald Petit-Moulin	ungefasster Austritt
+	Q 28	Vingelzquelle	altes Reservoir
+	Q 29	Quelle Primelweg	Brunneneinlauf
+	Q 30	Maison Blanche	Fassung

+ *Nur Blindproben entnommen.*

Es handelt sich meist um unbedeutende Quellen, die in der Nähe untersuchter Quellen liegen, bei Trockenheit öfters versiegen, vermutlich durch chemische Einflüsse grosse Streuungen aufweisen – wie z. B. Q 8 – oder aus geologischen Gründen kaum ansprechen konnten.

++ *Proben erhoben, aber nicht ausgewertet.*

Da die benachbarten ausgewerteten Quellen nicht ansprachen, wurden diese Proben nicht untersucht.

+++ *Proben entnommen und ausgewertet.*

Der Färbeversuch

Beurteilung eines Versuchsergebnisses mit Hilfe statistischer Verfahren

Um den Aussagewert der Messergebnisse zu erhöhen, wurden bei den Auswertungen der Messresultate statistische Methoden benützt. Es hat sich gezeigt, dass die für die Anwendung der Testverfahren notwendigen mathematischen Voraussetzungen erfüllt waren. Mit Hilfe des F- und des t-Tests konnte deshalb untersucht werden,

ob zwischen den Durchschnittswerten der bei mehreren Gruppen durchgeführten Fluoreszenzmessungen signifikante Unterschiede bestehen oder ob diese Durchschnitte nur zufällig voneinander abweichen.

Ausgedehnte Laborversuche zum Nachweis geringster Färbestoffspuren haben immer ergeben, dass die auf Grund der Messergebnisse berechneten Signifikanzen und Vertrauensgrenzen festgestellter Färbestoffkonzentrationen mit der Versuchsanordnung im Einklang waren.

Bestimmung der Nachweisgrenze

Der Wert der Aussage, dass bei einer bestimmten Entnahmestelle kein Färbestoff gefunden wurde, ist in erster Linie von der Nachweisgrenze eines Fluoreszenzunterschiedes abhängig.

Diese richtet sich:

- a) Nach der Empfindlichkeit des Fluorometers;
- b) nach der Streuung der gemessenen Werte;
- c) nach der Anzahl der zur Verfügung stehenden Messwerte.

Bemerkung zu b)

Bei den Blindproben und auch bei den Versuchsproben traten infolge Trübung gelegentlich stark erhöhte Fluoreszenzen auf. Dies war namentlich bei der Entnahmestelle Bu 21 Orvinbach unten der Fall. Durch längeres Stehenlassen und sorgfältiges Sedimentieren aller Proben konnte die Streuung beträchtlich herabgesetzt werden. Wo es nötig erschien, wurde das abgesaugte Wasser noch durch Filterpapier Sartorius MF12 gepresst, was eine weitere Verbesserung ergab.

Bemerkung zu c)

Je mehr Messungen zur Verfügung stehen, desto geringere Fluoreszenzunterschiede können noch zwischen zwei Stichproben festgestellt werden. Allerdings sind bald Grenzen gesetzt, da der Arbeitsaufwand erheblich anwächst.

Die Frage, ob tatsächlich Färbestoff im Wasser vorhanden ist, hängt jedoch nicht nur von der Feststellung eines Fluoreszenzunterschiedes zwischen zwei Stichproben ab. Es kommt vor allem auch auf die zeitlichen Schwankungen der Eigenfluoreszenz an, die z. B. durch meteorologische Einflüsse bedingt sein können.

Um Aufschlüsse über zeitliche Schwankungen der Eigenfluoreszenz zu erhalten, wurden bei sämtlichen Entnahmestellen in der Zeit vom Oktober 1967 bis zum März 1968 insgesamt 8 mal Blindproben entnommen (bei Q 15 nur 6, bei Q 7 nur 7 Entnahmen).

Hydrologische Eigenschaften des Färbestoffes Sulforhodamin G extra

Dieser rote Färbestoff ist ungiftig und hat günstige hydrologische Eigenschaften.

- Die Fluoreszenz ist praktisch temperaturunabhängig.
- Im Bereiche natürlicher Gewässer ist die Fluoreszenz praktisch pH-unabhängig.
- Der photochemische Effekt ist gering. Proben, die dem Licht ausgesetzt sind, verbleichen im Verhältnis zu verschiedenen anderen Färbestoffen weniger rasch.

Diese Eigenschaften wurden von der Forschungsstelle für Radiohydrometrie in München untersucht.

Tabelle 2. Konzentrationsvergleiche.

	100 000 γ/m^3	Nachweisgrenze mit blossen Auge ⁴⁾
	24 000 γ/m^3	Festgestellte Höchstkonzentration im Wasser der Merlinquelle am 30.4.68, 04.00 Uhr
	10 000 γ/m^3	
	5 000 γ/m^3	Nachweisgrenze von Fluorescein mit UV.-Lampe
	2 700 γ/m^3	14 Std. nach dem Höchstwert festgestellte Konzentration im Wasser der Merlinquelle
	1 000 γ/m^3	
	140 γ/m^3	Zweites Maximum im Wasser der Merlinquelle am 13.5.68, 07.30 Uhr
	100 γ/m^3	
	30 γ/m^3	Grösste zeitliche, durch Trübung verursachte Fluoreszenzschwankungen der untersuchten Quellen
	10 γ/m^3	
	2–10 γ/m^3	Nachweisgrenze mit Turner-Fluorometer. Viele Einzelmessungen erforderlich
	2 γ/m^3	
	1 γ/m^3	

(Bei einer Verdünnung von 2 γ/m^3 wären 1200 g Färbestoff nötig, um die 600 000 000 m^3 Wasser des Murtensees zu färben.)

Annahmen: Abschätzung der Färbestoffmenge

- Schüttung der Quelle bei regnerischem Wetter, ohne heftige Niederschläge: Mindestens 50 m^3/min .
- Innerhalb 24 Std. werden in der Merlinquelle 40 % des Färbestoffes wiedergefunden.
- Die Konzentration in der Merlinquelle betrage während dieser 24 Std. 100 000 γ/m^3 (Sichtbarkeitsgrenze für Auge).

Unter diesen Annahmen würde die Färbestoffmenge 18 kg betragen. Um eine vorübergehende, rötliche Färbung des Quellwassers unter allen Umständen zu vermeiden, wurde die Färbestoffmenge auf 2 kg reduziert.

Nach den ersten Auswertungen der Blindproben lag die Nachweisgrenze des Färbestoffes im sedimentierten Wasser bei etwa 100 γ/m^3 .

Bei einer Impfstoffmenge von 2 kg ergibt dies im günstigsten Fall die 100fache Konzentration der Nachweisgrenze. Dieser Sicherheitsfaktor ist notwendig.

⁴⁾ 1 $\gamma/\text{m}^3 = 10^{-3} \gamma/\text{Liter} = 10^{-12} \text{ g/ml}$

Impfung

Impfzeit: 29. 4. 68, 0800–1000

Impfstoff: Sulforhodamin G-extra

Impfmenge: 3,3 kg

Impfstelle: Doline in Prés d'Orvin an der Strasse nach Nods (siehe Taf. 2).

Nachspülen: Am 29. und 30. 4., total 215 m³ Wasser.

Da zur Zeit der Impfung die Quellschüttung infolge Schneeschmelze und heftiger Niederschläge mehr als das 3fache der angenommenen Schüttung betrug, wurde die Impfmenge auf 3,3 kg festgesetzt.

Ergebnisse der fluorometrischen Untersuchungen

Q 1 Merlinquelle (vgl. Fig. 2)

Tabelle 3. Zusammenstellung der berechneten Werte

Entnahmezeit	1) γ/Liter	2) g/min	3) %	Entnahmezeit	1) γ/Liter	2) g/min	3) %
29. 4. 2300	0,00	0		2. 5. 1400	0,19	0,037	
2400	0,08	0,022		1800	0,17	0,034	
30. 4. 0100	1,05	0,285		2200	0,17	0,032	82,5
0200	8,3	2,23	1,5	3. 5. 0200	0,17	0,032	
0300	21,3	5,66	9	0600	0,14	0,027	
0400	24,0	6,27	20	0700	0,14	0,027	
0500	22,8	5,87	31	1800	0,15	0,027	83,5
0600	15,9	4,04	40,5	4. 5. 0700	0,12	0,018	
0700	12,3	3,08	47	1945	0,11	0,015	84,5
0800	9,3	2,31	51,5	5. 5. 0700	0,10	0,013	
0900	7,4	1,81	55	1935	0,08	0,010	
1000	5,8	1,40	58	6. 5. 0800	0,06	0,007	
1200	4,6	1,07	62	1930	0,06	0,006	
1400	3,9	0,88	65,5	7. 5. 0800	0,05	0,005	
1600	3,3	0,72	68,5	1900	0,05	0,005	
1800	2,7	0,60	71	8. 5. 0800	0,04	0,005	
2000	2,2	0,48	73	1900	0,04	0,004	
2200	1,7	0,37		9. 5. 0800	0,04	0,004	
2400	1,3	0,28	76	1900	0,04	0,004	
1. 5. 0200	1,1	0,23		10. 5. 0800	0,04	0,004	
0400	0,97	0,21		11. 5. 0710	0,04	0,003	
0600	0,81	0,18		12. 5. 0710	0,04	0,004	86
0800	0,69	0,15		13. 5. 0730	0,14	0,027	87
1000	0,63	0,13	79	14. 5. 0800	0,08	0,011	87,5
1400	0,45	0,098	79,5	15. 5. 0730	0,04	0,004	88
1. 5. 1800	0,42	0,091		16. 5. 0800	0,03	0,003	
2200	0,41	0,090		17. 5. 0730	0,04	0,004	
2. 5. 0200	0,36	0,074		18. 5. 0730	0,03	0,003	88,5
0600	0,26	0,051		20. 5. 0815	0,00		
1000	0,21	0,042					

1) Festgestellte Färbestoffkonzentration in γ/Liter.

2) Anzahl Gramm Färbestoff, die in der Merlinquelle pro Minute wieder zum Vorschein kamen.

3) Insgesamt wiedergefundene Färbestoffmenge in Prozent der geimpften Färbestoffmenge.

Diese Berechnungen beruhen auf den aus den Pegelhöhen geschätzten Quellschüttungen.

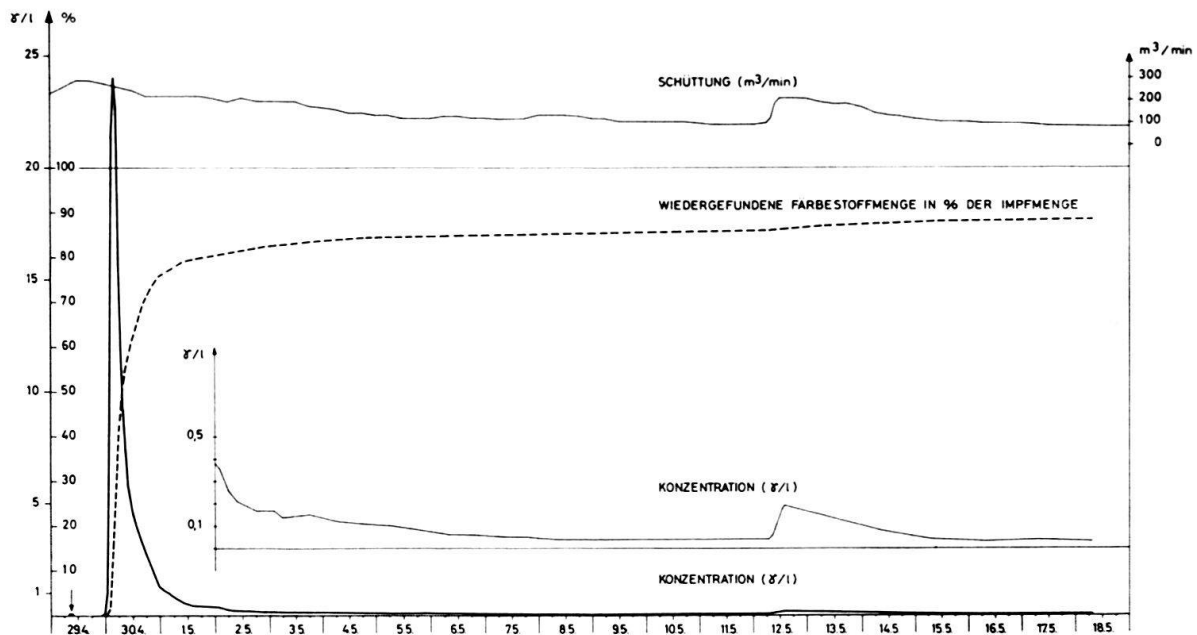


Fig. 2 Konzentration/Zeitdiagramm, prozentuale Verteilung des geförderten Färbestoffs und Schüttung der Merlin-Quelle (29. 4. bis 18. 5. 1968).

Tabelle 4. Berechnete Laufzeiten und Geschwindigkeiten

Laufstrecke Impfstelle–Merlinquelle (Luftlinie)	7 km
Höhendifferenz	500 m
Gefälle	7,15%
Zeit vom Beginn der Impfung 29. 4., 0800 bis zum Auftreten des Färbestoffs am 29. 4., 2400	16 Stunden
Maximale Abstandsgeschwindigkeit	437 m/h
Zeit von der Mitte der Impfung 29. 4., 0900 bis zum Auftreten der Höchstkonzentration am 30. 4., 0400	19 Stunden
Geschwindigkeit der Höchstkonzentration	368 m/h
Zeit von der Mitte der Impfung bis zum Zeitpunkt, da die Hälfte des Färbestoffs in der Merlinquelle wiedergefunden wurde. 30. 4., 0640	21,7 Stunden
Mittlere Geschwindigkeit der Färbestoffwolke	323 m/h
Zeit von der Mitte der Impfung bis zum Zeitpunkt, da der Schwerpunkt der Färbestoffwolke die Merlinquelle erreichte. 30. 4., 0730	22,5 Stunden
Schwerpunktgeschwindigkeit	311 m/h
Zeit von der Impfung bis zum Zeitpunkt, da in der Merlinquelle zuletzt mit Sicherheit Färbestoff festgestellt wurde. 18. 5.	19 Tage
Geschwindigkeit	15 m/h

Es ist anzunehmen, dass noch während längerer Zeit Färbestoff die Merlinquelle erreichte.

Auf Grund der in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellten Werte können für die Merlinquelle folgende Schlüsse gezogen werden:

– Die unterirdische Verbindung zwischen der Impfstelle in Prés d’Orvin und der Merlinquelle wurde mit Sicherheit festgestellt.

- Innerhalb von 24 Stunden erreichte mehr als die Hälfte der geimpften Färbestoffmenge die Merlinquelle. Die berechneten Geschwindigkeiten sind demnach sehr hoch.
- Auf der Laufstrecke zwischen der Impfstelle und der 7 km (Luftlinie) entfernten Merlinquelle dürften sich kaum grössere Bassins befinden, da der Färbestoff auf direktem Wege zur Quelle gelangen musste.
- Die Höchstkonzentration im Quellwasser erreichte zwar im Maximum ein Viertel der Sichtbarkeitsgrenze, aber nur während 5 Stunden mehr als ein Zehntel.
- Am 12. 5. stieg der Pegel der Merlinquelle innerhalb weniger Stunden um mehr als 50 cm, was schätzungsweise eine Verdoppelung der Quellschüttung bewirkte. Nach diesem Anstieg wurde wieder eine Konzentration von 0,14 γ /Liter gemessen. Diese Fluoreszenzerhöhung konnte keinesfalls allein durch Trübung des Quellwassers hervorgerufen worden sein. Die definitive Auswertung der vor dem Versuch unter 8 verschiedenen Malen und unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen entnommenen Blindproben ergab für die Merlinquelle nur sehr geringe zeitliche Schwankungen der Eigenfluoreszenz. Die Standardabweichung s betrug 0,006 γ /Liter und die Spannweite d 0,016 γ /Liter. Die Nachweisgrenze für die Merlinquelle darf deshalb bei etwa 0,020 γ /Liter angenommen werden. Zur Zeit der Fluoreszenzerhöhung am 13. 5. betrug die Trübung des Quellwassers weniger als 20%⁵⁾. Während der ganzen Versuchsdauer betrug die Trübung nie über 20% mit Ausnahme der letzten Entnahme am 7. 8. Zu diesem Zeitpunkt betrug sie über 100%.

Die fluorometrische Untersuchung dieser Proben vom 7. 8. hat ergeben, dass die Fluoreszenzerhöhung gegenüber dem Durchschnitt trotz der 100% Trübung weniger als 0,010 γ /Liter betrug. Zu diesem Zeitpunkt dürften höchstens noch geringe Spuren von Färbestoff die Quelle erreicht haben.

- Mit Sicherheit wurde somit festgestellt, dass ein geringer Teil des Färbestoffes in ein unterirdisches Bassin gelangen musste und erst 14 Tage später, beim nächsten Hochwasser, zum grössten Teil ausgespült wurde. Diese gespeicherte Färbestoffmenge betrug etwa 60 Gramm oder rund 2% der Impfmenge.
- Über die Ausmasse dieses Bassins können keine Angaben gemacht werden, da die Konzentrationsverteilung nur beim Quellaustritt bekannt ist. Nimmt man jedoch an, dass die Färbestoffkonzentration in diesem unterirdischen Bassin 14 γ /Liter, d.h. das 100fache der Höchstkonzentration beim Quellaustritt betrug, so fasst das Bassin etwa 4000 m³. Dies entspricht einem Würfel von rund 16 m Kantenlänge.
- Noch 19 Tage nach der Impfung wurde im Wasser der Merlinquelle mit Sicherheit Färbestoff festgestellt. Durch eingehendere Untersuchung an den letzten Wasserproben hätten wahrscheinlich noch eine Zeitlang Färbestoffspuren nachgewiesen werden können. Auf diese Untersuchung wurde jedoch verzichtet, da dieser Anteil des wiedergefundenen Färbestoffes quantitativ bedeutungslos ist.
- Wie auf Seite 291 erwähnt worden ist, beruhen die ausgeführten Berechnungen auf Schätzungen der Quellschüttungen. Um die Höhe der wiedergefundenen Färbestoffmenge mit Sicherheit angeben zu können, müssten Quellmessungen ausgeführt werden.

- Wenn die geschätzten Quellschüttungen auch mit Fehlern behaftet sein sollten, so steht doch fest, dass ein sehr grosser Teil des geimpften Färbestoffes in der Merlinquelle wieder zum Vorschein gekommen ist.

Übrige ausgewertete Entnahmestellen

Ausser der Merlinquelle sind Proben aus den bereits auf Seite 289 erwähnten Entnahmestellen untersucht worden, dazu ist folgendes zu bemerken:

- Alle Fluoreszenzwerte sind in γ/m^3 angegeben.
- Von den Durchschnittswerten der einzelnen Gruppen wurde jeweils der tiefste mit Null angenommen.
- Die Streuung der Messwerte wurde durch die Standardabweichung s gemessen.
- Die Spannweite ist der höchste gemessene Fluoreszenzwert minus der tiefste.
- Grade der Signifikanz: *** Statistische Sicherheit mehr als 99,9 %
 ** zwischen 99 % und 99,9 %
 * zwischen 95 % und 99 %
- Für die definitive Auswertung dieser Entnahmestellen wurde von jeder Probenahme die Fluoreszenz 4–8 mal gemessen.

Q 2 Châtelquelle WV Biel (Tabelle 5 und 6)

Tabelle 5. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	10	40	13
29. 4., 0815 – 30. 4., 1205	a	8	8	36	26
30. 4., 1600 – 2. 5., 0815	b	8	10	36	20
2. 5., 1400 – 5. 5., 1920	c	8	10	40	8
6. 5., 0810 – 10. 5.	d	8	8	40	0
11. 5. – 18. 5.	e	8	11	48	4
Insgesamt a, b, ..., e		40	13	60	12

Tabelle 6. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten und anschliessend filtrierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
29. 4., 0815 – 30. 4., 1205	a	8	6	20	20
30. 4., 1600 – 2. 5., 0815	b	8	10	32	15
2. 5., 1400 – 5. 5., 1920	c	8	7	28	10
6. 5., 0810 – 10. 5.	d	8	8	20	0
11. 5. – 18. 5.	e	8	7	20	1
Insgesamt a, b, ..., e		40	11	40	9

⁵⁾ 100% = 55 ppm Si-Oxyd-Standardlösung.

Aus den Tabellen 5 und 6 ergeben sich folgende Feststellungen:

- Zwischen den Durchschnitten der einzelnen Gruppen bestehen signifikante Unterschiede (***). Die zeitlichen Schwankungen sind verhältnismässig gross.
- Die höheren Fluoreszenzwerte zu Beginn des Versuchs sind durch Trübung und nicht durch Färbestoff verursacht worden. Die Proben unmittelbar vor der Impfung müssten sonst eine niedrigere Fluoreszenz aufweisen. Das ist nicht der Fall.
- Die zeitlichen Schwankungen sind auch aus der verhältnismässig grossen Streuung der Blindproben ersichtlich.

Q 4 Leugenquelle 1

Tabelle 7. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	4	12	0
29. 4., 0800 – 1. 5., 1400	a	9	3	12	0
1. 5., 2200 – 5. 5., 0800	b	9	5	20	0
5. 5., 2000 – 10. 5.	c	9	5	20	1
11. 5. – 20. 5.	d	9	4	12	1
22. 5. – 10. 6.	e	7	6	20	0
Insgesamt v, a, b, ..., e		51	4	24	0

Tabelle 7 zeigt, dass

- die Streuung der Messwerte sehr gering ist;
- Zwischen den einzelnen Gruppen keine Fluoreszenzunterschiede bestehen.
- Werden a, b, e und c, d zu je einer Stichprobe zusammengefasst, so ist die Fluoreszenz bei c, d nur zufällig etwas höher als bei a, b, e.
- Bei der Leugenquelle 1 wurden somit keine zeitlichen Schwankungen der Fluoreszenz beobachtet.

Q 6 Römerquelle

Tabelle 8. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	7	24	3
29. 4., 0800 – 1. 5., 1400	a	9	6	20	7
1. 5., 2200 – 5. 5., 0800	b	9	5	20	5
5. 5., 2000 – 10. 5.	c	9	4	20	2
11. 5. – 20. 5.	d	9	3	12	1
22. 5. – 10. 6.	e	7	3	12	0
24. 6. – 7. 8.	f	10	9	28	3
Insgesamt v, a, b, ..., f		61	6	28	3

Tabelle 8 zeigt, dass zwischen den einzelnen Gruppen signifikante Fluoreszenzunterschiede (***) bestehen.

Tabelle 9. Fluoreszenzwerte der ersten 9 Probenahmen (Gruppe a)

			Durchschnitt
29. 4., 0800	1)		6
1400	2)		3
2000	3)		3
30. 4., 0200	4)		14
0800	5)		9
1400	6)		9
2000	7)		4
1. 5., 0600	8)		2
1400	9)		0

Es ist auffallend, dass die ersten Proben kurz nach der Impfung eine geringere Fluoreszenz aufwiesen als die nachfolgenden.

Werden die Entnahmen 1), 2), 3), 8) und 4), 5), 6), 7) zu je einer Stichprobe vereinigt, so ist der Unterschied zwischen den beiden Durchschnittswerten knapp gesichert (**). Die höheren Fluoreszenzwerte fallen zeitlich etwa mit den höchsten Konzentrationen im Wasser der Merlinquelle zusammen.

Eine Verunreinigung durch das Wasser der Merlinquelle ist ausgeschlossen, da die Proben von verschiedenen Leuten erhoben, in verschiedenen Schachteln transportiert und aufbewahrt und zu verschiedenen Zeiten ausgewertet wurden.

Die Proben 1), 2) ... 8) wurden nach der Sedimentation filtriert und wieder fluorometrisch untersucht.

Tabelle 10. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten und nachfolgend filtrierten Proben 1–8

Entnahmezeiten	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
1), 2), 3), 8)	4	12	0
4), 5), 6), 7)	4	16	4

Der Unterschied zwischen den beiden Stichproben von Tabelle 10 ist nur zufällig. Die erhöhte Fluoreszenz wurde offensichtlich durch Trübungsstoffe und nicht durch Färbestoff verursacht. Die verhältnismässig grosse Streuung der Blindproben spricht ebenfalls für diese Annahme.

Die Proben vom 24. 6 bis 7. 8. wurden öfters nach heftigen Regenfällen entnommen, was im Einklang mit der grösseren Streuung dieser Entnahmeperiode ist.

Q 7 Seefelsquelle

Tabelle 11. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	7	13	44	9
29. 4., 0800 – 1. 5., 1400	a	9	8	32	10
1. 5., 2200 – 5. 5., 0800	b	9	7	28	7
5. 5., 2000 – 10. 5.	c	9	6	24	1
11. 5. – 20. 5.	d	9	4	16	3
22. 5. – 10. 6.	e	7	6	28	0
Insgesamt v, a, ..., e		50	8	48	5

Aus Tabelle 11 lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

- Bei den Blindproben wurden verhältnismässig grosse Schwankungen festgestellt.
- Zwischen den einzelnen Gruppen bestehen signifikante Unterschiede in der Fluoreszenz (***)
- Wegen der grossen Streuung bei den Blindproben ist anzunehmen, dass diese Fluoreszenzunterschiede durch Trübungsstoffe und nicht durch Färbestoff verursacht worden sind. Wie bei Q6 wiesen auch hier die ersten Entnahmen vom 29.4. eine etwas geringere Fluoreszenz auf als die nachfolgenden.

Q 9 Gottstatterhausquelle 11

Tabelle 12. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	9	28	7
29. 4., 0800 – 30. 4., 2000	a	7	7	24	9
1. 5., 0600 – 3. 5., 0800	b	7	6	24	7
3. 5., 2000 – 6. 5., 2200	c	7	5	24	4
7. 5., 0800 – 11. 5.	d	7	4	16	0
12. 5. – 18. 5.	e	7	5	20	4
Insgesamt v, a, ..., e		43	7	28	5

Die aus Tabelle 12 hervorgehenden Ergebnisse für die Gottstatterhausquelle 11 lauten ganz ähnlich wie für die Seefelsquelle. Die Blindproben weisen verhältnismässig grosse Schwankungen auf, wobei zwischen den einzelnen Gruppen signifikante Unterschiede in der Fluoreszenz (***) bestehen.

- Wegen der grösseren Streuung bei den Blindproben ist anzunehmen, dass diese Fluoreszenzunterschiede durch Trübungsstoffe und nicht durch Färbestoff verursacht worden sind. Wie bei Q6 wiesen auch hier die ersten Entnahmen vom 29.4. eine etwas geringere Fluoreszenz auf als die nachfolgenden.

G 14 Grundwasserfassung WV Orvin

Tabelle 13. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	8	28	0
29. 4., 0800 – 30. 4., 2000	a	7	5	20	1
1. 5., 0600 – 3. 5., 0800	b	7	5	20	0
3. 5., 2000 – 6. 5., 2200	c	7	6	28	1
7. 5., 0800 – 11. 5.	d	7	5	20	3
12. 5. – 18. 5.	e	7	4	16	2
Insgesamt v, a, ..., e		43	5	32	1

Zwischen den einzelnen Gruppen der Grundwasserproben aus dem Filterbrunnen der Wasserversorgung Orvin wurden keine Fluoreszenzunterschiede festgestellt; die Fluoreszenz ist zeitlich konstant.

Q 15 Quelle WV Orvin

Tabelle 14. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	6	3	8	0
29. 4., 0800 – 30. 4., 2000	a	7	5	16	2
1. 5., 0600 – 3. 5., 0800	b	7	4	16	0
3. 5., 2000 – 6. 5., 2200	c	7	5	24	1
7. 5., 0800 – 11. 5.	d	7	4	20	0
12. 5. – 18. 5.	e	7	3	12	0
Insgesamt v, a, ..., e		41	4	24	0

In den Proben aus der Quelle Q15, welche der Wasserversorgung von Orvin dient, wurden zwischen den einzelnen Gruppen keine Fluoreszenzunterschiede festgestellt, auch hier ist die Fluoreszenz zeitlich konstant.

Bu 21 Orvinbach unten

Tabelle 15. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
29. 4., 0800 – 30. 4., 2000	a	7	34	96	50
1. 5., 0600 – 3. 5., 0800	b	7	21	64	31
3. 5., 2000 – 6. 5., 2200	c	7	17	64	10
7. 5., 0800 – 11. 5.	d	7	11	32	0
12. 5. – 18. 5.	e	7	35	32	8
Insgesamt a, ..., e		35	30	128	19

Tabelle 16. Fluoreszenzmessungen bei den sedimentierten und nachträglich noch filtrierten Proben

Entnahmezeiten		Anzahl Probenahmen	Streuung s	Spannweite	Durchschnitt
Blindproben	v	8	14	44	0
29. 4., 0800 – 30. 4., 2000	a	7	18	52	17
1. 5., 0600 – 3. 5., 0800	b	7	11	36	24
3. 5., 2000 – 6. 5., 2200	c	7	9	32	9
7. 5., 0800 – 11. 5.	d	7	13	40	1
12. 5. – 18. 5.	e	7	22	60	7
Insgesamt v, a, ..., e		43	17	60	9

Wie die Tabellen 15 und 16 zeigen, traten bei den Proben aus dem Orvinbach grössere zeitliche Schwankungen auf, die durch das nachträgliche Filtrieren etwas vermindert werden konnten. Es ist anzunehmen, dass diese Fluoreszenzunterschiede durch die Trübung und nicht durch den Färbestoff verursacht worden sind.

Ergebnisse

Die im Auftrag der Wasserversorgung der Stadt Biel durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungen, die im Frühjahr 1968 mit einem Färbeversuch abgeschlossen wurden, haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Die Merlinquelle, eine in ihrer Schüttung sehr stark schwankende Karstquelle, stammt aus einem Grundwasserleiter, welcher durch die Kalksteine der Reuchenette- und Twannbachformationen sowie des « Séquanien » im Südschenkel der Chasseral-Antiklinale gebildet wird.

Durch unseren Färbeversuch ist ein hydrologischer Zusammenhang mit dem westlich der Klus von Rondchâtel gelegenen Teilabschnitt dieses Antiklinal-Südschenkels bis in das Gebiet von Prés d'Orvin eindeutig nachgewiesen. Ob ein solcher Zusammenhang auch nach Osten (Südschenkel der Montagne de Romont-Antiklinale) besteht, müsste noch abgeklärt werden.

Über die Beschaffenheit des unterirdischen Gerinnes liegen vorläufig nur Angaben für die unmittelbare Umgebung des Quellaustrittes vor, wo die Gestalt des Schlundes durch Froschmänner untersucht worden ist. Der Färbversuch lässt das Vorhandensein eines Beckens von etwa 4000 m³ Inhalt vermuten.

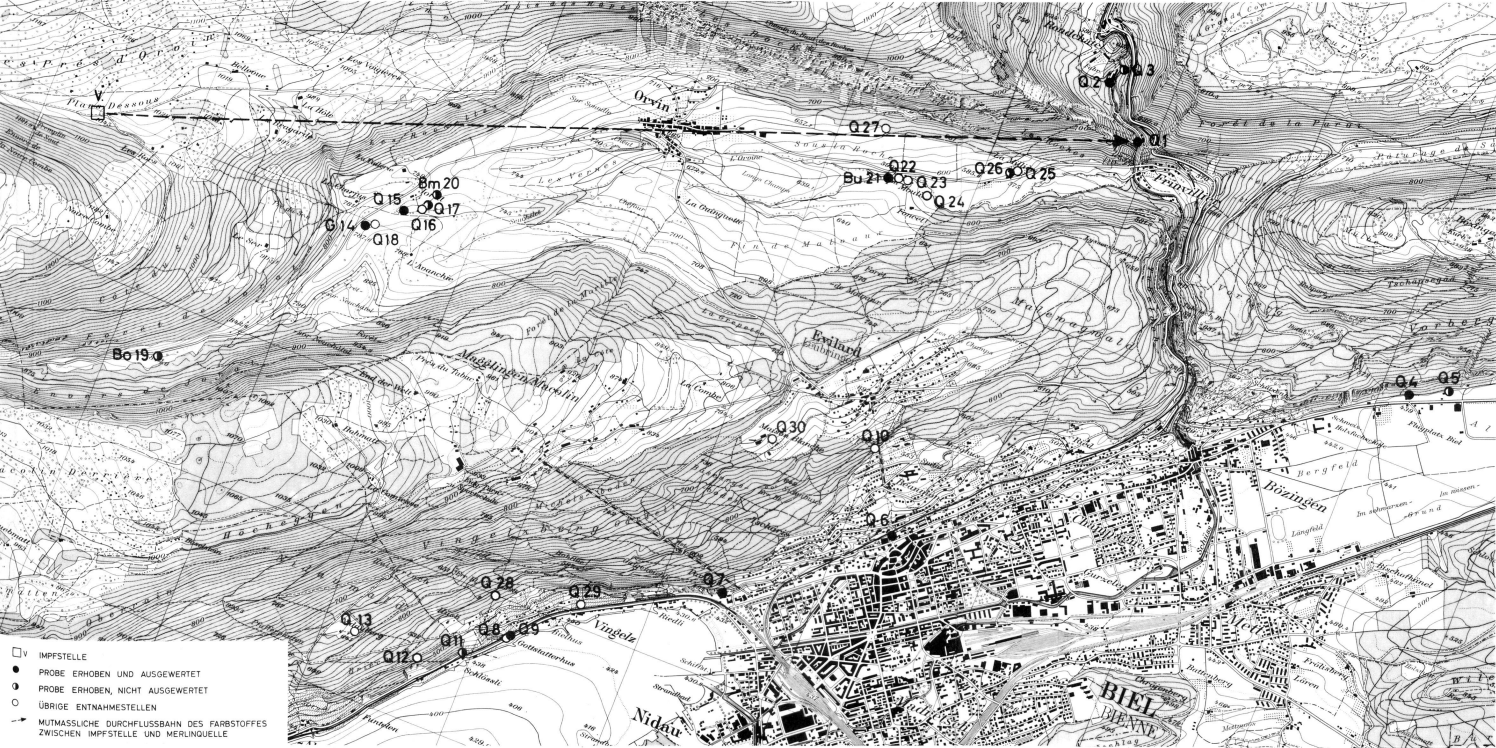
- Von dem bei Prés d'Orvin in einer Doline versickerten Färbstoff (3300 g Sulforhodamin G extra) wurden beim Quellpunkt der Merlinquelle insgesamt 2920 g, d.h. 88,5 %, wiedergefunden.
- Die Vorflutdistanz zwischen Impf- und Entnahmestelle beträgt ungefähr 7 km (Höhendifferenz ca. 500 m). Die maximale Abstandsgeschwindigkeit vom Beginn der Impfung bis zum ersten Auftreten des Färbstoffs beim Quellpunkt beträgt 437 m/h, die Schwerpunktgeschwindigkeit 311 m/h. Zwischen Beginn der Impfung und erstem Auftreten des Färbstoffs im Quellpunkt der Merlinquelle liegt somit eine Zeitspanne von nur 16 Stunden. Die Hälfte des wiedergefundenen Färbstoffs benötigte für eine Vorflutdistanz von 7 km weniger als 24 Stunden.
- In der Châtelquelle der Wasserversorgung Biel war kein Färbstoff nachweisbar. Damit bestätigt sich die geologische Interpretation, wonach diese Quelle einem tieferen Karststockwerk angehört. Für sie bilden die Birnenstorferkalke den Grundwasserleiter, die «Oxfordien»-Mergel die Sohlfläche und die Basis der Effingerschichten die Schirmfläche.
- Auch in den übrigen Entnahmestellen am Südfuss der Seekette (Leugenquelle 1, Römerquelle, Seefelsquelle, Gottstatterhausquelle 11) konnte kein Färbstoff nachgewiesen werden. Es dürfte somit kein hydrologischer Zusammenhang zwischen der Impfstelle und diesen Quellen bestehen. Dasselbe gilt für den Orvinbach und die Grundwasserfassung der Wasserversorgung Orvin.
- Bei den Entnahmestellen Q4 (Leugenquelle 1), G14 (Grundwasserfassung der Wasserversorgung Orvin) und Q15 (Quelle WV Orvin) war die Fluoreszenz zeitlich konstant, bei Q2 (Châtelquelle WV Biel), Q6 (Römerquelle), Q7 (Seefelsquelle), Q9 (Gottstatterhausquelle 11) und Bu 21 (Orvinbach unten) wurden zeitliche, durch Trübungen verursachte Fluoreszenzunterschiede festgestellt, nachdem die Proben sedimentiert und nachträglich z.T. filtriert worden waren. Diese Trübungen sind vom Niederschlagsgeschehen abhängig, die beobachteten Fluoreszenzschwankungen betrugen weniger als 30 γ/m³. Die durchschnittlichen Fluoreszenzunterschiede zwischen den einzelnen Quellen erreichten weniger als 40 γ/m³.
- Die Zeitspanne, innerhalb welcher der Färbstoff von der Impfstelle zum Quellpunkt der Merlinquelle gelangt, genügt weder zur Vernichtung von grundwasserschädigenden Bakterien und Viren und ihrer Toxine, noch zur Unschädlichmachung chemischer Stoffe (chemische Noxen, Mineralölderivate, Teerprodukte, Tenside, Pestizide usw.), welche die Wassergüte beeinträchtigen können. Zum Schutz der Merlinquelle sind deshalb Sicherheitsmassnahmen (Errichtung dichter Kanalisationen, Verbot der unkontrollierten Kehrrichtdeponie, Schutzmassnahmen für Heizöltanks gemäss Zone A der «Technischen Tankvorschriften»⁶⁾) unerlässlich.

LITERATUR

- AEERHARDT, B. (1907): *Les gorges de la Suze*. Biel (Moser).
- DESOR, E., LANG, FR. (1872): *Bericht über die Wasserversorgung der Stadt Biel*. 12. 4. 1872. Unveröffentlichtes Manuskript.
- EPPLE, P. (1947): *Geologische Beschreibung der Umgebung von Sonceboz im Berner Jura*. Mitt. natf. Ges. Bern N.F. 4, 29.
- HÄFELI, CH. (1966): *Die Jura/Kreide-Grenzsichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern)*. Eclogae geol. Helv. 59/2, 565.
- SCHARDT, H. (1906): *Geologisches Querprofil durch die Klus von Rondchâtel*. Geogr. Lexikon der Schweiz 4.
- SCHÜRER, W. (1928): *Geologische Aufnahmen des Jura- und Molassegebietes zwischen Dotzigen und Tavannes*. Solothurn (Vogt-Schild).
- SPRECHER, CHR. (1921): *Die Trinkwasserversorgung der Stadtgemeinde Biel, soweit die Merlinquelle und die Châtelquelle zwischen Frinvillier und Rondchâtel in Frage kommen*. 1. 8. 1921. Unveröffentlichtes Manuskript.
- THALMANN, H. (1966): *Zur Stratigraphie des Ob. Malm im südlichen Berner und Solothurner Jura*. Mitt. natf. Ges. Kant. Solothurn 22, 3.

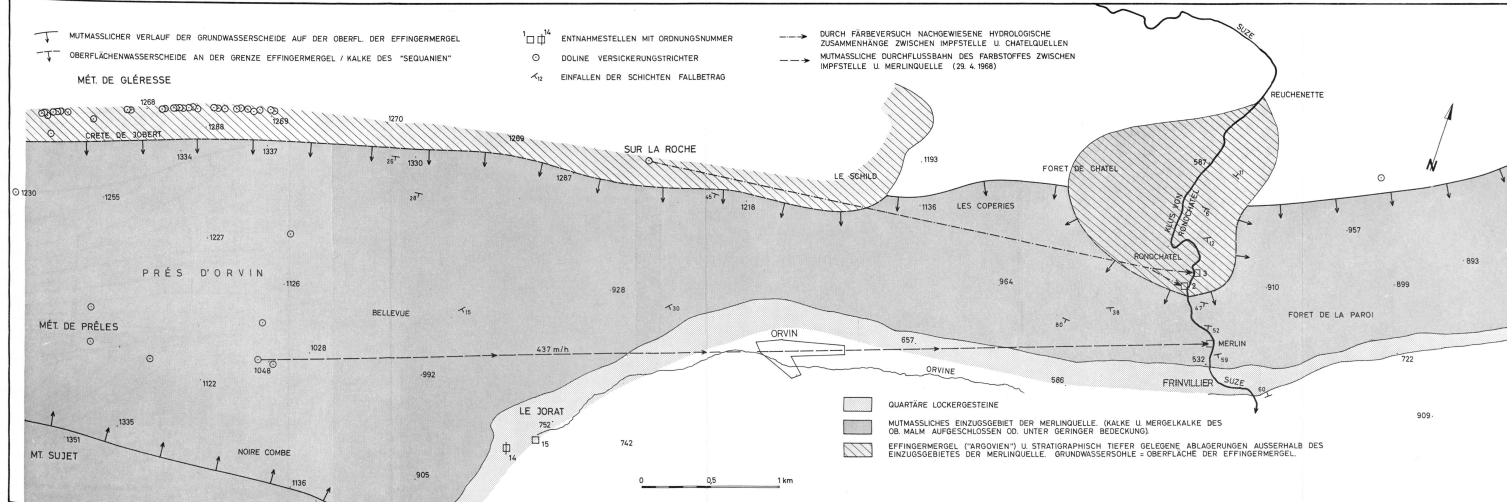
Manuskript eingegangen am 16. Januar 1969.

⁶⁾ Verfügung des Eidg. Departements des Innern über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung durch flüssige Brenn- und Treibstoffe sowie andere wassergefährdende Lagerflüssigkeiten vom 27. Dezember 1967.

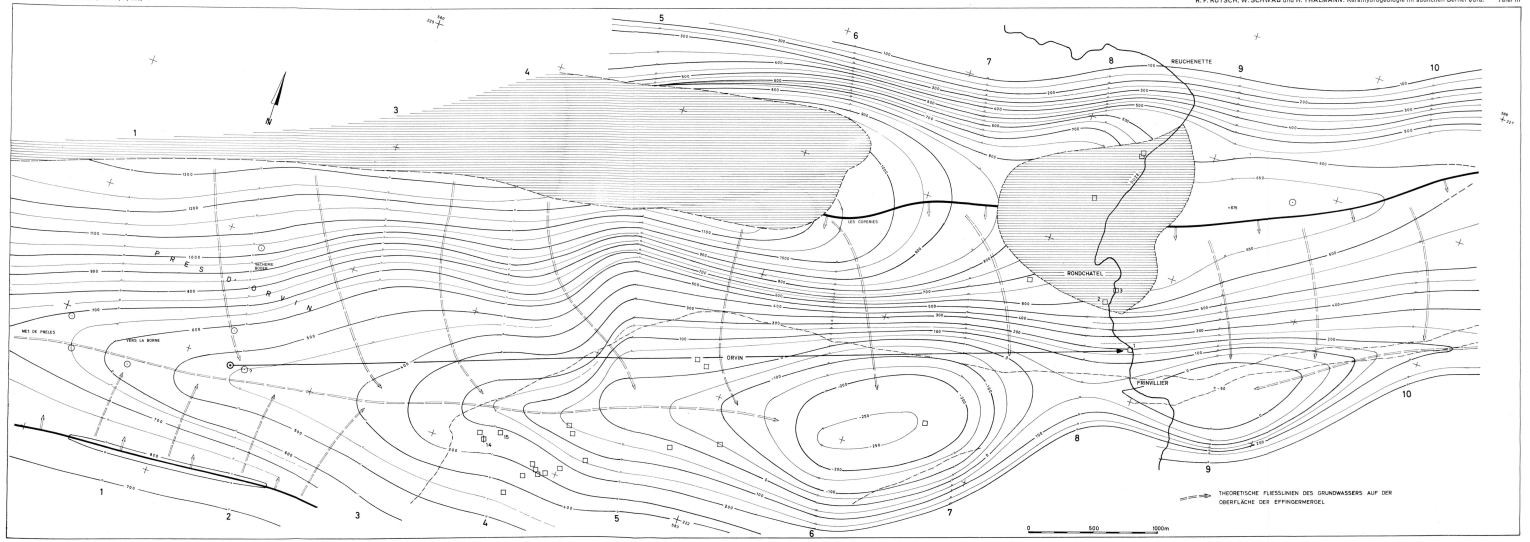


Tafel I. Situation der Impfstelle und der Probeentnahmestellen. Maßstab 1:25 000

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 16. 4. 1969.



Tafel II. Hydrogeologische Karte des Einzugsgebietes der Merlinguelle zwischen Près d'Orvin und Plagne



Tafel III. Isohypsenkarte der Grenzfläche «Séquaniens»-Kalk/Effinger-Mergel