

Erfahrungen bei Färbversuchen mit Uranin

Von WERNER KÄSS (Freiburg i. Br.)
Mit 16 Textabbildungen

Inhalt:

- A. Vorbemerkung
- B. Beschreibung einiger ausgewählter Färbversuche
 - a) Färb- und Salzungsversuch Söllingen/Lkr. Karlsruhe
 - b) Färbversuch Epfenbach/Lkr. Sinsheim
 - c) Färb- und Salzungsversuche Eisingen/Lkr. Pforzheim
 - d) Färbversuch Spielbach/Lkr. Crailsheim
 - e) Färbversuch Worndorf/Lkr. Stockach und frühere Versuche im Bereich der Donauversinkung zwischen Immendingen und Fridingen
 - f) Färbversuch Großgartach/Lkr. Heilbronn
 - g) Färbversuch Böllinger Bachtal/Stkr. Heilbronn
 - h) Färbversuch Böckinger Wiesen/Stkr. Heilbronn
- C. Hinweise für die Durchführung von Färbversuchen
- D. Ergebnisse und Zusammenfassung

A. Vorbemerkung

In einer früheren Arbeit (W. Käss 1964) wurden ausführlich die analytischen Bestimmungsmöglichkeiten von sehr verdünnten Uranin(= Na-Fluoreszein)-Lösungen im Wasser behandelt. Gleichzeitig wurde auch auf die Eigenschaften des Uranins und auf die Grenzen der Anwendungsmöglichkeit von Uranin in sauren Grundwässern eingegangen. Es wurde in o. a. Aufsatz dargelegt, daß in einigermaßen reinen Wässern und bei Vorliegen einer Mindestzahl von „Blindproben“ noch Konzentrationen um 0,01 mg Uranin/cbm quantitativ erfaßt werden können. Die genannte Konzentration entspricht einer Verdünnung von $1 : 10^{-11}$ oder 1 : einhundert Milliar-

den, d. h. mit 1 Kilogramm Uranin kann man 100 Millionen cbm Wasser nachweisbar färben. Dies bedeutet, daß mit der beschriebenen Einrichtung Markierungen unterirdischer Wässer durchgeführt und quantitativ erfaßt werden können, bei denen die allermeisten Markierungsstoffe versagen.

Im folgenden soll nochmals die Untersuchungsmethode kurz umrissen werden. Hinweise auf das neuere Schrifttum über die im Land Baden-Württemberg durchgeführten Färb- und Salzungsversuche leiten zur ausführlichen Beschreibung von acht ausgewählten Färbversuchen in den verschiedenen Formationen Baden-Württembergs über. Abschließend werden einige Ratschläge für die Durchführung von Färbversuchen aus eigener Erfahrung gegeben.

Fluoreszein ist von allen bekannten Farbstoffen der am stärksten fluoreszierende. Von dieser Eigenschaft wird für die analytische Bestimmung Gebrauch gemacht. Zur Anregung wird in einer geeigneten Vorrichtung die Probelösung mit Licht bestrahlt, das dem Absorptionsmaximum bei 489 nm entspricht. Dies ist gleichzeitig die Wellenlänge der maximalen Fluoreszenzanregung. Zweckmäßigerweise wird diese Wellenlänge mittels eines Interferenzfilters aus dem Licht einer Wolframlampe ausgefiltert. Dadurch ist ein Optimum der Fluoreszenzausbeute bei einem Minimum des Streulichtes gewährleistet. Voraussetzung für die Bestimmung ist die Filtration des Untersuchungswassers durch ein Membranfilter der Gruppe 14, um Trübstoffe möglichst quantitativ zurückzuhalten. Der Verfasser führte seine Untersuchungen mit einem Fluoreszenzzusatz zu einem Spektralphotometer durch. Sinngemäß können jedoch fast alle Kolorimeter mit Trübungsmeßzusatz sowie Fluorometer umgerüstet werden. Die Fluoreszenz wird bei 515 nm gemessen. Wasserproben mit sichtbarer Grünfärbung brauchen nicht filtriert zu werden, da dann das Verhältnis des Streulichtes zum Fluoreszenzlicht unbedeutend gering wird. Die Gefahr der Verschleppung von Farbspuren wird hiermit ebenfalls vermindert.

G. SCHULZ veröffentlichte 1957 eine Aufstellung sämtlicher bekanntgewordener Färb- und Salzungsversuche in Baden-Württemberg. Hier soll nicht versucht werden, die Aufzählung fortzusetzen; dies wird zu gegebenem Zeitpunkt an anderer Stelle erfolgen. Über die inzwischen durchgeführten Färb- und Salzungsversuche ist nur zum kleinen Teil berichtet worden:

Im **Buntsandstein** führte K. EISSELE (1963) einen Salzungsversuch im oberen Teinachtal bei Calw (Schwarzwald) aus. Er kommt auf Grund der geringen Streuung der Abflußrichtungen zu dem Schluß, daß wenigstens im Buntsandstein Einzugsgebiete abgrenzbar sind.

G. SCHULZ (1959) beschreibt zahlreiche Färb- und Salzungsversuche im Gebiet des **Muschelkalks** am oberen Neckar. Im gleichen Gebiet wurde

1959 ein Versuch zur Erprobung der gebräuchlichsten Markierungsstoffe unternommen (G. SCHULZ 1961).

Auch in **Keuper** wurde ein Färbversuch bei Flein/Lkr. Heilbronn durchgeführt und beschrieben (W. STÖHR 1963). Dieser Versuch lehrte, daß zwar Keupermergel-Hangschutt eine gewisse Durchlässigkeit besitzt, unverwitterte Keupermergel aber so gut wie undurchlässig sind.

Die meisten Versuche wurden im Karstgebiet des **Weißjura** durchgeführt. F. WEIDENBACH (1957, 1960) umreißt die Einzugsgebiete der großen Karstquellen der Heidenheimer Alb. Im selben Gebiet untersuchte der Verfasser mit gutem Erfolg die Verwendungsmöglichkeit von Kalisalz an Stelle von Natriumchlorid als Markierungsstoff (W. KÄSS 1966). P. GRO-SCHOFF (1957) gibt eine Zusammenfassung aller auf der Ulmer Alb und im Einzugsgebiet des Blautopfs bei Blaubeuren durchgeführten Versuche.

Für die Ulmer Alb wurden im Gebiet der Karstwasserscheide gegen die Fils die Untersuchungen fortgesetzt. Die Fließgeschwindigkeiten von Nellingen zur Lonequelle bei Urspring betragen je nach den Karstwasser-verhältnissen 90 oder 330 m/Std. Dort wurde versuchsweise auch Eosin eingesetzt; wegen der Fluoreszenzlöschung konnten allerdings keine quantitativen Messungen, sondern nur Beobachtungen angestellt werden (K. EISSELE & G. GRO-SCHOFF 1963). Im letzteren Aufsatz wird auch über einen Salzungsversuch im Weißjura bei Sigmaringen berichtet. E. W. BAUER (1961) führte im Zusammenhang mit der Erforschung der Falkenstein-Höhle Färbversuche auf der Erkenbrechtsweiler (Albtafel-)Halbinsel aus. Die Austrittsstellen liegen dort in einem Winkel von 155° zur Eingabestelle.

B. Beschreibung einiger ausgewählter Färbversuche

a) Färb- und Salzungsversuch Söllingen/Lkr. Karlsruhe

(Geologischer Bearbeiter: J. BARTZ)

Im Pfnztal oberhalb Söllingens steht in der Talau der 1962 erbohrte Tiefbrunnen der Gemeinde Söllingen, der im wesentlichen aus dem Hauptkonglomerat des Mittleren Buntsandsteins Wasser bezieht. Es war vor der endgültigen Inbetriebnahme zu klären, ob aus der rund 40 m entfernten Pfnz Bachwasser in den Tiefbrunnen gelangen könne. Die Wasserwirtschaftsbehörde in Karlsruhe schlug hierfür einen Salzungsversuch vor; der geologische Bearbeiter (J. BARTZ) und der Verfasser regten an, gleichzeitig zu färben.

Die Möglichkeit, diese beiden hauptsächlich verwendeten Markierungsstoffe gleichzeitig einzusetzen, bot Gelegenheit zu einem Vergleich.

Die **Farbeingabe** erfolgte am 25. Februar 1964, 9.30 Uhr, in den Bocksbach bei Kleinsteinbach kurz vor seiner Einmündung in die Pfnz (Abb. 1). Das Bachbett des Bocksbaches ist an dieser Stelle

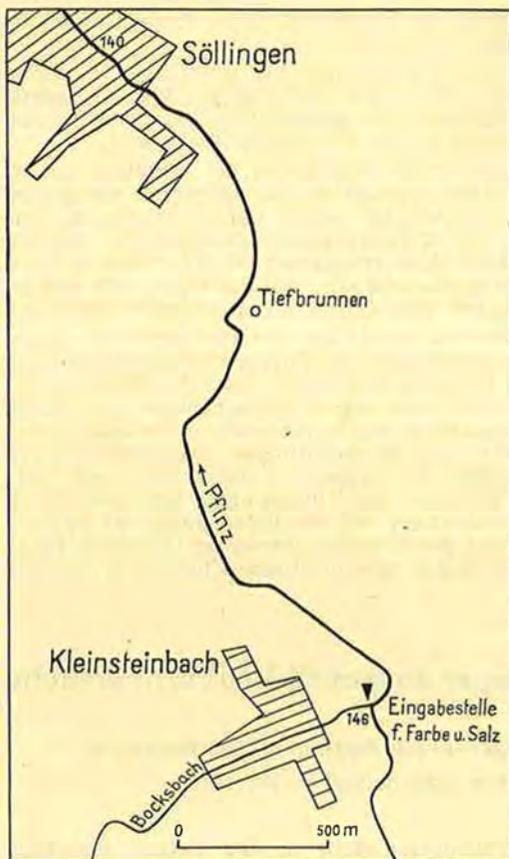


Abb. 1: Lageskizze zum Färb- u. Salzungsversuch Söllingen/Lkr. Karlsruhe.

ausgebaut und eignete sich daher vorteilhaft zur Eingabe einer wäßrigen Lösung von 5 kg Uranin. Kurz darauf wurde der Bocksboch für die Salzauflösung angestaut. Die geradlinige Entfernung zum Tiefbrunnen Söllingen beträgt 1350 m, die des gewundenen Pfinzlaufes 1800 m. Um 11 Uhr war die Pfinz in Höhe des Tiefbrunnens noch frei von Farbstoff, um 12 Uhr wurde dort der Farbstoffgehalt zu 58 mg/cbm festgestellt. Die Farbwolke brauchte also bis dahin ziemlich genau 2 Stunden. Um 13 Uhr wurde bereits der höchste Gehalt mit 4000 mg/cbm gemessen. Noch 2 Tage danach, bei der letzten Probenahme am 27. Februar um 12 Uhr, waren in der Pfinz noch 0,68 mg Farbstoff je cbm nachweisbar.

Der Tiefbrunnen wurde ab 20. Februar mit 35 l/s Schüttung unter Vollast gepumpt. Dadurch waren Verhältnisse geschaffen, wie sie für den in hygienisch ungünstigstem Fall eines großen und tiefen Absenkungstrichters auftreten.

Die Probenahme aus dem Tiefbrunnen begann mit dem Pumpversuch und wurde stündlich bis zum Abstellen der Pumpe am 6. März 1964 durchgeführt. Die ersten Farbstoffspuren zeigten sich bereits am Tage nach der Farbeingabe um 24 Uhr, also 36 Stunden nach der Ankunft der Farbwelle. Mit einigen Schwankungen hat sich ein Maximum vom 2. März abends bis zum Schluß der Beobachtung eingependelt (Abb. 2). Der Farbstoffgehalt erreichte maximal 0,32 mg/cbm, ein Wert, der rund 100mal unter der Sichtbarkeitsgrenze liegt. Ein weiteres Ansteigen wäre nicht mehr zu erwarten gewesen, deshalb konnte der Versuch 10 Tage nach der Markierungsstoffeingabe abgebrochen werden. Die graphische Auswertung ergibt ein Ausbringen von 5,65 g Uranin, das sind 0,113% der eingegebenen Menge. Nimmt man an, daß nach dem 6. März die Farbstoffkonzentration wieder gesunken wäre, und zwar langsamer als der Anstieg erfolgte, so wäre größenordnungsmäßig das Ausbringen mit 0,5% zu veranschlagen. Dies bedeutet gleichzeitig, daß 0,5% des Pflanzwassers in den unter Vollast gepumpten Tiefbrunnen gelangen.

Die **Salzeingabe** erfolgte an der gleichen Stelle, und zwar in der Zeit zwischen 9.30 und 17 Uhr. Diese lange Zeit war notwendig, um die außerordentlich große Salzmenge von 22,5 Tonnen aufzulösen.

Die Untersuchung der Proben erfolgte in zwei Laboratorien mit verschiedenen Methoden. Ein Laboratorium in Karlsruhe nahm die Chloridbestimmungen titrimetrisch vor, das Geochemische Laboratorium des Geologischen Landesamtes in Freiburg untersuchte flammenfotometrisch auf Natrium. Es kann vorweggenommen werden, daß beide zu keinem positiven Nachweis von Salz im Tiefbrunnen kamen. Daher soll hier nur das Ergebnis der Untersuchung auf Natrium behandelt werden.

In der Pflanz gelangte auf die Höhe des Tiefbrunnens die Salzwolke um 13 Uhr und erreichte schon um 14 Uhr das Maximum mit 203 mg Na/l. Der langen Lösungszeit entsprechend, fiel die Na-Konzentration erst nach 19 Uhr wieder ab, erreichte aber schon in der folgenden Nacht um 1 Uhr wieder den normalen Wert von 12 mg/l (Abb.2).

Bei den Proben aus dem Tiefbrunnen fiel zunächst auf, daß dort die Werte wesentlich niedriger lagen als in der Pflanz; sie schwankten dort vor der Salzeingabe zwischen 8,74 und 9,2 mg Na/l. Nach der

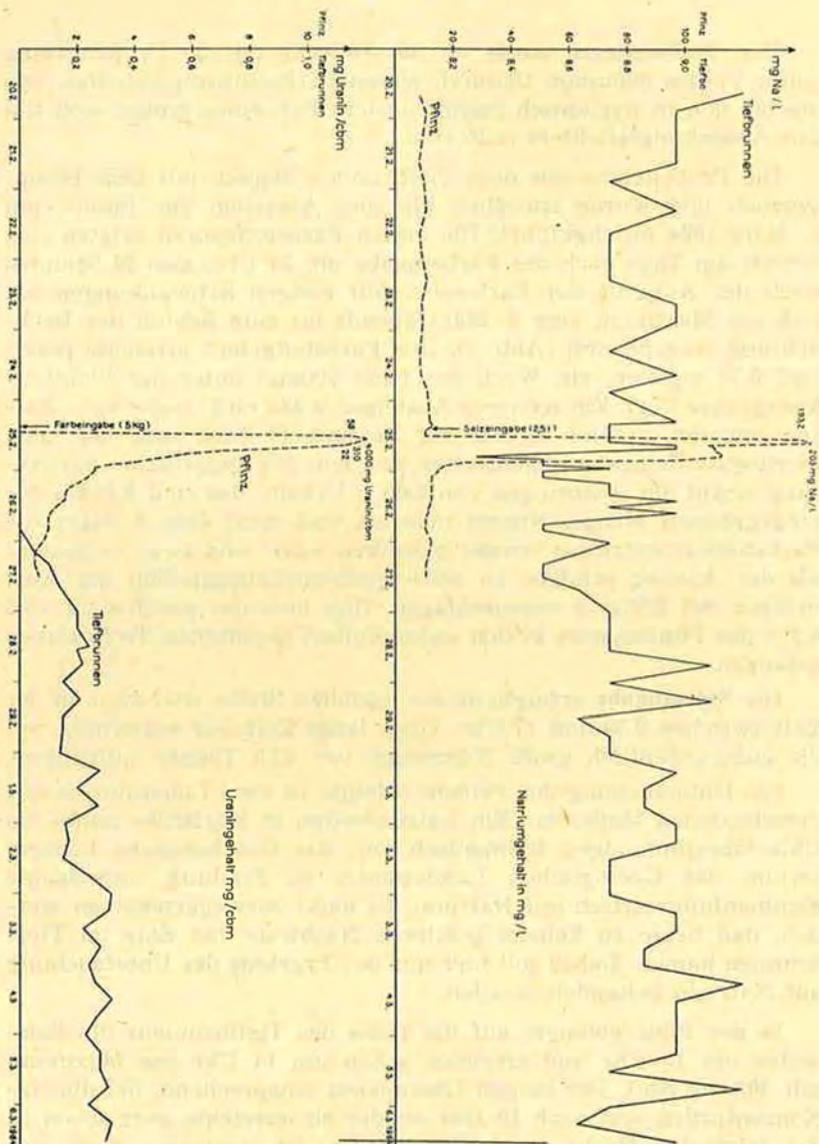


Abb. 2: Natriumgehalte (oben) und Uraningehalte (unten) im Tiefbrunnen Söllingen (ausgezogen) und in der Pflanz auf der Höhe des Tiefbrunnens (gestrichelt) beim Färb- und Salzungsversuch Söllingen/Lkr. Karlsruhe.
Darstellung der Na-Gehalte im Tiefbrunnen stark gedehnt!

Salzeingabe sanken die Natriumwerte zunächst noch ab. Ein Anstieg war auch später unter keinen Umständen zu erkennen. Auch nach der Salzung kamen keine Natriumwerte vor, die höher waren als vor der Salzung. Beim Betrachten der Diagramme ist zu beachten, daß der Maßstab der Na-Konzentration stark gedehnt ist und daß der Nullwert weit unter der Abszissenachse zu liegen käme.

Über den ermittelten Höchstgehalt an Uranin ergibt eine einfache Rechnung, daß lediglich eine Natriumerhöhung von

$$\frac{22,5 \times 0,32 \times 23}{5 \times 58,5} = 0,57 \text{ mg Natrium/Liter}$$

zu erwarten war. In der Formel bedeuten:

22,5	=	Salzgabe in t
0,32	=	Uraninmaximum in mg/cbm
23	=	Atomgewicht Na
5	=	Uraningabe in kg
58,5	=	Molgewicht NaCl

Schon allein die vorausgegangenen Schwankungen zwischen 8,74 und 9,20 = 0,46 mg Na/l zeigen, daß ein Erkennen einer Erhöhung praktisch unmöglich ist. Trotz der ungewöhnlich großen Salzeingabe wird im Tiefbrunnen Söllingen eine möglicherweise eingetretene Erhöhung des Natriumgehaltes durch die natürlichen Schwankungen verdeckt.

Demgegenüber war der Farbstoffnachweis im Wasser des Tiefbrunnens einwandfrei und quantitativ bestimmbar. Für die kürzeste Horizontalentfernung Bach—Tiefbrunnen beträgt die Geschwindigkeit für die ersten Farbstoffspuren 1,1 m/Std. Die Geschwindigkeit für die maximale Farbstoffführung dürfte aber wesentlich geringer sein. Die wahre Geschwindigkeit kann überhaupt nicht ermittelt werden, da nicht zu klären ist, auf welchem Weg der Farbstoff in den Tiefbrunnen gelangt ist. Möglicherweise überquert die Pfanz Klüfte, in die gefärbtes Bachwasser gelangt ist, und darin größere Strecken zurückgelegt hat. Bei der Beurteilung der geringen Farbstoffanteile, die in den Brunnen gelangt sind, ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei Normalbeanspruchung bei weit geringerer Absenkung wahrscheinlich kein Farbnachweis hätte erfolgen können. Als wichtiges Ergebnis dieses Doppelversuches ist festzuhalten, daß bei einem verhältnismäßig hohen Aufwand beim Salzungsversuch keine, beim Färbversuch dagegen mit geringen Mitteln gut auswertbare Werte erzielt werden konnten.

b) Färbversuch Epfenbach/Lkr. Sinsheim

(Geologischer Bearbeiter: H.-K. FINDEISEN)

Die Hetzenlochquelle, die für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Eschelbronn (am Schwarzbach, 300 m oberhalb der Einmündung des Epfenbachs gelegen) gefaßt ist, wird hin und wieder vom Hygieniker beanstandet. Da die Quelle nur 5 m südlich des Bachbetts in den Schichten des Buntsandsteins gefaßt ist, lag die Annahme nahe, daß eine Beeinflussung seitens des abwasserbeladenen Baches erfolgte. Der Zufluß von 14 l/s erfolgt in 2 m Tiefe etwa in Höhe des Wasserspiegels des Epfenbaches. Nach den enttäuschenden Erfahrungen mit Salzungsversuchen schlugen die Bearbeiter einen Färbversuch mit 5 kg Uranin vor. Wässer aus dem Buntsandstein zeigen im allgemeinen eine leicht saure Reaktion; die Hetzenlochquelle entspringt jedoch aus den Grenzschichten des Oberen und Mittleren Buntsandsteins und das Wasser dürfte auf Grund seiner Härte und der neutralen Reaktion durch den Muschelkalk mitgeprägt sein. Bedenken bestanden also wegen einer möglichen Beeinträchtigung der Fluoreszenz durch saure Wässer nicht.

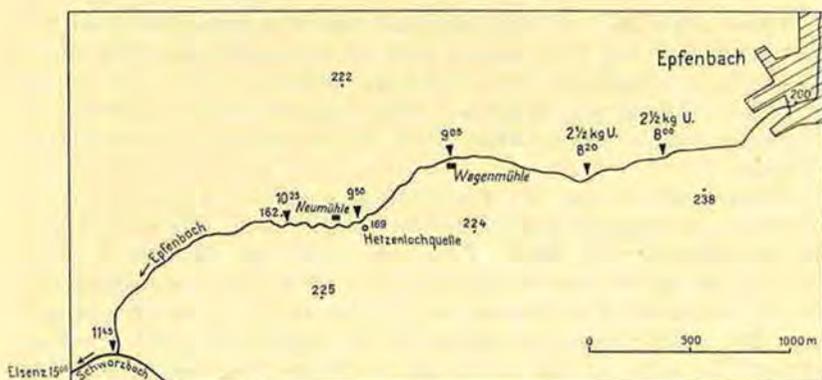


Abb. 3: Lageskizze zum Färbversuch Epfenbach/Lkr. Sinsheim.

Am 12. Januar 1965 um 8.00 Uhr wurden 2,5 kg Uranin in festem kristallisiertem Zustand etwa 1000 m unterhalb der Ortsmitte von Epfenbach in den Epfenbach eingestreut, der seinerzeit eine Wasserführung von rund 25 l/s aufwies und wegen vorausgegangenem starkem Regen leicht trüb war (Abb. 3). Die Wasserführung war abnehmend. Unterhalb der ersten Eingabestelle stößt der Bach wiederholt an seinem linken (= südlichen) Steilufer an entblößte

Schichten des Oberen Buntsandsteins. Bis kurz vor der Wagenmühle ist das Gefälle verhältnismäßig gering, nimmt aber dann bis etwa zu Punkt 162 erheblich zu. Die zweite Farbstoffeingabe (ebenfalls 2,5 kg) erfolgte rund 400 m weiter unterhalb der ersten Einspeisestelle um 8.20 Uhr, als etwa die maximale Farbstoffwelle im Bach ankam. Die Eingabe der kristallisierten festen Substanz, die ja bis zur Auflösung am Bachgrund von der Strömung entlanggerollt wurde, hatte den Zweck, etwaige Versickerungsstellen möglichst konzentriert einzufärben.

Um 9.05 Uhr kamen die ersten sichtbaren Farbspuren bei der Wagenmühle, um 9.50 Uhr bei der Hetzenlochquelle an. Die Farbspuren erreichten um 10.25 Uhr den Punkt 162 und um 11.45 Uhr die Einmündung in den Schwarzbach. Das Maximum der Farbstoffwelle ging um 10.10 Uhr bei der Hetzenlochquelle vorbei (52 g U./cbm). Die einzige Probenahmestelle war die Hetzenlochquelle. Aus ihr wurden ab 8.00 Uhr in halbstündigem, von 20 Uhr bis zum Abend des kommenden Tages in zweistündigem Abstand Proben entnommen. Die weiteren Entnahmen erfolgten bis zum 18. Januar 4mal und bis zum 25. Januar (Beobachtungsende) 2mal täglich. In keiner der insgesamt 84 untersuchten Proben waren Farbstoffspuren nachweisbar. Damit dürfte erwiesen sein, daß das Bachbett gegen die Hetzenlochquelle vollkommen dicht ist. Die Ursache der Verunreinigungen muß demnach außerhalb des Baches, wohl im Waldgebiet südlich bis südöstlich der Quelle, gesucht werden.

c) Färb- und Salzungsversuche Eisingen/Lkr. Pforzheim

(Geologischer Bearbeiter: J. BARTZ)

Wie bei den zuvor beschriebenen zwei Färbversuchen war auch bei Eisingen ein möglicher Zufluß von Oberflächenwasser zu einem zur Nutzung vorzubereitenden Wasservorkommen festzustellen. Im Gegensatz zu den Versuchen Söllingen und Epfenbach bestand jedoch der tiefere Untergrund nicht aus Buntsandstein, sondern aus den Grenzschichten des Mittleren zum Unteren Muschelkalkes.

Die Gemeinde Eisingen erwarb zum Zweck der Trinkwassernutzung die Gennenbachquelle, deren Wasserzutritte aus dem Anstehenden zum Zeitpunkt der Färb- und Salzungsversuche durch einen 5 m breiten und etwa 12 m langen Schürfgraben freigelegt waren (Höhenlage: 198 m NN). Am bergseitigen Hang des Schürfgrabens waren unter lehmigem Kalksteingehängeschutt schieferig-mergelige Kalke mit einzelnen Kalksteinbänken, im tieferen Teil Kalksteinbänke mit Zwischenlagen von Mergelschiefer zu erkennen. Die Schichten zeigten ein schwaches Einfallen nach Osten. Aus

Spalten in den Kalksteinbänken, die sich im wesentlichen um die Südostecke gruppierten, traten mehrere starke Quelladern aus. Der Wasserspiegel war durch Einbau eines Meßwehres erhöht; dort wurde zur Versuchszeit gleichmäßig eine Schüttung von 41 l/s ermittelt. Durch die Höherlegung des Wasserspiegels traten auch an der nördlichen Wand außerhalb des Schürfgrabens einige Sekundensliter Wasser aus, so daß mit einer Gesamtschüttung von rund 50 l/s gerechnet werden kann.

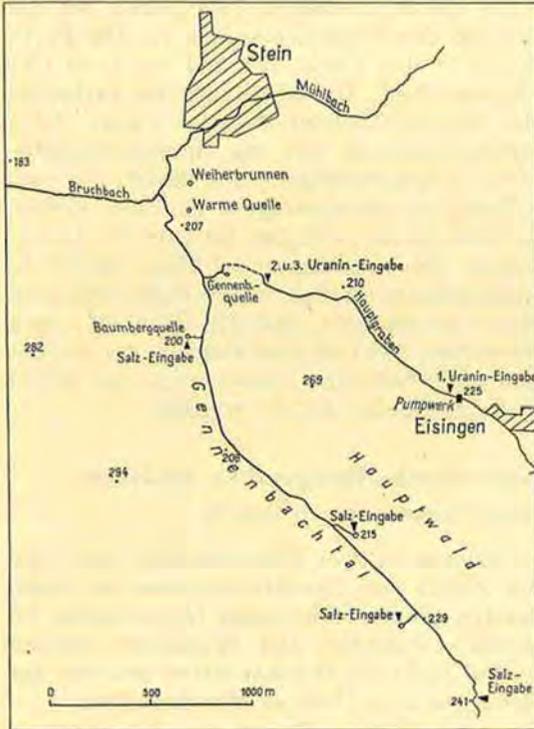


Abb. 4: Lageskizze zu den Färb- und Salzungsversuchen Eisingen/Lkr. Pforzheim.

Wie bei Söllingen wurden die beiden Markierungsstoffe Uranin und Natriumchlorid an verschiedenen Orten und Zeiten verwendet. Die **Farbstoffeingabe** (2,5 kg Uranin) erfolgte am 6. April 1965, 9.20 Uhr, unterhalb des Pumpenhäuschens Eisingen in den Hauptgraben in vorgelöster Form (Abb. 4). Die Entfernung bis zur Gensbachquelle beträgt in Luftlinie 1300 m, der Höhenunterschied etwa 26 m. Die Wasserführung betrug im stark abwasserbeladenen

Hauptgraben einschließlich Spülwasser rund 1 l/s; nach dem Übereich-Auslauf etwa 200 m unterhalb der Eingabestelle führte der Hauptgraben 2 bis 3 l/s. Bis zur Gennenbachquelle besitzt der Hauptgraben ein verhältnismäßig schwaches Gefälle. Die letzten 200 m sind erst neuerdings verdolt worden. Nur wenige Meter nördlich der Gennenbachquelle befindet sich der neue Auslaß des Hauptgrabens, der kurz danach das Wasser der Quelle aufnimmt. Etwas weiter talab kommt aus Süden bei sehr reichlichen Niederschlägen ein Zufluß aus dem Gennenbachtal.

Die Farbe kam am Tag der Färbung des Hauptgrabens in Höhe der Gennenbachtalquelle um 12.25 Uhr in sichtbarer Form (rund 25 mg U./cbm) an. Um 14.48 Uhr betrug dort die Konzentration 8000, um 15.01 Uhr 6500 mg U./cbm, das Maximum der Farbwelle war also zu diesem Zeitpunkt schon vorüber.

Die Beobachtung erstreckte sich auf die Gennenbachquelle sowie auf zwei Quellen im Ortsbereich Stein, die „Warme Quelle“ und den „Weiherbrunnen“. Die letzteren treten aus dem Unteren Muschelkalk aus und besitzen eine schwach erhöhte Temperatur um 15° C.

Bereits um 16 Uhr am Tag der Farbeingabe wurde in einer Probe aus der Gennenbachquelle eine geringe Farbspur um 0,02 mg U./cbm festgestellt. Da jedoch beobachtet wurde, daß sich sowohl im Hauptgraben als auch an der Quelle spielende Kinder tummelten, soll dieser Wert außer Betracht bleiben. Durch Aufstellung eines Wächters konnte eine weitere Verunreinigung vermieden werden. Ab 22 Uhr waren dann steigende Uraningehalte zu verzeichnen, die schon nachts um 2.00 Uhr mit 0,5 mg U./cbm das Maximum erreicht hatten. Im weiteren Verlauf sank die Farbe nur ganz allmählich wieder ab. Bemerkenswert sind die Schwankungen in der Farbstoffkurve, die bei näherem Hinsehen fast immer für die Nachtzeit höhere Konzentrationen als für die Tagesstunden aufweisen. Dies ist mit Sicherheit auf den zerstörenden Lichteinfluß zurückzuführen. Bis zum 14. April waren immer noch Farbstoffspuren nachweisbar, die Gennenbachquelle brachte bis dahin 1,82 g Uranin oder 0,073% des eingebrachten Farbstoffes zutage. Da sich bei dem Färbversuch auch ein Quellauge gefärbt hatte, das mit dem Hauptgraben nicht oberflächlich in Verbindung stand, lag der Verdacht nahe, daß der Einfluß von hier auf die aufgeschürfte Quelle erfolgte. Es wurde daher am 14. April, 15 Uhr, das Quellauge mit 150 g Uranin eingefärbt. Die unmittelbar nördlich des Schürfgrabens entspringenden und in den gemeinsamen Abzugsgraben mündenden Quellen waren nach 20 Minuten deutlich grün gefärbt. Auch die Gennenbachquelle selbst zeigte einige Stunden später eine deutliche Erhöhung der Uraninführung (s. Abb. 5). Es war noch zu

klären, in welchem Bereich des Hauptgrabens die Wässer versickern, die zu der Gennenbachquelle gelangen. Dazu wurde am 29. April der Hauptgraben beim Beginn der Verdolung mit 200 g Uranin eingefärbt. Diese Färbung blieb ohne nachweisbaren Einfluß auf die Gennenbachquelle.

Von den beiden übrigen Beobachtungsstellen bei Stein zeigte die „Warme Quelle“ während der gesamten Beobachtungszeit keine Farbe. Der Weiherbrunnen hingegen wies dreimal, am 14. (0,01), am 16. (0,02) und am 18. April (0,04 mg U./cbm), geringste Farbstoffspuren auf.

Die am gleichen Tage wie die erste Einfärbung vorgenommene **Salzung** hatte außerdem den Zweck, mögliche Einflüsse aus dem Gennenbachtal festzustellen. Es wurden insgesamt 2000 kg Friedrichshaller Rohsalz mit einem Reinheitsgrad von 98,1% NaCl verwendet. Am 6. April wurden eingegeben:

- | | |
|---|------------------|
| a) in den Hauptgraben an der Einfärbungsstelle zwischen 10.30 und 19.00 Uhr | 500 kg |
| b) im Gennenbachtal beim P. 241, etwa 150 m unterhalb des Löchlesbrunnens bei der Versickerungsstelle . . . | 150 kg |
| c) im Gennenbachtal beim P. 229, in den Quelltopf der Namenlosen Quelle | 50 kg |
| d) im Gennenbachtal beim P. 215, in den Hammelsbrunnen | 150 kg |
| e) im Gennenbachtal beim P. 200, in die Baumbergquelle | 150 kg |
| | zusammen 1000 kg |

Die Salzung bei den Eingabestellen b—e erfolgte im Laufe des Vormittags des 6. April. Eine Woche darauf, am 13. April, wurde die Salzung in der gleichen Weise wiederholt. Das Gennenbachtal ist völlig unbesiedelt; es ist nahezu als Trockental anzusprechen. Die aufgeführten Quellen verlieren ihr Wasser meist schon nach kurzem Lauf. Nur das beim Punkt 215 entspringende Wasser der Doppelquelle des Hammelbrunnens (Schüttung: 4 + 2 l/s) fließt etwas weiter und erreicht am Tag der Begehung (6. April 1965) die Gegend beim Punkt 206.

Die Untersuchung auf Salz erfolgte flammenfotometrisch. Ein Einfluß ist weder in der Gennenbachquelle noch bei den übrigen Beobachtungsstellen bei Stein erkennbar. Auch die durch Titration der Chloridwerte in einem Karlsruher Laboratorium erhaltene Kurve zeigt weder für die Gennenbachquelle noch für die übrigen Entnahmepunkte irgendeinen Anhalt für einen Salzeinfluß. Errechnet man die aus der maximalen Farbstoffkonzentration der Gennenbachquelle zu erwartende Salzerhöhung, erhält man 0,20 mg

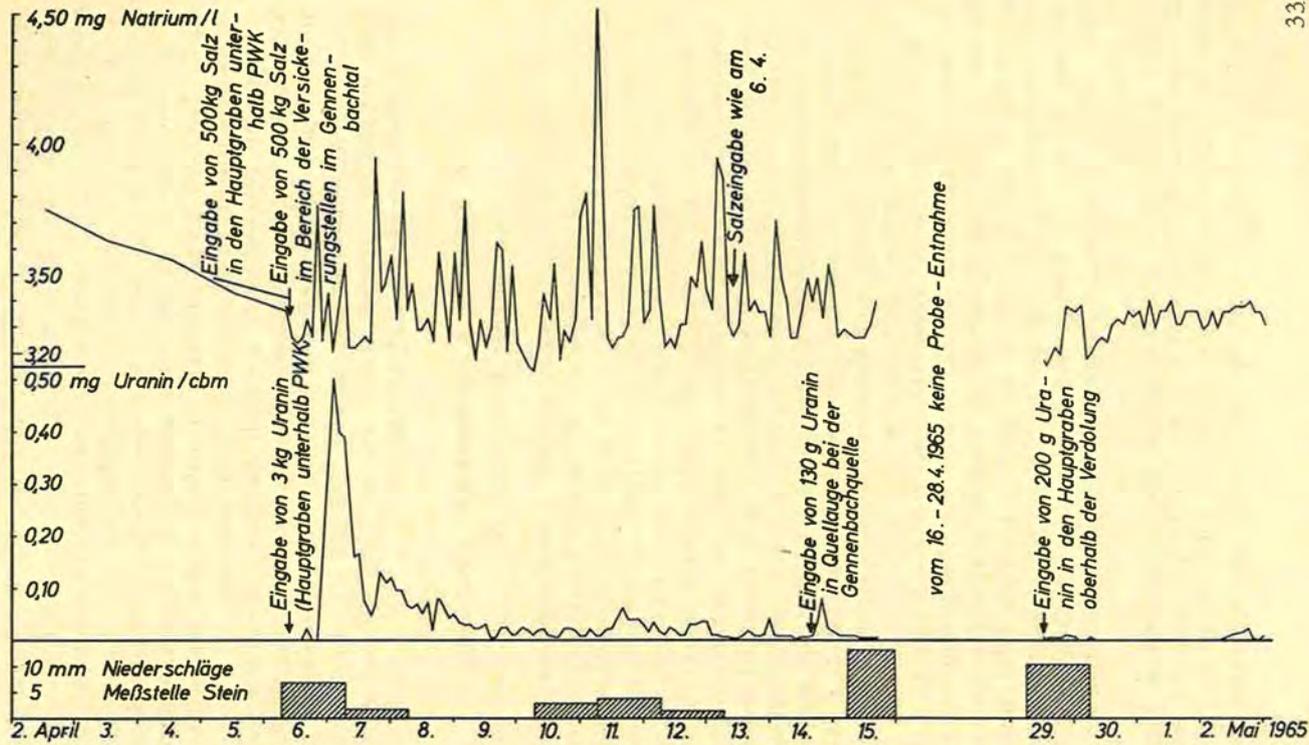


Abb. 5: Natriumgehalte (oben) und Uraningehalte (unten) in der Gennenbachquelle sowie Niederschläge der Meßstelle Stein bei den Färb- und Salzungsversuchen Eisingen/Lkr. Pforzheim. Darstellung der Na-Gehalte stark gedehnt!

NaCl/l oder weniger als 0,1 mg Natrium/l. Die 3-sigma-Vertrauensgrenze — ein Maß für die Streuung — der vor dem Salzungsversuch genommenen 13 Wasserproben der Gennenbachquelle liegt bei $\pm 0,620$ mg Na/l. Das ist ein Vielfaches der zu erwartenden Konzentrationserhöhung, selbst wenn man annimmt, daß der Salzeinfluß in gleicher Weise wie der Färbversuch auf die Gennenbachquelle wirkt. Letztere Voraussetzung ist jedoch durch die örtliche und zeitliche Streuung der Salzeingabe nicht gegeben.

Wie der vergleichende Versuch Söllingen, so zeigte auch der Versuch bei Eisingen die große Überlegenheit des Farbstoffes Uranin über den Markierungsstoff Steinsalz. Unter den obigen geschilderten Verhältnissen ist zu erkennen, daß mit Uranin dieselbe Wirkung als Markierungsstoff erzielt werden kann wie mit mindestens der 10.000fachen Menge Natriumchlorid.

d) Färbversuch Spielbach/Lkr. Crailsheim

(Geologischer Bearbeiter: W. CARLE)

Im Karstgebiet des Taubergrundes (Landschaft zwischen Bad Mergentheim und Rothenburg o. T.) wurde bereits 1953 bei Wermutshausen/Lkr. Mergentheim ein sehr aufschlußreicher Färbversuch durchgeführt und von W. CARLE (1956) ausführlich beschrieben. Die Geologie und Tektonik des Gebietes fand dort eine eingehende Würdigung, so daß darauf bei der Beschreibung des Färbversuches Spielbach nur kurz eingegangen werden muß. Die Hochfläche des Taubergrundes wird vom Lettenkeuper bedeckt, er ist jedoch von zahlreichen Erdfällen durchlöchert. In den darunterliegenden Muschelkalk sind die nach Norden ziehenden Täler tief eingeschnitten. Auch die Schichtneigung ist schwach nach Norden gerichtet. Zwischen Oberrimbach und Münster verlaufen einige NO-gerichtete Verwerfungen geringer Sprunghöhe.

Beim Färbversuch Wermutshausen trat die Farbe an 5 Stellen mit einem Streuwinkel von 125° wieder aus. Bemerkenswert ist, daß zu den beiden Austrittsstellen im Norden (Habelbrunnen und Hagenbrunnen) die Farbe trotz geringeren Gefälles (2%) wesentlich schneller gelangte (Farbspitze mit rund 300 m/Std.) als zu den übrigen Quellen im Westen und Nordwesten der Eingabestelle (Gefälle: 2,4 bis 4‰; Geschwindigkeiten der ersten Farbspuren: 15 bis 27 m/Std.).

Die Eingabestelle für den am 19. November 1964 in Spielbach durchgeführten Färbversuch liegt 7,5 km ost-südöstlich der Eingabestelle des Färbversuches Wermutshausen (Abb. 6). In eine ständige Versickerungsstelle in einem großen Erdfall am Westrand des Dor-

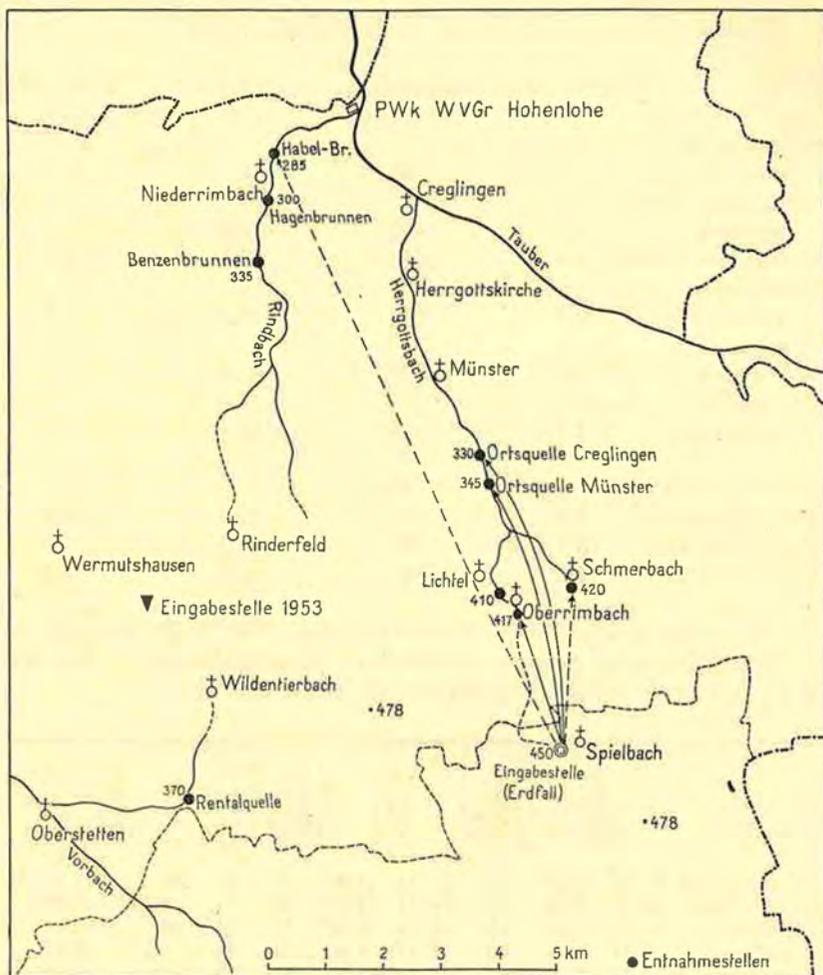


Abb. 6: Lageskizze zum Färbversuch Spielbach/Lkr. Crailsheim.

fes wurden um 11 Uhr 2,25 kg Uranin in festem Zustand eingegeben. Am Nachmittag der Einfärbung ging ein sehr starker Landregen nieder (bei der Meßstelle Rothenburg o.T.: 23 mm). Die Meereshöhe der Eingabestelle liegt bei 453 m NN.

Beobachtet wurden folgende Muschelkalkquellen:

	Entfernung (km)	Meereshöhe (m NN)	Gefälle (‰)	Schüttung (l/s)
Rentalquelle, Oberstetten	6,5	368	13	0,9
Ortsquelle Ober- rimbach	2,5	415	13,2	5,1
Ortsquelle Lichtel	2,8	410	13,6	0,5
Ortsquelle Schmerbach	2,7	420	15,9	0,9
Ortsquelle Münster	3,8	360	21,8	2,2
Ortsquelle Creglingen	4,7	345	23	2,9

Wasserversorgungsgruppe Hohenlohe:

Benzenbrunnen	9,8	335	10,7	12,0
Hagenbrunnen	10,7	300	14,3	4,4
Habelbrunnen	11,3	285	14,9	4,3

Wie beim Färbversuch Wermutshausen trat auch diesmal an 5 Stellen Farbstoff aus. Die wichtigsten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (vgl. auch Abb. 7):

Quelle	Erste Farbspuren, Zeitpunkt	Stunden nach der Einspei- sung	Stärkste Färbung, Zeit- punkt	Stunden nach der Einspei- sung	Geschwindig- keit in m/Std	Ausbringen, Uraolin
Oberrimbach	21. 11. 16.00	53	22. 11. 11.00	72	35	294 13,1
Schmerbach	19. 11. 16.00	5	19. 11. 24.00	13	21	0,014 0,0006
Münster	19. 11. 21.00	10	23. 11. 12.00	97	39	48 2,1
Creglingen	21. 11. 6.00	43	25. 11. 8.00	141	33	0,212 0,01
Habelbrunnen	4. 12. 18.00	367	14. 12. 12.00	601	19	0,57 0,026

Gesamtausbringen: 342,796g 15,2366‰

Zunächst überrascht die geringe Ausbeute von kaum einem Sechstel der eingegebenen Menge. Bei den starken Niederschlägen während der Einfärbung wäre ein bedeutend höheres Ergebnis zu erwarten gewesen. Bis zum 28. November waren jedoch so gut wie keine Niederschläge zu verzeichnen. Es ist daher anzunehmen, daß das Karstwasser stark abfiel, während der allergrößte Teil des Farbstoffes noch im Bergesinnern war. Dadurch wurden beträcht-

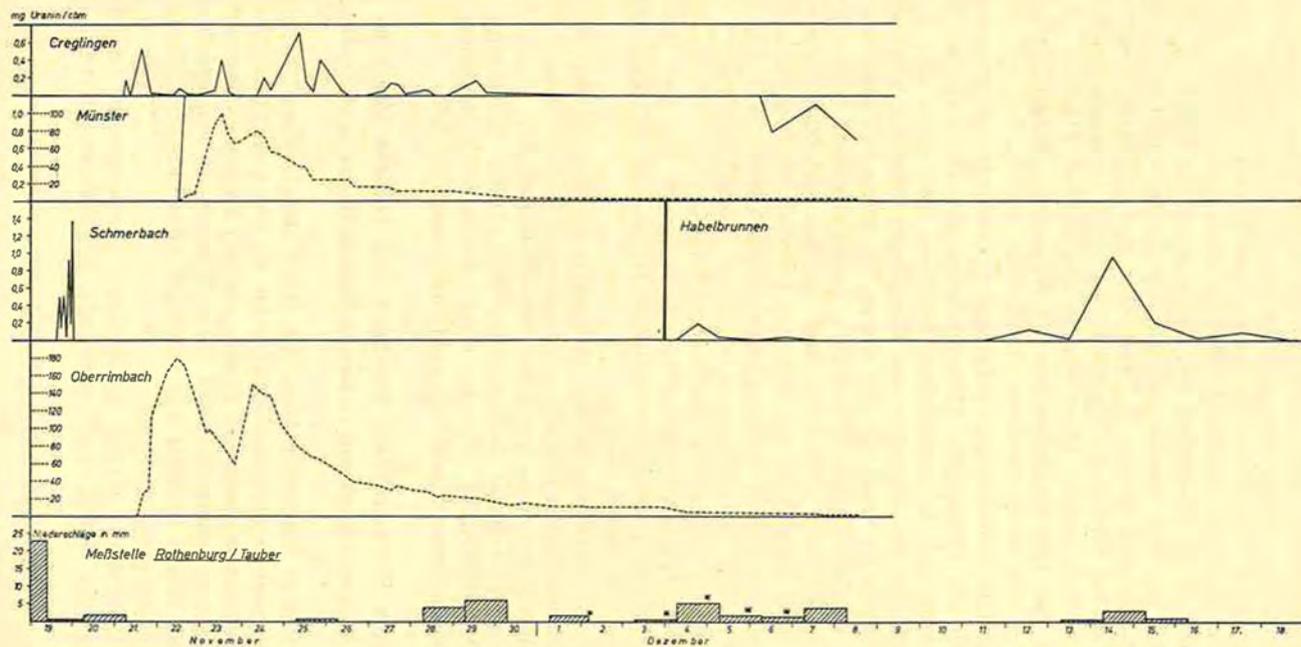


Abb. 7: Farbgangkurven und Niederschläge der Meßstelle Rothenburg o. Tauber beim Färbversuch Spielbach.

liche Teile des eingefärbten Karstwassers abgeschnürt oder kamen erst sehr verzögert, lange nach Beobachtungsende, und sehr verdünnt wieder zum Vorschein. Sehr schnell, aber nicht in sehr hoher Konzentration gelangte die Farbstoffwelle nach Schmerbach. Schon in der Nacht zum 20. November um 3 Uhr war kein Farbstoff mehr nachweisbar. Zu der Quelle in der Ortsmitte von Oberimbach braucht der Farbstoff gerade 2 Tage; hier war die Hauptaustrittsstelle, die noch bei Schluß der Beobachtung, am 8. Dezember mittags, rund 3 mg U./cbm zeigte. Diese Quelle zeigte zwei Maxima, eines am 22. und ein fast so hohes am 24. November. Möglicherweise wurde das zweite durch örtliche Regenfälle verursacht, die nicht in der Meßstelle Rothenburg aufgezeichnet wurden (Entfernung: 9 km). Auch die Ortsquelle Münster wies am 24. November ein Nebenmaximum auf. In zahlreichen Schüben und nicht sehr hoch anschwellend trat die Farbe in der Creglinger Fassung aus. Diese Unregelmäßigkeit ist wohl mit der durch die Nutzung verbundenen verschiedenen starken Beanspruchung in Zusammenhang zu bringen.

Die weiter entfernt liegenden drei Quellen bei Niederrimbach wurden 10 Tage länger als die übrigen, nämlich 30 Tage lang, beobachtet. Von diesen drei Quellen zeigte bemerkenswerterweise nur die unterste, der Habelbrunnen, geringe Farbstoffmengen. Die höchste Konzentration betrug hier nur 0,95 mg U./cbm.

Zu den drei Niederrimbacher Quellen besteht für den Habelbrunnen das stärkste Gefälle; vielleicht ist dies ein Grund, weshalb nur dieser Farbstoff zeigte.

Der Versuch Spielbach zeigte, daß auch im Muschelkalk-Karst die Wasserabflüsse nicht einfach vorgegebenen Bahnen folgen, sondern, ähnlich wie im Jura-Karst der Schwäbischen Alb, einer starken seitlichen Verteilung unterworfen sind. Diese Verteilung ist jedoch nicht gleichmäßig, wie die sehr verschiedene Reaktion oft nahe beieinanderliegender Wasseraustritte erkennen läßt.

e) Färbversuch Worndorf/Lkr. Stockach und frühere Versuche im Bereich der Donauversinkung zwischen Immendingen und Fridingen

Worndorf liegt gewissermaßen am Rand des Gebiets der klassischen Färb- und Salzungsversuche (Abb. 8). Die vom Südschwarzwald nach Ostnordost fließende Donau verliert zwischen Immendingen und Fridingen einen Großteil ihres Wassers; in niederschlagsarmen Jahren bleibt oftmals das Flußbett unterhalb des „Brühls“ bei Immendingen ganz trocken.

Unglücklicherweise verlief die frühere Landesgrenze zwischen Württemberg und Baden quer durch die Versickerungsstrecke der



Abb. 8: Übersichtskarte zum Färbversuch Worndorf/Lkr. Stockach mit Eingabestellen der im Bereich der Aach-Donau unternommenen Färb- und Salzungsversuche.

Donau und durch das mutmaßliche Einzugsgebiet der Aachquelle. Es entstand gegen Ende des letzten Jahrhunderts ein jahrzehntelanger unerquicklicher Streit um das Donauwasser, der bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts andauerte und selbst nach dem Zweiten Weltkrieg nochmals kurz aufflackerte. Indessen beschäftigte dieser Kampf auch schon früh Geologen und Hydrologen. So wurde im Jahre 1877 erstmals der kurz zuvor entdeckte Farbstoff Fluoreszein in die Donauversickerungsstelle Brühl erfolgreich eingesetzt, nachdem wenige Tage vorher Versuche mit Schieferöl und Steinsalz gelungen waren. Die dortige Versickerung geht in den

klüftigen Kalken des Weißjura β verhältnismäßig glatt vonstatten, es ist die Stelle der hauptsächlichsten Wasserverluste der Donau. Weitere Versickerungsstellen liegen etwas oberhalb am Wehr bei Immendingen, im Stadtgebiet von Tuttlingen und in der Donauschleife südlich Fridingen. Letztere Versinkungsstelle liegt in den Weißjura- δ -Kalken; sie nahm bis zum Bau des Fridinger Kraftwerkstollens 1922/23 bedeutende Mengen der unterhalb des Brühls in trockenen Jahren aus Krähenbach, Elta, Lippach und Bära neugebildeten Donau auf. Es ist hier nicht der Platz, auf die äußerst verwickelten hydrologischen Verhältnisse der Donauversinkung einzugehen. Eine Fülle von Aufsätzen, Gutachten und Zeitungsberichten befaßte sich damit aus oftmals eigenartigen Gesichtswinkeln. Durch die Zusammenfassung der Länder Baden und Württemberg sowie durch den vorherrschenden Gebrauch der Elektrizität als Antriebsenergie ist zwar das Problem nicht behoben, aber weitgehend in den Hintergrund gedrängt worden.

Im folgenden seien die Färb- und Salzungsversuche in zeitlicher Reihenfolge aufgeführt, die seit nahezu 90 Jahren im Gebiet des Einzugsgebietes der größten Karstquellen Deutschlands durchgeführt worden sind.

Versuch mit Anilinrot, Brühl 1869 (A. KNOP, 1875). Nach Eingabe von 14 kg Farbstoff in festem Zustand wurde im Wasser des Aachtopfes jedoch keinerlei Färbung beobachtet. Heute weiß man, daß Anilinrot für die Verfolgung unterirdischer Gewässer ungeeignet ist, weil es an den Oberflächen der Gesteine haftet. Dagegen versuchte A. KNOP aus Beobachtungen über die Trübung der Aachquelle nach vorangegangenen Gewittern über dem Raum Hattingen—Emmingen ab Egg die Fließgeschwindigkeit zu errechnen. Allerdings kam er zu der viel zu hohen Geschwindigkeit von 900 m/Std., da er die Entfernung Brühl—Aach statt Emmingen—Aach und eine etwas zu knappe Zeit in Rechnung setzte. Eine Rechnung mit den berichtigten Zahlen: Entfernung 8,5 km und 16 statt 12 Stunden (nachmittags bis morgens), kommt man zu der Geschwindigkeit 530 m/Std., die zwar höher als alle bisher gemessenen ist, aber bei hohem Karstwasserstand immerhin denkbar ist.

Versuch mit Schieferöl, Brühl 1877 (A. KNOP, 1878). Eingabe beim Brühl am 22. September 1877 (0,6 t Glasgower Schieferöl). Nach 60 Stunden wies das Wasser einen deutlichen Kreosotgeschmack auf, der 6 Stunden anhielt. Es ergibt sich hieraus eine mittlere Fließgeschwindigkeit zur 11,8 km entfernten Aachquelle von 185 m/Std.

Salzungsversuch Brühl 1877 (A. KNOP, 1878). Eingabe beim Brühl am 24. September 1877 (10 t Kehrsalz), einen Tag nach Eintritt einer

Vollversinkung. Die Chloridbestimmung im Wasser des Aachtopfes erfolgte quantitativ-gravimetrisch durch Prof. KNOP. Die ersten Anzeichen einer Chloriderhöhung machten sich schon nach 20 Stunden bemerkbar. Die höchste Konzentration trat nach 60 Stunden auf; bis 90 Stunden nach der Salzeingabe war eine Chloriderhöhung in der Aachquelle nachweisbar. Die Fließgeschwindigkeit für das Maximum betrug rund 195 m/Std.

A. KNOP errechnete ein Salzausbringen von 92,6%, G. WAGNER wiederholte die Berechnung und fand 94,66%; also ein vollständiges Ausbringen, wenn man dem Salz noch 2% Verunreinigungen und 3 bis 4% Feuchtigkeit zuschreibt.

Färbversuch Brühl 1877 (A. KNOP, 1878). Erster jemals mit Fluoreszein und erfolgreich ausgeführter Färbversuch! Eingabe von 10 kg Fluoreszein in natronalkalischer Lösung beim Brühl in ein Schluckloch 15 Tage nach Eintritt der Vollversinkung. Vom Zeitpunkt der Farbeingabe (9. Oktober 1877, 16 Uhr) bis zum Auftreten einer deutlichen Grünfärbung im Aachtopf dauerte es wie im vorausgegangenen Salzungsversuch 60 Stunden.

Färbversuche Tuttlingen 1904 (K. C. BERZ, 1928). Durch Beobachtungen der Grundwasserhöhen in Tuttlingen kam man zu dem Schluß, daß im Stadtgebiet südlich der Donau sowie beim Gaswerk am nördlichen Stadtrand Grundwasser in die Weißjura- β -Kalke eintrete. Zwei Färbversuche mit je 5 kg Uranin, die im Brunnen des Gasthauses „Blume“ und im Gelände der AG für Feinmechanik unternommen wurden, blieben ohne positives Ergebnis. K. C. BERZ dürfte mit seiner Vermutung, daß die angewandte Farbstoffmenge für einen Nachweis in der Aachquelle zu gering war, recht haben.

Färbversuch Brühl 1907 (K. ENDRISS). Eingabe am 6. August 1907 beim Brühl, 14 Tage nach Eintritt der Vollversinkung (20 kg Uranin). Die Fließgeschwindigkeiten sind wesentlich langsamer als bei den 30 Jahre zuvor gemachten Versuchen. Die ersten Farbspuren traten nach 48, die stärkste Färbung nach 96 Stunden auf; bis 110 Stunden nach der Eingabe war Farbe im Aachtopf sichtbar. Die Geschwindigkeit für die stärkste Färbung betrug 123 m/Std.

Die Angaben, daß der Krebsbach und die Stockacher Aach schwache Farbstoffführung zeigten, werden von L. ERB (1952) bezweifelt.

Färbversuch Fridingen 1907 (K. ENDRISS). Nach K. C. BERZ (1928) erfolgte die Eingabe von 10 kg Fluoreszein (nach P. SCHAUFELBERGER, 1929: 12,5 kg) bei der Furt unterhalb Fridingen am 26. August 1907. Die maximale Färbung wurde nach 195 Stunden beobachtet, dies entspricht einer Fließgeschwindigkeit der Farbspitze von nur 105 m/

Std. Allerdings muß erwähnt werden, daß dieser Versuch zu einer Zeit unternommen wurde, als Vollversinkung beim Brühl herrschte und als auch die Wasserführung der Aach sehr niedrig war.

Salzungsversuch Fridingen 1908 (K. ENDRISS). Die Eingabe von 25 t Salz (bei P. SCHAUFELBERGER fälschlich 12,5 t Salz) erfolgte am 11. November 1908. Es wird berichtet, daß 3 Salzwellen, und zwar

zwischen 11. Nov., 16 Uhr, und 14. Nov., 4 Uhr, mit 5.462 kg NaCl
zwischen 16. Nov., 13 Uhr, und 22. Nov., mittags, mit 23.883 kg NaCl
zwischen 24. Nov., 0 Uhr, und 25. Nov., 14 Uhr, mit 13.337 kg NaCl

in der Aachquelle ausgetreten sind. Die erste und dritte Salzwelle sind sicher auf Niederschläge zurückzuführen. K. C. BERZ nimmt eine Auswaschung der Düngesalze durch Regenwasser an. Viel eher ist an eine unrichtige Berechnungsmethode zu denken. Es wurde nämlich die Salzführung der Aachquelle in der Sekunde ermittelt, die ja notgedrungen bei erhöhter Wasserführung ebenfalls zunehmen muß. Die mittlere Salzwelle erbrachte 95,6% des eingegebenen Salzes; nimmt man noch Verunreinigung und Feuchtigkeit des Salzes hinzu, so war das Ausbringen bei diesem Versuch vollständig. Die Geschwindigkeit für die höchste Salzkonzentration ist nicht genau zu ermitteln; sie dürfte jedoch rund 100 m/Std. betragen.

Färbversuch Wasserburger Tal 1928 (P. SCHAUFELBERGER, 1929). Die Eingabe von 2 kg Uranin erfolgte am 4. Mai, 16.40 Uhr, beim Vogtsdobel in den Bach, der damals 40 bis 50 l/s Wasser führte, rund 700 bis 800 m oberhalb der letzten Versickerung. Die Höhe der Versickerung liegt bei 540 m NN. In der Aachquelle ermittelte P. SCHAUFELBERGER mit Hilfe des Fluoreskops, mit einem Bestimmungsverfahren, das allerdings nicht näher beschrieben wurde, folgende Uraninkonzentrationen:

5. Mai, 5 Uhr (nach 12 St., 20 Min.): 1 mg/cbm (Schüttung der Aachquelle: 8 cbm/s),
5. Mai, 13.30 Uhr (nach 20 Std., 50 Min.): 1,33 mg/cbm (Schüttung der Aachquelle: 9 cbm/s),
7. Mai, 14 Uhr (nach 69 Std.): 1 mg/cbm (Schüttung der Aachquelle: 11 cbm/s),
8. Mai: nicht mehr nachweisbar.

Für die maximale Farbstoffführung ergibt sich bei einer Entfernung von 3000 m eine Fließgeschwindigkeit von rund 145 m/Std. P. SCHAUFELBERGER errechnete für diesen Versuch ein Farbstoffausbringen von 98,06%.

Färbversuch Emmingen ab Egg 1928 (P. SCHAUFELBERGER, 1929).

Am 22. Juni zwischen 18.00 und 18.45 Uhr wurden in den Jaucherbach an der Brücke am südlichen Ortsausgang 4 kg Uranin eingegeben. Das Jaucherbachtal, das zunächst nach Ostnordost geneigt ist, gehört topographisch zum Einzugsgebiet des Seltenbaches und mit zur Donau. Der Jaucherbach selbst versickerte nach einigen hundert Metern in den Weißjura-Kalken, etwa bei 740 m NN. P. SCHAUFELBERGER beobachtet mit dem Fluoreskop zwischen 25. Juni und 3. Juli Uraninspuren unter 1 mg U./cbm. Am 23. Juni gingen abends Gewitter nieder. Bei einer Entfernung von 9,4 km kann mit einer Fließgeschwindigkeit von rund 135 m/Std. gerechnet werden.

Färbversuch Kriegertal, südöstlich Biesendorf 1928 (P. SCHAUFELBERGER, 1929). Am 31. Juli erfolgte die Eingabe von 4 kg Uranin in den Bach oberhalb der Pumpstation Biesendorf bei Meereshöhe 610 m NN. Am 3. August und an den folgenden Tagen fand P. SCHAUFELBERGER im Aachwasser Spuren von Uranin zwischen 0,01 und 0,05 mg/cbm, die „an der Grenze der Sichtbarkeit mittels des Fluoreskops“ lagen.

Die Fließwassergeschwindigkeit kann nur grob ermittelt werden, sie liegt für eine Entfernung von 6,5 km bei etwa 90 m/Std.

Salzungsversuch Fridingen 1957. Am 27. August 1957, 14.30 Uhr, wurden 50 t vorgelöstes Steinsalz in die Schwinden der Donau eingelassen. Die ersten Salzspuren zeigten sich in der Aachquelle nach 79 Stunden, die höchste Salzkonzentration war nach 180 Stunden erreicht, und die letzten Salzspuren waren nach 415 Stunden noch nachweisbar. Die Geschwindigkeit bei maximaler Salzkonzentration (27 mg Cl/l) beträgt somit 103 m/Std. Im Krebsbach war keine Chloriderhöhung festzustellen. Eine vom Wasserwirtschaftsamt Donaueschingen vorgenommene Berechnung der wiederausgebrachten Salzmengen liegt bei 37,8 t (= 75,6%), wenn man den Chlorid-Blindwert bei 11,0 mg/l ansetzt. Verwendet man einen Blindwert von 10,0 mg Cl/l, erhält man eine Ausbeute von 47,6 t oder 95,2%. Rechnet man noch Feuchtigkeit und Verunreinigungen hinzu, ist das Ausbringen vollständig.

Färbversuch Neuhausen ob Eck 1958 (geologischer Bearbeiter: H. KIDERLEN). Am 2. Dezember 1958 wurden vormittags 2 km WNW von Neuhausen 35 kg Uranin zur Versickerung gebracht. Am 9. Dezember vormittags waren schon 5,6 mg U./cbm in der Aachquelle nachweisbar. Es ist anzunehmen, daß schon am Tage zuvor der Aachtopf Farbstoff führte. Im einzelnen wurden folgende Werte festgestellt:

4. Dezember, 2.00 Uhr:	0 mg U./cbm	
9. Dezember, 9.00 Uhr:	5,6 mg U./cbm	
9. Dezember, 12.00 Uhr:	6,1 mg U./cbm	
10. Dezember, 12.00 Uhr:	7,4 mg U./cbm	
11. Dezember, 12.00 Uhr:	9,6 mg U./cbm	Maximum; Fließge- schwindigkeit: 67 m/Std.
13. Dezember, 12.00 Uhr:	5,1 mg U./cbm	
14. Dezember, 12.00 Uhr:	1,7 mg U./cbm	
15. Dezember, 12.00 Uhr:	1,5 mg U./cbm	
16. Dezember, 12.00 Uhr:	0,9 mg U./cbm	

Eine Auswertung unter Berücksichtigung der verhältnismäßig niedrigen Wasserführung der Aachquelle (6 cbm/s) ergibt ein Ausbringen bis zu diesem Zeitpunkt von nur 24,5 kg oder 70%; bei Fortsetzung der Beobachtung über den 16. Dezember hinaus hätte sich die Ausbeute sicher noch um mehrere Prozent erhöht.

Färbversuch Neuhausen ob Eck 1962 (geologischer Bearbeiter: H. KIDERLEN). Eingabe von 35 kg Uranin am 14. März 1962 rund 1 km östlich Neuhausens. In der Aachquelle traten am 16. März zwischen 6 Uhr und 17 Uhr die ersten Farbspuren auf. Schon in der nächsten Probe um 20 Uhr wurde die maximale Farbstoffführung mit 64 mg U./cbm festgestellt (Fließgeschwindigkeit: 290 m/Std., Abb. 9). Die letzte Farbstoffspur war noch am 22. März um 14 Uhr nachweisbar. Bis zum Monatsende blieb die Farbkonzentration unter der Nachweisgrenze. Die Regenfälle ab 30. März ließen die Wasserführung der Aachquelle wieder anschwellen. Gleichzeitig wurde wieder Farbstoff in einer zweiten Welle ausgespült, die aber bei weitem nicht so kräftig wie die erste war. Wahrscheinlich waren die Niederschläge im Gebiet der Aach-Donau wesentlich höher als die der angeführten Beobachtungsstelle Sigmaringen-Gorheim (14 mm), die doch beträchtlich östlich außerhalb des betrachteten Gebietes liegt. Die Meßstelle Triberg befindet sich zwar ebenfalls nicht auf rheno-danubischem Einzugsgebiet, sie zeichnete jedoch für den 1. April 1962 eine Niederschlagshöhe von 21 mm auf.

Die Ausbeute betrug unter Berücksichtigung der wechselnden Wasserführung der Aach 33,5 kg Uranin = 95%. Vermutlich führte die Aachquelle zwischen den beiden Farbstoffwellen und nach der 2. Welle kleine Farbstoffmengen, die nicht mehr nachweisbar waren. Eine Ausbeute von 100% ist somit wahrscheinlich.

Außer der Aachquelle wurden zwischen dem 14. März und dem 2. Mai noch folgende Quellen beobachtet, die jedoch keine Farbstoffführung zeigten: Quelle Eigeltingen, Quelle Heudorf bei Meßkirch, Roter Brunnen/Donautal.

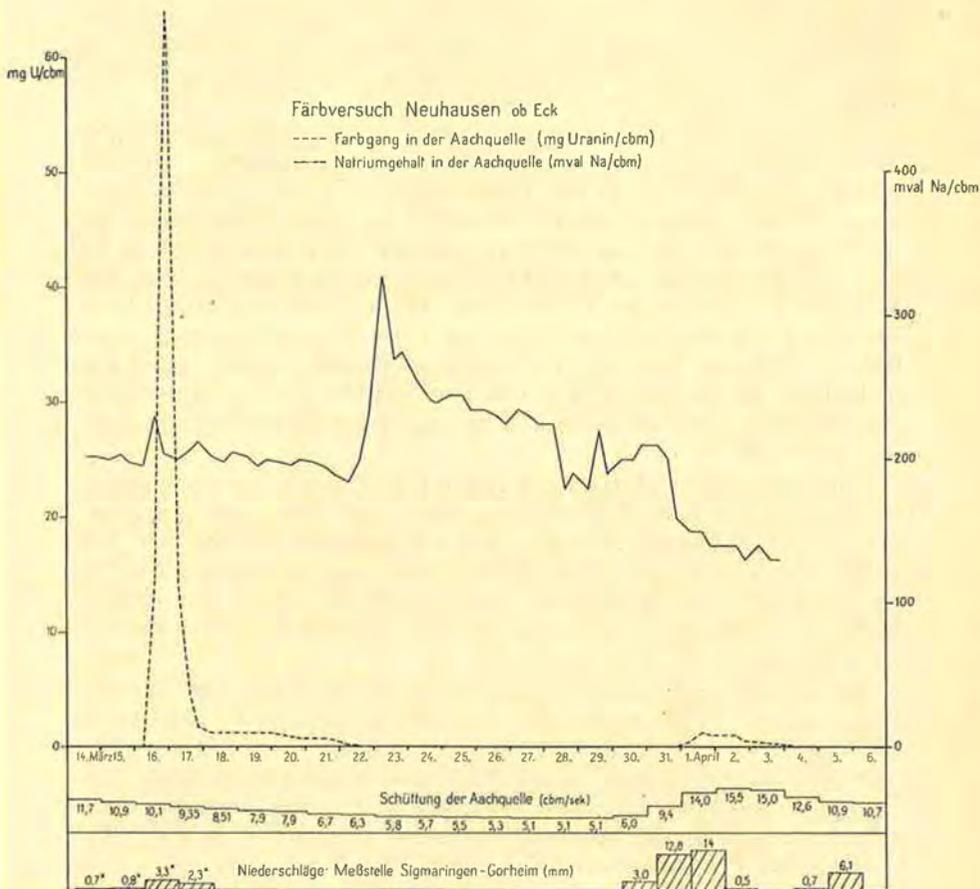


Abb. 9: Farbgangkurve in der Aachquelle beim Färbversuch Neuhausen o. E. 1962, außerdem Gang des Natriumgehaltes, Schüttungen der Aachquelle und der Niederschläge der Meßstelle Sigmaringen-Gorheim.

Anlässlich dieses Färbversuches wurden die Proben der Aachquelle auf ihren Salzgehalt geprüft. Der Einfachheit halber wurde dazu flammenfotometrisch der Natriumgehalt festgestellt (Abb. 9).

Es zeigte sich am 22. März ein plötzlicher Anstieg des Natriums, der nicht durch Niederschläge erklärt werden kann. Wollte man eine Auswaschung der Düngesalze annehmen, müßte gleichzeitig auch der Kaliumgehalt ansteigen. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Es bleibt also keine andere Wahl, als solche (wiederholt beobachtete) Salzwellen als Zeichen eines industriellen Ausstoßes zu sehen. Vielleicht ist dies auch eine Erklärung für die 1. und 3. Salzwellen vom Salzungsversuch Fridingen 1908.

Beim **Färbversuch Worndorf 1963** (geologischer Bearbeiter: J. WERNER) wurden am 9. Dezember vormittags zwischen 9.00 und 9.50 Uhr in Worndorf in den Bach, der etwa in der Ortsmitte aus einer (?) Zementmergel-Quelle kommt, 5 kg Uranin eingegeben. Je nach der Wasserführung versickert dieser Bach nach einer mehr oder minder weiten Laufstrecke in gut durchlässigen Kalken des Weißjura ζ . Am Tag der Färbung lag die Versickerungsstelle 800 m südöstlich der Quelle (Luftlinie) bei einer Meereshöhe von etwa 680 m. In Zeiten höherer Niederschläge versickert aber der Bach bedeutend weiter im Osten. Zum Tiefbrunnen Altheim mit einem Ruhewasserspiegel bei 655 m NN beträgt dann die Entfernung u. U. nur noch 1200 m.

Worndorf liegt auf den rund 400 m mächtigen Kalken des Weißjura, die generell nach Südost einfallen und dann von jüngeren, meist undurchlässigen Ablagerungen der tertiären Molasse und des Diluviums bedeckt sind. Nur in den tiefer eingeschnittenen Tälern bei Krumbach, der Stockacher Aach bei Hoppetenzell, des Krebsbachs oberhalb Eigeltingen und bei der Aachquelle selbst kommt noch Weißjurakalk ans Tageslicht.

Schon der Färbversuch Neuhausen o. E. im Jahre 1962 hat gezeigt, daß das Einzugsgebiet der Aachquelle bedeutend weiter nach Osten über die von L. ERB (1952) angenommene Linie auszudehnen ist. Daher wurde auch für diesen Färbversuch außer einer Reihe von Beobachtungsstellen im Osten, Südosten und Süden von Worndorf an der Aachquelle ein Beobachtungsdienst eingerichtet (s. Abb. 10).

Folgende Probenahmestellen blieben ohne Farbaustritt:

Nr. 1, Roter Brunnen/Donautal. Hier kam bei einem kurz zuvor bei Leibertingen ausgeführten Färbversuch die gesamte eingegebene Farbstoffmenge wieder zum Vorschein (Eingabe von 10 kg Uranin etwa 1 km NW des Ortes am 3. Dezember, zwischen 9.30 und 12.00 Uhr; erste Farbspuren zwischen 19 und 20 Uhr mit einer kleinen Vorwelle zwischen 14 und 17 Uhr; höchster Farbstoffgehalt um 24 Uhr mit 420 mg U./cbm, mithin für eine Entfernung von 950 m eine Fließgeschwindigkeit von 70 m/Std.). Mit der Farbeingabe in Worndorf mußte so lange gewartet werden, bis der Farbstoffgehalt auf ein unbedeutendes Maß herabgesunken war. Dies war am 9. Dezember, 8 Uhr, der Fall, als der Rote Brunnen nur noch 5,7 mg U./cbm aufwies. Daher konnte zu diesem Zeitpunkt beim 8 km entfernten Worndorf mit der Färbung begonnen werden.

Nr. 2, Tiefbrunnen Altheim. Die eingebaute Pumpe förderte vom 3. bis 23. Dezember 3 l/s.

Nr. 3, Krumbach zwischen Ober- und Unterschwandorf (Meereshöhe: 658 m NN). Entnahme zur Erfassung von etwaigen unbekanntem Karstwasserzutritten aus dem bei Oberschwandorf anstehenden Weißjura-Massenkalk. Beobachtung vom 8. bis 23. Dezember 1963.

Nr. 4, Karstquelle Untermühle unterhalb Boll (Übereich), Meereshöhe: 638 m NN. Beobachtung vom 8. bis 22. Dezember.

Nr. 5, Krumbach unterhalb Krumbach zur Erfassung von gegebenenfalls unbekanntem Karstwasserzutritten zwischen Boll und Krumbach. Meereshöhe 627 m NN. Beobachtung vom 8. bis 22. Dezember.

Nr. 6, Karstquelle im Mettenbachtal südl. Heudorf bei Meßkirch (alte Fassung). Meereshöhe: 640 m NN. Beobachtung vom 8. bis 18. Dezember.

Nr. 7, Dorfbach in Heudorf bei Meßkirch unterhalb des Quellgebietes. Meereshöhe: 635 m. Beobachtung vom 8. bis 18. Dezember.

Nr. 8, Stockacher Aach unterhalb Hoppetenzell zur Erfassung allenfalls unbekannter Karstwasserzutritte im oder kurz oberhalb des Dorfes. Meereshöhe: 535 m NN. Beobachtung vom 20. bis 23. Dezember.

Nr. 9, Brielbach an der Straßenbrücke der B 31 zwischen Eigeltingen und Nenzingen zur Erfassung von möglichen Karstwasserzutritten im Einzugsgebiet des Brielbaches. Meereshöhe: 450 m NN. Beobachtung vom 20. bis 23. Dezember.

Nr. 10, Salzbahnquelle nordöstlich Eigeltingen. Wasseraustritt aus Moräne; erhöhte Wassertemperatur, daher Verdacht auf Karstwasser. Meereshöhe: 550 m NN. Beobachtung vom 27. bis 29. Dezember.

Nr. 11, zwei Krebsbachzuflüsse bei Heudorf i.H. zur Erfassung von möglichen Karstwasseraustritten. Beobachtung vom 24. bis 29. Dezember.

Nr. 12, Krebsbach östlich Reute (an der Straßenbrücke) zur Erfassung von möglichen Karstwasserzutritten um Rorgenwies. Meereshöhe: 611 m NN. Beobachtung vom 24. bis 29. Dezember.

Nr. 13, Krebsbach oberhalb der Eigeltinger Quellen am Ende des trockenen Bachabschnittes. Wahrscheinlich teilweise Wasser des oberhalb der Schleife (unterhalb Reute) im Jurakalk versickernden Krebsbaches. Meereshöhe: 526 m. Stichprobe am 27. Dezember. Schüttung: 2 bis 3 l/s.

Folgende Probenahmestellen waren farbstoffpositiv:

Nr. 14, gefaßte Quelle der Wasserversorgung Eigeltingen westlich des Krebsbaches. Karstwasser, Schüttung 10 l/s, Meereshöhe 520 m. Beobachtung vom 24. bis 30. Dezember. Bereits in der ersten Probe vom 24. Dezember, 16.00 Uhr, wurde ein Farbstoffgehalt von 0,6 mg U./cbm festgestellt. Am folgenden Tag war bereits das Maximum der Farbstoffführung mit 0,7 mg U./cbm erreicht. In der letzten Probe, am 30. Dezember, waren noch Spuren von 0,19 mg U./cbm feststellbar. Der Verlauf der Farbstoffführung stimmt mit den unten beschriebenen Quellen dieses Bezirkes völlig überein, so daß damit gerechnet werden kann, daß schon in der Nacht vom 22. zum 23. Dezember die ersten Farbstoffspuren austraten. Das Ausbringen (einschließlich der bis 7. Januar 1964 extrapolierten Gehalte) errechnet sich auf nur 3,3 g Uranin oder 0,06% der eingegebenen Menge.

Nr. 15, Obere Kressenlochquelle nördlich Eigeltingen östlich des Krebsbaches. Meereshöhe 515 m, Schüttung 25 l/s. Entnahme am 27. und 30. Dezember jeweils nachmittags, mit 1,1 und 0,7 mg U./cbm. Wahr-

scheinlich mit der Unteren Kressenlochquelle unmittelbar zusammenhängend.

Nr. 16, Untere Kressenlochquelle, Meereshöhe: 510 m NN. Schüttung 30 l/s. Probenahmen vom 27. bis 30. Dezember mit 1,05, 0,84, 0,82 und 0,74 mg U./cbm. Nahezu derselbe Farbstoffgehalt wie die Obere Kressenlochquelle. Auf die Berechnung der ausgebrachten Uraninmengen konnte verzichtet werden, da beide Kressenlochquellen in den Krebsbach schütten, der bei der folgenden Beobachtungsstelle erfaßt wurde. Der Farb- gang ist wahrscheinlich derselbe wie bei der gefaßten Quelle von Eigel- tingen, die Farbkonzentration jedoch 2- bis 3mal höher.

Nr. 17, Krebsbach in Eigeltingen, Meereshöhe: 480 bis 490 m. Schüt- tung rd. 75 l/s, Entnahmen am 20. und vom 23. Dezember 1963 bis 7. Ja- nuar 1964. Erste Farbspuren wahrscheinlich vom 22. zum 23. Dezember, Maximum wie bei der gefaßten Quelle Eigeltingen am 25. Dezember (1,55 mg U./cbm). Der Krebsbach bringt demnach die von Nr. 13 bis 16 gemittelten Werte abzüglich der für die Wasserversorgung Eigeltingen genutzten Mengen. Das Ausbringen bis 7. Januar errechnet sich auf 56,7 g Uranin, das sind 1,1% der eingegebenen Menge. Da bei der letzten Probenahme immer noch Spuren von rund 0,07 mg U./cbm nachweisbar waren, dürften an dieser Stelle rund 2% des eingegebenen Farbstoffes durchgeflossen sein. Wenn man weiterhin bedenkt, daß im Krebsbach der Farbstoff der zerstörenden Einwirkung des Tageslichtes ausgesetzt war (Probenahmen sämtlich um 16 Uhr), so geht man wohl nicht fehl, wenn man das Ausbringen auf etwa 3% ansetzt. Das Quellgebiet um die Kres- senlochquellen ist 15,3 km von der Eingabestelle entfernt. Für den Durch- gang des Farbmaximums läßt sich hieraus eine Geschwindigkeit von 39 m/Std. ermitteln.

Nr. 18, Aachquelle bei Aach. Karstwasseraustritt aus den verschwammten Liegenden Bankkalken (Weißjura ζ 1). Meereshöhe 475 m. Wasserführung während der Beobachtungszeit:

Dezember 1963	cbm/s	Januar 1964	cbm/s
15.	7,7	1.	5,6
16.	7,1	2.	5,5
17.	7,0	3.	5,4
18.	7,5	4.	5,4
19.	7,4	5.	5,1
20.	7,2	6.	5,1
21.	7,1	7.	4,9
22.	6,2		
23.	6,1		
24.	5,7		
25.	6,1		
26.	6,1		
27.	6,1		
28.	6,2		
29.	6,1		
30.	6,0		
31.	5,7		

Nach reichlichen Niederschlägen Ende November 1963 folgte leichter Frost; die Schüttung der Aachquelle war daher während des

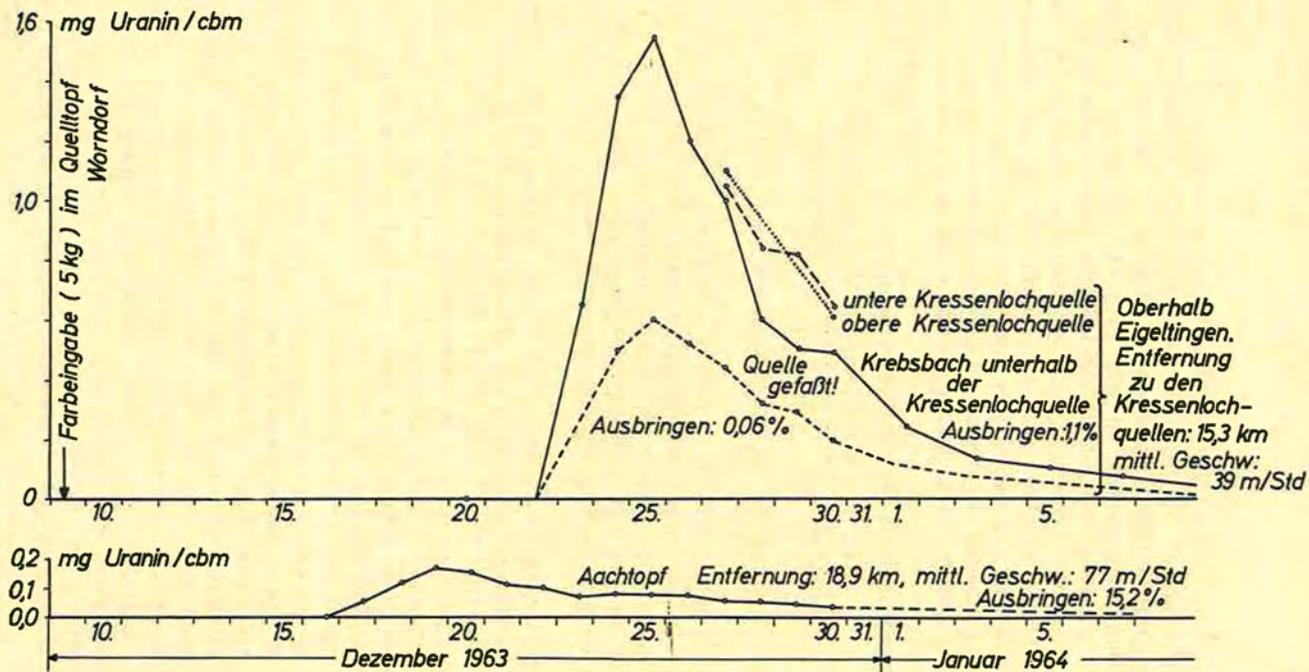


Abb. 10: Farbgangkurve des Eigeltinger Karstquellengebietes und in der Aachquelle beim Färbversuch Worndorf.

Beobachtungszeitraumes vom 4. bis 30. Dezember abnehmend. Die ersten Farbstoffspuren zeigten sich schon am 17. Dezember, das Maximum war schon am 19. Dezember erreicht, also 6 Tage früher als bei den Karstquellen oberhalb Eigeltingen. Die Geschwindigkeit für die Farbstoffspitze beträgt bei einer Luftlinienentfernung von 18,9 km 77 m/Std., das Farbstoffausbringen unter Berücksichtigung der täglichen Schüttungen betrug bis zum 7. Januar 1964 (extrapoliert) 760 g Uranin (= 15,2%), also auf Grund der höheren Schüttung trotz geringerer Konzentration etwa 10mal mehr als in den Eigeltinger Quellen. Der erfaßbare Anteil wäre beim Auftreten von Niederschlägen und bei höherem Karstwasserspiegel sowie bei längerer Probenahme sicher bei höheren Werten gelegen. Die obigen Schüttungen der Aachquelle weisen für die Beobachtungsdauer ein ständiges Zurückgehen auf; wie beim Färbversuch Neuhausen o. E. 1962 dürfte auch in diesem Fall uraninhaltiges Karstwasser durch das Absinken des Karstwasserspiegels an verschiedenen Stellen abgeschnitten worden sein. Es ist anzunehmen, daß auf diese Weise abgeschnürte Kolke, Rinnen u. dgl. bei steigendem Wasserstand wieder ausgewaschen werden und somit weitere Farbwellen auftreten können.

Das eben Gesagte mag auch für die Eigeltinger Quellen Gültigkeit besitzen. Andererseits dürfte auch durch den langen Weg vom Randgebiet des Einzugsbereichs der Aachquelle und in der Aufspaltung nach den Eigeltinger Quellen eine gewisse „Verzettelung“ liegen, die rasch die Farbkonzentrationen wieder unter die Nachweishgrenze sinken ließ.

Die bis 7. Januar 1964 ausgetretenen Farbstoffanteile verteilen sich wie folgt:

Aachquelle	15,2%
Eigeltinger Quellgebiet rund	3 %

Zusammen kam also kaum ein Fünftel des eingegebenen Farbstoffes wieder zum Vorschein.

Bemerkenswert sind die Geschwindigkeiten, mit denen der Farbstoff zu den beiden Austrittsstellen gelangte. Der größere Farbstoffanteil erreichte die Aachquelle mit fast genau der doppelten Geschwindigkeit als die geringeren Mengen, die zum Quellengebiet oberhalb Eigeltingen strömten (77 und 39 m/Std.). Darüber hinaus liegen die letztgenannten Quellen genau auf der Verbindungslinie Eingabestelle—Aachtopf. Der Weg, den die eingefärbten Wässer zur Aachquelle nahmen, muß also in einigem Abstand nördlich der Eigeltinger Quellen vorbeigegangen sein. Mithin erhöht sich auch die aus der Luftlinienentfernung ermittelte Geschwindigkeit nicht unbedeutlich.

Die Ergebnisse der bisher im Bereich des Einzugsgebietes der Aachquelle durchgeführten Salzungs- und Färbversuche lassen folgende Schlüsse zu, die sinngemäß für den gesamten süddeutschen Karst Gültigkeit besitzen:

1. Je höher der Karstwasserstand, desto mehr vergrößert sich der Durchflußquerschnitt und damit die Fließgeschwindigkeit.

2. Bei hohem Karstwasserstand ist mit einem vollständigen Ausbringen der Markierungsstoffe zu rechnen.

3. Bei fallendem Karstwasserspiegel und bei Eingaben der Markierungsstoffe am Rand eines Einzugsgebietes sind die Ausbeuten unter Umständen sehr gering.

4. Eingegebene Markierungsstoffe verteilen sich in weite Bereiche des Karstwassers. Wie im Färbversuch Worndorf ist in vielen Fällen bei Versuchen auf der Schwäbischen Alb an mehreren, oft entgegengesetzten Karstwasseraustritten Farbe aufgetreten. Eine eigentliche Karstwasserscheide dürfte demnach nicht bestehen.

Für künftige Versuche im Einzugsbereich der Aachquelle sollte auch die Bleichequelle bei Welschingen in die Beobachtungsreihe mit einbezogen werden, die nach W. DEECKE (1924) ein Karstwasser-aufbruch ist.

5. Es scheint völlig gleichgültig für die Beurteilung der Fließgeschwindigkeiten zu sein, ob Markierungsstoffe an den Versinkungsstellen der Donau oder an irgendeinem Punkt in dem dazwischenliegenden Gebiet eingegeben werden. Demnach muß der Karstwasserkörper zusammenhängend und als Ganzes in Bewegung sein. Die Ansicht von K. ENDRISS, der von „Höhlenbahnen“ und von „einheitlichen Durchzugshöhlen“ als Hauptwasserstraßen spricht, kann nicht bestätigt werden. Auch E. FRASS (nach K. C. BERZ), der in Anlehnung an die Theorie von F. KATZER den Verlauf der Täler auf die Karstwasserströme in großen Zügen einfach durchpaust, kann nicht gefolgt werden. Am ehesten mag hier die Theorie von A. GRUND mit „verästelten Karstwasserzügen“ seine Berechtigung haben.

f) Färbversuch Großgartach/Lkr. Heilbronn

(Geologischer Bearbeiter: H. WILD)

In der Talaue des Leinbachtals zwischen Großgartach und Frankenbach befinden sich mehrere Wasserfassungen, die der Wasserversorgung der Stadt Heilbronn dienen. Der Höhenrücken südöstlich des Leinbachtals wird in der Hauptsache aus den bis 30 m mächtigen pleistozänen „Frankenbacher Schottern“ und einer Lößdecke gebildet. Diese Hochterrassenschotter reichen stellenweise etwa 10 m unter den Grundwasserspiegel und sind den untersten

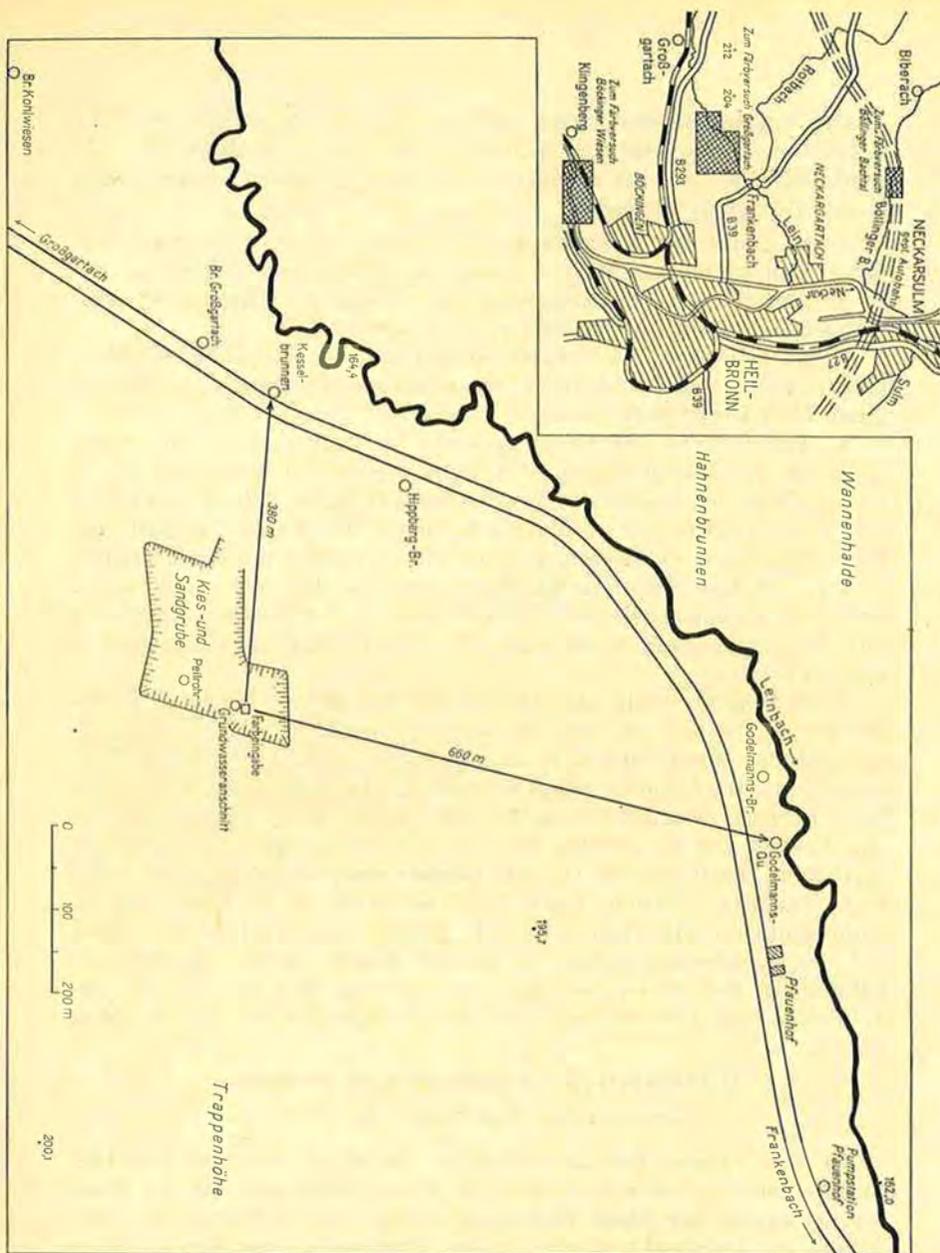


Abb. 11: Lageskizze zum Färbversuch Großgartach/Lkr. Heilbronn mit Übersichtskarte zu den Färbversuchen Großgartach, Böllinger Bachtal und Böckinger Wiesen.

Lagen des Gipskeupers, stellenweise auch dem Oberen Lettenkeuper aufgelagert.

Durch Kies- und Sandabbaue wurde teilweise der Grundwasserspiegel angeschnitten. Es sollte nun durch einen Färbversuch festgestellt werden, ob die genutzten Brunnen durch das freiliegende Grundwasser beeinträchtigt werden können. Am 17. März 1964 wurde um 14.30 Uhr in einen Versuchsbrunnen dicht neben dem frei austretenden Grundwasser 3 kg vorgelöstes Uranin eingespült und bis zum folgenden Tag mit 1,5 cbm Wasser durch die geschlitzten Rohre in die Frankenbacher Kiese gedrückt. Eine merkliche Erhöhung des Grundwasserstandes war dabei im Versuchsbrunnen nicht zu verzeichnen.

Die Probenahme erfolgte aus nachstehend aufgeführten Grundwasserfassungen (vgl. Abb. 11):

	Lage zur Entnahmestelle	Grundwasserleiter	durchschn. tägl. Förderung (cbm)	Farbaustritt
Brunnen Pfauenhof	890 m NO	Hochterrasse, Lettenkeuperdurchbruch	160	—
Godelmannsquelle	660 m NNO	Hochterrasse, Lettenkeuperdurchbruch	1000	+
Godelmannsbrunnen	630 m N	Lettenkeuper	3000	—
Hippbergbrunnen	330 m WNW	Hochterrasse	} zus. 1200	—
Kesselbrunnen	380 m W	Hochterrasse mit Lettenkeuper		+
Bohrbrunnen Großgartach	440 m WSW	Hochterrasse mit Lettenkeuper	1100	—

Die beiden äußersten Entnahmestellen der Beobachtungsreihe wurden bis zum 22. Juni, die übrigen bis zum 28. September 1964 beobachtet. Ein Farbaustritt nach dem Ende der Probenahmen ist nicht wahrscheinlich.

Am 112. Tag nach der Farbeingabe zeigten überraschend der Kesselbrunnen und die Godelmannsquelle zugleich geringste Farbstoffspuren (Abb. 12). In den folgenden Proben zeigte sich zufällig in beiden Fassungen genau der gleiche Farbgang (Maximum am 13. Juni; Ende des Farbnachweises beim Kesselbrunnen am 5. August, bei der Godelmannsquelle am 3. August), jedoch in verschieden hoher Konzentration. Wahrscheinlich ist die große Ähnlichkeit nur durch den großen zeitlichen Abstand der Proben bedingt (wöchentlicher). Bei dichter Probenahme wären die Kurven sicher weitaus differenzierter. Stichproben im Eingaberohr ergaben

Ende Juni und Anfang Juli verhältnismäßig geringe Konzentrationen (320 und 200 mg U./cbm), so daß anzunehmen ist, daß zu Beginn der Einfärbung der allergrößte Teil des Farbstoffes in den Grundwasserkörper gebracht wurde.

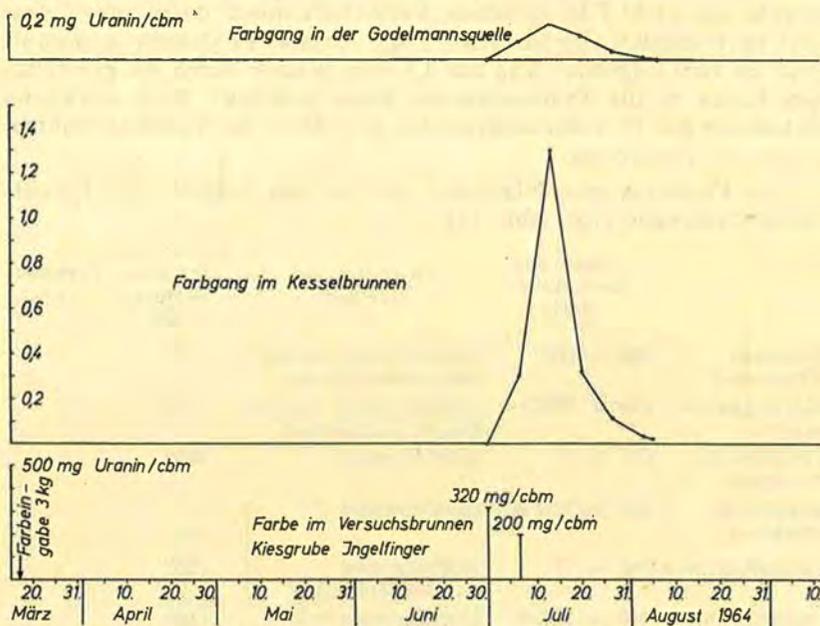


Abb. 12: Farbgangkurven zum Färbversuch Großgartach.

Die quantitative Ermittlung gestaltet sich für den automatisch gesteuerten und in den mit dem Hippbergbrunnen gemeinsamen Behälter fördernden Kesselbrunnen etwas schwierig. Wenn man annimmt, daß der Kesselbrunnen die Hälfte der gemeinsamen Förderung von 1200 cbm je Tag bringt, erhält man folgende ausgebrachten Farbstoffmengen:

Godelmannsquelle	2,8 g Uranin = 0,1% der eingebrachten Menge
Kesselbrunnen	8,8 g Uranin = 0,3% der eingebrachten Menge
zusammen	11,6 g Uranin = 0,4%

Überraschend ist die sehr geringe wiederausgebrachte Menge; dies kann nicht allein durch die Annahme erklärt werden, daß zwar bei den übrigen Brunnen ebenfalls Farbstoff ausgetreten, dort jedoch unter der Nachweisgrenze gelegen sei. Auch Farbaustritte aus den Frankenbacher Kiesen in den Leinbach sind unwahrscheinlich, da Stichproben aus dem Bach negativ waren. Eine überschlägige Rechnung zeigt, daß der Farbstoff ein anderes Schicksal erlitten haben dürfte. Der von der Eingabestelle im Winkel von 100° zu den beiden betroffenen Quellen eingeschlossene Sektor nimmt eine Fläche von rund 200.000 qm ein. Mit 3 kg Uranin könnte man darauf eine 15 m hohe Wasserschicht mit der Konzentration 1 mg U./cbm einfärben. Diese Konzentration entspricht etwa dem maximal beobachteten Farbstoffgehalt. Unter Berücksichtigung des Porenvolumens der Frankenbacher Kiese wäre die eingefärbte Schichtdecke rund 50 m! Ein unkontrolliertes Abströmen ist also ganz ausgeschlossen.

Für die Fließwassergeschwindigkeit lassen sich folgende Werte angeben:

	Erste Farbstoffspur	Maximale Färbung
zur Godelmanns- quelle:	5,9 m/Tag = 0,25 m/Std.	5,5 m/Tag = 0,23 m/Std.
zum Kessel- brunnen:	3,4 m/Tag = 0,14 m/Std.	3,2 m/Tag = 0,13 m/Std.

Für die Praxis bedeuten diese langen Fließzeiten, daß eine hygienische Gefährdung für die Quellen durch das freistehende Grundwasser nicht besteht, da die von der Hygiene geforderte Mindestverweilzeit um das Doppelte überschritten wird.

g) Färbversuch Böllinger Bachtal/Stkr. Heilbronn

(Geologische Bearbeiter: H. WILD u. S. v. CUBE)

Im Zuge des Autobahnbaues zwischen Weinsberg und Walldorf war für die Überquerung des Böllinger Bachtals zunächst keine Brücke, sondern ein Damm vorgesehen. Dadurch wäre eine Untergrundverdichtung der pleistozänen Talfüllungen notwendig geworden. Um zu prüfen, ob diese Baumaßnahmen die Schüttung des für die Stadt Heilbronn wichtigen, etwa 450 m weiter talab liegenden Ochsenbrunnens beeinträchtigen könnten, wurde ein Färbversuch durchgeführt (Abb. 13).

Für die Eingabe wurde etwa beim km 67 + 180, rund 25 m südlich der Landstraße Biberach—Neckarsulm, eine Grube ausgehoben, die

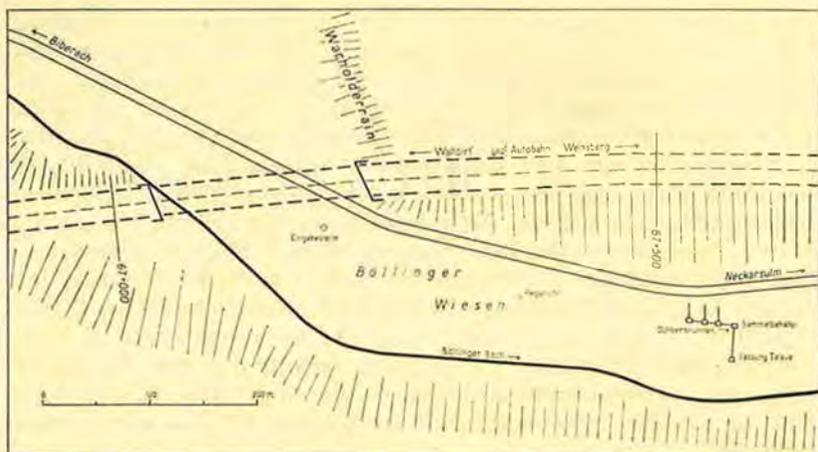


Abb. 13: Lageskizze zum Färbversuch Böllinger Bachtal/Str. Heilbronn.

unter dem 2,50 m mächtigen braunen Lehm bis zur Grubensohle bei 2,80 m grünrauen Schluff mit Pflanzenresten zeigte. Am 1. März 1965 lag der Grundwasserstand bei 1,80 m; während des nassen Frühlommers stieg er bis zum 5. August auf 1,20 m. Etwa auf halbem Weg zwischen der Eingabegrube und dem Ochsenbrunnen wurde ein Pegelrohr gesetzt, wobei im wesentlichen derselbe Aufbau wie bei der Eingabegrube aufgeschlossen wurde.

Der Ochsenbrunnen ist in drei Brunnenstuben gefaßt, die jeweils zwei Wasseraustritte, einen Aufbruch und einen Zufluß aus der nördlichen Talseite besitzen. Eine weitere Fassung liegt in der Talaue etwa 50 m südöstlich des Ochsenbrunnens. Wegen starker Trübung wurde dieses Wasser ab 22. Juli nicht mehr genutzt. Die wasserführenden Schichten sind in der näheren Umgebung des Ochsenbrunnens nirgends aufgeschlossen. Wahrscheinlich stammt sein Wasser aus klüftigen Lettenkeuperdolomiten oder -sandsteinen. Möglicherweise ist für die Klüftigkeit des wasserführenden Lettenkeupers die Salztektonek — ausgelöst durch das Mittlere Muschelkalksalz — verantwortlich zu machen. Die mittlere Schüttung des Ochsenbrunnens beträgt 13 bis 14 l/s.

Am 15. Juni wurde das Eingabeloch mit 2,5 kg vorgelöstem Uranin eingefärbt und mit 1000 l Wasser nachgespült. Wider Erwarten trat ab 23. Juni im Ochsenbrunnen Farbe auf, die am 10. August die größte Stärke mit 0,22 mg U./cbm erreichte (Abb. 14).

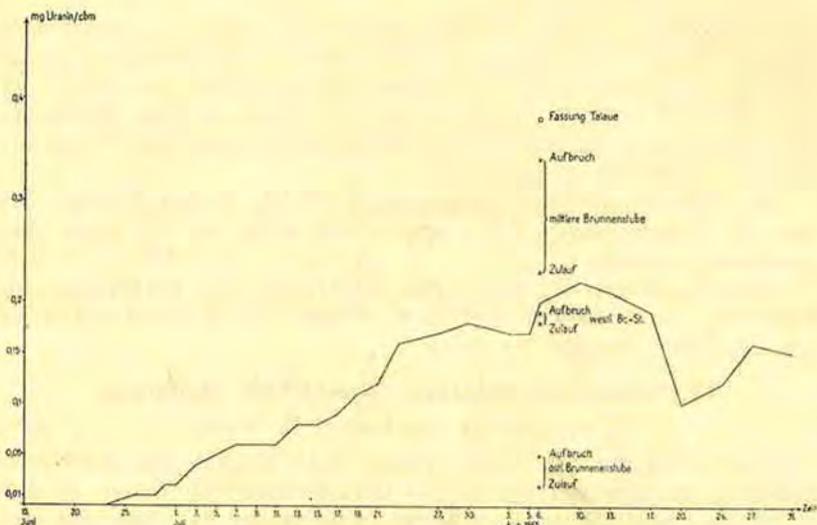


Abb. 14: Farbgangkurve zum Färbversuch Böllinger Bachtal.

Zur näheren Festlegung, aus welchem Wasseraustritt die Farbe kommt, wurden am 5. August Entnahmen an den einzelnen Stellen vorgenommen, die folgende Ergebnisse brachten:

	Aufbruch	nördlicher Zufluß
Westliche Brunnenstube	0,19	0,18
mittlere Brunnenstube	0,35	0,23
östliche Brunnenstube	0,05	0,02
Ochsenbrunnen		
Sammelbehälter		0,17
Fassung in der Talaue		0,38
Pegelrohr		0,10

(Alle Werte in mg Uranin/cbm)

Die Werte streuen in weiten Grenzen. Die höchsten Konzentrationen kommen in der Mitte des Fassungsgebietes und außerhalb in der Talaue vor. Man hat den Eindruck, daß die Farbe durch ein Kluftsystem aus Nordwesten, möglicherweise aus einem Bereich außerhalb der Talaue, herangeführt wird. Errechnet man die Fließ-

geschwindigkeit für das Farbmaximum vom 10. August, erhält man 8,0 m/Tag oder 0,33 m/Std., ein Wert, der für die lehmige Talauauffüllung bei diesem geringen Gefälle viel zu hoch wäre. Sicher ist der Farbstoff an der Eingabestelle sehr rasch in eine Kluffzone im Lettenkeuper gelangt und hat dann unabhängig von Talgrundwasser seinen Weg genommen.

Die Berechnung der wiederausgebrachten Farbstoffmenge bis zum 31. August ergibt 3,1 g oder etwas mehr als 0,1% des eingegebenen Uranins.

Bemerkenswert ist auch das Auftreten von Farbspuren im Pegelrohr, das offenbar mit dem Wasser des Lettenkeupers in unmittelbarer Verbindung steht.

h) Färbversuch Böckinger Wiesen/Stkr. Heilbronn

(Geologischer Bearbeiter: H. WILD)

Das Gebiet der Böckinger Wiesen stellt ähnlich wie die Horkheimer Schleuseninsel ein großes Grundwasservorkommen in den alluvialen, sandig-kiesigen Neckar-Talfüllungen dar, das von der Stadt Heilbronn zur Trinkwassernutzung herangezogen wird. Um gegebenenfalls Grundwasseranreicherungen vornehmen zu können, wurde am 11. Mai 1964 durch einen Färbversuch im westlichen Teil der Böckinger Wiesen die Grundwasser-Fließgeschwindigkeit ermittelt. In eine für diesen Zweck ausgeschachtete Sickergrube etwa 10 m südöstlich des Peilrohres 34 wurde um 10.20 Uhr 1 kg Uranin in kristallisiertem Zustand eingegeben (Abb. 15). Gleichzeitig wurden über mehrere Tage aus dem Brunnen H zwei Sekundenliter Spülwasser zur Versickerung gebracht.

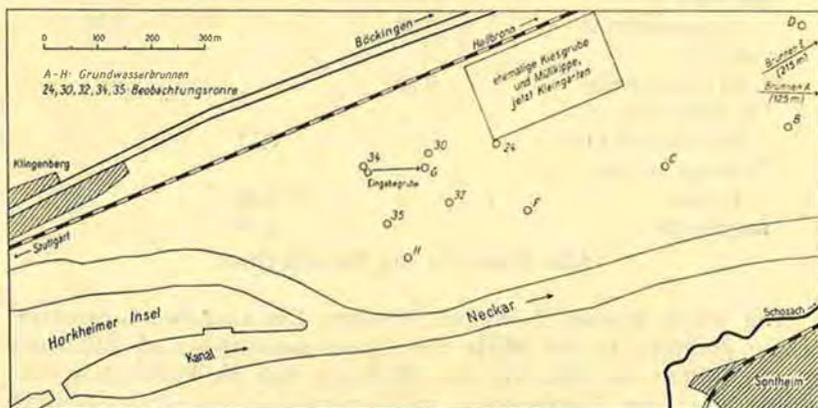


Abb. 15: Lageskizze zum Färbversuch Böckinger Wiesen/Stkr. Heilbronn.

Über die Versuchsdauer vom 11. Mai bis 5. Juni 1964 wurden aus folgenden Stellen Grundwasserproben entnommen und auf Farbstoff untersucht:

	Lage der Eingabestelle	Tägl. Förderung
Grundwasserbrunnen G	106 m O	rd. 1800 cbm
Grundwasserbrunnen H	175 m SSO	510 cbm
Grundwasserbrunnen F	305 m OSO	rd. 1100 cbm
Pegelrohr 30	120 m ONO	—
Pegelrohr 32	165 m SSO	—
Pegelrohr 34	10 m NW	—
Pegelrohr 35	auf halbem Wege zwischen Eingabestelle und H	—

Zeitweise erfolgten auch aus den Grundwasserbrunnen C und aus dem Peilrohr 24 (550 m O bzw. 290 m ONO der Eingabestelle) stichprobenartige Entnahmen.

Nur an einer einzigen Stelle, und zwar im Brunnen G, ist der Farbstoff wieder aufgetreten. Bei allen anderen Beobachtungsstellen war keine Farbe, nicht einmal in Spuren, zu verzeichnen. Im Brunnen G wurde schon am folgenden Tag, morgens 8.45 Uhr, die Farbe in einer Konzentration von 3,9 mg/cbm festgestellt; die stärkste Farbstoffführung zeigte sich am 2. Tag nach der Eingabe, nachmittags 15.30 Uhr, mit 85 mg/cbm. Am Schluß der Beobachtung, am 5. Juni, 8.00 Uhr, war in jedem geförderten cbm Wasser noch 1,8 mg Uranin enthalten. Bis zu diesem Zeitpunkt sind unter Berücksichtigung der täglichen Schüttungsmenge 757 g Uranin oder etwa drei Viertel der eingegebenen Farbstoffmenge wieder ausgetreten.

Die Geschwindigkeit für den vordersten Rand der Farbstoffwolke beträgt 5,5 m/Std. oder sogar eine Geringfügigkeit mehr. Für die stärkste Färbung ist die Geschwindigkeit nur halb so groß (2,25 m/Std.).

Zur Bestimmung des Grundwassergefälles wurden während des Färbversuches auch die Grundwasserstände gemessen. Der der Eingabestelle benachbarte und quer zum Grundwasserstrom liegende Pegel 34 hatte am 25. Mai 1964 den Wasserstand 153,05 m NN. Im Pegel 31 beim Brunnen G stand am selben Tag das Wasser bei 152,69 m NN. Im Brunnen G selbst konnte erst am 28. Juli der Wasserstand bei 152,89 m NN festgestellt werden. Unter Berücksichtigung weiterer Beobachtungen kann der Wasserstand im Brunnen G für die Versuchszeit auf 152,50 m NN festgesetzt werden. Dies

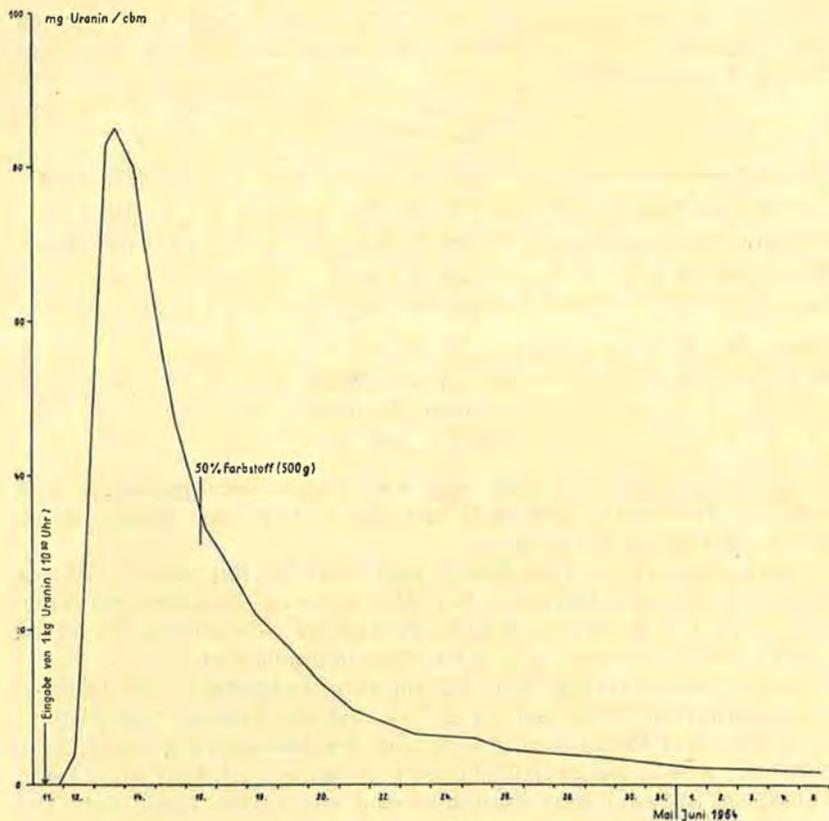


Abb. 16: Farbgangkurve zum Färbversuch Böckinger Wiesen (Stadtgemeinde Heilbronn).

ergibt für die vom Farbstoff zurückgelegte Strecke von 106 m einen Höhenunterschied von 0,55 m.

Die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes für den durchlaufenden Grundwasserkörper könnte nun nach der Formel

$$K = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Gefälle}} \text{ erfolgen.}$$

Für die Geschwindigkeit ist nun ein mittlerer Wert zu verwenden, der aber nicht der Wert für die Geschwindigkeit der höchsten Konzentration ist. Es muß vielmehr die Zeit für das 50%ige Farbstoffausbringen in Betracht gezogen werden. Da sonst nirgends

Farbstoff ausgetreten ist, kann angenommen werden, daß die gesamte Farbstoffmenge im Brunnen G bei sehr langer Beobachtungszeit wieder ausgetreten wäre. Für den Zeitpunkt, an dem die Hälfte des eingegebenen Farbstoffes wieder erschienen ist (16. Mai, 12.00 Uhr), beträgt die mittlere Grundwassergeschwindigkeit 1,73 m/Std. Aus diesem Grund wird in diesem Aufsatz grundsätzlich vermieden, bei der Geschwindigkeitsangabe bei maximalen Farbkonzentrationen von mittlerer Geschwindigkeit zu sprechen; diese ist immer kleiner, da der abfallende Schenkel der Farbstoffkurve stets flacher ist als der ansteigende (Abb. 16).

Nun ist noch eine Korrektur für das Gefälle anzubringen. Die oben angegebene Formel gilt eigentlich nur für Laborversuche, bei denen die Geschwindigkeit aus der Durchflußmenge ermittelt wird. Überträgt man die hier festgestellten Werte auf Labormessungen, ist die beobachtete mittlere Geschwindigkeit um den Faktor des Porenvolumens zu verkleinern.

Der Durchlässigkeitsbeiwert K erhält dann folgende Fassung:

$$\frac{0,00048 \cdot 0,25}{0,55/106} = 0,023 \text{ (m/s)}$$

Hierin bedeuten:

- 0,00048 = beobachtete mittlere Grundwassergeschwindigkeit (m/s)
- 0,25 = Porenvolumen
- 0,55 = Höhenunterschied (m)
- 106 = Entfernung (m)

Der so abgeleitete Durchlässigkeitsbeiwert stimmt mit Erfahrungswerten gut überein.

C. Hinweise für die Durchführung von Färbversuchen

Es ist zweckmäßig, für jeden Färbversuch vor Versuchsbeginn einen Versuchspl an aufzustellen, der die wichtigsten Hinweise für alle Beteiligten enthalten soll.

Versuchspläne sollen nicht nur sämtlichen Probenehmern, sondern auch dem untersuchenden Laboranten zugeleitet werden.

Die Größe der Probeflaschen soll nicht unter 250 ml betragen. An Stelle von braunen Glasflaschen bewährten sich neuerdings die unzerbrechlichen, viereckigen und daher raumsparenden Polyäthy-

lenflaschen. Leider sind diese nur schwierig in gefärbter Ausführung zu beschaffen und man benötigt für die Beschriftung besondere Folien. Für Zwischenuntersuchungen können sie jedoch unbesorgt in Holzkisten als Expreßgut an das Laboratorium gesandt werden.

Die Form des Farbstoffs kann bei der Einspeisung je nach den örtlichen Verhältnissen entweder in festem Zustand oder vorgelöst gewählt werden. Bei einer Schluckstelle mit ständigem starkem Wasserstrom kann man ohne Bedenken den Farbstoff aus dem Versandbehälter einstreuen. Hierzu ist die kristallisierte Form der gemahlenden vorzuziehen, da letztere bereits bei leichter Luftbewegung verweht werden kann. Will man dagegen an einer Stelle einfärben, an der kein oder nur wenig Wasser ständig versickert, so ist es besser, nach einer Vorspülung eine Uraninlösung einzugeben, es könnte sonst vorkommen, daß ungelöstes Uranin zurückbleibt. Für Eingaben in Bachläufe ist die kristallisierte Form geradezu unentbehrlich. Hat man Eingaben in größeren Oberflächengewässern (Flüsse, Seen) vorzunehmen, versenkt man die Farbe am besten in einem oder mehreren Leinenbeuteln bei der mutmaßlichen Versickerungsstelle. Auch zu Tabletten gepreßter Farbstoff von je 20 g hat sich für letzteren Zweck bewährt. Farbstoffgefüllte Leinensäckchen können für eine Einfärbung in engen Pegelrohren knapp unter die Wasseroberfläche gehängt werden, wenn keine andere Möglichkeit für eine Durchmischung besteht. Dank der verhältnismäßig guten Löslichkeit wird der Farbstoff über Nacht vollständig herausgelöst. Auf alle Fälle sollte eine über längere Zeit sich hinziehende Farbeingabe, wie sie zum Teil empfohlen wird, vermieden werden. Nicht nur die Ermittlung der Fließzeiten wird erschwert, auch die maximale Färbung wird dadurch auseinandergezogen und kann in ungünstigen Fällen unter die Nachweisgrenze sinken.

Die jeweils zu verwendende Farbstoffmenge richtet sich sowohl nach der mutmaßlichen Fließzeit als auch nach der Durchlässigkeit des Untergrundes. Bei Färbversuchen im Karstgebiet, die sich nur auf einige hundert Meter erstrecken, kann man unter Umständen mit weniger als 100 g auskommen. Bei größeren Entfernungen (etwa bis 5 km) und bei ungewissen Abflußrichtungen sind zur Erfassung von schwach beeinflussten Quellen Mengen von 1 bis 2 kg erforderlich. Allerdings wollen manche Bearbeiter von Abwasserfragen trotz der empfindlichen Nachweismethoden nicht immer auf den optischen Eindruck verzichten und verwenden ein Vielfaches der an sich notwendigen Mindestmenge. Ganz andere Maßstäbe sind anzulegen, wenn Oberflächenwässer in Wasserfassungen oder Tiefbrunnen aus nahe vorbeifließenden Bächen oder

Flüssen nachgewiesen werden sollen. In solchen Fällen wird der größte Teil des Markierungstoffes an der Versuchsstelle vorbeigeschwemmt. Es ist nur dann ein Nachweis zu erbringen, wenn nicht zu geringe Mengen verwendet werden (z. B. Versuch Sölingen: 5 kg, Versuch Eisingen: 2,5 kg).

Der zeitliche Abstand der Probenahmen soll gemäß dem Verlauf einer Farbkurve zunächst enger, später weiter sein. Für die quantitative Berechnung der wiederausgebrachten Menge ist eine lückenlose Erfassung notwendig. Bei kürzeren Laufzeiten unter 24 Stunden ist möglicherweise eine stündliche oder sogar halbstündliche Probenahme erforderlich. Hierbei sind zwei Dinge von besonderer Wichtigkeit: einmal benötigt man für die Feststellung des „Blindwertes“ und seiner Schwankungsbreite eine genügende Anzahl von farbstofffreien Proben vor dem Eintreffen der Farbwolke, zum anderen ist für die Bestimmung der hygienisch bedeutsamen kürzesten Fließzeit das Eintreffen der ersten Farbspuren möglichst genau zu erfassen.

D. Ergebnisse und Zusammenfassung

An Hand einer Anzahl von ausgesuchten Beispielen wurden einige Färbversuche im Gebiet des Buntsandsteins, des Muschelkalks, des Lettenkeupers, des Weißjura-Karstes und des Pleistozäns eingehend beschrieben und ausgewertet. Es zeigte sich, daß Uranin wohl das empfindlichste Markierungsmittel mit Ausnahme der radioaktiven Isotopen ist, um bei schwierigen Verhältnissen Zusammenhänge unterirdischer Gewässer festzustellen und quantitativ zu berechnen. Die gesundheitliche Unbedenklichkeit im Gegensatz zu den radioaktiven Isotopen macht es oftmals zum alleinigen Hilfsmittel. Ähnlich stark fluoreszierenden und weniger licht- und pH-empfindlichen Stoffen gegenüber hat es den Vorteil geringer Oberflächenaktivität. Obwohl z. B. der orangerot fluoreszierende Farbstoff Rhodamin B weniger licht- und säureempfindlich ist als Uranin (M. MARICHAL & R. BENOIT, 1962) kann er zwar für längere offene Fließstrecken, nicht aber in sandig-kiesigem Grundwasser (wegen seines starken Haftvermögens an Oberflächen) verwendet werden. Ein kurzer Versuch zeigte, daß selbst bei höheren Konzentrationen nicht einmal Spuren von Rhodamin B durch ein Membranfilter gesaugt werden konnten; Membranfiltration ist aber gerade Voraussetzung für die Spurenbestimmung!

Die mittels Fotometer festgestellten Konzentrationsverhältnisse werden an Hand des im Neckar-Alluvium auf den Böckinger Wiesen durchgeführten Färbversuches einer eingehenden Analyse der

Fließgeschwindigkeiten unterzogen. Danach ist streng zwischen der mittleren Grundwassergeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der maximalen Färbung zu unterscheiden. Erstere ist stets kleiner und hat besondere Bedeutung bei der K-Wert-Ermittlung, sie ist aber schwieriger feststellbar als letztere. Die Geschwindigkeiten der ersten Farbspuren sind besonders für die Hygieniker von Interesse. Auch aus diesem Grunde ist ein sehr empfindliches Nachweisverfahren erforderlich (O. J. KLATTE, 1962).

Andererseits soll nicht verschwiegen werden, daß besonders bei längeren Versuchszeiten die festgestellten geringen Ausbeuten nachdenklich stimmen. In jüngster Zeit verliefen zwei im Schwäbischen Jura über größere Entfernungen angesetzte Färbversuche trotz großer Uraninmengen ergebnislos. So wurden beispielsweise südöstlich Böhmenkirch/Lkr. Göppingen am 24. April 1964 20 kg Uranin während eines starken Regens in eine Spalte im Weißjura-Kalk eingespült. Trotz mehrmonatiger Beobachtungsdauer aller in Frage kommenden Aufbrüche und Tiefbrunnen im mehr als 10 km entfernten Brenztal, war nicht einmal eine Spur des Farbstoffs wieder zum Vorschein gekommen. Darüber hinaus wurden in der Brunnenmühlenquelle in Heidenheim-Mergelstetten (Versuchslaboratorium der Fa. Voith — Heidenheim) in wöchentlichen Abständen bis Mitte Mai 1965 Proben genommen. Überraschenderweise zeigten sich Farbstoffspuren ab Ende März, also rund 11 Monate nach der Farbeingabe. In der Folgezeit erreichten diese Spuren eine Konzentration von 0,08 mg U./cbm. Nach überschlägiger Berechnung sind rund 250 g oder 1,25% der Eingabemenge wieder ausgebracht worden. Ein Abströmen zu anderen nicht beobachteten Austrittsstellen, etwa im Donautal, ist nach den Karstwasserhöhen so gut wie ausgeschlossen. Es müßte geprüft werden, ob die mit wachsender Versuchsdauer abnehmenden Ausbeuten nicht auf andere Ursachen, vielleicht auf mikrobielle Zersetzung zurückzuführen sind.

Literatur

- BAUER, E. W.: Vom Wasser der Falkensteiner Höhle. Die Natur **69**, 37—49, 1961.
- BERZ, K. C.: Die Grundwasserverhältnisse im Versickerungsgebiet der oberen Donau. Mitt. Geol. Abt. Württ. Stat. L. A., **11**, 82 S., 1928.
- CARLE, W.: Ein aufschlußreicher Färbversuch im Karstgebiet. Aus der Heimat, **64**, 128—131, 1956.
- DEECKE, W.: Denkschrift über die Geologischen Verhältnisse der Donauversickerung zwischen Immendingen und Fridingen. Badische Geologische Landesanstalt, 34 S., 1924.

- EISSELE, K.: Zur Auswertung und Deutung von Salzungsversuchen. Gas- und Wasserfach, **104**, 1158—1160, 1963.
- EISSELE, K. & P. GROSCHOPF: Zur Karsthydrologie der Schwäbischen Alb. Jh. Karst- und Höhlenkunde, **4**, 81—92, 1963.
- ERB, L.: Über den Mechanismus der Donauversickerung und der Aachquelle. Mitt. Landesver. Naturk. Naturschutz Freiburg/Br., **5**, 267—280, 1952.
- GROSCHOPF, P.: Färbversuche in Nellingen/Kr. Ulm. Nachr. Verb. Dt. Höhlen- u. Karstforscher, **5**, 48—49, 1959.
- KÄSS, W.: Die unmittelbare Bestimmung von Uranin-Spuren bei Färbversuchen. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1963/64, 37—65, 1964.
- KÄSS, W.: Kalisalz als Markierungsstoff zur Verfolgung unterirdischer Gewässer. Kali und Steinsalz, **7**, 223—228, 1966.
- KLATTE, O. J.: Eine verbesserte Methode des Uraninnachweises im Grundwasser. Arch. Hyg. Bakt., **146**, 98—107, 1962.
- KNOP, A.: Über die hydrographischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im Badischen Oberland. N. Jb. Min., 1875, 942 bis 958, N. Jb. Min., 1878, 350—363.
- MARICHAL, M. & R. BENOIT: Dosage de la rhodamine B dans les eaux naturelles. Chim. Anal., **2**, 70—72, 1962.
- SCHAUFELBERGER, P.: Geologische und hydrologische Verhältnisse zwischen der Donauversickerung und der Aachquelle. Mitt. Bad. Geol. Landesanst., **10**, 561—538, 1929.
- SCHULZ, G.: Färb- und Salzungsversuche an unterirdischen Wässern in Südwestdeutschland. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **2**, 333 bis 412, 1957.
- SCHULZ, G.: Geohydrologie der Muschelkalkquellen am oberen Neckar und deren Gefährdung. Arch. Hyg. Bakt., **143**, 473—484, 1959.
- SCHULZ, G.: Erprobung verschiedener Markierungsstoffe für unterirdische Wässer bei Oberndorf am Neckar. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **5**, 323—344, 1961.
- STÖHR, W.: Städtische Auffüllplätze in der Nähe von Trinkwasserschutzgebieten. Gas- und Wasserfach, **104**, 222—225, 1963.
- WEIDENBACH, F.: Altes und Neues vom Brenztopf. Jh. u. Mitt. oberrh. geol. Ver., **39**, 25—36, 1957.
- WEIDENBACH, F.: Trinkwasserversorgung aus Karstwasser in der östlichen Schwäbischen Alb. Jh. Karst- und Höhlenkunde, **1**, 169—192, 1960.

Anschrift des Verfassers:

Diplomgeologe Dr. WERNER KÄSS, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Albertstraße 5, 78 Freiburg i. Br., Bundesrepublik Deutschland.