

Weitere Untersuchungen im Raum Donauversickerung — Aachquelle (Baden-Württemberg)

Von W. KÄSS (Freiburg i. Br.) und H. HÖTZL (Karlsruhe)

Einleitung

Das Jahr 1971 wird wegen seiner Trockenheit weiten Kreisen der Bevölkerung im Gedächtnis bleiben. Einerseits war es für die Hydrologen wegen der zu geringen Niederschläge besonders sorgenvoll, wobei noch die niedrige winterliche Grundwassererneuerung ins Gewicht fiel, andererseits steigerte die überdurchschnittliche Sonneneinstrahlung die „Öchslegrade“ des Rebensaftes und verhalf somit dem 71er zum „Jahrhundertwein“. Selbstverständlich fiel die Donau während des extrem trockenen Spätsommers und Herbstes 1971 zwischen ihrer Hauptversickerungsstelle „Brühl“ und Möhringen (gestrichelter Donau-lauf in Fig. 1) die meiste Zeit trocken. Alle früheren Versuche, die Durchflußgeschwindigkeiten zwischen den Versickerungsstellen der Donau und der Aachquelle durch Markierungsversuche zu ermitteln, wurden entweder bei niedriger Mittelwasserführung der Aachquelle oder, wie der Großversuch 1969, bei hoher Wasserführung durchgeführt.

Über die Durchflußgeschwindigkeiten bei Niedrigstwasser lagen bislang noch keine Werte vor, so daß ein Markierungsversuch unter diesen besonderen Umständen die Ergebnisse des umfassenden Versuches vom 26. August 1969 wertvoll ergänzen konnte. Nahezu gleichzeitig konnte im gestauten Aachquelltopf ein schon seit längerer Zeit vorgesehener Färbversuch durchgeführt werden, bei dem ebenfalls Niedrigwasserführung Voraussetzung war.

Herr Bürgermeister JÄGER und Herr Ing. W. HUBER unterstützten uns bereitwilligst bei den Probenahmen an der Aachquelle, wofür wir beiden besten Dank sagen. Die Uraninbestimmung in den Wasserproben wurden im Geochemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg (Freiburg i. Br.), die Uraninuntersuchung der Aktivkohlebeutel im 2. Lehrstuhl für Geologie und Abteilung für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe durchgeführt. Das Wetteramt Freiburg und die Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung in Karlsruhe stellten meteorologische und hydrologische Werte zur Verfügung.

Der Markierungsversuch Donauversickerung—Aachquelle

Fig. 1 gibt einen Überblick über die unterirdischen Abflußverhältnisse zwischen der Donau und der Aachquelle. Die Darstellung beruht im wesentlichen auf den Ergebnissen des Großversuches vom August 1969 (H. BATSCHKE et al., 1970). Ein wichtiges Ergebnis des damaligen Versuches war der Nachweis, daß nicht das gesamte versickerte Donauwasser in der Aachquelle wieder zum Vorschein kommt, sondern daß ein untergeordneter Anteil in 7 Quellen bzw. Bohrungen im westlichen Hegau um Engen (Nr. 24, 25, 60, 18, 56, 16, 15), in der Gemeindewasserversorgung Beuren a. d. A. (Nr. 10) und in der Oberen Kressenlochquelle bei Eigeltingen (Nr. 12 der Fig. 1) austritt. Durch diese gestreute Verteilung der Wiederaustrittsstellen war es notwendig, Überkreuzungen von anderen Versickerungsstellen anzunehmen. Auch aus diesem Grund und nicht nur zur Ermittlung der Durchflußzeiten war eine Wiederholung eines Markierungsversuches von der Hauptversickerungsstelle aus wünschenswert. Die Landratsämter Donaueschingen und Stockach erteilten am 26. Oktober 1971 die Erlaubnis für einen Färbversuch. Die Donau führte Ende Oktober so wenig Wasser, daß bei Immendingen (A in Fig. 1) mehr Wasser versickerte als bei der Hauptversickerung am Brühl (G). H. Hörzl entschloß sich daher zur Einspeisung von 6 kg Uranin am 30. Oktober zwischen 15.05 und 15.20 Uhr bei Immendingen. Es war dasselbe Schluckloch, in das am 26. August 1 t Kaliumchlorid und der Duftstoff Dipenten eingegeben worden sind (Fig. 37 bei BATSCHKE et al. 1970).

Die außergewöhnliche Trockenheit des Herbstes 1971 geht sehr deutlich aus den monatlichen Niederschlagswerten der Regenmeßstelle Donaueschingen (713 m ü. N. N.) hervor:

	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1971	15,2	17,1	67,4	17,0 mm
Mittel 1891—1970	66,8	53,1	54,5	52,0 mm

Die Niederschlags- und Abflußverhältnisse vor und während der Versuchszeit sind im einzelnen in Fig. 2 dargestellt. Bemerkenswerte Niederschläge waren vor dem Versuch in Donaueschingen nur zwischen dem 11. und 13. Oktober zu verzeichnen. Beim Pegel Kirchen und Hausen dicht unterhalb der Aitrach-Einmündung lag der Abfluß bis zum 10. November fast stets unter 2 cbm/s. Wenn sich auch der Abflußwert von Kirchen und Hausen bis zur Hauptversickerung noch um etwa 4% erhöht, so bleibt dort das Abflußmittel für den Monat Oktober ebenfalls noch unter 2 cbm/s:

Kirchen und Hausen = 1,89 cbm/s

Hauptversickerungsstelle = 1,97 cbm/s = Versickerungsmenge.

Geringe Niederschläge um den 8. November ließen die Donauwasserführung zaghaft, stärkere Niederschläge um den 17. kräftiger anschwellen. Aber erst weitere Niederschläge am 20. November reichten dann zur Überflutung der Versickerungsstellen, so daß erstmals wieder

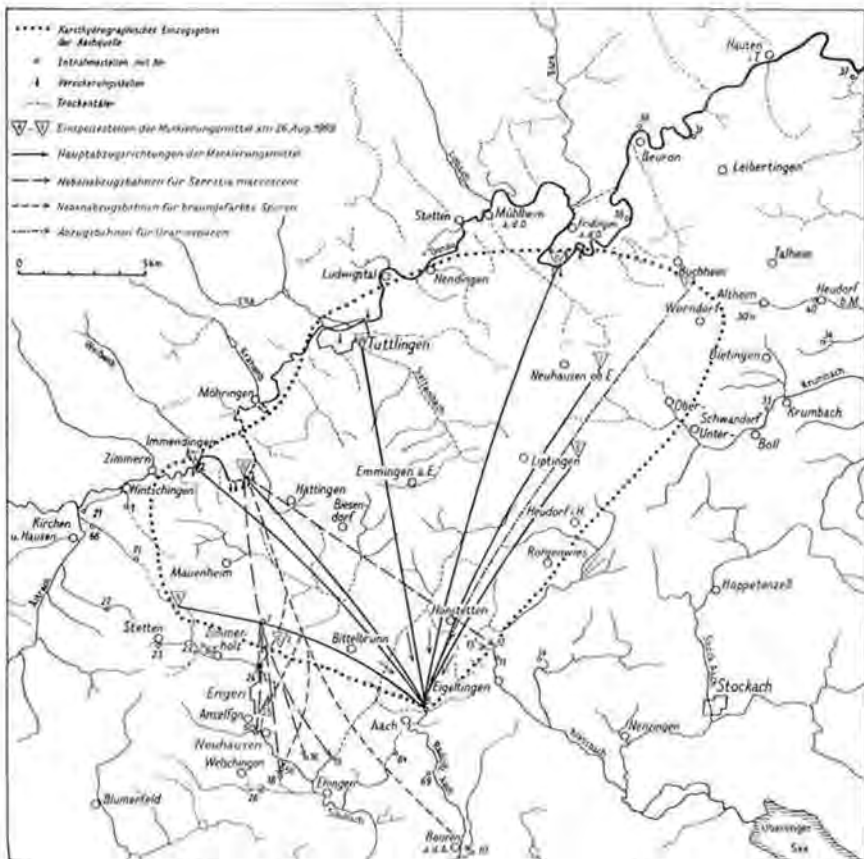


Fig. 1: Abzugsbahnen der Markierungsmittel beim Großversuch vom 26. August 1969. Eingabestelle vom 30. Oktober 1971: A bei Immendingen, Hauptaustritt: Aachquelle (Nr. 8), Nebenausritte: Ob. Kresenlochquelle bei Eigeltingen (Nr. 12) und Betriebsbrunnen Spinnerei Tenbrink Volkertshausen (Nr. 69), Beobachtungsstellen ohne Uranin-austritte: Nrn. 24, 25, 18, 15, 10.

am 22. November der Pegel Möhringen einen Abfluß verzeichnete. Weitere Niederschläge reichten aus, um eine erneute Vollversickerung bis zum Jahresende zu verhindern. Die Niederschläge um den 18. Dezember wirkten sich weniger in Donaueschingen als im Schwarzwald aus, daher kommt es bei den Pegeln Kirchen und Hausen und Möhringen zu abgeflachten Abflußmaxima um den 22. Dezember.

Am Pegel Aach erscheinen die Abflußwellen gegenüber dem Pegel Kirchen und Hausen mit 2 bis 3 Tagen, gegenüber den Niederschlägen mit 4 Tagen Verzögerung. Die Abflußwerte der langjährigen Mittel werden für die 3 Pegel den Werten für Oktober 1971 gegenübergestellt:

Pegel	Kirchen und Hausen	Möhringen	Aach
km ab Quelle	19,4*	30,0*	0,6
km bis Mündung	2764,0	2753,1	34
Einzugsgebiet (qkm)	764,0	833,0	9,5**
Meereshöhe (m ü. NN)	659,1	648,7	467,0
Abflüsse (cbm/s)	(1923—1967)	(1923—1967)	(1922—1967)
NQ	0,48	0	1,31
MNQ	2,05	0	3,02
MQ	12,4	6,31	8,53
MHQ	134	84,7	18,4
HQ	280	275	24,1
MQ Oktober 1971	1,89	0	1,95

* ab Zusammenfluß Brigach und Breg.

** oberflächliches Einzugsgebiet; karsthydrographisches Einzugsgebiet nach Fig. 1 = 252,5 qkm.

Aus der Aufstellung ist deutlich die ungewöhnlich niedrige Wasserführung im Herbst 1971 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten abzulesen.

Zieht man von der Eingabestelle A bei Immendingen zur Aachquelle (Luftlinie: 13,3 km) eine Verbindungslinie, so führt diese nur 400 m südwestlich der Brühlschleife vorbei. Wenn auch die Immendinger Versickerungsstellen noch im Bereich der „Immendinger Flexur“ liegen, so darf die Abzugsbahn der versickerten Wässer sowohl von dort als auch vom Brühl als hydrologische Einheit betrachtet werden. Zwischen beiden Versickerungsstellen liegt das Einlaufbauwerk des Immendinger-Möhringer Umleitungsstollens, der jedoch z. Zt. des Versuches noch nicht in Betrieb war.

Nach den Erfahrungen des 1969er Versuches wurden außer der Aachquelle noch 4 Quellen im westlichen Hegau, 2 Quellen südlich Aach sowie die Obere Kressenlochquelle nordöstlich Aach in die Beobachtung miteinbezogen. Die aufgeführten Quell-Nummern sind dieselben wie diejenigen vom Versuch 1969.

Quelle Nr. 24 in Engen-Altdorf: Quelle dicht hinter der Mühle; Probenahme und Kohleeinhängung neben dem Mühlrad innerhalb der Mühle. Beim Versuch 1969 waren hier braungefärbte Sporen und 1 Keim des Bakteriums *Serratia marcescens* vom Brühl her aufgetreten. Schüttung rd. 15 l/s.

Brunnen Nr. 25, Tiefbohrung der Felsenbrauerei Engen: Entnahme im Pumpenhaus. Am 10. November begann dort der Umbau des Brunnens, daher waren ab diesem Tag keine Proben mehr erhältlich. 1969 führte dieser Brunnen braune Sporen.

Quelle Nr. 18, „Bleichequelle“: Von Karstwasser gespeiste Brunnenbohrung in pleistozänen Schottern. Auftreten von 1 Keim *Serratia marcescens* beim Versuch 1969. Schüttung rd. 30 l/s.

Quelle Nr. 15, „Bitzenquelle“: Von Karstwasser gespeiste Quelle im Pleistozän-Kies. Sie dient der Wasserversorgung der Stadt Singen.

- Probenahmen und Aktivkohleeinhängungen erfolgten im Pumpwerk Schlatt am Krähen. 1969 Auftreten von *Serratia marcescens*, z. T. haufenweise. Schüttung rd. 15 l/s.
- Brunnen Nr. 69, Spinnerei Tenbrink Volkertshausen: Bohrbrunnen rd. 15 m westlich der Aach zur Brauchwasserversorgung der Spinnerei. Tiefe 18 m mit oberem und unterem Kieslager, dazwischen Geschiebemergel.
- Quelle Nr. 10, Gemeindewasserversorgung Beuren a. d. Aach: Überflugespannter Auslauf der Brunnenbohrung. Auftreten von braunen Sporen beim Versuch 1969. Schüttung rd. 5 l/s.
- Quelle Nr. 12, „Obere Kressenlochquelle“ im Krebsbachtal: Die Quelle tritt in einem Talknick aus den Weißjurakalken aus, Schüttung rd. 5 l/s. 1969 Auftreten von 2 Keimen *Serratia marcescens*.

Bei allen 8 Beobachtungsstellen erfolgte die Uraninuntersuchung sowohl durch die fluoreszenzspektralphotometrische Direktmessung (W. Käss, 1965) als auch durch Aktivkohleanreicherung (F. BAUER, 1967). Die erstere Bestimmungsart erfaßte das Uranin nur in der Aachquelle, die zweite darüber hinaus noch einen Durchgang im Betriebsbrunnen der Spinnerei Tenbrink in Volkertshausen (Nr. 69) und in der Oberen Kressenlochquelle (Nr. 15). In der Figur 2 sind in den unteren 3 Spalten die Ergebnisse der Uraninuntersuchungen dargestellt.

In der Nacht vom 2. auf 3. November traten in der Aachquelle die ersten Uraninspuren auf. In der Probe vom 2. November, 18 Uhr, war noch kein Uranin feststellbar; die Erfassungsgrenze liegt bei 0,02 mg/cbm. Die Probe vom nächsten Morgen 7,15 Uhr, also 88 Stunden nach der Einspeisung, hatte bereits 2,2 mg Uranin/cbm. Der allererste Austritt ist nach Rückschlüssen mit anderen Versuchen auf etwa 5 Uhr, d. s. 85 Stunden Laufzeit, anzusetzen. Die übernächste Probe von 18.30 Uhr desselben Tages brachte bereits den Höchstgehalt mit 27,0 mg/cbm. Der tatsächliche Höchstgehalt dürfte nur kurz vorher oder nachher in der Aachquelle mit unwesentlich höheren Gehalten aufgetreten sein. Die folgenden Proben zeigten ein verhältnismäßig rasches Abklingen der Uraninwerte. Zwischen 6. und 14. November pendelte sich der Uraningehalt auf 0,1 bis 0,15 mg/cbm ein, ohne unter die Nachweisgrenze zu sinken. Ab 15. November fielen wieder Niederschläge. Mit diesen ist der kleine Wiederanstieg der Uraninkonzentrationen in Zusammenhang zu bringen, die am 16. November 0,21 mg/cbm erreichten. Die letzte Probe vom 21. November hatte noch 0,20 mg/cbm. Von da ab erfolgte nur noch Aktivkohlebeobachtung. Bis zum Beobachtungsende (21. November) wurden insgesamt 4,44 kg Uranin wieder ausgetragen; das sind 74% der eingegebenen Menge. Im Vergleich mit anderen Färbversuchen im südwestdeutschen Karstgebiet ist dies eine recht hohe Ausbeute. Die planimetrische Auswertung ergibt, daß das 50%ige Ausbringen am 4. November um 1 Uhr, oder 106 Stunden nach der Eingabe, erreicht war.

Die Aktivkohleauszüge der ersten 3 Einhängungen vom 2. bis 5. November ergaben naturgemäß sehr hohe, nicht mehr auswertbare Ge-

halte. In dem Maß, wie nach dem Hauptdurchgang bei der Direktbestimmung die Uraninkonzentrationen sinken, gehen auch die Uraninwerte bei den Aktivkohlen zurück. Nach dem 15. November erfolgte in der Aachquelle nur noch wöchentlicher Kohlenwechsel, später blieben die Kohlen noch länger eingehängt. Die letzte Aktivkohle mit positiver Uranin-Reaktion war dem Aachquellwasser vom 19. Dezember 1971 bis 2. Jänner 1972 ausgesetzt. Mit dieser Kohle wurde die Beobachtung abgebrochen, da höchstens nur noch kaum auswertbare Uraninspuren zu erwarten waren.

Im Betriebsbrunnen der Spinnerei Tenbrink in Volkertshausen (Nr. 69) waren zwischen dem 1. und 15. November 2 Aktivkohlen deutlich positiv (Fig. 2). Da der Brunnen jedoch in der Talaue, nicht sehr weit von der farbstoffführenden Aach entfernt ist, kann dort sehr wohl mit uferfiltriertem Flußwasserzuström gerechnet werden. Es ist auch möglich, daß Farbstoff vom 2. Versuch bei der Aachquelle mit dem Grundwasserstrom im Tal der Aach bis zur Spinnerei kam.

Wenn auch nicht überraschend, so doch bemerkenswert ist das Auftreten von deutlichen Uraninspuren in der Oberen Kressenlochquelle im Krebsbachtal oberhalb Eigeltingen (Nr. 12). Zwischen dem 7. und dem 21. November waren 2 Aktivkohlen deutlich positiv. Bereits beim Großversuch 1969 traten dort Keime von *Serratia marcescens* auf, die mit der Einspeisung am Brühl (G) in Verbindung zu bringen waren. Wenn auch eine Schwalbe noch keinen Sommer macht und Kritiker an der hydrologischen Verbindung Brühl — Kressenlochquelle auf Grund von 2 Keimen zweifelten, dürfte dafür mit diesem Versuch der endgültige Beweis erbracht sein.

Die übrigen Beobachtungsstellen, die bisher noch nicht aufgeführt wurden, waren alle frei von Uranin:

Beobachtungsstelle		Beobachtungszeitraum	Anzahl der Proben
(24) Engen-Altdorf	(Direktbest.)	1. Nov. bis 21. Nov.	19
Engen-Altdorf	(Kohlen)	30. Okt. bis 2. Jan.	8
(25) Engen-Felsenbr.	(Direktbest.)	1. Nov. bis 9. Nov.	9
Engen-Felsenbr.	(Kohlen)	1. Nov. bis 10. Nov.	2
(18) Bleichequelle	(Direktbest.)	1. Nov. bis 21. Nov.	21
Bleichequelle	(Kohlen)	1. Nov. bis 2. Jan.	7
(15) Bitzenquelle	(Direktbest.)	3. Nov. bis 16. Nov.	14
Bitzenquelle	(Kohlen)	3. Nov. bis 10. Dez.	6
(69) Spinnerei V.	(Direktbest.)	1. Nov. bis 21. Nov.	18
Spinnerei V.	(Kohlen)	15. Nov. bis 21. Nov.	1
(10) Beuren a. d. A.	(Direktbest.)	1. Nov. bis 20. Nov.	22
Beuren a. d. A.	(Kohlen)	1. Nov. bis 2. Jan.	6
(12) Ob. Kressenlochquelle	(Direktbest.)	31. Okt. bis 21. Nov.	4
Ob. Kressenlochquelle	(Kohlen)	21. Nov. bis 2. Jan.	4

Der Versuch vom 30. Oktober 1971 brachte als wichtigstes Ergebnis eine Durchflußzeit, die entgegen der Erwartung bei der extremen Trockenheit nicht wesentlich größer war als bei normaler Wasserführung. Eine Zusammenstellung der mittleren Durchflußzeiten und Fließgeschwindigkeiten der als hydrologische Einheit anzusehenden Abzugsbahn Immendingen und Brühl zur Aachquelle zeigt die bei 4 Versuchen zwischen 1877 und 1971 gewonnenen Werte (s. a. H. BATSCHKE et al., 1970, Fig. 70):

Versuch vom	Einspeisung in	mittlere Durchflußzeit	mittlere Fließge- schwindigkeit	Aachschtüttung
24. Sept. 1877	G	62 Std.	190 m/Std.	3,5 cbm/s
6. Aug. 1907	G	90 Std.	130 m/Std.	5 cbm/s
26. Aug. 1969	A	53 Std.	251 m/Std.	14,9 cbm/s
30. Okt. 1971	A	106 Std.	126 m/Std.	1,7 cbm/s

Bei dieser Aufstellung sind nur diejenigen Versuche mit echt gelösten Markierungsmitteln berücksichtigt worden. Die beiden Versuche 1969 und 1971 sind offenbar bei extremen Verhältnissen unternommen worden. Die Durchflußgeschwindigkeiten bei sehr hoher und sehr niedriger Aachwasserführung verhalten sich gerade wie 2:1. Eine etwa 10fach größere Durchflußmenge bewirkt also lediglich eine Verdoppelung der Durchflußgeschwindigkeit. Die früheren Versuche, auch derjenige von 1877, also nur 3 Jahre nach der ersten Vollversickerung, zeigen Werte, die zwischen den beiden Extremen liegen. Die seit dem letzten Jahrhundert stark zugenommene Versickerung von Donauwasser und die damit verbundene Kalkauflösung im Untergrund vermochten offenbar keine grundlegende Änderung der Durchflußzeiten zu bewirken.

Der Wiederaustritt von Donauwasser an anderen Stellen als an der Aachquelle ist bereits früher vermutet worden. Beim Färbversuch 1904 im Stadtgebiet von Tuttlingen ließ K. ENDRISS außer dem Aachtopf auch die Stockacher Aach und den Krebsbach beobachten (K. ENDRISS, 1908). Auch beim Salzungsversuch 1908 bei Fridingen wurde der Krebsbach untersucht (Württ. Hydrogr. Büro, 1909, und Bad. Lebensmittelpfungsstation, 1908). Es vergingen in der Tat noch viele Jahrzehnte, bis durch verfeinerte Untersuchungsmethoden die detaillierten Abflüsse des versickerten Donauwassers ermittelt werden konnten. Daß beim Versuch 1971 im westlichen Hegau keine Farbe austrat, ist mit ziemlicher Sicherheit durch die niedrigen Karstwasserstände verursacht. Offenbar besteht in Trockenzeiten zwischen dem Raum Donauversickerung—Aachquelle und dem westlichen Hegau eine wohlausgeprägte Karstwasserscheide, die sich nur zu Zeiten hoher Wasserstände nach Südwesten verschiebt. Diese Tatsachen haben übrigens H. BATSCHKE, H. MOSER & W. STICHLER (1972) auf Grund von Deuterium- und ¹⁸O-Messungen vorhergesagt.

Der Färbversuch in der Aachquelle

Der Hauptaustritt des Aachquellwassers kommt aus 2 Felsspalten, die bei der Klarheit des Niedrigwassers vom Herbst 1971 vom Fußgängersteg gut sichtbar waren. Übrigens beflügelten die mit der niedrigen Wasserführung verbundenen zwei besonderen Umstände, nämlich die Klarheit und die geringe Gegenströmung, J. HASENMAYER zu weiteren Tauchversuchen in der Aachquellhöhle (vgl. auch J. HASENMAYER, 1972).

Außer den Hauptquellspalten treten in der näheren Umgebung der Aachquellen noch eine ganze Anzahl weiterer Quellen aus. Diese sind von H. HÖTZL & W. HUBER (1972) eingehend beschrieben worden. Die dortigen Quellnummern werden auch in dieser Arbeit verwendet. Unmittelbar am westlichen Steilufer des Aachtropfes befindet sich eine Quellspalte (Nr. 2), die bei Niedrigstwasser in eine Schluckspalte übergeht (vgl. bei H. BATSCHKE et al., 1970, Fig. 15, S. 43 und bei H. HÖTZL & W. HUBER, 1972, Abb. 5). Beim Versuchstag versickerten dort schätzungsweise 50 Sekundenliter. Die übrigen Nebenquellen im Aachtopf, also die Quellen Nr. 3 und 4 am Westrand, der Waller Nr. 5 (vgl. Fig. 17 bei H. BATSCHKE et al., 1970) und Nr. 13 am Ostufer sowie die 3 Austritte Nr. 12 unterhalb der ersten Falle waren zur Versuchszeit ohne (sichtbare) Schüttung.

Die Verwaltung des Elektrizitätswerkes Aach berichtete von früheren Färbversuchen in dieser Schluckspalte, bei denen in den unterhalb liegenden Quellen und in der Aach nirgends Farbstoffaustritte zu erkennen waren. Im Rahmen des Färbversuches vom 30. Oktober 1971 bei Immendingen bot sich den Verfassern ohne besonderen zusätzlichen Aufwand die Untersuchung über den Verbleib des Sickerwassers in der Schluckstelle Nr. 2 an. Obwohl bereits am 30. Oktober nachmittags die Einfärbung bei Immendingen stattfand, konnte getrost einen Tag später in die Schluckstelle Farbe eingegeben werden, da auf Grund der viel kürzeren unterirdischen Fließstrecken eine Störung durch die Immendinger Farbe nicht zu befürchten war. Es war unter diesen Umständen auch nicht notwendig, zwei verschiedene Farbstoffe zu verwenden. W. Käss gab 500 g Uranin als konzentrierte wässrige Lösung am 31. Oktober, 12.05 Uhr, in die Schluckstelle ein. Es war zu beobachten, daß die Farbstoffwolke restlos in das Schluckloch eintrat.

Flußabwärts wurden folgende Quellaustritte beobachtet (Fig. 3):

- Nr. 7: Dränage unter dem Kraftwerkkanal auf Höhe der Jägermühle. Austritt im zweiten Überfall. Schüttung rd. 5 l/s.
- Nrn. 6a und 6b: Zwei kräftige Entwässerungsaustritte in einem Schacht westlich des Kraftwerkkanals. Abfluß nach Osten unter dem Kanal hindurch zum Aachbett. Bei Anstau bis Kanalhöhe dringt in die Kellergeschosse der Häuser westlich des Aachtropfes Wasser ein. Schüttungen je rd. 400 l/s.

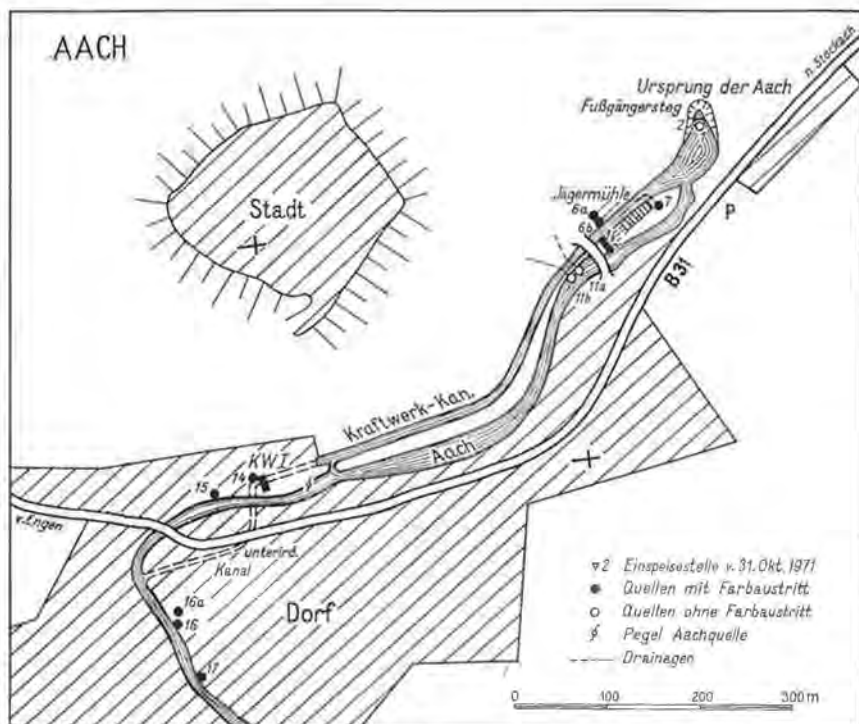


Fig. 3: Übersichtsplan von der Aachquelle und der näheren Umgebung mit Lage der Beobachtungsstellen für den Färbversuch vom 31. Oktober 1971.

- Nrn. 8, 9 und 10: Entwässerungen unter der Jägermühle. Auslauf in die Abflußrinne von 6. Schüttungen je etwa 10 l/s.
- Nrn. 11a und 11b: Entwässerungen bei den Gebäuden westlich der Straßenbrücke. Austritte am Damm des Kraftwerkkanals. Schüttungen rd. 0,5 und 0,25 l/s.
- Nr. 14: Entwässerungsrohr in den Unterwasserschacht des Kraftwerkes I mit rd. 5 l/s.
- Nr. 15: Entwässerung vom Steilhang, halbwegs zwischen Kraftwerk I und Brücke der Bundesstraße 31. Austritt in das Aachbett mit rd. 30 l/s.
- Nr. 16: Entwässerungsaustritt am linken Aachufer rd. 100 m unterhalb der Bundesstraßenbrücke, abwasserbelastet, rd. 2 l/s.
- Nr. 16a: Quelle im Keller des von Nr. 16 benachbarten Bauernhofes, rd. 1 l/s.
- Nr. 17: Quelle im Keller des Bauernhofes am linken Aachufer rd. 250 m unterhalb der Bundesstraßenbrücke. Beobachtung im Schacht rd. 20 m östlich vom Aachufer.

Nach der Farbeingabe wurden die Quellen oberhalb des Kraftwerkes I bis 13 Uhr alle 15 Minuten, die übrigen Quellen alle 30 Minuten beprobt. Später sind die Probenabstände erweitert worden. Zusätzlich zu diesen Entnahmestellen für die unmittelbare Uraninbestimmung wurden sicherheitshalber noch Aktivkohlebeutel von der Straßenbrücke bei der Jägermühle, von der Fußgängerbrücke zum Kraftwerk I und beim Kraftwerk II (950 m südlich des Aachtopfes) in die Aach eingehängt; eine Vorsorgemaßnahme, die nach dem schwach sichtbaren Auftreten des Uranins in den Austritten dicht unterhalb der Jägermühle abgebrochen werden konnte.

Alle Beobachtungsstellen außer den beiden Entwässerungen 11a und 11b westlich der Straßenbrücke unterhalb der Jägermühle zeigten Uraninaustritte. In Fig. 4 sind die Farbgangkurven alle im gleichen Maßstab dargestellt, so daß sich eine ins einzelne gehende Beschreibung erübrigt. Es zeigt sich, daß, abgesehen von der Quelle 7, mit maximal 9,5 mg/cbm die höchsten Uraningehalte bei den der Eingabestelle am nächsten liegenden Austritten auftraten. Ferner zeigt es sich, daß nahe beieinanderliegende Quellen nahezu deckungsgleiche Farbgangkurven entwickeln. So fiel die Einzelprobe von Nr. 10 nicht viel verschieden von Nr. 8 und Nr. 9 aus. Auffallend ist ein etwas verzögertes Ansprechen der Nrn. 14 und 15, was auf die etwas abseitige Lage dieser Quellen von den hauptsächlich unterirdischen Abzugsbahnen hindeutet. Der verhältnismäßig hohe Uraningehalt in der Aach beim Kraftwerk II um 20 Uhr ist etwas überraschend. Er zeigt deutlich, daß dort ein hoher Anteil von nicht für das Kraftwerk I gefaßten Sickerwässern durchfließt.

Eine Berechnung der wieder ausgetretenen Farbstoffmengen an Hand der Farbgangkurven und der geschätzten Schüttungsmengen ergibt folgende Werte:

Quelle Nr.	Farbstoffmenge (mg)
7	50
6a	18.000
6b	16.000
8	390
9	330
10	390
14	320
15	2.000
16	50
17	1.500
zusammen:	39.030

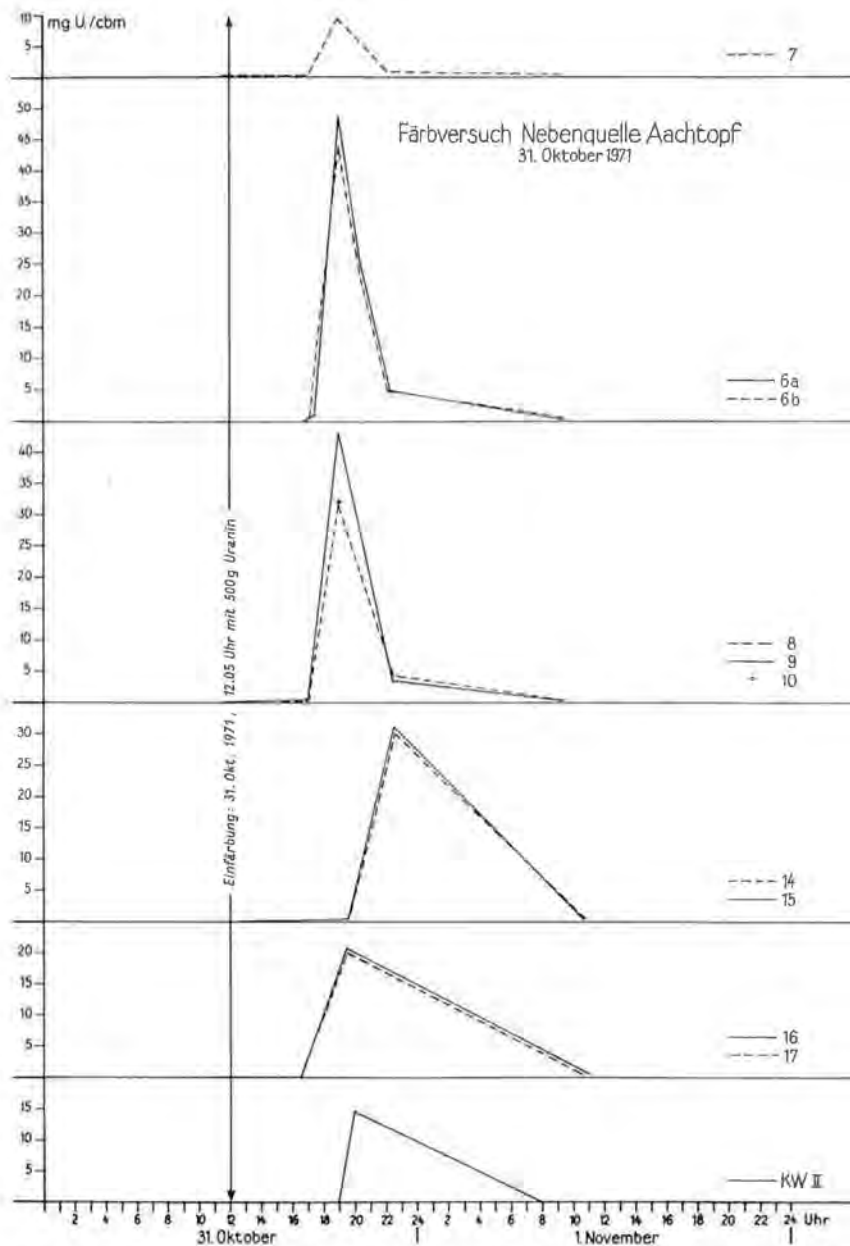


Fig. 4: Farbgangkurven (Direktbestimmung) für den Färbversuch vom 31. Oktober 1971 bei der Aachquelle.

Selbst wenn man die Unzulänglichkeit der Schüttungsschätzungen und die Unvollkommenheit der Farbgangkurven berücksichtigt, kommt man nicht über die Tatsache hinweg, daß bei den beobachtbaren Nebenquellen nur ein Bruchteil der eingespeisten Farbmenge wieder austritt (rd. 7,7%).

Man muß annehmen, daß durch den Aufstau der Aachquelle, der bei der Jägermühle etwa 2 m und beim Kraftwerk I etwa 5 m beträgt, bei Niedrigstwasser ein erheblicher Teil der Schüttung der Aachquellspalte das Stauziel nicht erreicht, sondern einen seitlichen Abfluß sucht. Es erscheint wichtig zu bemerken, daß die Aachquelle in einem Tal austritt, das durch eiszeitliche Schmelzrandwässer des Rheingletschers entstand. Die Sohle des Schmelzwasserflusses lag rd. 17 m tiefer als der heutige Talboden. Später wurde das Tal mit pleistozänen Schottern bis zur heutigen Höhe plombiert. Ein Teil des der Aachquelle zuströmenden Karstwassers wird also aus den Klüften des Oberen Weißjura unmittelbar in die Schotter der ehemaligen Schmelzwasserrinne übergehen und den dortigen Grundwasserstrom bilden. Durch den Aufstau erhält dieser Grundwasserkörper zusätzliche Einspeisung. Die als Farbeingabestelle dienende Felsspalte ist dafür ein sichtbarer Ausdruck. Der Grundwasserstrom begleitet nach den Untersuchungsergebnissen unterhalb der Aachquelle zunächst die Aach und strömt dann unter dem Dorf Aach nach Richtung Süden. Die Quellen 14 und 15 beim Kraftwerk I liegen bereits im Randbereich des Grundwasserkörpers: Sie wurden wesentlich später durch Farbe beeinflusst als die viel weiter talab liegenden Quellen 16 und 17. Auf die Möglichkeit, daß ein Teil des Wassers über das alte Entwässerungssystem des Karstkörpers, durch dessen Anzapfung während der Würmeiszeit es zur Entstehung der Aachquelle kam, weiter nach dem Süden in den Raum Volkertshausen abfließt, haben H. HÖTZL & W. HUBER (1972) hingewiesen.

Zusammenfassung

Durch geschickte zeitliche Anordnung war es möglich, im Gebiet der Donauversickerung—Aachquelle gleichzeitig 2 Färbversuche mit Uranin während des ungewöhnlich trockenen Herbstes 1971 durchzuführen. Es wurden die bereits früher festgestellten Überkreuzungen von Abzugsbahnen in diesem Karstgebiet bestätigt. Die mittlere Fließgeschwindigkeit bei Niedrigstwasser von der Hauptversickerung zur Aachquelle ist gerade halb so groß wie bei Hochwasser.

Die restlose Versickerung der Farbstofflösung in eine Schluckspalte im Aachtopf ermöglichte den zweiten Färbversuch ohne gegenseitige Störung. Durch diesen Versuch wurde bewiesen, daß der bereits vorhandene Grundwasserstrom, der die Aach begleitet, durch den Rückstau für den Kraftwerkbetrieb zusätzliche Einspeisung erhält.

Durch Kombination von Direktbestimmung von Uranin mit der Aktivkohleanreicherung gelingt mit einem Minimum an Aufwand die Durchführung von wichtigen Markierungsversuchen und deren sinnvolle Auswertung.

Literatur

- BATSCHÉ, H., F. BAUER, H. BEHRENS, K. BUCHTELA, H. J. DOMBROWSKI, R. GEISLER, M. A. GEYH, H. HÖTZL, F. HRIBAR, W. KÄSS, J. MAIRHOFER, V. MAURIN, H. MOSER, F. NEUMAIER, J. SCHMITZ, W. A. SCHNITZER, A. SCHREINER, H. VOGG & J. ZÖTL: Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversickerung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1967—1969. — Steir. Beitr. Hydrogeologie, 22, Graz 1970, S. 1—165.
- BATSCHÉ, H., H. MOSER & W. STICHLER: Messungen des Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehaltes in Karstgewässern. — Geol. Jb., Reihe C, 2, Hannover 1972, S. 275—288.
- BAUER, F.: Erfahrungen beim Uraninnachweis mit Aktivkohle. — Steir. Beitr. Hydrogeologie, 18/19, Graz 1967, S. 169—178.
- ENDRISS, K.: Zwei Aktenstücke über die Donauversinkung. — Schwäbische Kronik, Stuttgart, 18. Jan. 1908, Nr. 23, S. 11—12.
- HASENMAYER, J.: Tauchversuche in der Quelhöhle der Aach. — Geol. Jb., Reihe C, 2, S. 351—358.
- HÖTZL, H. & W. HUBER: Über die Hydrogeologie und wasserwirtschaftliche Nutzung der Aachquelle (Baden-Württemberg). — Geol. Jb., Reihe C, 2, Hannover 1972, S. 359—382.
- KÄSS, W.: Erfahrungen bei Färbversuchen mit Uranin. — Steir. Beitr. Hydrogeologie, 17, Graz 1965, S. 21—65.
- Württembergisches Hydrographisches Büro. — Schreiben vom 26. Mai 1909.

Summary

During the dry autumn of 1971 two further tracer tests were undertaken in the area of the Danube sinkholes and the Aach spring. The flowing speeds from the main Danube sinkholes to the Aach spring are exactly one half as high during driest periods as during periods of high water. The second tracer test in the Aach spring brought knowledge about the groundwater stream beside the upper Aach river.

Difficult tracer tests with uranine (sodium fluoresceine) can only give successful results if the points of reappearance are controlled both by direct determination with spectral photometry and by charcoal detectors.

Anschriften der Verfasser:

Oberlandesgeologe Dr. WERNER KÄSS, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, D-78 Freiburg i. Br., Albertstraße 5.
Universitätsdozent Dr. HEINZ HÖTZL, Geologisches Institut, Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, D-75 Karlsruhe.