

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 56 (1964)
Heft: 6

Artikel: Neuere Fortschritte im Bereich der Wasserabflussmengen-Messungen im Salzverdünnungsverfahren
Autor: De Spindler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921816>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.05.2025

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

NEUERE FORTSCHRITTE IM BEREICH DER WASSERABFLUSSMENGEN-MESSUNGEN IM SALZVERDÜNNUNGSVERFAHREN

A. de Spindler, Dipl. Bauingenieur ETH, Motor-Columbus AG., Baden

DK 532.574.82

Seit den Anfängen der exakten Abflussmengenmessungen wurde immer wieder versucht, eine sowohl genaue wie auch einfache, praktisch anwendbare Methode der Wassermessung auf «chemischem» Wege, d. h. im Salzverdünnungsverfahren, zu finden. Das Ziel dieser Bemühungen war, Wassermengenmessungen in kleineren und mittleren natürlichen Wasserläufen durchführen zu können, in denen Messflügelmessungen wegen zu starker Turbulenz und topographischer Unregelmässigkeit nicht ohne grosse Ausbau- und Installationskosten durchführbar sind. Der allgemeinen Anwendung solcher Messungen standen aber bisher die umständlichen und teils auch ungenügend genauen Auswertungsmöglichkeiten gegenüber, wie zum Beispiel bei Anwendung von Kochsalz.

Die im folgenden beschriebene Methode versucht, diese Nachteile durch Verwendung von Natriumbichromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{Na}_2 2 \text{H}_2\text{O}$) als Farbstoff und mit Hilfe des Photocolorimeters bei der Auswertung zu vermeiden. In einem zweiten Abschnitt wird gezeigt, wie eine gewisse Unsicherheit in der Anwendung dieser Methode in mechanisch und chemisch verunreinigten Gewässern überwunden werden kann.

Was die Idee der praktischen Durchführung der Wassermengenmessungen mit Natriumbichromatsalz betrifft, so ist sie im wesentlichen von Henry Dumas, einem Ingenieur des Wasserbaulaboratoriums der Universität Grenoble (Frankreich) erkannt, ausgearbeitet und angewandt worden (La Houille Blanche 1952/53), weshalb im nachfolgenden nur auf die zum Verständnis der Methode wesentlichen Punkte eingegangen wird.

In bezug auf die zusätzliche Verwendung eines zweiten Salzes, des Lithiumchlorides (LiCl), bei Vorhandensein von chemischen oder mechanischen Verunreinigungen im zu untersuchenden Wasserlauf, so erkannte der Autor diese Möglichkeit nach einer engen Zusammenarbeit mit Prof. P. Fontana (Società elettrica ed elettrochimica del Caffaro und Universität Padua) anlässlich qualitativer (nicht quantitativer) Grundwasserstrombeobachtungen unter Verwendung des obgenannten Salzes im Caffarotal (Brescia).

A. Salzverdünnungsverfahren mit Natriumbichromat

1. GRUNDLAGEN

Das Prinzip des Salzverdünnungsverfahrens zwecks Messung von Abflussmengen dürfte allgemein bekannt sein:

wenn Q = die zu messende Wassermenge eines Wasserlaufes	in l/s
q = die in den Wasserlauf injizierte, mit Natriumbichromat beschickte Mutterlösung	in l/s
N_1 = die Konzentration der injizierten Mutterlösung	in g/l
N_2 = die Konzentration der aus dem Wasserlauf entnommenen Wasserproben	in g/l

bedeutet, so kann folgendes Verhältnis aufgestellt werden:

$$\frac{Q + q}{q} = \frac{N_1}{N_2}, \text{ d. h. } (Q + q) = \frac{N_1}{N_2} \cdot q$$

Da die injizierte Mutterlösung q normalerweise gegenüber

der zu messenden Abflussmenge sehr klein ist (Grössenordnung 1:50 000) gilt für obenstehendes Verhältnis praktisch auch:

$$Q = \frac{N_1}{N_2} \cdot q$$

Das Interessante an dieser Gleichung ist, dass neben q das Verhältnis der beiden Konzentrationen bekannt sein muss, nicht aber diese selbst.

Auf dieser Tatsache begründet sich nun das Auswertungsverfahren mit Hilfe des Photocolorimeters, indem der den verschiedenen Verdünnungsgraden entsprechende Lichtdurchgang durch die gefärbten Wasserproben elektrisch gemessen wird, d. h. nur die relative Verdünnung gegenüber einer Mutterlösung, deren genaue Konzentration unbekannt ist.

2. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Messung als solche zerfällt in zwei getrennte Arbeitsvorgänge:

- I Injektion einer Mutterlösung in den zu messenden Wasserlauf und Probenentnahme
(Arbeitszeit ca. 1–1½ Stunden)
- II Auswertung der entnommenen Proben im Labor
(Arbeitszeit 1–1½ Stunden für einen Probensatz).

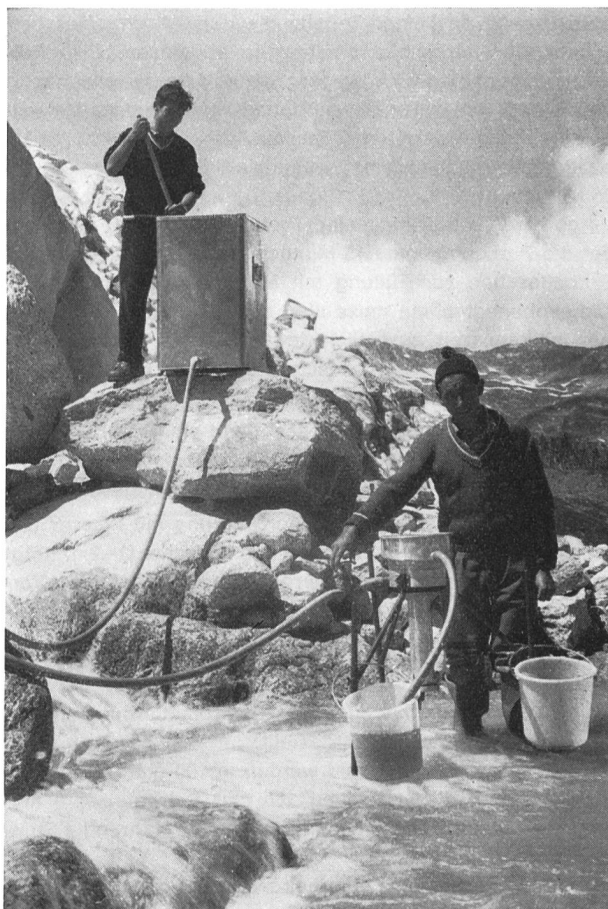


Fig. 1 Feldausrüstung für «chemische» Wassermessung, betriebsbereit

Zur Feldausrüstung gehören, wie Fig. 1 zeigt:

- 1 Mischbehälter für Mutterlösung (wenn möglich Aluminium)
 - 1 Injektionsapparat (Aluminium) mit den nötigen Zuleitungsschläuchen und verschiedenen auswechselbaren Düsen (Aluminium) sowie ein 3-Fuss-Gestell (Eisen)
 - 1 Regulierhahn für Zuleitung zum Injektionsapparat
 - 2 Plastikeimer
 - 1 Plastikeimer für Fluoresceinprobe
 - 20 (oder mehr) Plastiktaschen mit je 15 Plastikflaschen für Probenentnahmen.
- Verbrauchsmaterial: Natriumbichromat
(Erster Ankauf 100 kg in leicht zu transportierenden Plastiksäcken à 5 kg)
Fluorescein
(Erster Ankauf 2 kg in gut verschliessbarer Blechbüchse).

I Der Ablauf der Feldarbeit ist folgender:

a) 1–2 Suppenlöffel (je nach Abflussmenge) Fluoresceinpulver werden in einem mit Wasser gefüllten Eimer aufgelöst und dann die Mischung in den Wasserlauf geworfen.

Die nun gemessene Laufzeit dieser Färbung vom Beschickungsort bis zum vorgesehenen Probenentnahmeort wie auch die Zeitspanne bis zum Verschwinden der dortigen Färbung, die Färbungszeit, sind wichtig für die zu bestimmende Injektionszeit und Probenentnahme.

b) Die Messung kann nur erfolgreich sein, wenn auf der Strecke zwischen Injektionsort und Probenentnahmeort genügend Turbulenz herrscht, um eine möglichst vollständige Durchmischung sicherzustellen. Die Länge dieser Strecke richtet sich nach dieser Forderung, darf aber auch nicht zu weit sein, da sonst eine zu lange Injektionszeit benötigt wird. Strecken zwischen 100–200 m sollten im allgemeinen die gestellten Bedingungen erfüllen.

c) Je nach Mischbehälterinhalt (160–180 l) und Düsengrösse (4, 6, 10 und 12 mm, — normalerweise werden 6 und 8 mm verwendet) wird für eine roh geschätzte Wasserabflussmenge aus einer Tabelle die dem Mischgefäss beizugebende Natriumbichromatmenge abgelesen. Zum Beispiel benötigt man für eine geschätzte Abflusswassermenge von 2 m³/s bei einer Düsenöffnung von 8 mm und einem entsprechend geeichten Düsenausfluss von 108,05 cm³/s ca. 3 kg Natriumbichromat, wobei sich die Injektionszeit auf 25 Minuten beläuft.

d) Wird jede Minute eine Probe entnommen, so benötigt die Probeentnahme 13 Minuten (erste und letzte der 15 Probe Flaschen zur Füllung mit Mutterlösung vorgesehen). Die Probenentnahme muss also ca. 15 Minuten vor Ablauf der Injektionszeit, zusätzlich der Laufzeit und Färbungszeit des gefärbten Wassers zwischen Beigabeort und Probenentnahmeort beginnen.

e) Nachdem auch der Wasserstand am Pegel während der Probenentnahme und die Wetterverhältnisse notiert wurden, ist die Feldarbeit für diese Mess-Stelle abgeschlossen.

f) Die Mitnahme einer vor der Färbung mit Wasser des gemessenen Wasserlaufes gefüllten Flasche (1–2 l) trägt dazu bei, eine mögliche Fehlerquelle bei der späteren Verdünnung der Mutterlösung im Labor zu vermeiden.

II Die Auswertung der entnommenen Proben geschieht folgendermassen:

a) Zur Sichtbarmachung der Bichromatfärbung in den Proben wird ein Reaktiv hergestellt:

0,25 g Dyphenylcarbacid werden in 100 cm³ 95° Alkohol aufgelöst und dieser Lösung 100 cm³ Schwefelsäure (17° Baume) zugefügt. Diese Lösung erhält sich während 4 Stunden.

b) Aus der bei der Feldarbeit möglichst genau geschätzten Wassermenge wird die Grössenordnung der zu erwartenden Verdünnung der Proben gegenüber der Mutterlösung



Fig. 2

Fig. 2, 3 und 4: Vergleichsmessung im Kochsalz- und Natriumbichromatverfahren.

Man beachte den grossen Unterschied zwischen der nötigen Ausrüstung für Kochsalzinjektion (Fig. 2 links, Fig. 4) und der sehr kleinen und einfachen Ausrüstung für die Natriumbichromatinjektionen (Fig. 2 rechts, Fig. 3)

berechnet. Aus einer Probe dieser Mutterlösung werden nun 3–4 Verdünnungen (mit dem mitgebrachten Wasser) hergestellt, die möglichst nahe bei der zu erwartenden Verdünnung der Proben liegen.

c) Allen diesen Proben, wie auch den aus dem Wasserlauf entnommenen Proben, werden dann je 10 % (2 cm³ für 20 cm³ der Probe) des oben beschriebenen Reaktivs beigegeben, was denselben eine dem Bichromatgehalt der Proben entsprechende weinrote Färbung gibt.

d) In einem Photocolorimeter (dessen Einstellung ständig mit einer klaren Wasserprobe zu kontrollieren ist), werden die relativen Ausschläge der zubereiteten Verdünnungen abgelesen und als Ordinaten in einem Koordinatensystem vermerkt, in dem die entsprechenden Verdünnungsgrade als Abszissen eingetragen sind.

Sind die Verdünnungen aus der Mutterlösung genau hergestellt worden, so muss sich infolge der Proportionalität eine Gerade durch die gefundenen Punkte ziehen lassen, die durch den Koordinatennullpunkt geht (wenn der Wasserlauf nicht durch Schlamm oder andere Stoffe getrübt ist).

e) Sind die dem Wasserlauf entnommenen Proben rechtzeitig und richtig entnommen worden, so liegen die Colorimeterablesungen für diese alle sehr nahe beieinander. Der Schnittpunkt der unter Punkt d erwähnten Geraden und dem als Ordinate aufgetragenen Mittel aller Probenablesungen ergibt den gesuchten Verdünnungsgrad als Abszisse und damit auch die gesuchte Wassermenge in Funktion der durch die Düse injizierten Wassermenge:

gesuchte Abflussmenge Q =

$$q \text{ (Düsenauslauf)} \times \frac{N_1}{N_2} \text{ (Verdünnungsgrad)}$$

Die oben beschriebene, rationelle Art der Abflussmengenmessung wird schon seit mehr als einem Jahrzehnt in anderen Ländern, insbesondere aber von der Electricité de France bei Messungen in turbulenten Gewässern verwendet.



Fig. 3



Fig. 4

Das leichte Transportgewicht der Ausrüstung und die einfache Art der Messungen veranlasste Motor-Columbus dazu, diese Methode schon seit 1956 für ihre Kraftwerkstudien, insbesondere im Hochgebirge zu verwenden. Im Sommer 1960 wurden dann in Zusammenarbeit zwischen dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft und der Motor-Columbus Vergleichsmessungen durchgeführt, wobei an den gleichen Mess-Stellen sowohl Flügelmessungen wie auch Messungen in Kochsalz- und Natriumbichromatverfahren zur Anwendung kamen. (Tabelle 1)

Wenn die grossen Vorteile in der praktischen Durchführung der Abflussmengenmessungen, besonders im Gebirge und in unzugänglichen Gebieten, mit Natriumbichromat gegenüber Messungen mit Kochsalz (Transportgewicht 1–2 Trägerlasten statt dem Mehrfachen, kürzere Auswertungszeit und einfachere Methode) richtig erkannt werden, besteht kein Zweifel, dass diese Methode diejenige mit Kochsalz ersetzen wird.

Gegenüber den Flügelmessungen bedeutet sie nicht einen Ersatz, sondern eine wertvolle Ergänzung. Ueberall dort, wo in turbulenten Gewässern Flügelmessungen nur nach kostspieligen Um- und Einbauten im Wasserlauf möglich wären, können Messungen im Natriumbichromatverfahren mit minimaler Ausrüstung, ohne irgendwelche Änderungen durchgeführt werden.

B. Salzverdünnungsverfahren mit Lithiumchlorid

Einer der Einwände gegen die Abflussmengenmessung mit Natriumbichromat war die Möglichkeit, dass die dem Wasserlauf entnommenen Proben durch mechanische oder chemische Beimengungen verfälscht sein könnten. Dort, wo solche Möglichkeiten bestehen, kann nun durch Beigabe eines weiteren Salzes — des Lithiumchlorides (Li Cl) — in die

ABFLUSSMENGENMESSUNGEN IM VAL FERRET
VERGLEICHSMESSUNGEN UNTER VERWENDUNG VON MESSFLÜGEL, KOCHSALZ UND NATRIUMBICHROMAT

Tabelle 1

Ort Datum und Zeitpunkt	Pegel- stand	Flügel- messung	Kochsalz- messung	% Unterschied gegenüber Flügelmessung	Bichromat- messung	% Unterschied gegenüber Flügelmessung	% Unterschied der Kochsalzmessung gegenüber der Bichromatmessung
	m	m ³ /s	m ³ /s	%	m ³ /s	%	%
B ranche							
1 5. 7. 60 9.50	1,498	5,49	5,218	– 4,95	—	—	—
2 16.00	1,528	6,88	6,493	– 5,63	6,76	– 1,74	– 3,95
3 6. 7. 60 9.15	1,516	5,994	5,977	– 0,28	5,93	– 1,07	+ 0,79
4 11.00	1,523	—	—	—	6,22	—	—
5 16.00	1,585	8,96	8,585	– 4,18	8,97	+ 0,11	– 5,41
S aleina							
1 26. 4. 60 9.40	1,195	—	—	—	0,462	—	—
2 26. 4. 60 10.50	1,195	0,456	0,450	– 1,31	0,468	+ 2,63	– 3,85
3 16.20	1,195	—	—	—	0,466	—	—
4 17.20	1,194	0,445	0,447	+ 0,45	0,453	+ 1,80	– 1,32
5 18.05	1,194	—	0,437	—	—	—	—
6 27. 4. 60 8.55	1,180	—	0,399	—	—	—	—
7 9.50	1,179	0,410	0,402	– 1,95	0,428	+ 4,40	– 6,07

	Natriumbichromat (Cr ₂ O ₇ Na ₂ , 2 H ₂ O)		Lithiumchlorid (Li Cl)
Ankauf des Salzes	2 x 1,5 kg à Fr. 1.70	= Fr. 5.10	20 kg à Fr. 10.75/kg = bei 1,0 mg Li/l = Fr. 215.—
Feldarbeit	für beide Methoden gleich		für beide Methoden gleich
Analyse im Labor	2 Laborantenstunden à Fr. 8.50 = Fr. 17.— ½ Ingenieurstunde à Fr. 20.— = Fr. 10.—		Untersuchung im BBC-Labor = Fr. 115.—
Auswertung der Resultate	für beide Methoden gleich	Fr. 32.10	für beide Methoden gleich Fr. 330.—

Mutterlösung kontrolliert werden, ob durch eine chemische oder mechanische (Schlamm) Gewässerverunreinigung, d. h. durch eine Absorption von Natriumbichromat, das Messresultat verfälscht worden ist.

Beim Lithium handelt es sich um ein Element, dessen Vorhandensein in sehr kleinen Mengen im Flammenspektroskop nachgewiesen werden kann.

Um Lithium spektroskopisch quantitativ nachweisen zu können (Fehler $\pm 5\%$), müsste mindestens 1 mg Lithium in einem Liter Wasser vorhanden sein, d. h. 6,1 mg Lithiumchlorid pro l, d. h. 6,1 g Lithiumchlorid pro m³/s zu messendem Wasser.

Für eine Mess- (Injektions)-dauer von 30 min sind somit 11 kg pro m³/s abfließenden Wassers nötig. Und hier zeigt sich nun der einzige Nachteil für die allgemeine Verwendung des Lithiumchlorides, die Kosten sowohl des Ankaufs des Salzes, wie auch der teuren Analyse. Die vorstehende Tabelle 2 zeigt den relativen Kostenunterschied zwischen einer Messung mit Natriumbichromat und einer solchen mit Lithiumchlorid.

Die Beigabe von Lithiumchlorid für die Wassermessung erfolgt genau wie die Beigabe von Natriumbichromat, indem die gewünschte Menge Li Cl in die Natriumbichromat-Mutterlösung des Mischgefäßes geschüttet wird.

Für die getrennten beiden Auswertungen werden die nötigen Wasserproben separat dem Wasserlauf entnommen.

Ein unter winterlichen Verhältnissen geschätzter Vorteil der Verwendung des Li Cl ist die leichte Erwärmung der Mutterlösung im Mischgefäß durch Einschütten des Li Cl-Salzes, weshalb dieses Einschütten nicht zu schnell erfolgen sollte. Die erwärmte Mutterlösung verhindert das Einfrieren des Injektionsstrahles am Injektionsapparat.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt, wie klein die Unterschiede der Messresultate mit Natriumbichromat einerseits und Lithiumchlorid andererseits sind, was in diesem Fall den Nachweis erbringt, dass keine Teile des verwendeten Natriumbichromats vom gemessenen, stark verunreinigten Gewässer absorbiert wurde und somit auch die anderen Natriumbichromatmessungen im gleichen Wasserlauf unter gleichen Verhältnissen als vollwertig anzusehen sind.

Wenn wegen der hohen Kosten das Lithiumchlorid nicht durchgehend für alle Wassermessungen verwendet werden kann, so können doch geeignete Stichproben im Zusammenhang mit Natriumbichromatmessungen die volle Verwendbarkeit letzterer in verunreinigten Gewässern nachweisen.

Es bleibt noch zu bemerken, dass die Beimischung von Lithiumchlorid zu Wasserläufen in den hier verwendeten kleinen Mengen und kurzen, zeitlich begrenzten Abschnitten (30 min/Messung) vollständig unschädlich ist. Ein Beweis dafür ist das begehrte Vorhandensein von Lithiumchlorid in im Handel verkauften Mineralwassern.

DOTIERWASSERMESSUNGEN HINTERREIN (SCHAMS)

Tabelle 3

Dotierwasser in Bärenburg		m ³ /s		ca. 0,2		ca. 0,4		ca. 0,8	
Messtelle	Datum	Pegel- ablesung m	Abflussmenge gemessen mit Lithium	Bichromat	Pegel- ablesung m	Abflussmenge gemessen mit Lithium	Bichromat	Pegel- ablesung m	Abflussmenge gemessen mit Lithium
	1961								
Andeer-Mühlebach EG = 10,0 km ²	6. 9.							0,758	0,852
	7. 11.	0,65	—	0,389					
	8. 11.	0,64 ^s	—	0,378					
	9. 11.				0,69 ^s	—	0,546		
	21. 11.				0,67	0,414	0,413		
	22. 11.	0,61 ^s	0,275	0,274					
Clugin EG = 16,4 km ²	7. 11.	0,14	—	0,474					
	8. 11.	0,14	—	0,519					
	9. 11.				0,16 ^s	—	0,729		
	21. 11.				0,16 ^s	0,604	0,616		
	22. 11.	0,12 ^s	—	0,438					
Zillis EG = 71,9 km ²	5. 9.				0,875	—	2,240	0,925	2,700
	6. 9.								2,580
	7. 11.	0,80	—	1,441					
	8. 11.	0,79	—	1,417					
	9. 11.				0,82 ^s	—	1,588		
Entn. nach 100 m	22. 11.	0,75 ^s	1,202	1,159					
Entn. nach 200 m	23. 11.		1,145	1,180	0,79 ^s	1,321	1,358		