

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 16-17

Artikel: Bestimmung der Abflussmengen: vergleichende Abflussmengen mittels hydrometischer Flügel und künstlicher Tracer
Autor: Gees, Andreas / Gossauer, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77407>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

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

	Fassaden	Glasdach
Allgemeiner Beschrieb	Pfosten-Riegelkonstruktion in FELISOL-Aluminiumprofilen als Kaltfassaden mit der Möglichkeit, die äussere Schale bis zu 180° zu öffnen	Prinzip der Dachziegel, Glas auf Glas überlappend
Unter-Konstruktion	In verzinktem Stahl	
Oberflächenbehandlung	Anodisation colinal bronze innen und aussen	
Befestigungen	Verschraubung + Metallkonstruktion Rahmen demontierbar für Glaseinsatz	Verschraubung Abdeckhaube demontierbar
Verbindung Trennwände	Abdeckhaube leicht demontierbar für Einbau der Wände	
Verglasung (isoliert)	6 mm Float, mit niedriger Abstrahlung, 12 mm Luftzwischenraum 8 mm Float	2 x 6 mm gehärtet, mit niedriger Abstrahlung Verbundsicherheitsglas 12 mm Luftzwischenraum 10 mm absorbierend, grün getönt, gehärtet
Schale	10 mm absorbierend, bronzefarbig getönt, gehärtet	10 mm Float gehärtet
Luftdurchlässigkeit Schlagregensicherheit		
Wärmeisolation (Kalt-Fassade)	Verglasung: k-Wert 1,4 W/m ² K Fassadenplatten: 0,25 W/m ² K	Verglasung: k-Wert 1,4 W/m ² K
Schalldämmung (Kalt-Fassade)	Rw = 45 - 50 dB	Rw = 50 - 50 dB
Sonnenschutz	RL: 6% TL: 23% FS: 0,27 + Storen + Ventilation innen	RL: 10% TL: 66% FS: 0,55
Ausdehnung und Verformung	+/- 30 mm pro Etage	Jedes Element ist so geschaffen, dass es seine eigene Ausdehnung aufnimmt
Unterhalt und Pflege	Reinigungsmaschine Aussenbefahranlage	Reinigungs-Arm

Die bemerkenswerten technischen Daten der neu entwickelten ersten Kalt-Fassade und des ersten Glasdachs als Kalt-Fassade mit nach aussen zu öffnender Vorhang-Schürze in der Anwendung für die Ende 1989 fertiggestellte «Halle de Tri Bagages» des Flughafens Genf. (Quelle: Félix constructions sa)

fenareals ist es nicht selten, dass sich Flugzeuge vertikal über dem Glasdach bewegen. Beim Konzept des Baues – in drei Partien mit drei Glasdächern und mit drei Patios, nach innen geöffnet auf den 5 Etagen befindlich – war es naheliegend, dass der Lärmschutz dieser Glasdächer mindestens gleichwertig wie die Fassaden ausgeführt wurde. Nach einer mehrmonatigen Studie und Verwirklichung eines einzelnen Glases von 100 mm wurde zum Schluss mit überlappter Schürze die Lösung der Kalt-Fassade gewählt. Die Kalt-Fassade kann zur Reinigung geöffnet werden, und jedes Element überdeckt sich mit dem nächsten, wie eben ein Ziegeldach-System.

Da sozusagen kein Verlust durch Fugen vorhanden ist (nicht wie bei der Fassade), wird die Wirkung der Schalldämmung noch beachtlich erhöht (Rw = 50–55 dB).

Die Neuheit

Ebenso für die Fassaden wie auch für die Glasdächer besteht die grosse Neuerung in der Verwirklichung der zu öffnenden Kalt-Fassade, die eine ununterbrochene Reinigung und ebensolchen Unterhalt aller Flächen erlaubt, womit eine langfristige Garantie geleistet wird.

Adresse des Verfassers: L. Felix, Felix constructions sa, Route de Renens 1, 1030 Busigny-Lausanne.

Bestimmung der Abflussmengen

Vergleichende Abflussmessungen mittels hydrometrischer Flügel und künstlicher Tracer

Ein Teil der Gruppe Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern, die von Dr. R. Weingartner geleitet wird, befasst sich mit der Weiterentwicklung hydrologischer Messmethoden, wobei namentlich Abflussmessungen mit der Salzverdünnungsmethode (Integration) mit andern Methoden verglichen wurden.

In den letzten Jahren wurden vor allem Abflussmessungen mit der Salzverdünnungsmethode (Integration) durchgeführt und mit einem Kleincomputer direkt im Feld ausgewertet. Vergleichende Messungen mit anderen Methoden fehlten jedoch bis heute weitgehend. Um Anhaltspunkte über die Qualität der Messresultate verschiedener Methoden zu erhalten, wurden in Zusammen-

arbeit mit der Landeshydrologie und -geologie (LHG) an acht ausgewählten Stationen Vergleichsmessungen durchgeführt. Die folgenden drei Messmethoden wurden gleichzeitig eingesetzt:

- hydrometrischer Flügel der LHG
- Verdünnungsmethode mit konstanter Zugabe des Tracers Amidorhodamin (AR)

- Verdünnungsmethode mit momentaner Einspeisung des Tracers Kochsalz (NaCl).

Die Resultate der verschiedenen Methoden sind somit direkt vergleichbar. Die Messungen fanden im Herbst 1989 statt.

VON ANDREAS GEES UND
M. GOSSAUER,
BERN

Methoden

Hydrometrischer Flügel

Mit dem hydrometrischen Flügel werden die Fliessgeschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen über die Gewässer-

breite gemessen. Die Berechnung der Abflussmenge erfolgt mit doppelter Integration über den benetzten Querschnitt und die Zeit [3]. Von der Landeshydrologie und -geologie (LHG) wird, wenn immer möglich, der hydrometrische Flügel eingesetzt. Folgende Kriterien müssen bei der Flügelmessung erfüllt sein:

- konstanter Abfluss während der Messung
- stabiler Messquerschnitt (verbaute Sohle ergibt die besten Resultate)
- laminare Strömung
- vegetationsfreier Messquerschnitt
- regelmässige Eichung der Flügel.

Bei den Vergleichsmessungen gelangten hydrometrische Flügel der LHG zum Einsatz (Bild 1). Diese wiesen einen Schaufelddurchmesser von 8 cm auf. Die mittlere Fließgeschwindigkeit wurde nach der 5-Punkt-Methode der LHG bestimmt (Tab. 1).



Bild 1. Flügelmessung Albach-Erstfeld, Bodenberg

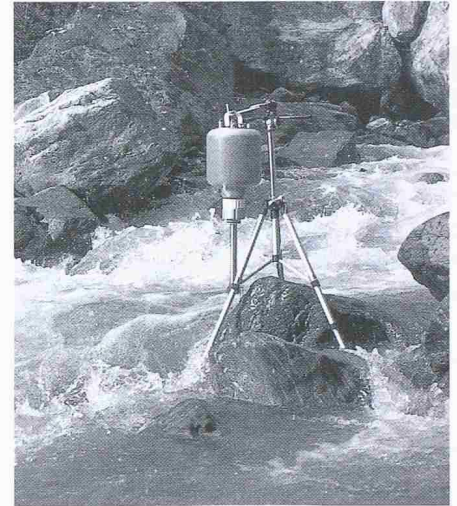


Bild 2. Mariottische Flasche Albach-Erstfeld, Bodenberg

Verdünnungsmethode mit konstanter Zugabe des Tracers

Bei dieser Methode wird während einer bestimmten Zeit eine genau dosierte Menge einer hoch konzentrierten Initiallösung eingespritzt. Die Einspritzzeit muss so gewählt werden, dass die Tracerkonzentration im Messquerschnitt während der Probenahme konstant bleibt. Die Abflussmenge lässt sich aus dem Verdünnungsverhältnis von Initiallösung und Proben rechnerisch bestimmen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- mengenkonstante Tracereinspeisung
- konstanter Durchfluss Q während der Messung
- an der Probenahmestelle muss pro Zeiteinheit die gleiche Tracermenge vorbeifliessen, die weiter oben zugegeben wird
- stabiler Tracer (keine Sorptionsverluste)
- turbulente Strömung in der Durchmischungsstrecke
- der Tracer muss sich zwischen Einspritzstelle und Probenahmestelle homogen verteilen und vollständig mit dem Bachwasser vermischen [3]
- stabiler Grundwert des Wassers.

Bei den Vergleichsmessungen wurde zur konstanten Einspeisung des Tracers Amidorhodamin, eine Mariottische Flasche (Bild 2) mit 12 Litern Inhalt, verwendet.

Verdünnungsmethode mit momentaner Zugabe des Tracers

Bei der Integrationsmethode wird dem zu messenden Fließgewässer eine be-

Gewässer, Ort	1	2	3	4	5	6
Grossthalbach-Isenthal	×	×			×	
Albach-Erstfeld, Bodenberg	×	×			×	
Walenbrunnen-Erstfeld, Auslauf ARA		×	×	×		
Schächen-Bürglen, Galgenwäldli			×		×	
Erlenbach-Engelberg	×	×			×	×
Engelberger Aa-Engelberg	×	×	×			
Chli Schliere-Alpnach, Chilch Erli			×			
Würzenbach-Luzern		×	×	×		×

1: natürlichetr Bachlauf in der Durchmischungsstrecke
 2: natürliche Sohle in der Durchmischungsstrecke
 3: befestigte Ufer
 4: Leitfähigkeit rel. hoher Basiswert, anthropogen bedingt
 5: Messquerschnitt für Flügel ausgebaut
 6: starke Verkrautung/Algenbewuchs

Tabelle 1. Messstellencharakteristika

stimmte Menge einer konzentrierten Markierlösung momentan beigegeben. Nach einer Fließstrecke, die lang genug ist, um eine gute Durchmischung zu gewährleisten, werden während des ganzen Durchgangs der Tracerwolke Proben gezogen bzw. die Tracerkonzentration kontinuierlich gemessen. Wird Salz (NaCl) als Tracer eingesetzt, kann mit einem Leitfähigkeitsmessgerät der Tracerdurchgang erfasst werden. Als Messergebnis resultiert ein Konzentrations-Zeit-Diagramm. Daraus lässt sich durch Integration der Abfluss berechnen. Damit diese Methode angewendet werden kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- vollständig gelöster Tracer dem Gewässer zugeben
- konstanter Abfluss während der Messung
- Vorbeifliessen der ganzen beigegebenen Tracermenge im Messquerschnitt
- turbulente Strömung in der Durchmischungsstrecke
- homogene Verteilung des Tracers im Probenahmequerschnitt

- stabiler Tracer
- stabile Grundleitfähigkeit während der Messung (wichtig bei Verwendung von Salz als Tracer)
- stabile Zellkonstante der Sonde.

Für die Verdünnungsmethode mit momentaner Einspeisung und Auswertung mittels Mikrocomputer wird handelsübliches Kochsalz als Tracer verwendet und die Konzentration durch Messung der Leitfähigkeit ermittelt (Messintervall 1 s). Die Auswertung und der Protokollausdruck erfolgen direkt im Feld. Das Messgerät (Rechner, Drucker, Leitfähigkeitsmessgerät, A/D-Wandler und Akku) ist in einem handlichen Kunststoffkoffer (Bild 3) eingebaut.

Messstellen

Die Auswahl der Messstellen erfolgte aufgrund folgender Kriterien:

- Abfluss nicht mehr als $4 \text{ m}^3/\text{s}$
- Messstelle der Landeshydrologie und -geologie

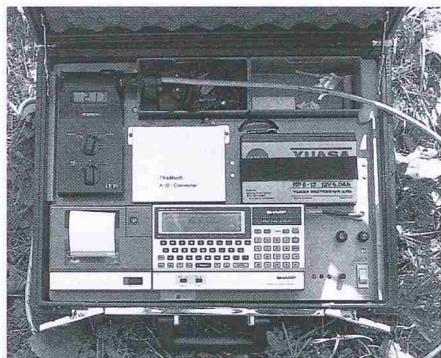


Bild 3. Messgerät zur Erfassung und Auswertung von Abflussmessungen mittels hydrometrischer Flügel und der Salzverdünnungsmethode



Bild 4. Messstrecke Chli Schliere-Alpnach, Chilch Erli am 21. September 1989

- gesicherte Pegel/Abfluss-Beziehung
- turbulentes Fließen für die Tracermessungen in der Durchmischungsstrecke.

Von den acht ausgewählten Stationen erfüllten 5 die oben genannten Bedingungen. Die anderen Stationen erwiesen sich als nicht ideal.

Messresultate

In Tabelle 3 sind die Messresultate dargestellt. Die Frage der Referenzgrösse für den Vergleich der Messungen wurde so gelöst, indem die bestehende P/Q-Beziehung jeweils als Referenz für alle 3 Messmethoden galt. Die Basis der

P/Q-Beziehungen sind jahrelange Flügelmessungen und somit mittlere Werte. Dadurch werden fehlerhafte Einzelmessungen eliminiert, und es ergibt sich eine mittlere Abflussmenge bei einem bestimmten Pegel.

Die Messresultate können folgendermassen interpretiert werden: Die Flügelmessungen ergaben Abweichungen von -26% bis +43% zur gültigen P/Q-Beziehung. Beim Erlenbach resultierte eine Abweichungen von +43% oder 0,562 m³/s zur bestehenden P/Q-Beziehung (Tab. 3). Warum die Messung eine so grosse Abweichung zeigte, ist nicht bekannt. Auffallend ist jedoch, dass mit den anderen beiden Messmethoden ähnlich «schlechte» Er-

gebnisse erzielt wurden (Momentaneinspeisung +32%, Konstanteinspeisung +20%). Die grösste negative Differenz von -26% wurde bei der Chli Schliere gemessen. Die natürliche Sohle im Messquerschnitt, die kleinen Fließgeschwindigkeiten, die geringe Wassermenge und die breite Sohle erschweren die genaue Abflussmessung mittels Flügel (Bild 4.). Die Niedrigwasserabflüsse sind mit dieser Methode ohne ausgebautes Messgerinne sehr schwierig zu erfassen. Die höchste positive Abweichung von +8,4% errechnete sich beim Schächen. Diese Differenz liegt wie bei den anderen Flügelmessungen unterhalb 10%. Die geringste Differenz von nur 0,019 m³/s (+1,5%) wurde beim Grossthalbach gemessen.

Die Konstanteinspeisungen mit Amidorhodamin zeigen ein ähnliches Bild. Die Abweichungen betragen -21% beim Würzenbach und +20% am Erlenbach. Beim Erlenbach könnte ein Tracerverlust durch Sorption oder durch Versickerung stattgefunden haben. Beim Würzenbach mit einer Grundleitfähigkeit von 461 µS/cm spielt die starke Belastung eine Rolle. Daher ist es wahrscheinlich, dass ein indirekter Einfluss über den hohen Blindwert (Blindprobe 0,2 mg/m³ AR) und die Wasserinhaltsstoffe die Fluoreszenz beeinträchtigten. Die anderen Abweichungen liegen innerhalb von 10%.

Die Momentaneinspeisungen mit Salzverdünnungsmessungen ergaben Abweichungen zwischen -1,1% und +32%. Diese negative Abweichung von -1,1% ist die einzig negative. Das heisst, die gemessene Abflussmenge ist zu gering. Die Abweichung ist klein und liegt innerhalb der zu erwartenden Messgenauigkeit.

Gewässer	M/Q(Jahr)	Temp.	Leitf.	mittl. v	Distanz	Einspeisemenge	
						Konst.	Moment
	(m ³ /s)	(°C)	(µS/cm)	m/s	(m)	(g)	(kg)
Grossthalbach	1,84	9,2	260	2,40	300	3	6,1
Alpbach	1,80	6,5	86	2,60	200	3	10,0
Walenbrunnen	0,25	10,6	237	0,27	300	-	2,1
Schächen	5,39	10,4	221	1,50	450	10	15,0
Erlenbach	1,63	6,3	216	1,73	250	5	10,3
Engelberger Aa	4,64	8,9	146	1,10	400	10	11,5
Chli Schliere	0,75	15,1	304	0,05	450	2	2,5
Würzenbach	#	14,6	461	0,50*	200	1	1,7

- keine Messung
 # keine Angabe, Station erst 1989 von der LHG übernommen
 * geschätzte Geschwindigkeit
 M/Q(Jahr): Mittlere Jahresabflussmenge der Periode 1986-1988, Mitteilung von Herrn B. Luder LHG
 mittl. v: Mittlere Fließgeschwindigkeit im Flügelmessquerschnitt aus den Flügelmessungen
 Distanz: Distanz zwischen Einspeise- und Probenentnahmestelle
 Konst.: Konstanteinspeisung (Mariottesche Flasche), Amidorhodamin
 Moment: Momentaneinspeisung (Integrationsmethode), Salz

Tabelle 2. Messstellenparameter und Einspeisemengen

Literatur

- [1] Benischke R., Harum, T.: Computer-gesteuerte Abflussmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren), in Steirische Beiträge zur Hydrogeologie 36, S. 127-137, 1984
- [2] Estermann H.: Die Auswertung von Abflussmengenmessungen auf einem Kleincomputer; Hausarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern, Physische Geographie Hydrologie (unveröffentlicht), 1990
- [3] Landeshydrologie und -geologie: Mitteilungen Nr. 4, Handbuch für die Abflussmessung (Bundesamt für Umweltschutz, Bern), 1982
- [4] Luder B.: Ein Messgerät zur Bestimmung des Abflusses nach dem Verdünnungsverfahren, Geographisches Institut der Universität Bern, Physische Geographie Hydrologie (unveröffentlicht), 1986

Gewässer	Pegelstand	Q (P/Q)	Flügel	Konst.	Moment	Abweichung zu Q(P/Q)		
						Flügel	Konst.	Moment
	(m)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(%)	(%)	(%)
Grossthalbach	0,802	1,300	1,319	1,341	1,312	+ 1,5	+ 3,1	+ 0,9
Alpbach	1020,015	1,920	1,890	1,952	1,923	- 7,3	+ 1,6	+ 0,1
Walenbrunnen	1,270	0,260	0,280	-	0,266	+ 7,7	-	+ 2,3
Schächen	484,840	4,200	4,555	4,537	4,566	+ 8,4	+ 8,0	+ 8,7
Erlenbach	2,095	1,300	1,862	1,560	1,720	+43,0	+20,0	+32,0
Engelberger Aa	4,555	3,640	3,696	3,424	3,598	+ 1,5	- 5,9	- 1,1
Chli Schliere	452,555	0,100	0,074	0,090	0,109	-26,0	-10,0	+ 9,0
Würzenbach	0,265	0,118	-	0,094	0,118	-	-21,0	0

- keine Messung
 Pegelstand: Ablesung am LHG-Pegel
 Q(P/Q): Abfluss aufgrund der P/Q-Beziehung der LHG
 Flügel: Flügelmessung und Auswertung durch LHG
 Konst.: Kostanteinspeisung (Verdünnungsmethode), Amidorhodamin
 Moment: Momentaneinspeisung (Integrationsmethode), Salz

Tabelle 3. Resultate der Messungen

Die grösste Differenz zur P/Q-Beziehung wurde beim Erlenbach gemessen. Die Abweichung beträgt 0,42 m³/s oder +32%. Dies heisst, dass ein Salzverlust zwischen der Einspeisestelle und der Messstelle stattgefunden hat. Ein Sorptions- oder Versickerungsverlust ist sehr wahrscheinlich die Ursache, dass die Messung so stark von der P/Q-Beziehung differiert. Die anderen Abweichungen liegen zwischen 0 und +10%.

Vergleicht man die Differenzen zwischen den drei Messmethoden, ergeben sich die grössten Abweichungen bei der Chli Schliere. Sie betragen relativ 35% zwischen der Flügelmethode (0,074 m³/s) und der Salzverdünnung (0,109 m³/s). Diese grosse Differenz ist teilweise auf die geringe Wassermenge sowie die relativ grosse Breite des Baches zurückzuführen (vgl. Bild 4). Die kleinste Differenz resultierte beim Schächen, sie lag innerhalb 0,7% zwischen den drei eingesetzten Methoden. Diese Abweichungen liegen im Bereich des Messfehlers. Die meisten Differenzen lagen zwischen 2% und 8% (vgl. Tab. 3). Daraus ergibt sich eine recht gute Übereinstimmung der drei unterschiedlichen Methoden.

Ausblick

Ein Vorteil der Flügelmessungen liegt darin, dass die Abflussmenge kein limitierender Faktor ist. In einem Messgerinne (stabiler Messquerschnitt) erweist sie sich als gut geeignete Methode. In kleineren Gerinnen mit natürlicher Sohle sind die Ergebnisse weniger gut. Ein Nachteil des hydrometrischen Flügels liegt darin, dass dieser von Zeit zu

Zeit geeicht werden muss und dies grosse technische Aufwendungen erfordert. Inwieweit Hochwasserabflüsse mit grossen Feststofffrachten noch zuverlässig erfasst werden können, ist schwierig abzuschätzen.

Die Verdünnungsmethode mit konstanter Einspeisung (Amidorhodamin) als Tracer erfordert eine spezielle Einspeiseapparatur (Mariottische Flasche oder ähnliches) sowie eine Analyse der Proben im Labor mit einem Spektrofluorometer. Das Messresultat ist im Felde nicht verfügbar, was ein Nachteil ist. Der Vorteil der Methode liegt darin, dass nur geringe Tracermengen (etwa 5 g AR pro m³ Abfluss) benötigt werden. Es können somit auch grössere Wassermengen (bis 100 m³/s) erfasst werden. In der Regel kann von folgenden benötigten Tracermengen ausgegangen werden:

- SRG etwa 5 g pro m³
- Salzverdünnungsmethode etwa 5 kg pro m³.

Der limitierende Faktor ist meist die Länge der Durchmischungsstrecke, denn der Tracer sollte im Messquerschnitt homogen verteilt sein.

Die Integrationsmethode (Salz) hat den Vorteil, dass sie auch in natürlichen Gerinnen mit turbulenter Strömung angewendet werden kann. Die Begrenzung der Anwendung liegt vor allem in den benötigten Salzmengen (5 kg pro m³), um die Leitfähigkeit im Peak der Durchgangskurve um 100 µS/cm zu erhöhen. Bei geringen Grundleitfähigkeiten (<100 µS/cm) sollten geringere Salzmengen, bei hohen Leitfähigkeiten (>500 µS/cm) grössere verwendet werden. Der Vorteil der Methode liegt si-

cherlich in der Unabhängigkeit von Messbrücken und anderen Einrichtungen. Der Messkoffer, Salz und ein Gefäss zum Vorlösen des Salzes reichen für diese Abflussmessungen. Dank des Mikrocomputers ist das Resultat sofort auf einem Messstreifen verfügbar (Plausibilitätskontrolle). Eine zweite Messung kann sofort nach Beendigung der ersten erfolgen. Ein gewisser Nachteil ist, dass nur relativ kleine Abflussmengen (bis rund 4 m³/s) mit einem zumutbaren Aufwand erfolgen können. In der Literatur werden mit dieser Methode zwar gemessene Abflussmengen von 14 m³/s angegeben [1]. Dies erfordert jedoch sehr grosse Salzmengen, um die gewünschte Leitfähigkeitserhöhung im Probenquerschnitt zu erhalten.

Diese ersten Resultate lassen noch keine endgültigen Schlüsse über die Abweichungen und Genauigkeit der drei angewandten Messmethoden zu. Dazu sind noch weitere Vergleichsmessungen nötig. Doch kann die Zuverlässigkeit der Methoden abgeschätzt und deren Vor- und Nachteile abgewogen werden.

Wir möchten der Landeshydrologie und -geologie und insbesondere den Herren Balsiger F., Bichsel J., Burla A., Luder B. und Ramseier G. für ihr Entgegenkommen und ihre Unterstützung danken.

Adresse der Verfasser: A. Gees, dipl. phil. nat., und M. Gossauer, dipl. phil. nat., Geographisches Institut der Universität Bern, Gruppe Hydrologie, Hallerstrasse 12, 3012 Bern.