Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren

Autor(en): **Gees, Andreas / Gertsch, Jürg / Schenk, Jürg**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **87 (1995)**

Heft 9

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940427

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren

Verbesserung der Messung

Andreas Gees, Jürg Gertsch, Jürg Schenk und Rolf Weingartner, Bern

In alpinen Gewässern spielt die Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren – mittels Salz oder fluoreszierender Farbstoffe – eine wichtige Rolle. Dank dieser Methode sind die Abflussmengen turbulenter Bäche oder Flüsse mit ausreichender Genauigkeit bestimmbar. Ein Problem bildet vielfach die Wahl der optimalen Durchmischungsstrecke. In diesem Artikel wird ein Messgerät beschrieben, das eine bessere Beurteilung der Durchmischung des Salz-Tracers an einer Messstelle erlaubt.

Zur Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren steht in der Regel nur eine Leitfähigkeitssonde zur Verfügung, um den Salzdurchgang zu messen [1]. Deshalb müssen mehrere Messungen durchgeführt werden, um eine gewisse Sicherheit in bezug auf eine homogene Durchmischung des Tracers an der Messstelle zu erhalten. Nur bei einer homogenen Durchmischung sind die Abflussmengen zuverlässig bestimmbar.

Am Geographischen Institut der Universität Bern wurde ein Messgerät entwickelt, das mit vier gleichzeitig messenden Leitfähigkeitsmesssonden den Salzdurchgang erfasst. Dies ermöglicht eine sofortige Beurteilung der Durchmischung des Tracers an der Messstelle.

Das Abflussmessgerät

Das weiterentwickelte Abflussmessgerät besteht aus vier Hauptkomponenten (Bild 1):

- Subnotebook
- A/D-Wandler
- Multiplexer
- Leitfähigkeitsmesssonden

Weitere elektronische Komponenten werden zur Steuerung und zur Datenerfassung benötigt. Die Stromversorgung wird durch einen internen Akku gewährleistet. Das Subnotebook hat eine eigene Energieversorgung (Akku), welche vom Geräteakku zusätzlich gepuffert wird. Alle Komponenten sind in einem Koffer mit den Massen 41 × 31 × 11 cm und einem Gewicht von weniger als sechs Kilogramm untergebracht.

Bild 1. Messkoffer mit Subnotebook und Leitfähigkeitsmessgerät.

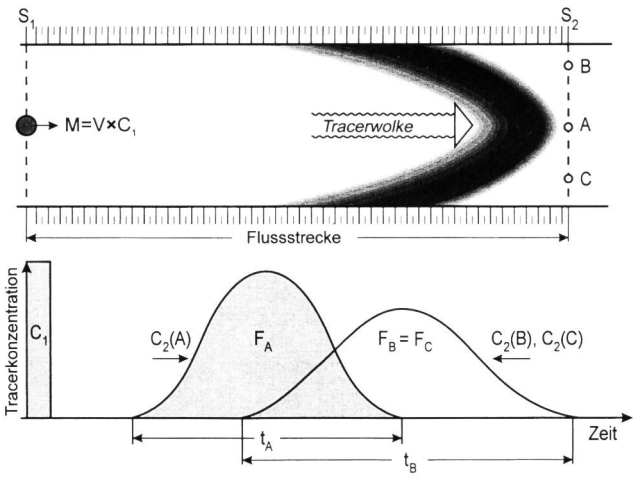


Bild 2. Prinzip der Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren, nach [3] ergänzt.

Die Daten werden über ein Subnotebook «HP Omnibook 300» erfasst, das mit einem 386er-Prozessor ausgerüstet ist. Der gut auflösende Bildschirm erlaubt eine graphische Darstellung der Tracerdurchgangskurven. Das stromsparende Omnibook 300 arbeitet nach Angaben des Herstellers zehn Stunden netzunabhängig. In längeren Messkampagnen wurden – bei vorheriger voller Ladung der Batterien – Arbeitszeiten von mindestens 8 Stunden erreicht. Ein ganzer Arbeitstag kann somit netzunabhängig bewältigt werden, ohne dass Ersatzakkus mitgenommen werden müssen.

Das Abflussmessgerät hat vier Eingänge für die Leitfähigkeitsmessung, für welche die LF-95-Geräte der Firma WTW verwendet werden. Der A/D-Wandler «Zirelco ZE-81» wandelt die analogen Signale der Leitfähigkeitsgeräte genügend schnell in digitale Werte um. Die Zeit für Messung und Umwandlung der analogen Signale ist für alle vier Leitfähigkeitsmessgeräte zusammen kürzer als eine Sekunde, also kleiner als das kleinste wählbare Messintervall des Abflussmessprogramms. Das Abflussmessprogramm ist auf MS-DOS-kompatiblen Personal Computers einsetzbar und in TURBO-Pascal 5.0 geschrieben [2].

Der Multiplexer (Mehrfachschalter) wurde am Geographischen Institut der Universität Bern entwickelt und optimal auf die Bedürfnisse der Abflussmessung zugeschnitten. Damit sich die Leitfähigkeitsmesssonden nicht gegenseitig beeinflussen, wurden die Messkreise galvanisch getrennt.

Das Abflussmessgerät ist so gestaltet, dass ohne grossen Mehraufwand weitere Anwendungen integriert werden können. So wurde das Modul «Abflussmessung mit dem hydrometrischen Flügel» bereits realisiert, während die Komponente «Messung fluoreszierender Tracer mittels Lichtleiterfluorometer» in Planung ist.

Ablauf der Messung

Bild 2 vermittelt einen Einblick in das Prinzip der Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren. Die theoretischen Grundlagen werden in der Literatur [3, 4] beschrieben, daher wird auf sie nur so weit als nötig eingegangen.

Der Benutzer wird mittels eines Menüs durch die Abflussmessung geführt. Die einzelnen Bildschirmmasken sind weitgehend selbsterklärend. Im folgenden werden die wichtigsten dargestellt und erläutert.

Nach dem Aufruf des Programms erscheint folgende Bildschirmmaske:

S1: 230.87 S2: 242.20 S3:250.30 S4: 349.87
Ausgangsleitfähigkeit : 230.30 µS/cm

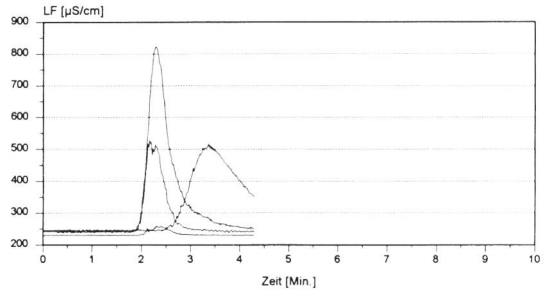


Bild 3. Aufzeichnung des Salzdurchgangs am Bildschirm während des Versuchs. Die gleichen Kurven erscheinen wieder in den Bildern 4 und 5. Weitere Erklärungen siehe Text.

Tracer-Abflussmessprogramm (Salz) V1.0

Datum: 05.06.1994
File :

1) Eichung (aktueller E'koeff.: 0.50384)
2) Messung
3) Datei lesen
4) Ausgabe (Grafik)
5) Daten editieren
6) Programm verlassen

Nun kann der gewünschte Menüpunkt angewählt werden.

Die Eingabemaske für die allgemeinen Angaben (Menüpunkt 2) sieht wie folgt aus (Eingabemaske zum Beispiel in Bild 4):

Allgemeine Angaben zur Messung:

Gewässer	: Poschiavino
Messstelle	: La Rösa
Messart	: *Integrationsmethode*
Tracerart	: *Salz*
Bemerkungen	: 1. Sonde links (0 m), 2. Sonde 2 m, 3. Sonde 3 m, 4. Sonde rechtes Ufer (4 m)
Bemerkungen	: LHG-Pegel abgelesen
Pegelstand [m]	: 1861,52
Wassertemperatur [°C]	: 5,9
Distanz [m]	: 170
Eichkoeffizient	: *0,50384*
Anzahl Sonden	: 4
Zeitintervall [s]	: 1
Tracer (Salz) [kg]	: 4,980

Die Maske enthält alle nötigen allgemeinen Angaben zur Abflussmessung. Einzelne Felder sind schon als «default» ausgefüllt *(kursiv)*, andere müssen noch eingegeben werden. Einige Felder werden für die Berechnung des Abflusses benötigt und direkt übernommen, andere wiederum dienen nur der Identifikation der Messung zu einem späteren Zeitpunkt. Für Bemerkungen sind zwei Zeilen mit je 50 Zeichen vorgesehen. Je mehr ergänzende Angaben zur Messung gemacht werden, desto einfacher ist es, die Messbedingungen später zu rekonstruieren. Wichtig sind vor allem auch die Angaben, wo die Leitfähigkeitsmesssonden im Messquerschnitt angeordnet sind.

Die nächste Maske dient der Eingabe des Messbereichs, der bei der graphischen Ausgabe der Salzdurchgangskurven am Bildschirm angezeigt werden soll.

Ungefährer Messbereich für Messung eingeben:

Leitfähigkeit min. [µS/cm]	: 200
Leitfähigkeit max. [µS/cm]	: 900
Ungefähre Dauer der Messung [Min.]	: 20
Startverzögerung [Min.]	: 0
Start der Messung mit «S»	

Wird keine Startverzögerung verlangt, kann mit «S» sofort die Aufzeichnung der Daten verlangt werden. Wird eine Startverzögerung eingegeben, schaltet das Messgerät erst nach der verlangten Zeit automatisch ein. Dies erlaubt eine effizientere Aufnahme der Daten, insbesondere in jenen Fällen, in denen die Messung durch eine einzelne Person durchgeführt wird und die Einspeisestelle nur unter grösserem zeitlichen Aufwand erreichbar ist.

Während der Messung werden die aktuellen, an den vier Sonden gemessenen Leitfähigkeitswerte fortlaufend als Zahlen am Bildschirm angezeigt (Bild 3: S1, S2, S3, S4). Die «Real-time-Aufzeichnung» der Messwerte als Graphik erlaubt zudem eine Beurteilung der Salzdurchgangskurven an den einzelnen im Gerinnequerschnitt verteilten Sonden. Dadurch kann auch das Ende des Versuchs zum optimalen Zeitpunkt erfolgen, wenn an allen Stellen wieder die Ausgangsleitfähigkeit erreicht wird.

Nach Beendigung der Messung werden die Resultate wie folgt angezeigt:

Gewässer	: Poschiavino	Messart	: Integration
Messstelle	: La Rösa	Tracerart	: Salz
Zeitintervall	: 1 Sekunde(n)	E'koeff	: 0,50384
Messdauer	: 16 Minuten 50 Sekunden	Sonden	: 4

Sonde 3	Abfluss	514,23 [l/s]	50 % Salz: 2 Min. 24 Sek.
	min. Leitfähigkeit	240,16 [µS/cm]	
	max. Leitfähigkeit	822,93 [µS/cm]	
	Grundleitfähigkeit	244,85 [µS/cm]	

[Die Ergebnisse der Sonden 1, 2 und 4 werden hier nicht dargestellt.]

Die Messwerte werden automatisch gespeichert. Das Programm benennt das File aufgrund der allgemeinen Angaben und des Zeitpunkts der Messung. Die Datenfiles können jederzeit interaktiv wieder eingelesen und bearbeitet werden.

Nun kann in das Graphikmenü gewechselt werden, um eine einzelne oder alle vier Salzdurchgangskurven anzusehen (Bild 4). Die Durchmischung des Tracers und damit die Güte der Messung kann anhand dieser Durchgangskurven beurteilt werden. Die Durchgangskurven können auch in der gleichen Graphik dargestellt werden (Bild 5); dadurch wird ein direkter Vergleich ermöglicht.

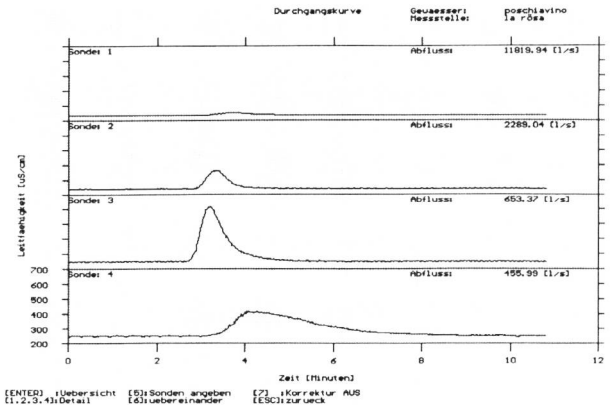


Bild 4. Graphikbildschirm zur Beurteilung der Durchmischungsverhältnisse: 1. Versuch vom 8. Juni 1994 am Poschiavino in La Rösa; Sonde 1: linkes Ufer (0,2 m), Sonde 2: 2 m, Sonde 3: 3 m, Sonde 4: rechtes Ufer; Flussbreite: 4 m.

Resultate

Das Hauptproblem bei der Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren besteht darin, die optimale Durchmischungsstrecke zu finden. «Optimal» heisst, dass – nach

einer möglichst kurzen Durchmischungsstrecke – der Tracer im Messquerschnitt homogen verteilt ist.

Zur Festlegung der Durchmischungsstrecke gehört eine gewisse Erfahrung. Die gängigen Faustregeln wurden meist an einem bestimmten Gewässer entwickelt und sind deshalb nur bedingt auf andere Fliessgewässer übertragbar. Gewisse Anhaltspunkte gibt [3]. Nach dieser Quelle kann der Anfangswert der Durchmischungsstrecke geschätzt werden zu 20- bis 50mal die mittlere Gerinnebreite oder zu 100mal die engste Gerinnebreite in der vorgesehenen Durchmischungsstrecke. Meist ist es jedoch besser, zuerst die Messstrecke abzulaufen und auf Turbulenzen (Gefällestufen, Biegungen, Verengungen) und Totwasserräume zu überprüfen und darauf basierend die Durchmischungsstrecke festzulegen. Ob allerdings eine homogene Durchmischung erreicht wird, kann erst nach der Messung mit mehreren Sonden über den gesamten Messquerschnitt des Gewässers überprüft werden.

Im folgenden soll an einem Beispiel dargestellt werden, wie die Durchmischung beurteilt werden kann, wenn mehrere Leitfähigkeitsmesssonden zum Einsatz gelangen. Die Einspeisestelle am Poschiavino bei La Rösa lag 300 m oberhalb der gleichnamigen Station der Landeshydrologie und -geologie (vgl. «Allgemeine Angaben zur Messung» auf der Bildschirmmaske). Der Abfluss betrug zum Zeitpunkt der Messung rund 1000 l/s. Es wurden 4,98 kg vorgelöstes Salz eingespeist. Der Messquerschnitt lag 170 m unterhalb der Einspeisestelle. Es wurden vier Leitfähigkeitssonden regelmässig über die Gerinnebreite von 4 m verteilt.

Bild 5 stellt das Konzentrations-Zeit-Diagramm des Versuchs dar. Die Durchmischung des Tracers war am Messquerschnitt nicht homogen. Die Sonden 1 (linkes Ufer) und 4 (rechtes Ufer) zeigen markant abweichende Durchgangskurven zu denjenigen der Sonden 2 und 3. Letztere waren in der Nähe des Stromstrichs plaziert. Hätte man nur mit einer Sonde gemessen, zum Beispiel mit Sonde 2 oder 3, wäre das Resultat aufgrund der Durchgangskurven auf den ersten Blick als gut bezeichnet worden. Allerdings ist die Erhöhung der Leitfähigkeit im Bereich der beiden Sonden sehr hoch ausgefallen. Normalerweise wird eine Erhöhung um 100 µS/cm angestrebt. Die Zunahme der Leitfähigkeit um etwa 360 µS/cm zwischen der Grundleitfähigkeit und dem Spitzenwert (Peak) ist erfahrungsgemäss ein Indiz für eine zu kurz gewählte Messstrecke. Der Vergleich der Durchgangskurven der vier Sonden beweist schliesslich, dass diese Messung nicht verwendet werden kann, da die Bedingung der homogenen Verteilung des Tracers (Salz) am Messquerschnitt nicht erfüllt ist.

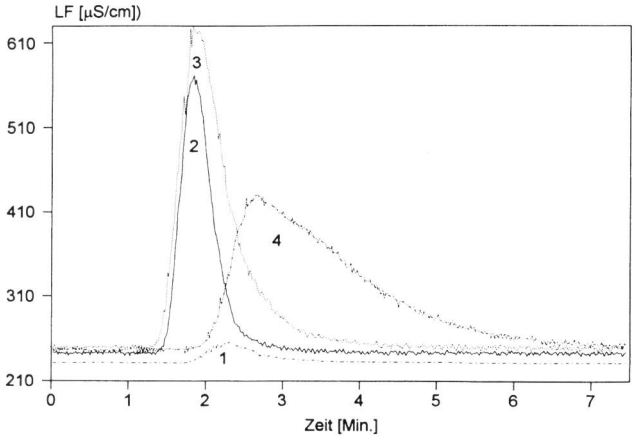


Bild 5. Tracerdurchgangskurven Poschiavino – La Rösa (erster Versuch vom 8. 6. 1994); Durchmischungsstrecke 170 m; 1: Sonde 1, 2: Sonde 2 usw.

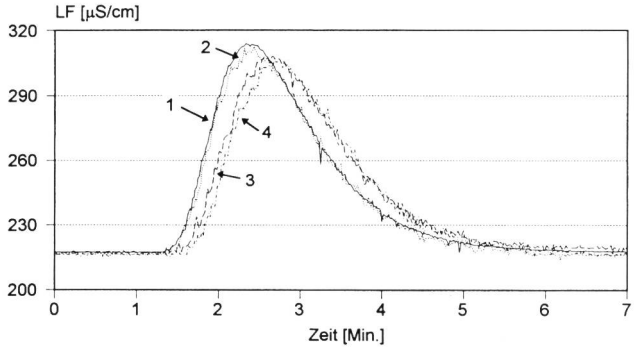


Bild 6. Tracerdurchgangskurven Poschiavino – La Rösa (zweiter Versuch vom 8. Juni 1994); Durchmischungsstrecke 240 m; Resultate der Messung: Sonde 1: 1068 l/s, 2: 1075 l/s, 3: 1089 l/s, 4: 1073 l/s.

Beim nächsten Versuch wurde die Einspeisestelle am gleichen Ort belassen, der Messquerschnitt aber nun 240 m flussabwärts verlegt und wiederum mit vier Leitfähigkeitssonden ausgerüstet. Die eingespeiste Salzmenge betrug bei diesem Versuch 5 kg. Wie aus Bild 6 deutlich hervorgeht, ist die Durchmischung im Bereich des Messquerschnittes nun wesentlich homogener als beim ersten Versuch.

Aus dem Versuch ergaben sich Abflussmengen zwischen 1068 l/s und 1089 l/s. Man beachte, dass bei den Sonden 1 und 2 die höchsten Leitfähigkeiten etwas früher auftraten als bei den Sonden 3 und 4. Diese Unterschiede sind auf die unterschiedliche Plazierung der Sonden im Messquerschnitt zurückzuführen.

Werden die Sonden hintereinander in Fliessrichtung angeordnet, kann die longitudinale Dispersion im Gerinne verfolgt werden. Die drei gemessenen Durchgangskurven in Bild 7 wurden im Spissibach in Leissigen (Berner Oberland) aufgenommen. Die Distanz zwischen der Einspeisestelle und der untersten dritten Messstelle betrug 50 m. Bis zur ersten Messstelle, Sonde 1, lag eine Strecke von 25 m, bis zur zweiten eine solche von 40 m. Mit zunehmender Durchmischungslänge werden die Tracerdurchgangskurven flacher.

Mit Hilfe der drei Kurven im Bild 7 lässt sich nun die optimale Durchmischungsstrecke für die Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren bestimmen:

- Die erste Durchmischungsstrecke von der Einspeisestelle bis zur Sonde 1 scheint aufgrund des sehr steilen Anstiegs der Durchgangskurve zu kurz zu sein; die Tracerwolke ist an dieser Stelle noch sehr kompakt. Die Leitfähigkeitserhöhung beträgt mehr als 100 µS/cm. An dieser Stelle wurde eine Abflussmenge von 72,4 l/s bestimmt; dies ist eine etwas grössere Abflussmenge als an den beiden anderen Messstellen, das heisst, es wurde hier – wegen der fehlenden homogenen Durchmischung – zu wenig Salz gemessen.
- Bei der zweiten Messstelle ergibt sich eine beinahe ideale Durchgangskurve. Der Salzdurchgang dauert hier rund vier Minuten. Die Erhöhung der Leitfähigkeit beträgt circa 100 µS/cm. Erfahrungsgemäss sind dies gute Voraussetzungen, um zu einer zuverlässigen Bestimmung der Abflussmenge zu gelangen. Messung: 69,1 l/s.
- Die dritte Durchgangskurve ist schon abgeflacht; der Tracerdurchgang dauert nun bereits über sechs Minuten. Die Leitfähigkeit wurde um ca. 90 µS/cm erhöht. Die Schwierigkeit bei sehr flachen Durchgangskurven besteht darin, das Ende des Tracerdurchgangs, d.h. das Erreichen der Ausgangsleitfähigkeit, genau zu bestimmen. Messung: 68,7 l/s.

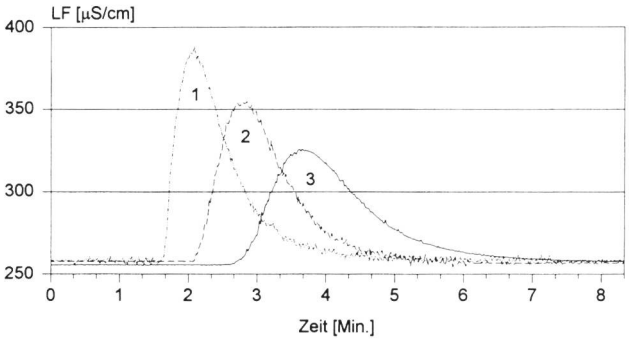


Bild 7. Durchgangskurven bei Anordnung der Sonden in Fliessrichtung (Messanordnung vgl. Text); Versuch Spissibach, Leissigen, vom 5. Juli 1994.

Das in Bild 7 gezeigte Beispiel könnte nun auch zur Berechnung der longitudinalen Dispersion verwendet werden.

Schluss

Bei der Abflussmessung nach dem Verdünnungsverfahren ist eine homogene Durchmischung des Tracers am Messquerschnitt eine wesentliche Voraussetzung, um ein zuverlässiges Ergebnis zu erzielen. Die Beurteilung, ob diese Bedingung im Einzelfall erfüllt ist, bereitet oftmals grosse Schwierigkeiten, da es keine allgemeingültigen Beurteilungskriterien gibt. Die Erfahrung des Messenden spielt bei der Bestimmung der notwendigen Länge der Durchmischungsstrecke eine entscheidende Rolle.

Mit den konventionellen Messgeräten, die mit nur einer Leitfähigkeitssonde ausgerüstet sind, kann die Durchmischung mit einer einzelnen Messung nicht abschliessend beurteilt werden. Das hier vorgestellte Abflussmessgerät mit vier Leitfähigkeitsmesssonden hat dieses grundlegende Problem gelöst: Der Vergleich der Tracerdurchgangskurven an den vier im Messquerschnitt verteilten Sonden erlaubt eine umfassende Beurteilung der Durchmischungsverhältnisse auf der Messstrecke.

Literaturverzeichnis

[1] *Gees, A., Spreafico, M.* (1994): Handbuch für die Abflussmengenbestimmung mittels Verdünnungsverfahren mit Fluoreszenztracer. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 20, Bern.

[2] *Gertsch, J.* (1994): Programm für das Integrale Abflussmessgerät. Publikation Gewässerkunde Nr. 158, Bern.

[3] *Luder, B.* (1994): Manual für die Abflussmessung nach dem Salzverdünnungsverfahren. Technischer Bericht, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

[4] *Hodel, H. P.* (1993): Untersuchungen zur Geomorphologie, der Rauheit, des Strömungswiderstandes und des Fliessvorganges in Bergbächen. Diss. ETH Zürich Nr. 9830, Zürich.

Anschrift der Verfasser: *A. Gees, J. Gertsch, J. Schenk, Dr. R. Weingartner,* Geographisches Institut der Universität Bern, Gruppe für Hydrologie, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern.

Zum Donaueinzugsgebiet

Die Donau ist mit einer Länge von 2857 km und einem Einzugsgebiet von 817000 km² nach der Wolga der zweitgrösste Strom Europas. Ihr Einzugsgebiet umfasst grosse Teile Mittel- und Südosteuropas. Es liegt zwischen 8° 09' und 29° 45' östlicher Länge und 50° 15' und 42° 05' nördlicher Breite.

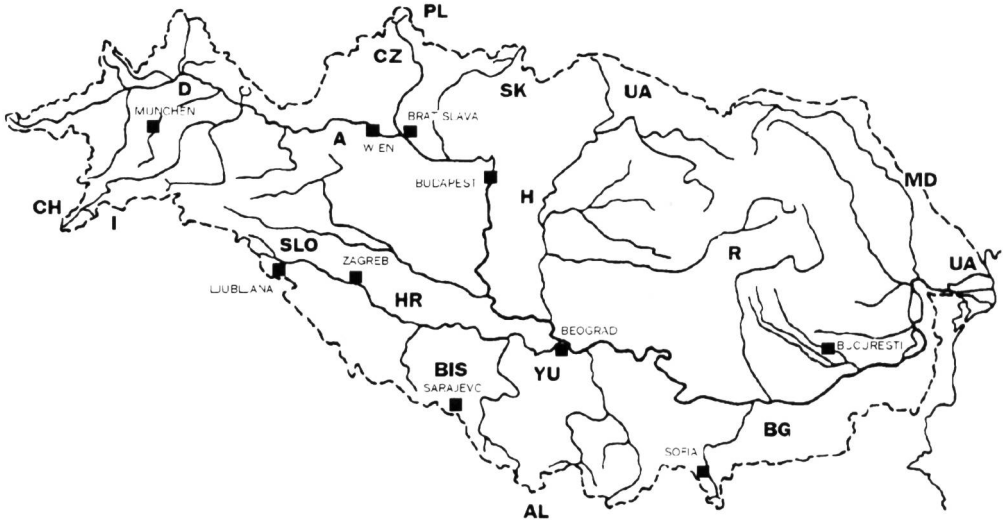
Die Donau besitzt das grösste internationale Stromgebiet in Europa. Es wird von 76 Millionen Menschen bevölkert. 17 Staaten haben am Einzugsgebiet Anteil, wovon 1945 km² zur Schweiz gehören, was 0,24 % entspricht.

Das obere Donaugebiet erstreckt sich von den Quellflüssen im Schwarzwald bis zur Porta Hungaria östlich von Wien. Es wird in seinem nördlichen Teil von verschiedenen Mittelgebirgen geprägt, während es im Süden von der Wasserscheide der Zentralalpen begrenzt wird.

Das mittlere Donaugebiet schliesst sich bis zum Eisernen Tor an. Es stellt den flächenmässig grössten Teil dar. Im Norden und Osten wird es von den Karpaten, im Westen und Süden von den Karnischen und Julischen Alpen sowie den Dinariden abgegrenzt. Innerhalb dieses geschlossenen Gebirgsringes liegen das Pannonische Becken und das Transsylvanische Hochland.

Das untere Donaugebiet erstreckt sich vom Eisernen Tor bis zum Mündungsdelta am Schwarzen Meer. Umgrenzt wird es im Norden von den Karpaten, im Osten von der Bessarabischen Hochfläche, im Süden von der Dobrudscha und im Westen vom Balkangebirge.

Klimatisch reicht das Einzugsgebiet der Donau von den stark atlantisch beeinflussten Regionen des oberen Donaulaufs im Westen bis zu kontinental-winterkalten Klimagebieten im Osten. Im oberen und mittleren Donaugebiet, be-

Einzugsgebiet der Donau
Donauländer

Deutschland	D
Österreich	A
Tschechische Republik	CZ
Slowakei	SK
Slowenien	SLO
Ungarn	H
Kroatien	HR
Bosnien-Herzegowina	BIS
«Jugoslawien»	YU
Rumänien	R
Bulgarien	BG
Moldawien	MD
Ukraine	UA
Schweiz	CH
Italien	I
Polen	PL
Albanien	AL