

Computergesteuerte Abflußmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren)

Von
R. BENISCHKE und T. HARUM
(Graz)

Inhalt

	Seite
Einleitung	127
1. Methodik des Integrationsverfahrens	128
2. Das Meßsystem HYDRODAT	130
3. Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse	132
Zusammenfassung	135
Literatur	136
Summary	136
Résumé	137

Einleitung

Bei den meisten hydrogeologischen und hydrologischen Untersuchungen in alpinen Einzugsgebieten besteht die Hauptproblemstellung in einer Quantifizierung der Wasserreserven eines Gebietes. Die Ermittlung des Abflusses aus verschiedenen Einzugsgebieten ist daher einer der bedeutendsten Schwerpunkte solcher Untersuchungen.

Hier stellt sich aber sehr oft das Problem, daß die meisten Gerinne aufgrund ihres meist turbulenten Fließverhaltens und ihrer unregelmäßigen Profile mit den herkömmlichen Meßmethoden (hydrometrischer Flügel) nicht oder nur sehr fehlerhaft meßbar sind.

Die gerade bei solchen Meßbedingungen vorteilhafte altbekannte Methode der Tracerverdünnung wird nur relativ selten angewendet, da der bisherige Stand der methodischen Entwicklung nur sehr schwer und mit großem Aufwand lösbare Probleme mit sich brachte:

- Wahl des Tracers,
- Art der Registrierung des Tracerdurchganges,
- personal- und geräteintensiver Einsatz (Probennahme, Eichung),
- hoher Zeitaufwand bei der Auswertung,

- kein Ergebnis im Feld, daher keine sofortige Beurteilung und gegebenenfalls Wiederholung der Messung möglich.

Da die Tracerverdünnungsmethode bei den oben angeführten Meßbedingungen trotzdem die genaueste und vorteilhafteste Meßart darstellt, wurden von den Verfassern bei ihrer Weiterentwicklung vor allem folgende Aspekte in Betracht gezogen:

- Verwendung billiger handelsüblicher Tracer und Meßgeräte¹⁾,
- handelsüblicher Mikrocomputer,
- Entwicklung einer benutzerfreundlichen Software,
- Auswahl einer hinreichend genauen Meßmethodik,
- rasche und einfache Durchführbarkeit der Eichung, Einspeisung und Messung,
- Auswertung der Messung im Feld.

Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile wurde von den Autoren die Methode der **Integrationsmessung** (Tracerverdünnung mit Momentaninjektion) unter der Verwendung von handelsüblichem **Kochsalz (NaCl)** als Tracer herangezogen. Hierbei erfolgt der Nachweis der Konzentration über die Messung der **elektrolytischen Leitfähigkeit** und der Tracerdurchgang wird digital in Sekundenintervallen aufgezeichnet. Die Herstellung einer Eichbeziehung Leitfähigkeit zu Tracerkonzentration wird direkt im Gelände durchgeführt.

1. Methodik des Integrationsverfahrens

Das Integrationsverfahren beruht auf der Messung der Verdünnung einer oberstrom der Meßstelle momentan in das Gerinne injizierten bekannten Tracermenge nach einer genügend langen Fließstrecke, damit eine vollständige Durchmischung des Tracers im Gerinne gewährleistet ist. Als Tracer wird handelsübliches Kochsalz verwendet, das kurz vor der Einspeisung in einem Gefäß mit dem Wasser des zu messenden Gerinnes vorgelöst wird.

Die Konzentrationsmessung erfolgt über die elektrolytische Leitfähigkeit, wobei die Umrechnung in Konzentrationen auf einer kurz vor der Messung im Feld durchgeführten Eichung basiert.

Der Tracerdurchgang (Zeit-Konzentrations-Kurve) wird in bestimmten Meßintervallen erfaßt. Der Abfluß Q (l/s) errechnet sich aus der Beziehung

$$Q = \frac{M}{E \int_{t_0} (C - C_0) dt}$$

- wobei: M = Eingabemenge in mg
 E = Eichfaktor für die Beziehung Leitfähigkeit – Konzentration
 C = elektrolytische Leitfähigkeit in $\mu S \cdot cm^{-1}$, kompensiert auf eine vorgegebene Referenztemperatur
 C_0 = der Grundmineralisierung des Gerinnes äquivalente Basisleitfähigkeit, kompensiert auf die Referenztemperatur
 t = Durchgangszeit in sec.

¹⁾ Auf die Verwendung von Fluoreszenzfarben als Tracer wurde trotz der niedrigeren Nachweisgrenzen und geringeren Einspeismengen bewußt verzichtet, da diesen Vorteilen ein hoher Anschaffungspreis für das Meßgerät entgegensteht. Dazu kommt noch ein größerer Aufwand für das Herrichten der Meßstellen und den Transport der Meßgeräte.

Voraussetzung für eine korrekte Handhabung der Methode ist eine vollständige Durchmischung des Tracers im Gerinne an der Meßstelle, d. h., daß das Integral der Zeit-Konzentrations-Kurve an jeder Stelle des Meßprofils dasselbe ist (Fig. 1).

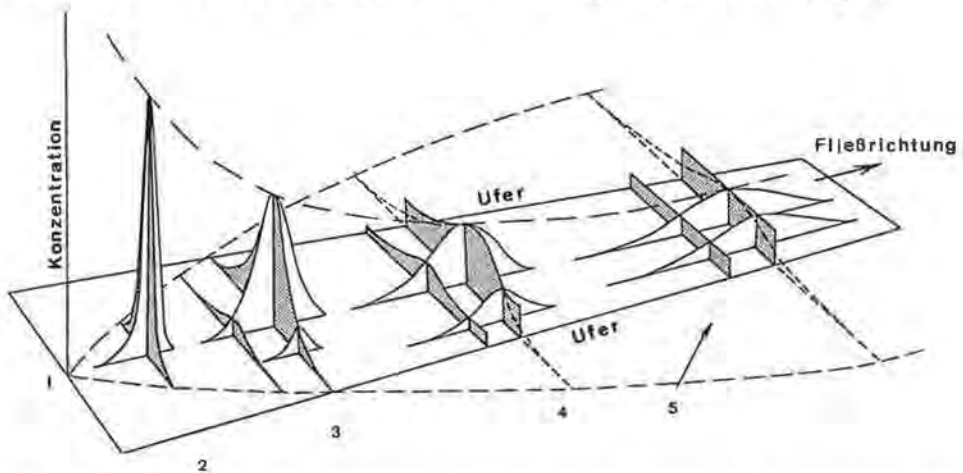


Fig. 1: Ablauf der lateralen und longitudinalen Durchmischung des eingegebenen Tracers zwischen Injektionspunkt und Meßprofil (aus E. F. HUBBARD et al., 1982).

1 = Momentaninjektion des Tracers im Stromstrich;

2 = Vertikale, laterale und longitudinale Durchmischung;

3 = Tracer erreicht Ufer, vertikale Durchmischung vollständig;

4 = „Rücklauf“ des Tracers von den Ufern zur Strommitte, weiterer Konzentrationsausgleich zwischen den Punkten des Gerinneprofils;

5 = Laterale Durchmischung vollständig, die longitudinale Durchmischung hält an, die Flächen unter den Zeit-Konzentrationskurven sind gleich.

Für die Bemessung der Durchmischungsstrecke gibt es etliche Faustformeln, die jedoch nicht in jedem Fall anwendbar sind. Für die konkrete Fragestellung ist es noch immer besser, die Durchmischungsstrecke aufgrund der Art des Fließens (laminar oder turbulent), der Gerinnebreite und -tiefe und der vor der Messung abzuschätzenden Schüttung festzulegen. Dies kann auch durch visuelle Vortests mit Fluoreszenztracern geschehen.

Bei der Wahl der Durchmischungsstrecke muß auch darauf geachtet werden, daß kein Tracerverlust eintritt, bevor vollkommene Durchmischung erreicht ist. Es sollte daher vermieden werden, kurz vor Ableitungen, Umläufigkeiten oder Schwinden zu injizieren.

Tritt aber eine Umläufigkeit im Bereich der Meßstelle auf, so wird diese bei der Messung miterfaßt. Dies ist ein häufiger Grund für auftretende Differenzen zwischen der Messung mit dem hydrometrischen Flügel und der Integrationsmethode, die Ergebnisse der letzteren liegen dann naturgemäß höher (s. Kap. 3.).

Bei unseren Messungen wird aus folgenden Gründen die Methode der Momentaninjektion derjenigen mit kontinuierlicher Einspeisung vorgezogen:

- wenig Ausrüstung und Aufwand bei der Einspeisung,
- keine geringere Genauigkeit,
- geringere Tracermengen,

- durch die geringen Abmessungen und das niedrige Gewicht keine Probleme mit dem Transport des Einspeiszubehörs; es sind daher auch Messungen im Hochgebirge an entlegeneren Stellen möglich.

Für die Wahl der Einspeismenge hat sich die folgende Faustregel gut bewährt: pro geschätzte 100 l/s werden je nach Durchmischungslänge 0,3 bis 0,8 kg NaCl injiziert.

In Fig. 2 ist eine für die Integrationsmessung typische Durchgangskurve mit steilem Anstieg und flachem Abfall dargestellt. Die geringen Schwankungen während des Salzdurchganges sprechen für eine gute Durchmischung des Tracers über das Gerinne. Das Integral der Zeit-Konzentrationskurve kann aufgrund des kurzen Meßintervalles (1 sec) sehr genau bestimmt werden.

Bezüglich weiterführender Erläuterungen zur allgemeinen Methodik der Tracerverdünnung sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (H. ANDRE, 1964; G. M. RIMMAR, 1960; H. BEHRENS, 1971; E. F. HUBBARD et al., 1982).

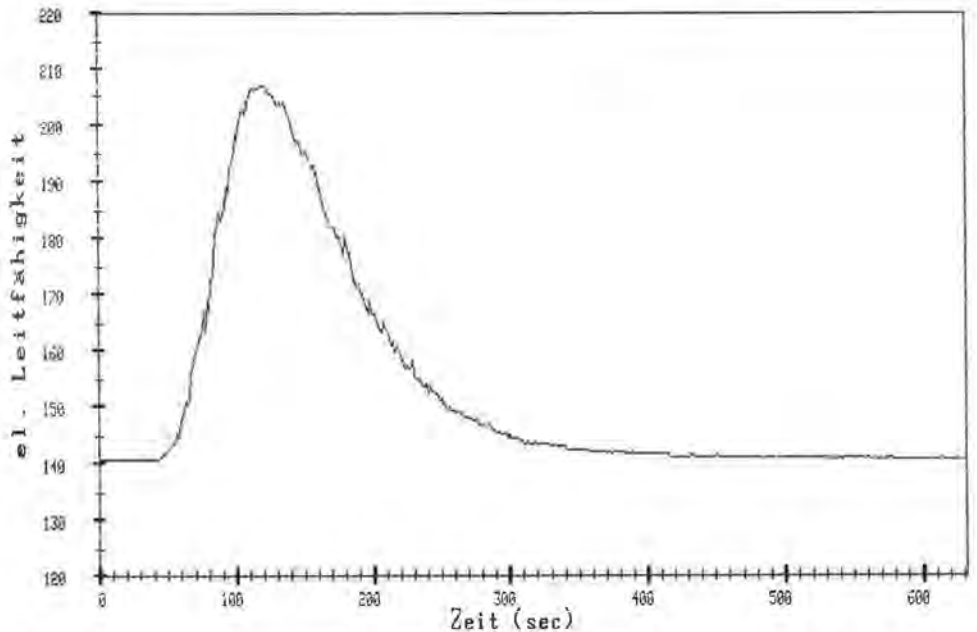


Fig. 2: Durchgangskurve einer Integrationsmessung bei vollständiger Durchmischung. Meßintervall: 1 sec, elektrolitische Leitfähigkeit in $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} / 20^\circ \text{C}$.

2. Das Meßsystem HYDRODAT

Das Meßsystem HYDRODAT¹⁾ hat folgende Konfiguration:

- Mikrocomputer EPSON HX-20 mit Minidrucker, Mikrokassettenlaufwerk und 16 KB-Expansion Unit, Gesamtspeicherplatz 32 KB;
- Analog/Digital-Wandler;

¹⁾ Die Entwicklung der hardware erfolgte durch H. SCHUSTER, die der zugehörigen Software durch R. BRANTNER (beide Institut für Bauphysik und Fenstertechnik, Forschungsgesellschaft Joanneum) in enger Kooperation mit den Autoren.

- WTW-Leitfähigkeitsmeßgerät LF-91 mit automatischer Temperaturkompensation;
- WTW-Leitfähigkeitselektrode LA 1/T mit 10-m-Kabel und integriertem Temperaturfühler, druckfest bis 2 bar;
- Zubehör für Eichung: Mikroliterpipette, Meßgefäße, Eichlösung (10 g/l NaCl).

Die Software für Steuerung und Auswertung umfaßt die menügesteuerte Handhabung für die Feldeichung, Leitfähigkeitsmessung während des Tracerdurchganges in Sekundenintervallen (s. Fig. 2) und die Auswertung der Messung in Form des Ausdruckes eines Eich- und Meßprotokolles am Minidruker (Fig. 3). Zusätzlich kann auch ein Plot der Durchgangskurve am Minidruker erstellt werden.

EICHPROTOKOLL				MESSPROTOKOLL	
=====				=====	
Datum : 11/27/84				Ort: PEGEL STUBBACH	
Zeit : 14:02:00				Gewässer: RADMERBACH	
Auss. vol. :	250.0	<ml>		Pegel-Anf. :	15 <cm>
Auss. lf. :	264.8	<uS>		Pegel-Ende :	15 <cm>
Zusabe :	0.5	<ml>		Wasser temp. :	5.3 <C>
Conc. (Zus):	10000	<mg/l>		Distanz :	250 <m>
				Start:	11/27/84 14:06:38
				Stop :	11/27/84 14:46:12
Nr	Vol	Leitf	Conc	Eichf. : 0.575401434	
	<ml>	<uS>	<mg/l>		
1	250.0	264.8	0.00	Indikator :	10.000 <ka>
2	250.5	299.8	19.96	Intervall :	1 <sec>
3	251.0	334.0	39.84	Anf. Leitf. :	263.1 <uS>
4	251.5	368.6	59.64	End-Leitf. :	263.1 <uS>
5	252.0	402.8	79.37	mittl. Ltf. :	263.1 <uS>
				max. Leitf. :	347.7 <uS>
Korrelation:	1.0000			Messungen:	2374
Eich-Koeff. :	0.575401434			Abfluß :	727 <l/s>

Fig. 3: Eich- und Meßprotokoll einer Integrationsmessung.

Die Speicherung aller Daten eines Tracerdurchganges auf Mikrokassette ist ebenso möglich wie eine allfällige spätere Übertragung der Daten über die RS-232C-Schnittstelle auf Host-Computer (z. B. EPSON QX-10, SIRIUS-1, IBM-PC) oder auf einen externen Drucker.

Die Stromversorgung des Meßsystems ist dermaßen gewährleistet, daß über einen ganzen Tag ohne Aufladung des Akkus gemessen werden kann. Die Aufladung erfolgt durch überladungsgeschützte Ladegeräte mit Anschluß an Stromnetz oder Autobatterie.

Fig. 4 zeigt eine Prinzipskizze über den Aufbau und die Erweiterungsmöglichkeiten des Meßsystems.

Wie aus Fig. 4 hervorgeht, ist auch der Anschluß des hydrometrischen Flügels möglich, hierfür wurde ein eigenes Software-Paket entwickelt.

3. Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse

Die Methode der Integrationsmessung wird seit Jahren im Rahmen von hydrogeologischen Forschungsprojekten in alpinen Einzugsgebieten mit Erfolg angewendet (R. BENISCHKE & T. HARUM, 1984; R. BENISCHKE et al., 1980, 1982, 1984; J. GOLDBRUNNER et al., 1984; P. HACKER & E. SCHRÖLL, 1982; T. HARUM & H. P. LEDITZKY, 1984; T. HARUM & H. ZOJER, 1983a, 1983b; P. RAMSPACHER et al., 1982, 1984), wobei die gemessenen Abflüsse sich bisher in der Größenordnung zwischen 1 l/s und 14 m³/s bewegten.

Die Integrationsmethode wird nicht nur für Einzelmessungen herangezogen, sondern auch für die Erstellung von Schlüsselkurven (Beziehung Wasserstand-Abfluß) an Schreibpegelstationen verwendet. In Tab. 1 ist das Beispiel eines für eine am Gößbach (südliche Eisenerzer Alpen, Steiermark) gelegene Schreibpegelstation erstellten Pegelschlüssels dargestellt.

Tab. 1: Beispiel eines aufgrund von Integrations- und Flüßmessungen erstellten Pegelschlüssels (Pegel Gößbach). W = Wasserstand, Q = gemessener Abfluß (I = Integrationsmessung, F = Flüßmessung), Q_B = aus der Schlüsselkurve $Q_B = 8,3764 (W-1)^{1,6305}$ berechneter Abfluß, D = Abweichung des Meßwertes von der Ausgleichsfunktion. Korrelationskoeffizient $r = 0,9992$.

Nr.	Datum	W (cm)	Q (l/s)	Q _B (l/s)	Q _B -Q (l/s)	D (%)
1 I	07. 06. 82	31,5	2178	2204	26	1,2
2 F	07. 06. 82	31,5	2183	2204	21	1,0
3 I	05. 08. 82	35,0	2484	2631	147	5,9
4 I	02. 09. 82	15,5	704	656	-48	6,9
5 I	01. 10. 82	11,8	388	402	14	3,7
6 I	20. 12. 82	13,5	517	515	-2	0,4
7 F	20. 12. 82	13,5	523	515	-8	1,6
8 I	05. 01. 83	12,0	418	418	0	0,0
9 I	26. 04. 83	46,0	4384	4155	-229	5,2
10 I	14. 06. 83	21,0	1082	1108	26	2,4
11 I	22. 11. 83	9,0	247	249	2	0,7

Die aufgrund der Funktion

$$Q = a (W + C)^b$$

nach der Methode der kleinsten Quadrate (der Koeffizient C wird in Iterationen ermittelt) errechnete Schlüsselkurve basiert auf neun Integrations- und zwei Flüßmessungen (Zweipunktmethode nach H. KREPS, 1975). Wie aus Tab. 1 ersichtlich, ist eine sehr gute Vergleichbarkeit beider Meßmethoden gegeben, was wie folgt begründet werden kann:

- Bei der Station Gößbach handelt es sich um ein vollausgebautes, rechteckiges Profil in Holzbauweise; die bei der Flüßmessung meist einen Unsicherheitsfaktor darstellende Profilfläche ist daher aufgrund ihrer geometrischen Form sehr genau erfassbar.
- Im Meßprofil ist das Fließverhalten annähernd laminar, was den idealen Meßbedingungen für den hydrometrischen Flüß entspricht.
- Zwischen der je nach Durchflußmenge 100 bis 200 m oberstrom gelegenen Injektionsstelle und dem Meßprofil befinden sich mehrere Stufen im Gerinnebett, die ein turbulenteres Fließverhalten und damit eine sehr gute Durchmischung der momentan injizierten Tracerlösung über die gesamte Gerinnebreite bewirken.

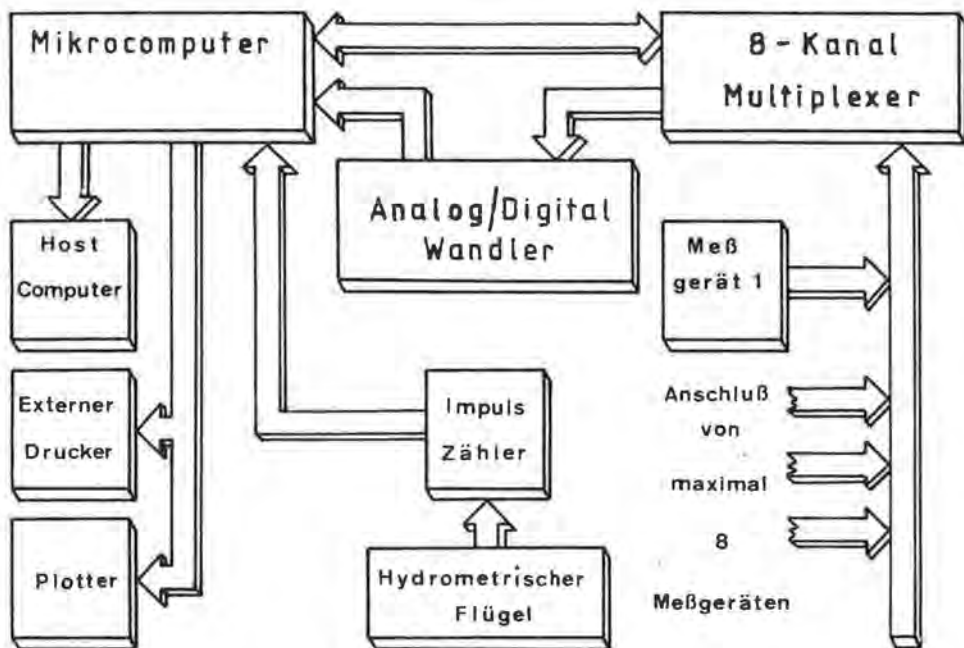


Fig. 4: Prinzipische Skizze über Anschluß- und Erweiterungsmöglichkeiten des Messsystems HYDRODAT. Für die Messung nach der Methode der Tracerverdünnung wird als Meßgerät 1 ein Leitfähigkeitsmeßgerät angeschlossen. Je nach Fragestellung können bis zu 8 gleiche oder auch unterschiedliche Meßgeräte angeschlossen werden.

Wie der sehr nahe bei 1 liegende Korrelationskoeffizient ($r = 0,9992$) und die aus Tab. 1 ersichtlichen geringen Prozentabweichungen der Meßwerte von der Ausgleichsfunktion zeigen (mittlere Abweichung aller Meßwerte von der Kurve 2,6%), besteht ein sehr hoher korrelativer Zusammenhang zwischen Wasserstand und Abfluß, wobei sowohl Flügel- als auch Integrationsmessungen gleichermaßen auf der Kurve zu liegen kommen, ein Zeichen, daß keinerlei Umläufigkeit an der Pegelstelle existiert und für beide Methoden gute Meßbedingungen herrschen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß in vielen Fällen (vor allem bei Naturprofilen) keine so gute Übereinstimmung beider Meßmethoden gegeben ist. Meistens liegt der Grund dafür aber in für den hydrometrischen Flügel ungünstigen Meßbedingungen, wie z. B.:

- Umläufigkeit an der Meßstelle (sie wird durch die Flügelmessung nicht miterfaßt),
- kein laminares Fließverhalten, seitliche Anströmung des Meßflügels,
- Fehler bei der Messung der Wassertiefen (z. B. durch Wellenschlag),
- unregelmäßiges Meßprofil, was einen nicht zu unterschätzenden Fehler bei der Profilflächenberechnung bewirkt,
- bei tiefen Wassertemperaturen zu langsame Umdrehungen der Flügel-schaukel aufgrund höherer Viskosität des Lauföls,
- Veränderung der Flügelgleichung trotz oftmaliger Eichung des Meßflügels.

Bei der Integrationsmethode können in der Hauptsache folgende Fehler auftreten:

- Schlechte Durchmischung: Sie stellt den bedeutendsten Fehler dar, kann aber durch Auswahl genügend großer Distanzen bzw. genaue Auswahl der Meßstelle weitge-

hend vermieden werden. In manchen Fällen empfiehlt es sich, die Durchmischungsstrecke mit einem Fluoreszenzfarbstoff visuell zu bestimmen.

- Tracerverlust, bedingt durch Schwinden, Ableitungen oder Umläufigkeiten vor der vollständigen Durchmischung (s. Kap. 1.). Die Fließstrecke des Tracers sollte daher vor der Messung genau ausgesucht und begangen werden.
- Der plötzliche Zutritt von höher konzentrierten Abwässern oberstrom der Meßstelle: Wenn ein solcher Zutritt während des Tracerdurchganges zusätzlich einen Peak verursacht, so ist die Messung fehlerhaft (zu niedriges Ergebnis) und muß wiederholt werden. Im Falle eines kontinuierlichen Anstiegs oder Abfalls der Basisleitfähigkeit des Meßgerinnes (Leitfähigkeit vor und nach dem Durchgang des Tracers stimmen nicht überein) wird dieser im Auswerteprogramm berücksichtigt.
- Zutritt eines Seitenbaches zwischen Injektions- und Meßstelle: Wenn dieser an der Meßstelle noch nicht vollkommen mit dem Meßgerinne vermischt ist, ist die Messung fehlerhaft. Im Falle einer vollkommenen Durchmischung entspricht das Meßergebnis der Summe aus beiden Abflüssen.
- Mögliche Fehler bei der Eingabemenge des Tracers: Bei Labortests hat sich gezeigt, daß die Einwaage der Kochsalzpäckchen (0,5 kg) der Österreichischen Salinen AG ausreichend genau ist. Bei nicht im Handel erhältlichen Kochsalzmengen muß eine sorgfältige Einwaage im Labor vorgenommen werden.
- Mögliche Fehler bei der Eichung: Diese können durch eine sorgfältige Feldeichung vermieden werden.

Um genauere Rückschlüsse über die Reproduzierbarkeit der Integrationsmessung zu erhalten, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Vergleichsmessungen mit dem hydrometrischen Flügel nach der österreichischen Zweipunktmethode (H. KREPS, 1975) durchgeführt. Für einen direkten Vergleich wurden nur solche Meßgerinne ausgewählt, bei denen für beide Methoden gute Meßbedingungen bestanden, d. h. die oben aufgezählten Kriterien zutrafen und außerdem keine Wasserstandsänderungen während der Messung auftraten. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 aufgelistet.

Bei Betrachtung von Tab. 2 zeigt sich, daß bei voll ausgebauten Meßprofilen eine sehr gute Vergleichbarkeit beider Meßmethoden gegeben ist. Im Mittel beträgt die Differenz zwischen Integrations- und Flügelmessung 2,4%. Die bei vier Messungen auftretenden etwas größeren negativen Abweichungen ($Q_r < Q_f$ s. * in Tab. 2) sind auf geringfügige Umläufigkeiten an den Meßstellen zurückzuführen, die bei der Integrationsmessung im Gegensatz zur Flügelmessung miterfaßt wurden.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse läßt sich klar erkennen, daß **bei voll ausgebauten Meßkanälen beide Methoden als gleichwertig zu betrachten sind**. Bei Naturprofilen hingegen überwiegen sehr deutlich die Nachteile der Flügelmessung, Vergleichsmessungen ergaben hier Differenzen von 20% und darüber.

Da voll ausgebaute Meßkanäle im Normalfall selten vorkommen bzw. der Ausbau von Meßprofilen meistens am Problem der Finanzierung scheitert, bietet die in dieser Arbeit vorgestellte Methode der Integrationsmessung in den meisten Fällen einen Vorteil gegenüber dem hydrometrischen Flügel, sie liefert auch aufgrund der meist für den Flügel ungünstigeren Meßbedingungen und der sehr genauen Meßwerterfassung durch das Meßsystem HYDRODAT bessere Ergebnisse. Dazu kommt der deutlich geringere Zeitaufwand, der wiederum bei instabilen Abflußverhältnissen einen Genauigkeitsgewinn bedeutet.

Tab. 2: Ergebnisse von Vergleichsmessungen mit dem hydrometrischen Flügel und der Integrationsmethode an ausgebauten Meßgerinnen. Q_F = durch Flügelmessung ermittelter Abfluß (l/s), Q_I = durch Integrationsmessung mit Kochsalz ermittelter Abfluß, D = prozentueller Unterschied zwischen Q_F und Q_I ($Q_F = 100\%$).

Meßstelle	Datum	Q_F	Q_I	$Q_F - Q_I$	D
Gößbach	05. 01. 82	260	271	-11	4,2 ^o
(südl.	08. 03. 82	281	273	8	2,8
Eisenerzer	07. 06. 82	2183	2178	5	0,2
Alpen, Stmk.)	20. 12. 82	523	517	6	1,1
Radmerbach	05. 02. 82	1273	1264	9	0,7
(nördl. Eisenerzer	08. 03. 82	1125	1156	-31	2,8
Alpen, Stmk.)	20. 12. 82	1343	1313	30	2,2
Pöllinger	09. 04. 80	68	68	0	0,0
Bodenbach	02. 06. 80	47	46	1	2,1
(Krappfeld,	23. 03. 82	105	107	-2	1,9 ⁿ
Kärnten)	23. 03. 82	105	109	-4	3,8 ^o
Piburger	11. 05. 84	19,7	20,0	-0,3	1,5
See Ausrinn	11. 05. 84	52	55	-3	5,8 ^o
(Ötztal, Tirol)					
Mosergraben (Weißbach	02. 08. 81	288	277	11	3,8
b. Liezen, Stmk.)					

* Geringfügige Umläufigkeit oder etwas undichte Meßrinne.

Zusammenfassung

Es wird ein neu entwickeltes Meßsystem für Abflußmessungen in offenen Gerinnen nach der Integrationsmethode (Tracerverdünnung mit Momentaninjektion) vorgestellt. Als Tracer wird handelsübliches Kochsalz (NaCl) verwendet.

Das Meßsystem HYDRODAT besteht aus einem tragbaren Mikrocomputer, an den über einen Analog/Digital-Wandler ein Leitfähigkeitsmeßgerät angeschlossen ist. Die Meßwerte des Salzdurchganges werden in Sekundenintervallen aufgezeichnet, was eine sehr genaue Berechnung des Integrals der Zeit-Konzentrations-Kurve und die sofortige Ermittlung des Abflusses im Feld ermöglicht.

Vergleichsmessungen mit dem hydrometrischen Flügel an voll ausgebauten Meßprofilen ergaben eine mittlere Abweichung von 2,4%. Die neue Meßmethodik hat sich nicht nur bei Einzelmessungen sondern auch bei der Erstellung von Pegelschläs-seln bewährt.

Durch das neue Meßsystem ist es möglich, in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand den Abfluß von Gerinnen zu bestimmen, die aufgrund ungünstiger Meßbedingungen (Form des Gerinnebettes, Strömungsverhältnisse) mit den herkömmlichen Meßmethoden entweder überhaupt nicht oder oft sehr fehlerhaft und mit großem Aufwand meßbar waren.

Literatur

- ANDRE, H. (1964): Hydrométrie pratique des cours d'eau. Tome 1: Jaugeages par la méthode de dilution. – E.N.S.E.H.R.M.A., section hydraulique, 88 S, Grenoble.
- BEHRENS, H. (1971): Tracermethoden in Oberflächenwässern. – GSF-Bericht R 38, 19 S, Institut für Radiohydrometrie, München.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1984): Abflußmessungen mit dem EPSON HX-20 und WTW-LF 91 nach der Integrationsmethode (mit Beiträgen von R. BRANTNER und H. SCHUSTER). – In: BERGMANN, H. & H. ZOJER (1984): Neu- und Weiterentwicklung hydrologischer Methoden für Haushaltsuntersuchungen in Versuchsgebieten, Teil 3. Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 3 S, Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM, P. RAMSPACHER, H. ZOJER & J. ZÖTL (1980): Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen; Teil 1: Grundlagen, Erhebung und Sichtung. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 69 S, Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM & H. ZOJER (1982): Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen; Teil 2: Hydrogeologische Kartierung. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 36 S, Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM & H. ZOJER (1984): Wasserhöffigkeit Eisenerzer Alpen; 3. Arbeitsjahr. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 58 S, Graz.
- GOLDBRUNNER, J., P. RAMSPACHER, F. RIEPLER & H. ZOJER (1984): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensec); Projektjahr 1983. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 58 S, Graz.
- HACKER, P. & E. SCHROLL (1982): Bericht über den 1. Teilabschnitt, Markierungsversuch Weizer Bergland. – Unveröff. Bericht, BVFA Arsenal, 11 S, Wien.
- HARUM, T. & H. P. LEDITZKY (1984): Hydrogeologie der Osterhorngruppe; Einzugsgebiet Tauglbach (St. Koloman); Teil 1. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 76 S, Graz.
- HARUM, T. & H. ZOJER (1983a): Abflußkennwerte für die geplanten Beileitungsstellen Erzbach/Oberjassingau und Radmerbach. – Unveröff. Bericht, Forschungszentrum Graz, 16 S, Graz.
- HARUM, T. & H. ZOJER (1983b): Abflußkennwerte für die geplanten Kraftwerke Ramsaubach und Erzbach/Münichthal. – Unveröff. Bericht, Forschungszentrum Graz, 12 S, Graz.
- HUBBARD, E. F., F. A. KILPATRICK, L. A. MARTENS & J. F. WILSON Jr. (1982): Measurement of time of travel and dispersion in streams by dye tracing. – Techniques of Water-Resources Investigations of the US Geological Survey, Book 3: Applications of hydraulics, 44 S, Washington.
- KREPS, H. (1975): Praktische Arbeit in der Hydrographie. – 227 S, Wien (Hydrographisches Zentralbüro).
- RAMSPACHER, P., F. RIEPLER & H. ZOJER (1982): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensec); Teil 1. – Unveröff. Bericht, Forschungszentrum Graz, 56 S, Graz.
- RAMSPACHER, P., F. RIEPLER & H. ZOJER (1984): Wasserreserven im Schwarzwassertal, Allgäuer Alpen, Tirol; 1. Arbeitsjahr. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 43 S, Graz.
- RIMMAR, G. M. (1960): Use of Electrical Conductivity for Measuring Discharges by the Dilution Method. – Trudy GGI, 36 (90), 18–48.

Summary

A newly developed system for discharge measurements in open channels by the integration method (tracer dilution with instantaneous injection) is introduced. Usual common salt (sodium chloride) is used as a tracer.

The HYDRODAT system consists of a portable microcomputer with a conductivity-meter connected with an analog-digital converter. The data of the salt passage curve are recorded in intervals of seconds thus bringing about the precise calculation of the integral of the time-concentration curve and the direct determination of discharge in the field.

Parallel measurements with the current meter at well adapted gauging stations showed an average deviation of 2.4%. This new method produced good results not only for single discharge measurements but also for the computation of stage-discharge curves.

The new system makes it possible to determine in short time the discharge in open channels, which could not or only with errors and high expenses be measured by means of conventional methods.

Résumé

On présente un nouveau système de jaugeage des cours d'eau à l'aide de la méthode d'intégration (dilution de traceur avec injection instantanée). Du sel de cuisine (chlorure de sodium) est utilisé en guise de traceur.

Le système de mesure HYDRODAT comprend un microordinateur portable auquel est relié un conductivimètre par un convertisseur analogique/digital. Les valeurs de mesure du passage du nuage salin sont enregistrées avec une seconde d'intervalle, ce qui permet le calcul très exact de l'intégrale de la courbe temps-concentration et la détermination immédiate du débit sur le terrain.

Des mesures comparatives avec le moulinet hydrométrique dans des profils de mesure parfaitement adaptés ont donné un écart moyen de 2,4%. La nouvelle méthode de mesure n'a pas seulement fait ses preuves dans le cadre de mesures isolées, mais aussi dans la construction de courbes d'étalonnage pour des limnimètres.

Il est possible, grâce au nouveau système de mesure, de déterminer facilement et en peu de temps le débit des cours d'eau, qui n'étaient pas ou que très défectueusement et difficilement mesurables avec les méthodes habituelles à cause de leurs mauvaises conditions de mesures (forme du lit du cours d'eau, conditions d'écoulement).

Anschrift der Verfasser: Ralf BENISCHKE und Till HARUM, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsgesellschaft Joanneum, Elisabethstraße 16, A-8010 Graz.