


Ergebnisse österreichischer Aktivitäten im Internationalen Hydrologischen Programm (IHP) 1981–1990			Redaktion: Walter Kollmann & Albert Daurer	
	Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.	ISSN 0253-097X ISBN 3-912-300312-84-2	Band 14	S. 53–69
			Wien, Februar 1993	

Wasserhaushaltsuntersuchungen im Versuchsgebiet Pöllau (Steiermark)*)

Von HEINZ BERGMANN**)

Mit 4 Abbildungen

*Österreich
Steiermark
Wasserhaushalt
Tracerversuche
Gebietsparameter*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 135, 136*

Inhalt

Zusammenfassung	53
Abstract	53
1. Einleitung	54
2. Projektziele	54
3. Experimentelle Untersuchungen	54
3.1. Untersuchungsgebiet	54
3.2. Tracerversuche	55
4. Auswertung der Tracerversuche	55
4.1. Abfluß	55
4.2. Mittlere Fließgeschwindigkeit	56
4.3. Abflußspende und Fließzeit	56
4.4. Hydraulischer Parameter C	56
4.5. Ergebnisse	56
5. Interpretation der Versuchsergebnisse	56
5.1. Übertragungsfunktion	57
5.2. Standardparameter C_M	58
5.3. Parameter des Bemessungszustandes	56
6. Schlußbemerkungen	58
Literatur	59

Zusammenfassung

Der Beitrag befaßt sich mit der Entwicklung einer Methode, die auf der Messung der Fließgeschwindigkeit mittels Tracern beruht und mit welcher hydraulische Parameter für den Abfluß in Fließgewässern ermittelt werden können. Zunächst wird das Versuchsgebiet beschrieben und über die durchgeführten Feldexperimente berichtet. Die Auswertung der Messungen erfolgte auf der Grundlage hydraulischer Fließformeln und ergibt die Parameter des beobachteten Fließzustandes, aus welchen die Standardparameter des mittleren Fließzustandes und schließlich die Parameter eines ausgewählten Bemessungszustandes ermittelt werden können.

Investigations of Water Balance in the Experimental Basin Pöllau

Abstract

The paper deals with the development of a method based on velocity measurement using tracers. This method enables to find out hydraulic flow parameters of discharge in small rivers. First the experimental basin is described and the field experiments carried out are reported. The evaluation of measurements is based on hydraulic flow formulas and results the hydraulic parameters of the observed state of flow, from which the standard parameters of the average state of flow and finally the parameters of a chosen design flood state can be found.

*) Die Arbeit wurde im Rahmen des Programmes HYDROLOGIE ÖSTERREICHS, Projekt HÖ29, 1981–1983, „Neu- und Weiterentwicklung hydrologischer Methoden für Wasserhaushaltsuntersuchungen in Versuchsgebieten“, erstellt.

**) Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. HEINZ BERGMANN, Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz, Mandellstraße 9/I, A-8010 Graz.

1. Einleitung

Die Österreichische Akademie der Wissenschaften hat in den Jahren 1981 bis 1983 das Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgemeinschaft Joanneum und das Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz mit der gemeinsamen Durchführung des Projektes HÖ21 über die „Neu- und Weiterentwicklung hydrologischer Methoden für Wasserhaushaltsuntersuchungen in Versuchsgebieten“ beauftragt. Davon entfiel auf das Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der TU Graz die Bearbeitung des Projektabschnittes A: „Wasserhaushaltsuntersuchungen im Versuchsgebiet Pöllau/Oststeiermark“, über welchen im folgenden berichtet wird (BERGMANN & ZOJER, 1983).

2. Projektziele

Die wichtigsten Ziele des Projektes waren methodische Neuentwicklungen für die Erfassung der Wasserhaushaltskomponenten (Niederschlag, Abfluß, Verdunstung) und von deren Zusammenhängen, die Bestimmung von Gebietsparametern (hydraulische und morphometrische Eigenschaften des Einzugsgebietes) sowie der unmittelbare methodische Vergleich konventioneller und neuer hydrologischer Arbeitsmethoden (Tracer- und Ingenieurhydrologie, digitale Bildverarbeitung, hydrologische Statistik und mathematisch-hydrologische Modelle) zum Zweck der Verbesserung der hydrologischen Grundlagenkenntnisse und Verfahren für die praktische Anwendung

bei der Lösung von Aufgaben in der Wasserwirtschaft, in der Raumplanung und im Wasserbau, wie beispielsweise bei der Erstellung wasserwirtschaftlicher Rahmenpläne, bei der Bearbeitung von wasserwirtschaftlichen Grundsatzkonzepten, bei der Erhebung des Naturraumpotentials „Wasser“, bei der Erarbeitung von Gefahrenzonenplänen, bei der Bestimmung von Bemessungsdaten für Rückhaltebecken und Regulierungsmaßnahmen in hochwassergefährdeten Flußgebieten und bei der Erfassung des Abflußprozesses mit Hilfe mathematischer Modelle.

Bedauerlicherweise wurden die Mittel des für mehrere Jahre geplanten Forschungsprojektes bereits im zweiten Arbeitsjahr drastisch reduziert, weshalb das vorgesehene Arbeitsprogramm sehr stark eingeschränkt werden mußte. Schließlich wurde die Finanzierung des Projektes nach dem zweiten Arbeitsjahr ausgesetzt, was zur Folge hatte, daß nur ein geringer Teil der ursprünglich gesetzten Ziele erreicht werden konnte.

3. Experimentelle Untersuchungen

3.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden in dem seit dem Jahre 1979 eingerichteten hydrologischen Versuchsgebiet Pöllau (BERGMANN, 1982) in der Oststeiermark durchgeführt (Abb. 1). Das Versuchsgebiet umfaßt die zentral im steirischen Becken gelegene Pöllauer Bucht an der Ostabdachung der Alpen (STUBENVOLL, 1982) und liegt in einer Seehöhe zwischen 399 und 1288 m ü.A. mit einer mittleren Seehöhe von 709 m ü.A. Die Einzugsgebietsfläche beträgt 58,3 km². Das Einzugsgebiet gliedert sich in die Teilgebiete Saifenbach mit einer Fläche von 31,3 km² und Prätsibach mit einer Fläche von 21,1 km², die jeweils durch eine Pegelstation kontrolliert werden. Auf Grund genereller Untersuchungen wurde nach Abwägung aller für das Erreichen der Projektziele maßgeblichen Gesichtspunkte das Einzugsgebiet des Prätsibaches als repräsentatives Untersuchungsgebiet ausgewählt (Abb. 2). Der höchste Punkt dieses Einzugsgebietes liegt auf 1106 m ü.A., der tiefste Punkt auf 434 m ü.A., die mittlere Höhe auf 732 m ü.A. Der Hauptvorfluter ist der Prätsibach mit einer Länge von 7,52 km und einem mittleren Gefälle von 6,5 %. Die Gesamtlänge des Gewässernetzes beträgt 33,44 km, woraus sich eine Gewässernetzdichte von 1,59 km/km² ergibt. Dem Einzugsgebiet Prätsibach sind von dem im Versuchsgebiet Pöllau installiertem Beobachtungsnetz (vgl. Abb. 1) 5 Niederschlagsstationen und 1 Pegelstation sowie die am Gebietsrand liegende Klimastation zuzurechnen.

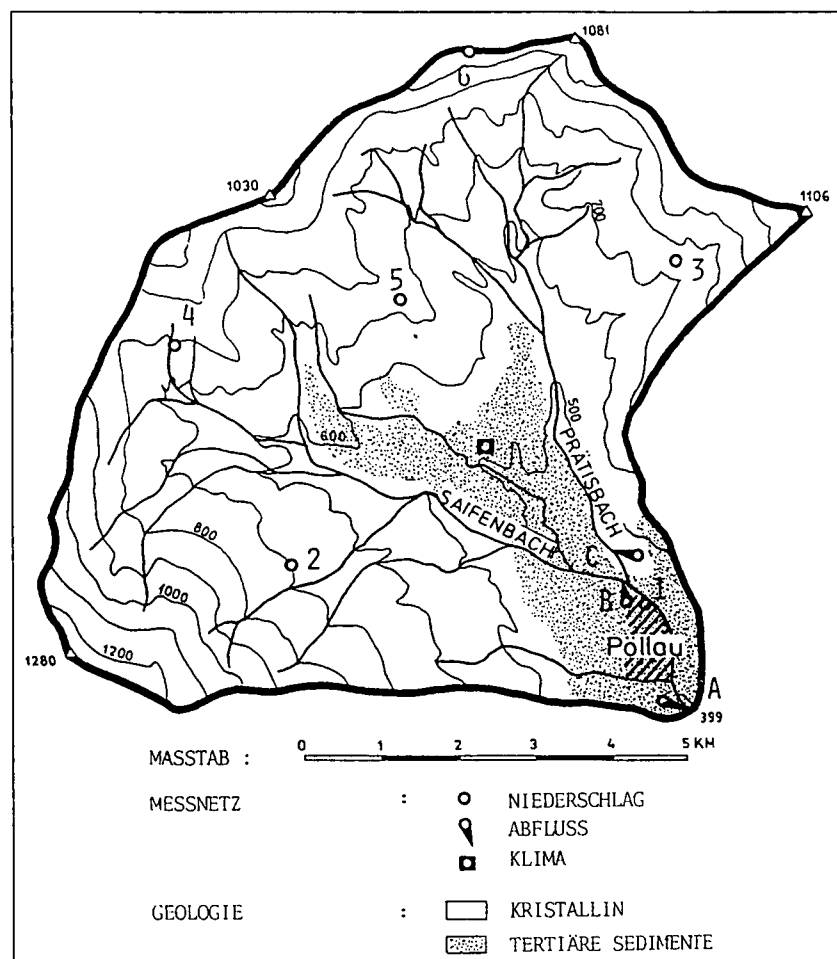


Abb. 1. Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau.

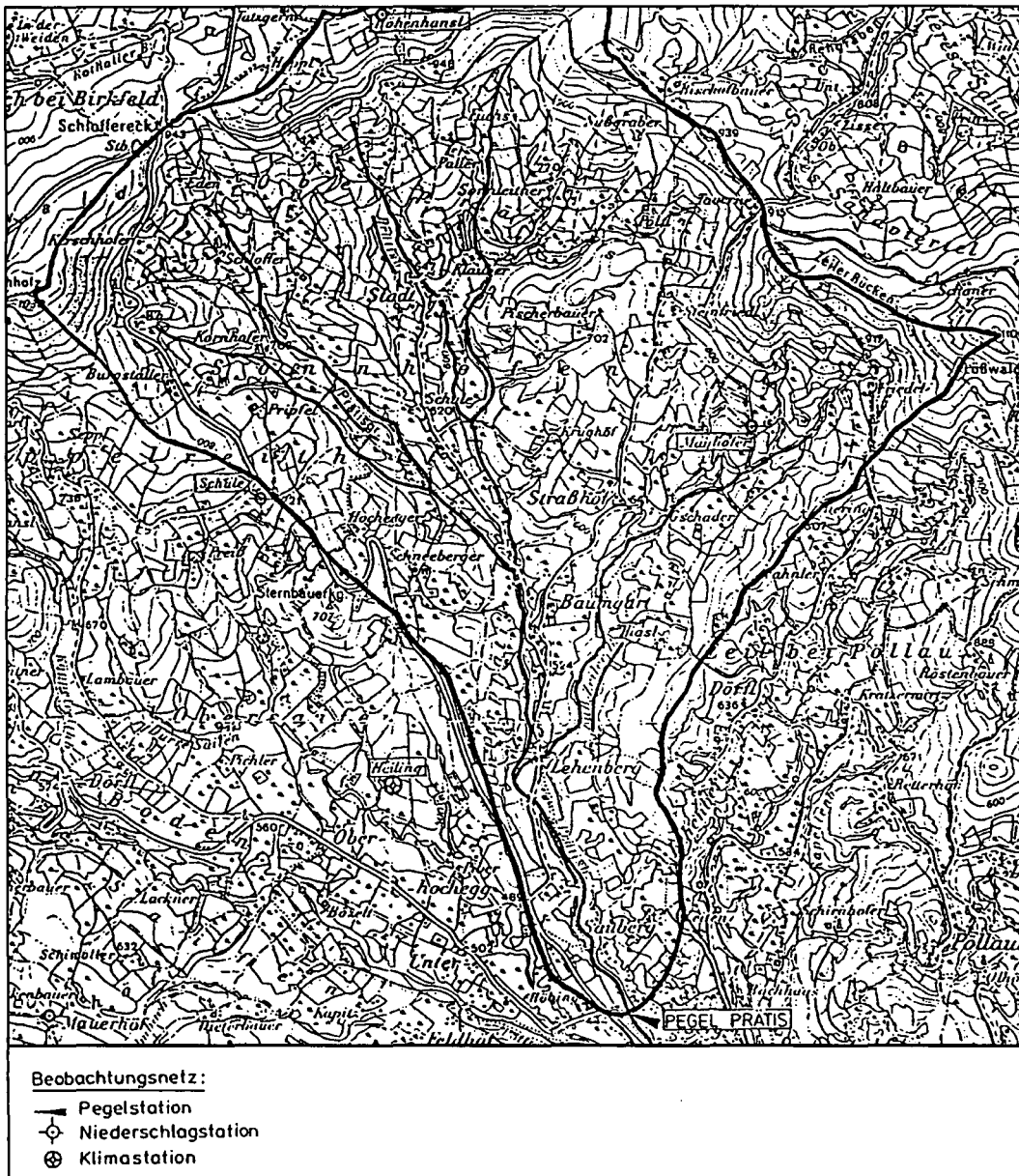


Abb. 2.
Einzugsgebiet des Prätisbaches (Originalmaßstab 1 : 25.000).

3.2. Tracerversuche

Zur Untersuchung des Abflußvorganges in den Fließgewässern wurden mehrere Tracerversuchsprogramme sowohl im Gesamteinzugsgebiet als auch im Teilgebiet Prätisbach durchgeführt. Diese Untersuchungen sollten nicht nur über die im Gewässernetz auftretenden Fließzeiten und durchschnittlichen Fließgeschwindigkeiten, sondern auch über den Abfluß selbst sowie über die Abflußspende der einzelnen Gewässerabschnitte Aufschluß geben. Zu diesem Zweck wurden die Bachläufe in mehrere, zwischen 400 m und 1800 m lange Meßstrecken unterteilt, an deren flußaufwärts gelegendem Ende (Eingabestelle) der Tracer eingegeben und an deren unteren Ende (Meßstelle) der zeitliche Verlauf der Tracerkonzentration gemessen wurde. Die Länge der Meßstrecke war jedenfalls so bemessen, daß eine vollständige Durchmischung des Tracers im Meßprofil gewährleistet war.

Als Tracer wurde ausschließlich handelsübliches Kochsalz (NaCl) in gelöster Form verwendet. Als Indikatorgröße wurde die elektrische Leitfähigkeit gemessen und daraus die Tracerkonzentration und deren Ganglinie an der Meßstelle ermittelt.

4. Auswertung der Tracerversuche

Aus den Tracerganglinien wurden sowohl der Abfluß zum Zeitpunkt der Messung, als auch die mittlere Fließgeschwindigkeit auf der Meßstrecke ermittelt.

4.1. Abfluß

Der Abfluß im Meßprofil wurde nach der Formel für „momentane Tracerimpfung“ wie folgt bestimmt:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \frac{A}{c(t)} \cdot dt$$

Darin bedeuten

- Q ... Abfluß [m³/s]
- A ... eingegebene Tracermenge [g]
- c ... Tracerkonzentration zur Zeit t [g/m³]
- t ... Zeit [sec]
- t₂-t₁ ... Tracerdurchgangszeit [sec]

Die Tracerkonzentration c wurde aus der Gesamtleitfähigkeit abzüglich der Basisleitfähigkeit des Oberflächenwassers ermittelt.

4.2. Mittlere Fließgeschwindigkeit

Die mittlere Fließgeschwindigkeit zwischen Eingabestelle und Meßstelle wurde nach der longitudinalen Dispersionstheorie (TAILOR, 1954; AMBACH et. al., 1972) ermittelt, wonach

$$c = \frac{A}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp \left[- \frac{(x_0 - v \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t} \right]$$

Darin bedeuten

- x_0 Meßstrecke (Abstand Eingabestelle-Meßstelle) [m]
- c Tracerkonzentration zur Zeit t [g/m³]
- A Faktor, proportional zur eingegebenen Tracermenge [g/m²]
- v mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
- D Longitudinaler Dispersionskoeffizient [m²/s]
- t Zeit [sec]

Der longitudinale Dispersionskoeffizient D wurde mit Hilfe der Näherungsformel

$$D = \frac{t_{0,5}^2 \cdot v^3}{16 \cdot x_0 \cdot \ln 2} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

in der außer den oben angegebenen Werten t

$t_{0,5}$... die zeitliche Halbwertsbreite der Tracerganglinie [sec]

bedeutet, bestimmt (TAILOR, 1954). Weiters wurde überprüft, inwieweit zwischen der nach der Dispersionstheorie berechneten mittleren Fließgeschwindigkeit v und der aus der Scheitelfließzeit t_0 (d.i. die Zeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt der Tracereingabe und dem Zeitpunkt des Durchganges des Konzentrationsmaximums an der Meßstelle) und der Meßstreckenlänge ermittelten Durchschnittsgeschwindigkeit

$$v_m = \frac{x_0}{t_0} \quad [\text{m}/\text{s}]$$

Unterschiede bestehen, und festgestellt, daß die Differenz dieser beiden Größen in Anbetracht der erzielbaren Meßgenauigkeit in den meisten Fällen unbedeutend ist.

4.3. Abflußpende und Fließzeit

Mit Hilfe des gemäß Abschnitt 4.1. ermittelten Abflusses wurde die zugehörige Abflußpende

$$q = \frac{Q}{E} \cdot 10^3 \quad [\text{l}/\text{s} \cdot \text{km}^2]$$

worin E [km²] die Fläche des Einzugsgebietes und Q [m³/s] den Abfluß bedeuten, bestimmt. Weiters wurde für jede Meßstrecke aus der ermittelten Fließgeschwindigkeit die Fließzeit und durch Summation der Einzelfließzeiten die jeweilige Gesamtließzeit bis zum Basispunkt des Einzugsgebietes (Pegel Prätisbach) ermittelt.

4.4. Hydraulischer Parameter C

Bei der Auswertung der Tracerversuche hat sich gezeigt, daß eine Beurteilung des Abflußverhaltens in den wildbachähnlichen Fließgewässern des Versuchsgebietes mit Hilfe des hydraulischen Parameters

$$C = \frac{v}{\sqrt{J}} \quad [\text{m}/\text{s}],$$

worin J das mittlere Gefälle (dimensionslos) bedeutet, möglich ist. Der hydraulische Parameter C leitet sich aus einer empirischen Fließformel von der Form

$$v = k \times R^\alpha \times J^{0,5}$$

ab, in welcher

k ... Gerinnerauhigkeitsmaß (dimensionsgebunden)

R ... Gerinneprofilmaß (Hydraulischer Radius) [m]

α ... Exponent der Fließformel (dimensionslos)

bedeuten. Für den hydraulischen Parameter läßt sich allgemein sagen, daß er umso größer sein muß,

– je geringer die Gerinnerauhigkeit und

– je größer die Durchflußfläche im Vergleich zur benetzten Umfangslinie des Profiles ist (d.h.: je größer die Abflußtiefe, bzw. der Durchfluß ist).

Der hydraulische Parameter C ist demnach sowohl durch die Beschaffenheit des Gewässerlaufes wie auch durch den hydraulischen Zustand des Gewässerprofils gekennzeichnet. Er läßt sich mit Hilfe der aus den Versuchen ermittelten Fließgeschwindigkeit v und dem aus der topographischen Karte bestimmten mittleren Gerinnegefälle unmittelbar errechnen.

4.5. Ergebnisse

Mit Hilfe der gemäß Abschnitt 4.3. bestimmten Fließzeiten wurden für die Wasserläufe des Einzugsgebietes Prätisbach die Punkte gleicher Fließzeit bis zum Basispunkt ermittelt und als Linien gleicher Fließzeit (Isochronen) dargestellt (Abb. 3). Als Vergleich dazu wurden die Isochronen nach der Formel von KIRPICH berechnet (Abb. 4).

5. Interpretation der Versuchsergebnisse

Ziel der in Abschnitt 4 dargelegten Untersuchungen ist die Entwicklung einer einfach durchzuführenden experimentellen Methode, mit der es möglich sein soll, für einen beliebigen Abflußzustand im gesamten Einzugsgebiet eines Fließgewässers unter Berücksichtigung des spezifischen Abflußverhaltens die Fließzeiten bis zum Basispunkt zu bestimmen und damit bisherige Verfahren, nach welchen die Fließzeiten mit Hilfe von empirischen Formeln ermittelt wurden und daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, zu ersetzen.

Die Fließzeit wird in der Ingenieurhydrologie als Grundlage für konzeptionelle Niederschlag-Abfluß-Modelle verwendet und besteht aus zwei Anteilen: erstens aus der Fließzeit, die das Niederschlagswasser auf der Erdoberfläche benötigt, um in das Gewässernetz zu gelangen (Geländefließzeit), und zweitens aus der Fließzeit des Wassers von seiner Eintrittsstelle in das Fließgewässer bis zum Basispunkt des Einzugsgebietes (Gewässerfließzeit).

Die durchgeführten Untersuchungen haben sich ausschließlich mit der Gewässerfließzeit befaßt. Grundlage der Fließzeitermittlung war der im Abschnitt 4.4. beschriebene hydraulische Abflußparameter C , dessen Verteilung im Gewässernetz für einen bestimmten, zur Meßzeit vorhandenen Abflußzustand (Meßzustand) experimentell ermittelt wurde.

Die weitere Untersuchung befaßte sich mit der Entwicklung eines geeigneten Verfahrens, mit welchem die gemessenen Parameterwerte C_0 in die Parameterwerte C eines beliebigen, für eine hydrotechnische Bemessungsaufgabe maßgeblichen Zustandes (Bemessungszustand) – beispielsweise den Zustand eines Hochwasserereignisses von gegebener Eintrittswahrscheinlichkeit – umzurechnen.

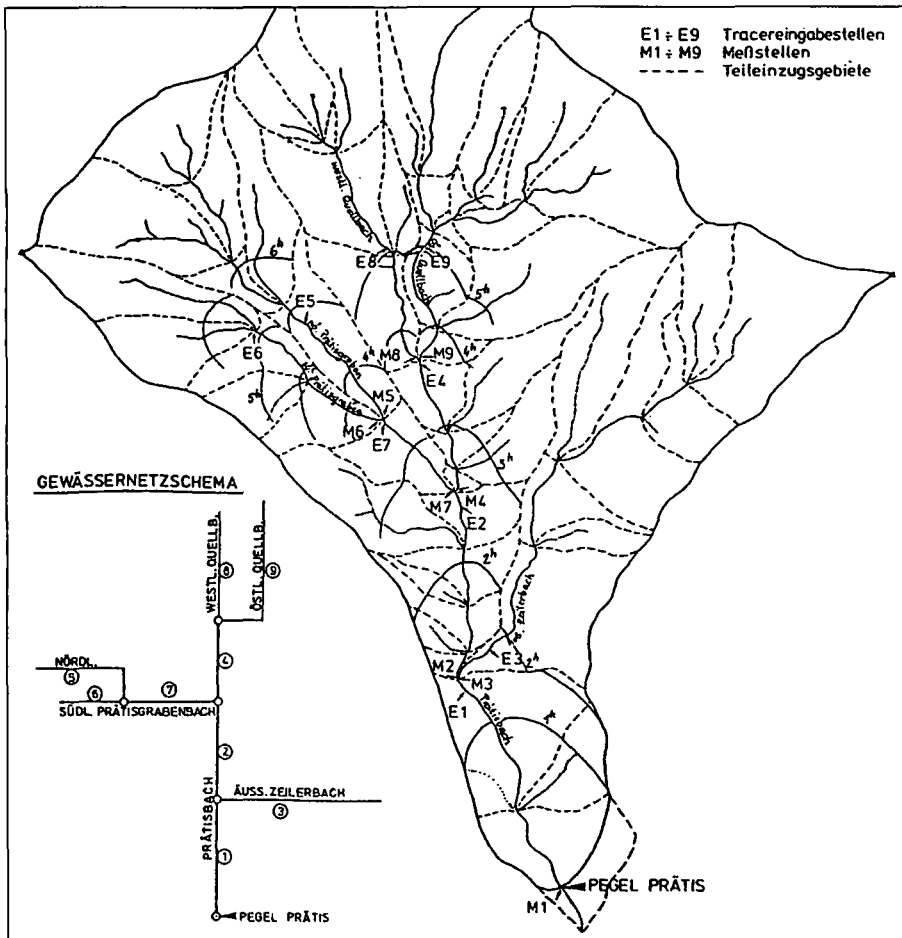


Abb. 3.
Gewässernetzkarte des Einzugsgebietes
Prätisbach mit gemessenen Isochronen
(Originalmaßstab 1 : 25.000).

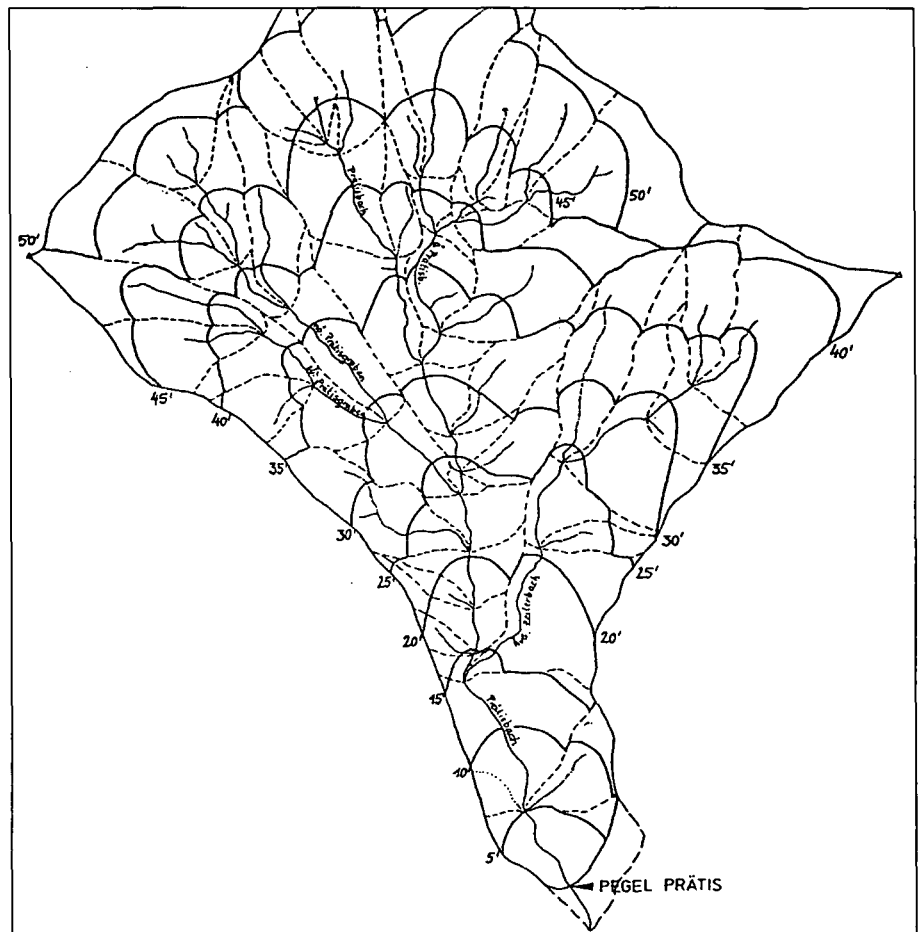


Abb. 4.
Gewässernetzkarte des Einzugsgebietes
Prätisbach mit Isochronen nach KIRPICH
(Originalmaßstab 1 : 25.000).

5.1. Übertragungsfunktion

Verbindet man eine beliebige Fließformel (vgl. Abschnitt 4.4.) mit dem Kontinuitätsgesetz

$$Q = v \cdot F \quad [\text{m}^3/\text{s}],$$

so ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$\frac{C}{C_0} = \varepsilon \cdot \left(\frac{q}{q_0} \right)^\nu$$

Der Exponent ν hängt mit dem Exponenten α der Fließformel wie folgt zusammen:

$$\nu = \frac{\alpha}{1+\alpha}$$

Der Wert α liegt in den konventionellen Fließformeln zwischen 0,5 und 0,7; in der meist verwendeten Formel von Strickler ist $\alpha = 2/3$, woraus $\nu = 0,4$ folgt.

Der oben angegebene Faktor ε hängt von der Variabilität des Rauigkeitsmaßes k und der benetzten Umfangslinie U gemäß

$$\varepsilon = \left(\frac{k}{k_0} \right)^{(1-\nu)} \cdot \left(\frac{U_0}{U} \right)^\nu$$

ab. Eine Abschätzung des Faktors ε zeigt, daß dieser für $\alpha = 2/3$ im Regelfall zwischen den Grenzen 0,7 und 1,0 liegt. Hiezu sind jedoch noch eingehende Untersuchungen erforderlich.

Wenn die Werte ε und ν bekannt sind, ist die Übertragung der hydraulischen Parameterwerte eines Meßzustandes in jene eines anderen – gewählten oder festgelegten –

Zustandes, sofern dieser Zustand durch seine Abflußspende gekennzeichnet werden kann, grundsätzlich möglich.

5.2. Standardparameter C_M

Da der Meßzustand des untersuchten Gewässers sehr wesentlich von den Zufälligkeiten des Meßzeitpunktes abhängt und daher für das Abflußregime des Einzugsgebietes durchaus nicht kennzeichnend sein muß, erscheint es zunächst erforderlich, die hydraulischen Parameter an einem das Abflußverhalten des Einzugsgebietes charakterisierenden Abflußzustand zu standardisieren. Als ein solcher Standardzustand ist der Zustand des langjährigen mittleren Abflusses (Mittelwasserzustand) am besten geeignet, weil hierfür die Abflußspende Mq aus langfristigen regionalen Beobachtungen in der Regel bekannt ist und diese gleichzeitig die wichtigste Bezugsgröße für die hydrologische Beurteilung eines Einzugsgebietes darstellt.

Da die Tracermessungen aus praktischen Gründen in den meisten Fällen bei Trockenwetter durchgeführt werden, kann man davon ausgehen, daß der Abfluß des Meßzustandes in der Größenordnung des Mittelwasserabflusses liegen wird (meist etwas niedriger), sodaß der Faktor ε näherungsweise $\varepsilon = 1$ und der Exponent $\nu = 0,4$ gesetzt werden kann und sich somit der Standardparameter C_M für den Mittelwasserzustand wie folgt ergibt:

$$C_M = C_0 \cdot \left(\frac{Mq}{q_0} \right)^{0,4}$$

Darin bedeuten

C_M ... Parameter des Mittelwasserzustandes [m/s]

C_0 ... Parameter des Meßzustandes [m/s]

Mq ... Abflußspende des Mittelwasserzustandes [l/s x km²]

q_0 ... Abflußspende des Meßzustandes (l/s x km²)

5.3. Parameter des Bemessungszustandes

Für ingenieurhydrologische Dimensionierungsaufgaben ist stets die Angabe eines Bemessungsereignisses erforderlich. Die Festlegung von Bemessungsereignissen erfolgt nach Gesichtspunkten, die sich am Ziel und am Zweck der jeweils gestellten Aufgabe orientieren. In der Regel handelt es sich dabei um Hochwasserereignisse von bestimmter Eintrittswahrscheinlichkeit, welche in der Hydrologie auch als Jährlichkeit T_n (ÖNORM B2400) oder Wiederholungszeitspanne T (DIN 4049) bezeichnet wird.

Versieht man die dem Bemessungsereignis zugeordneten Größen (Abflußspende q , hydraulischer Parameter C , Faktor ε) mit dem der gewählten Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechenden Index „T“, so ergibt sich der hydraulische Parameter C_T wie folgt:

$$C_T = C_M \cdot \varepsilon_T \cdot \left(\frac{q_T}{Mq} \right)^\nu$$

Die Ermittlung des Parameters C_T setzt aber nicht nur die Kenntnis des Faktors ε_T und des Exponenten ν , sondern auch eine Angabe über die Abflußspende des Bemessungsereignisses q_T voraus. Während – wie bereits dargelegt – $\nu = 0,4$ gesetzt werden kann und der Faktor ε_T zwischen 0,7 und 1,0 liegt und als ein von T abhängiger Betrag noch einer näheren Untersuchung bedarf, ist für q_T zunächst ein plausibler Näherungswert anzunehmen (gegebenenfalls auf Grund von Werten, die aus regionalen Beobachtungen bekannt sind), mit welchem die Ereignisparameter C_T des Einzugsgebietes berechnet werden können. Die so ermittelten Parameter gestatten dann auf umgekehrtem Wege die Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit und der Fließzeiten auf den einzelnen Gewässerstrecken. Daraus können schließlich die Linien gleicher Fließzeit (Isochronen) für das gesamte Gewässernetz (vgl. Abb. 3) als Grundlage eines Niederschlag-Abfluß-Modelles (NA-Modelles) bestimmt werden.

Da ein NA-Modell die Berechnung des Abflusses am Basispunkt eines Einzugsgebietes auf der Grundlage eines der Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses entsprechenden Bemessungsniederschlages zum Ziel hat, ist es möglich, die für das Bemessungsereignis angenommene Abflußspende mit Hilfe des Rechenergebnisses zu kontrollieren und gegebenenfalls zu korrigieren.

6. Schlußbemerkungen

Die enge Verketzung der Wahl der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Bemessungsereignisses mit der Ermittlung der zugehörigen hydraulischen Parameter C_T aus den experimentell bestimmten Standardwerten C_M legt den Gedanken an die Entwicklung einer für Bemessungszwecke geeigneten numerischen oder graphischen Methode nahe, in welcher die wesentlichen Bemessungsgrößen so zueinander in Beziehung gesetzt werden, daß eine einfache Handhabung für den praktischen Anwender möglich ist. Ein solches Verfahren wäre für den in vielen Fällen unentbehrlichen Einsatz von NA-Modellen zur Lösung ingenieurhydrologischer Aufgaben von großer Bedeutung, bedarf jedoch noch eingehender Untersuchungen. Aus den bereits eingangs genannten Gründen konnte das ursprünglich geplante Arbeitsprogramm, in welchem weitere methodische Entwicklungen vorgesehen waren, nicht durchgeführt werden.

Literatur

- AMBACH, W., BEHRENS, H., BERGMANN, H. & MOSER, H.: Markierungsversuche am inneren Abflußsystem des Hintereisferners (Öztaler Alpen). – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **8/1-2**, 137–145, 1972.
- BERGMANN, H. & ZOJER, H.: Neu- und Weiterentwicklung hydrologischer Methoden für Wasserhaushaltsuntersuchungen in Versuchsgebieten. – Endbericht zum Projekt HÖ21, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz 1983.
- BERGMANN, H.: A Hydrological Research basin in Austria: Planning and Aims. – Int. Symp. on Hydrological Research Basin and their Use in Water Resources Planning, Bern 1982.
- STUBENVOLL, H.: First Results of Researches in the Hydrological Research Basin of Pöllau, Eastern Styria. – Int. Symp. on Hydrological Research Basin and their Use in Water resources Planning, Bern 1982.
- TAYLOR, I.G.: The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. – Proc. Roy. Soc., **A223**, 446–468, 1954.