

655. A-51071
II Baltische hydrologische und hydrometrische Konferenz.
Tallinn, Juni 1928.



Fälle der Unzulänglichkeit gewöhnlicher Wassermengenkurven

Von

Ing. E. TILZEN,

Mitarbeiter des hydrometrischen Büros Estlands

TALLINN

Herausgegeben vom Verkehrsministerium Estlands

1928

II Baltische hydrologische und hydrometrische Konferenz.

Tallinn, Juni 1928.

Fälle der Unzulänglichkeit gewöhnlicher Wassermengenkurven.

Von Ing. E. Tilzen,

Mitarbeiter des Hydrometrischen Büros Estlands.

In der Wassermengenkurve hat der Hydrotechniker ein einfaches und bequemes Mittel, das die jeweilige Wasserführung eines Flusses äusserst leicht bestimmen lässt, nachdem die Kurve durch entsprechende Messungen festgelegt ist. Wie bekannt ist die Möglichkeit einer derartigen Kurvenzeichnung durch die Annahme begründet, dass die Wasserführung eines Flusses durch die Wasserstandshöhe eindeutig bedingt ist.

Diese Annahme trifft in den meisten Fällen zu, ist jedoch nicht durch das Wesen des Abflussvorganges bedingt und zeigt häufig Abweichungen, die die Bestimmung und Gebrauch mehrerer Abflusskurven für denselben Punkt eines Flusses nötig machen.

In den Fällen wo keine Abflussmengenmessungen ausgeführt worden sind, hilft man sich mit der Mengenerrechnung nach der bekannten Formel von Chezy

$$Q = \omega c \sqrt{R J}$$

Voraussetzung ist dabei, dass das Flussbett unveränderlich ist, was ja auch meistens bei Behandlung nicht allzulanger Zeitabschnitte zutrifft. Dann ist auch die Profilgrösse und Form durch die Wasserstandshöhe bestimmt, soweit nicht Fremdkörper den Wasserquerschnitt durchsetzen und zeitweilig oder beständig verringern. Letzteres ist aber oft der Fall und zwar wird im Winter der Durchflussquerschnitt durch Oberflächen- und Grundeis, im Sommer durch Wasserpflanzen häufig unheimlässig verstopft.

Nach der Chezy'schen Formel ist die Wassermenge von 4 Grössen abhängig 1) von der Grösse des Durchflussquerschnittes ω 2) der Querschnittsform, die durch den hydraulischen Radius R gekennzeichnet wird 3) vom Gefälle J und 4) von der Rauigkeit des Flussbettes, die im Beiwert c zum Ausdruck kommt.

Bei gleichförmigem Fliesszustand und unveränderlichem Flussbett stellt sich nun erfahrungsmässig bei bestimmter Wasserstandshöhe stets ein bestimmtes Gefälle J ein, während der Querschnitt und hydraulische Radius nur von der Wasserstandshöhe abhängen.

Der Rauigkeitsbeiwert muss entweder constant oder auch nur von der Wasserstandshöhe abhängig sein.

So lassen sich die genannten 4 Grössen und daher auch die Wassermenge als Funktion einer unabhängig Veränderlichen h auffassen und graphisch einfach darstellen. Solche eindeutige Beziehungen bestehen jedoch nicht überall und dauernd. Im Winter wird z. B. die Querschnittsfläche und der hydraulische Radius durch Eis verringert.

EstA.

Zugleich bewirkt das Eisauftreten aber auch eine Veränderung der Rauigkeitsverhältnisse des Flussbettes. Aehnlich ist der Einfluss der Flussbettverkräutungen im Sommer.

Endlich treten häufig Fälle ein, in denen das Gefälle als selbständig Veränderliche und nicht reine Funktion der Wasserstandshöhe aufgefasst werden muss. Letzteres wird immer eintreten, wenn der in Frage kommende Fluss sich in ein grösseres Wasserbecken z. B. einen See ergiesst, dessen Wasserstände hauptsächlich durch den Seeabfluss, die Seegrösse und nur wenig durch jeden einzelnen Zufluss bedingt werden. Befindet sich ein Pegel mit hydrometrischer Station im Einflussbereich der Beckenwasserstandshöhe, so beeinflusst letzterer die Flusspegelangaben und das Gefälle des Flusses im Sinne einer Verringerung des Letzteren bei hohen Seeständen und einer Vergrösserung bei niedrigen. Eine ähnliche Erscheinung ist die Verschiedenheit des Gefälles bei steigendem und fallendem Hochwasser bei gleichem Wasserstande, wenn auch die Ursachen, die dieses Verhalten bedingen, von den obengenannten grundverschieden sind.

Es erweist sich somit, dass alle 4 Grössen, Querprofil, hydraulischer Radius, Gefälle und Rauigkeit sehr wohl alle an einem Flusse, wenn auch nur zeitweilig als, unabhängig Veränderliche auftreten können. Dass solche Fälle selten auftreten, ändert am Wesen der Sache nichts, und ist als ein für praktische Zwecke günstiges Zusammentreffen anzusehen. Im Winter bei Eisbildung tritt dieser ungünstige Fall mehr oder weniger stets ein, da sich dann alle 4 Grössen unabhängig von einander verändern können.

Besondere Beachtung verdient die unabhängige Veränderliche „Rauigkeit“. Während nämlich die anderen Veränderlichen Grössen darstellen die in der Natur gemessen werden können, ist das bei der Rauigkeit nicht der Fall.

In hydraulischen Formeln wird sie zahlenmässig bewertet, jedoch die Bestimmung des Zahlenwertes für einen gegebenen Fall ist nur durch Berechnung nach der Chezy'schen und irgend einer Geschwindigkeitsbeiwertformel möglich, nachdem alle übrigen Grössen in den Formeln gemessen und bestimmt sind.

Wollte man aber die Wassermenge nach einer Formel berechnen, in der die Rauigkeit als selbständig Veränderliche vorkommt, so kann letztere nie gemessen werden, wie das Gefälle, der Querschnitt und hydraulische Radius, sondern man ist, solange keine Wassermengenmessungen ausgeführt sind, auf Annahmen angewiesen, bei denen es immer fraglich bleibt, mit welcher Genauigkeit solche eine Schätzung geschehen ist. Bei der Manigfaltigkeit der die Rauigkeit bedingende Umstände, wie Eisbildung, Verkräutung, Geschiebeführung u. anderes mehr wird solche eine Schätzung im allgemeinen wohl auch nie zu umgehen sein. Dieser Notwendigkeit ist man aber enthoben, sobald es gelingt die Rauigkeit als Funktion irgend einer messbaren Grösse darzustellen. In einigen einfachen Fällen wird diese Möglichkeit nicht ausgeschlossen sein. Das würde beispielsweise eintreffen, wenn es gelänge die Abhängigkeit der Rauigkeitsveränderungen von der Jahreszeit durch Wassermengenmessungen oder von der Lufttemperatur für Abflussperioden mit Eisbildung zu ermitteln.

Diese Ueberlegungen führen zur Ueberzeugung, dass im allgemeinen die 4 die Wassermenge bestimmenden Grössen — ω , R , J u. n . — alle unabhängig Veränderliche sein können.

Der Hydrotechniker sieht sich beständig vor die Aufgabe gestellt, die einem gegebenen Wasserstande entsprechende Wassermenge eines Flusses oder Gerinnes angeben zu müssen und es bietet ihm dabei die empirisch-graphische Darstellung der Messresultate eine grosse Erleichterung.

Den einfachsten Fall einer derartigen Darstellung bildet die gewöhnliche Wassermengenkurve, wenn Q eine Funktion nur einer unabhängig Veränderlichen der Wasserstandshöhe h ist.

Die rein empirisch erhaltene gewöhnliche Wassermengenkurve ist danach ein Sonderfall, bei dem, ω , J , R , n und daher auch Q nur von einer unabhängig Veränderlichen, der Wasserstandshöhe, abhängig sind.

Auch die empirisch-graphische Darstellung der Abhängigkeit von Q von 2 unabhängig Veränderlichen bereitet keine Schwierigkeit; man erhält in diesem Falle, statt einer Kurve, wie bei einer unabhängig Veränderlichen eine Kurvenschar, deren Verlauf und Form durch die, auf den 2 Koordinatenaxen aufgetragenen, unabhängigen Veränderlichen bedingt ist. Man kann diese Abhängigkeit durch $Q = f(x, y)$ ausdrücken, wobei f das Zeichen irgend einer Funktion, x u. y die unabhängig Veränderlichen sind: $Q = f(x, y)$ ist die Gleichung einer gekrümmten Oberfläche, die im ebenen 2 Koordinatensystem durch Schnittlinien mit horizontalen Ebenen dargestellt werden kann, genau so wie es bei der Darstellung der Höhenverhältnisse der Erdoberfläche durch Horizontalen geschieht.

Recht kompliziert gestaltet sich dagegen die empirisch-graphische Darstellung der Abhängigkeit der Wassermenge Q von 3 unabhängig Veränderlichen nach der Gleichung $Q = f(x, y, z)$ die theoretisch auch noch möglich ist; die 3 Koordinaten x, y, z bestimmen Raumpunkte, wobei jedem Raumpunkte ein bestimmtes Q entspricht, wenn man alle die Raumpunkte, die ein bestimmtes Q aufweisen, durch eine gekrümmte Oberfläche vereinigt, erhält man Oberflächen gleicher Wassermengen Q , die nach den Grundsätzen der darstellenden Geometrie in 2 Projektionen abgebildet werden können. Die Anzahl der dazu benötigten Kurven würde aber schon eine recht beträchtliche sein. Uebersichtlichkeit und bequemer Gebrauch eines solchen Kurvendiagrammes wären so beeinträchtigt, dass es wohl kaum zum allgemeinen praktischen Gebrauch wird empfohlen werden können.

Das Verfahren von Hall zur Bestimmung der Wassermengen nach 2 unabhängig Veränderlichen dem Wasserstande und dem Gefälle ist mit dem oben angeführten identisch. Der Unterschied besteht darin, dass auf der horizontalen Axe des Axenkreuzes nicht die Gefälle sondern die Wassermengen abgetragen werden, während das Diagramm die Kurven gleichen Gefalles enthält, welche der gewöhnlichen Wassermengenkurve sehr ähnlich sind und auf Grund der, während der Wassermengenmessung bestimmten und ins Diagramm eingetragenen, Gefälle gezogen werden müssen. Sobald aber zur Zeichnung der Gefällelinien die Chezy'sche Formel zuhülfe genommen wird, wie es am Wolchow Flusse und augenscheinlich auch bei der Bodenseeregulierung geschehen ist, so kann das Diagramm nicht mehr als rein empirisch-graphisch gelten, da die Kurvenzeichnung durch gewisse in den Formeln (Chezy und and.) ausgedrückte Annahmen festgelegt ist. Bei der Anwendung des Hall'schen Verfahrens mit Zuhilfenahme der Chezy'schen Formel ist es jedoch nicht zulässig als erste unabhängig Veränderliche die Wasserstandshöhe des am Anfang oder Ende der behandelten Flusstrecke gelegenen Pegels anzunehmen, da bei verschiedenen Gefällen dann nicht die Konstanz der Querschnittsgrösse eingehalten ist. Für den Wolchow, wo das geschehen, verursacht diese Annahme im ungünstigsten Fall eine maximale Unter- bzw. Ueberschätzung des Querschnittsfläche von 5%. Diese Fehlerquelle lässt sich jedoch leicht vermeiden, indem als unabhängig Veränderliche bei gleichmässigem Gefälle das arithmetische Mittel der beiden Pegelstände am oberen und unteren Ende der Flusstrecke angenommen wird.

Ein nicht zu unterschätzender Vorzug der empirisch-graphischen Darstellungsweise ist es, dass sie automatisch die Abhängigkeit der Rauigkeit von den unabhängig

Veränderlichen mitberücksichtigt und dadurch die Zuhilfenahme empirischer Formeln umgeht, die die Rauigkeit einer gewissen Flussstrecke constant und von der Wasserstandshöhe unabhängig annehmen. Es ist eine bekannte Tatsache, dass bei Berechnung von Flussstrecken nach Formeln die Rauigkeitsbeiwerte bei hohen Wasserständen erheblich von denen der Niederwasserständen abweichen. Es kann daher kein Zweifel bestehen, dass die üblichen Formeln den Abflussvorgang nicht richtig erfassen und einer Berichtigung bedürfen.

Die Klärung dieser Frage ist umso mehr notwendig als die Anwendung der betreffenden Formeln bei Entwurfsarbeiten nie zu vermeiden sein wird. Annahmen über Rauigkeitsbeiwerte werden daher immer gemacht werden müssen, und die Bestimmung der Rauigkeitsbeiwerte natürlicher Flussläufe und ausgeführter künstlicher Kanäle auf Grund einwandfreier und umfassender Wassermengenmessungen gewinnt besondere Bedeutung.

II.

Während die empirisch-graphische Darstellung der Wassermengen eines Flusslaufes in der Wassermengenkurve als Funktion einer unabhängig Veränderlichen, der Wasserstandshöhe sich allgemein eingebürgert hat, sind Darstellungsfälle mit 2 unabhängig Veränderlichen bisher in der technischen Literatur selten anzutreffen gewesen; und zwar ist in letzteren Fällen das von M. K. Hall 1908 empfohlene, Verfahren angewandt worden, nach welchem ausser Amerika auch die Abflussverhältnisse zwischen dem Oberen u. Unteren Bodensee 1926 und der Ausfluss des Wolchowflusses aus dem Ilmensee in Russland 1926 behandelt sind.

Die bei der Zeichnung von Wassermengenkurven oft entstehenden Schwierigkeiten haben Veranlassung gegeben für ein und denselben Punkt eines Flusslaufes mehrere Wassermengenkurven zu zeichnen, z. B. eine für steigendes, die andere für fallendes Hochwasser, und besondere Winterkurven. Alle solche Kurven sind aber immer als Funktionen einer unabhängig Veränderlichen aufgefasst worden.

Das hydrometrische Büro Estlands hatte sich im Jahre 1925 mit einigen Flussstrecken zu beschäftigen, für die es nicht gelang eine gewöhnliche Wassermengenkurve zu zeichnen, da die gemessenen Wassermengen 50—150% von den Angaben der Kurve abwichen. Auch die Versuche des Zeichens von 2 Kurven für fallendes und steigendes Wasser führten zu keinen annehmbaren Resultaten.

Zwei derartige Flussstrecken liegen am Grossen-Embach, der dem c. 275 km² grossen Wörtsjärv entströmt, 101 km lang ist und sich in den 3600 km grossen Peipussees ergiesst.

In Verbindung mit den langjährigen Wasserstandsbeobachtungen am Pegel in Dorpat sind zahlreiche Wassermengenmessungen ausgeführt worden, u. zwar in den Jahren 1907 und 1922—1925. Der Pegel in Dorpat liegt 43 km. von der Mündung flussaufwärts: das Gesamtgefälle des Flusses auf dieser 43 km. langen Strecke schwankt zwischen 0,31 m. bei Niedrigwasser u. 2,53 bei Hochwasser.

Der Wasserstand des Peipussees ist starken Schwankungen unterworfen und vollzieht sich im Bereiche einer Amplitude von 2,68 m. Der höchste Wasserstand des Peipus liegt 2,38 m. über dem niedrigsten am Dorpater Pegel.

Die Angaben des letzteren sind folglich stark von den Seewasserständen beeinflusst.

Es ist daher auch nicht zu wundern, dass die Zeichnung der Wassermengenkurve nicht gelingen wollte. Beim Auftragen der 42 gemessenen Wassermengen erwies es

sich, dass die Punkte sich in 2 Gruppen teilten, dass durch jede Gruppe eine gelungene Kurve sich ziehen liess, von denen die eine um 0,4 m. (Wasserstandshöhe am Pegel Dorpat) über der zweiten lag. Und zwar befanden sich in der einen Gruppe alle Messungen von Jahre 1907 in der 2-ten die vom Jahre 1922.

Wollte man dennoch nur eine Wassermengenkurve einzeichnen, so weichen die Messungsergebnisse von der Angaben der Kurve bis + 44,4% und — 37,3% ab. Ein Vergleich der Wasserstände des Peipussee in den Jahren 1907 u. 1922 für den Zeitabschnitt der Wassermengenmessungen ergab, dass der Wasserstand im Jahre 1922 während der Wassermengenmessungen im Mittel + 31,05 m, im Jahre 1907 + 30,05 m. betrug und im letzteren folglich 1,0 m. niedriger stand. Bei gleichbleibendem Wasserstände am Dorpater Pegel bedingte der wechselnde Seewasserstand veränderliches Flussgefälle und entsprechende Wassermengen.

Das Zeichnen einer Wassermengenkurve nach einer unabhängig Veränderlichen, des Wasserstandes in Dorpat, konnte daher auch zu keinem befriedigenden Ergebnis führen und nur der Uebergang zu einem Kurvendiagramm mit 2 unabhängig Veränderlichen — der Wasserstandshöhe h und dem Gefälle J — konnte bessere Ergebnisse gewärtigen.

Auf der lotrechten Koordinatenaxe des Diagrammes wurden die Wasserstandshöhen des Dorpater Pegels aufgetragen, auf der wagerechten die Gesamtgefälle von Dorpat bis zur Mündung in den Peipussee bei der Fischerniederlassung Praga. Jedes Koordinatenpaar bestimmt einen Punkt im Koordinatenkreuz, dem eine bestimmte Wassermenge entspricht. Die den 40 einzelnen Wassermengenmessungen entsprechenden Punkte nach h u. J wurden im Koordinatenkreuz eingetragen, jedem Punkte die entsprechende Wassermenge beigeschrieben und die Punkte mit gleichen Wassermengen durch Kurven verbunden, genau so wie die Horizontalen auf Landkarten und Plänen gezogen werden. (vAbb. 1).

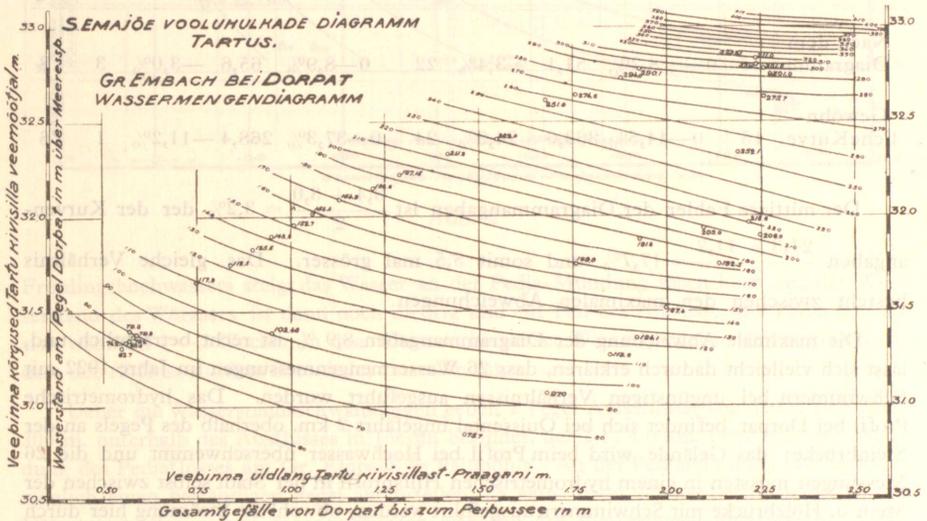


Abb. 1

Ganz wie bei der gewöhnlichen Wassermengenkurve, wird auch solch ein Wassermengendiagramm nur dann als einwandfrei anzusehen sein, wenn es auf Grund einer

genügenden Anzahl einwandfreier Wassermengenmessungen gezeichnet worden ist, und letztere auch gleichmässig über das ganze Diagramm verteilt sind. In unserem Falle würde die Anzahl der Messung — 40 — wohl genügt haben, wenn sie gleichmässiger über das Diagramm verteilt wären; da sie sich jedoch auf 2 parallele schräglauende Linien verteilen, so bleiben grössere Flächen des Diagrammes unbesetzt und die Kurvenzeichnung wird unsicher.

Die Genauigkeit der Diagrammangaben lässt sich nach folgenden tabellarisch zusammengefassten Daten beurteilen; in 22 Fällen ergaben die Messungen eine 0—8,9% kleinere Wassermenge, und der mittlere Fehler ist $\frac{65,6}{22} = -3,0\%$; in 15 Fällen waren die Messungsergebnisse grösser als die dem Diagramm entnommenen, und zwar um 0 — bis + 8,2%, der mittlere Fehler ist $\frac{51,1}{15} = +3,4\%$. In 3 Fällen stimmten die beiden Angaben genau überein.

Dorpat.

Tabelle No. 1. Vergleich der Diagramm- und Kurvenangaben mit den Messungsergebnissen.

	Messungsergebnis grösser als Diagramm- oder Kurvenangabe				Messungsergebnis kleiner als Diagramm- oder Kurvenangabe				Anzahl der Fälle ohne Abweichung	Anzahl der Abweichungen über $\pm 5\%$
	Anzahl der Fälle	Abweichung in %	Summe der %	Mittlerer Fehler	Anzahl der Fälle	Abweichung in %	Summe der %	Mittlerer Fehler		
Nach dem Diagramm	15	0—+8,2%	51,1	+3,4%	22	0—8,9%	65,6	-3,0%	3	8
Gewöhnliche Kurve	15	0—44,5%	363,6	+24,3%	24	0—37,3%	268,4	-11,2%	1	26

Der mittlere Fehler der Diagrammangaben ist $\frac{3,4 + 3,0}{2} = 3,2\%$ der der Kurvenangaben $\frac{24,3 + 11,2}{2} = 17,7\%$ und somit 5,5 mal grösser. Das gleiche Verhältnis besteht zwischen den maximalen Abweichungen.

Die maximale Abweichung der Diagrammangaben 8,9 % ist recht beträchtlich und, lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass 26 Wassermengenmessungen im Jahre 1922 mit Schwimmern bei ungünstigen Verhältnissen ausgeführt wurden. Das hydrometrische Profil bei Dorpat befindet sich bei Quissental ungefähr 2 km. oberhalb des Pegels an der Steinbrücke; das Gelände wird beim Profil bei Hochwasser überschwemmt und die 26 Messungen mussten in einem hydrometrischen Hilfsprofil in der Stadt selbst zwischen der Stein u. Holzbrücke mit Schwimmern ausgeführt werden, obwohl die Strömung hier durch die im Flusse befindlichen grossen Badehäuser sich recht unregelmässig gestaltet.

Es kann daher kein Zweifel obwalten, dass das Wassermengendiagramm die Abflussverhältnisse richtig erfasst, während die gewöhnliche Kurve so ungenaue Angaben giebt, dass sie im gegebenen Falle nicht mehr anwendbar ist.

III.

Eine andere ähnliche Flusstrecke, deren Wasserabflussverhältnisse durch die gewöhnliche Wassermengenkurve nicht erfasst werden, stellt der ungefähr 6,7 km. lange Oberlauf des Gr. Embachs dar, vom Ausfluss aus dem Wörzsee bis zur Einmündung des Pedjaflusses. Diese Strecke wird besonders bemerkenswert durch den Umstand, dass zur Hochwasserzeit das Wasser oft in entgegengesetzter Richtung in den Wörzsee hineinfliesst. Solche Fälle werden selten zu finden sein; in Estland ist uns kein zweiter bekannt; jedoch treten dieselben Verhältnisse in Letland am Lubansee ein, dem die Evst entströmt und von Norden einen bedeutenden Nebenfluss die Pedetse aufnimmt.

Bei der Entwurfsbearbeitung einer Regulierung des Wörzsees und der Embachüberschwemmungen mussten auch die Abflussverhältnisse aus dem Wörzsee klargelegt werden. Der Wörzsee ist 275 km² gross, sein Einzugsgebiet beim Ausfluss des Embaches in Ranna-Jõesuu umfasst 3387 km²; 6,7 km. unterhalb nimmt der Embach den Pedjafluss auf, dessen Einzugsgebiet 2803 km² ist. Das Tal des Embachs und des Unterlaufes der Pedja ist breit und wird zur Hochwasserzeit 2 — 10 km. breit überschwemmt. Das ganze Jahr hindurch fliesst das Wasser des Wörzsees durch den Embach ab; jedoch während des

**S. EMAJÖE VOOLUHUKADE DIAGRAMM
RANNU-JÖESUUS.
WASSERMENGEN DIAGRAMM FÜR DEN GR. EMBACH
Bei RANNU-JÖESUU.**

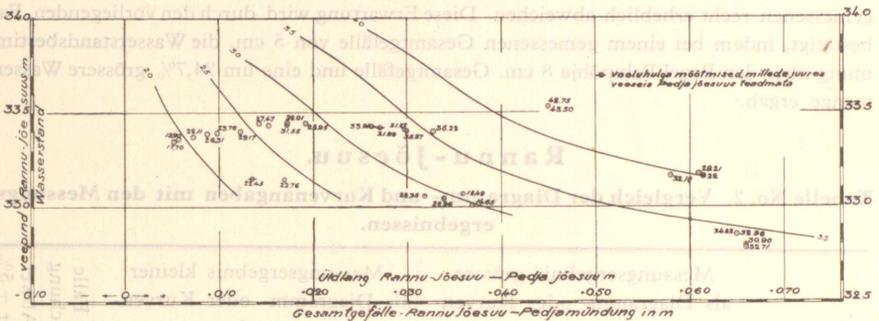


Abb. 2

Frühlingshochwassers steigt das Wasser an der Pedja-Mündung rasch hoch an; der Wasserstand des Wörzsees ist dann noch niedrig und ein Teil des Abflusses der Pedja ergiesst sich während 1 — 2 Wochen in den Wörzsee, bis dessen Wasserspiegel so weit gestiegen ist, dass der Abfluss aus dem See wieder einsetzen kann.

Ueber die Wasserstandsschwankungen geben 2 Pegel Aufschluss, von denen sich einer 300 m. unterhalb des Ausflusses in Jõesuu befindet, der 2-te 4,0 km. unterhalb der Mündung des Pedjaflusses am Gr. Embach in Palupõhja. An der Pedjamündung war es nicht möglich einen beständigen Pegel aufzustellen, da keine menschliche Behausungen in der Nähe anzutreffen waren; dagegen wurden während der Wassermengenmessung im Laufe von 2 1/2 Monaten die Wasserstände 300 m. oberhalb der Pedjamündung nach den Vorschriften für die beständigen Pegel gemessen. Einwandfreie Angaben über die Wasserstände an der Pedjamündung liegen also nur für die kurze Zeit der Wassermengenmessungen vor.

An der uns beschäftigenden Flusstrecke sind im ganzen 31 Wassermengenmessungen ausgeführt und zwar: 21 mit hydrometrischem Flügel in 5 Punkten jeder Vertikale, 5 mit Flügeln in 2 Punkten, 3 mit Flügeln nur an der Oberfläche und 2 mit Oberflächenschwimmern.

Die Anzahl der Messungen ist gering, bedeckt nur einen kleinen Teil des Diagrammes, Abbildung 2, und ergibt noch kein umfassendes Bild der Wasserverhältnisse. Beispielsweise fällt keine Messung in die Zeit der entgegengesetzten Strömung (in den See) was sich durch die Kürze dieses Zeitabschnittes und die Zufälligkeit des Eintretens erklärt.

Eine gewisse Unsicherheit in der Auswägung der Ergebnisse wird durch das Fehlen unmittelbarer Pegelangaben an der Pedjamündung verursacht. Ohne Kenntnis der Wasserstände an der Pedjamündung wird aber die Bestimmung des Gefälles und somit der Gebrauch des Diagrammes unmöglich.

Da jedoch der Pegel Palupõhja nur 4 km. unterhalb der Pedjamündung liegt, gelang es auf Grund der kurzfristigen parallelen Beobachtungen das Verhältnis der Pegelstände in Palupõhja und an der Pedjamündung kurvenmässig auszudrücken und so nach den Angaben des beständigen Pegels in Palupõhja die Wasserstände an der Pedjamündung zu rekonstruieren.

Die grösse des dabei gemachten Fehlers kann 8 cm. erreichen, ist im Mittel 2,5 cm. und beeinflusst bei grösseren Gesamtgefällen von 0,40 — 0,7 m. nur wenig die Genauigkeit der dem Diagramm entnommen Wassermengen; jedoch bei kleinen Gesamtgefällen von — 0,20 — + 0,20 m., während des Hochwassers kann die Diagrammwassermenge von der gemessenen recht erheblich abweichen. Diese Erwartung wird durch den vorliegenden Fall bestätigt, indem bei einem gemessenen Gesamtgefälle von 5 cm. die Wasserstandsbestimmung über den Pegel Palupõhja 8 cm. Gesamtgefälle und eine um 24,7% grössere Wassermenge ergab.

Rannu - Jõesuu.

Tabelle No. 2. Vergleich der Diagramm- und Kurvenangaben mit den Messungsergebnissen.

	Messungsergebnis grösser als Diagramm- oder Kurvenangabe					Messungsergebnis kleiner als Diagramm- oder Kurvenangabe				Anzahl der Fälle ohne Abweichung	Anzahl der Abweichungen über ± 5%
	Anzahl der Fälle	Abweichung in % d. Kurvenangabe	Prozentsumme	Mittlerer Fehler in %		Anzahl der Fälle	Abweichung in %	Prozentsumme	Mittlerer Fehler		
Nach dem Diagramm	15	0—+21,5	101,9	+6,8%	11	0,0—12,3%	38,9	—3,5%	1	17	
Gewöhnl. Wassermengenkurve	10	0,2—73,3	338,7	+33,9%	11	0,2—47,3%	388,3	—22,8%	0	2	

Anmerkung: Die Messungen nach Oberflächengeschwindigkeit sind als unzuverlässig ausgeschieden.

Es verdient bemerkt zu werden, dass die Wassermengenbestimmung allein aus der Oberflächengeschwindigkeit zu Ergebnissen führten die über Erwarten klein waren und daher nicht verwandt werden konnten.

Der Vergleich der Messergebnisse mit den Diagrammangaben ergibt eine mittlere Abweichung von 5,2% bei einem Maximum von + 21,5 u. Minimum von — 12,3%. Sowohl der mittlere Fehler als auch die Fehlergrenzen sind in diesem Falle bedeutend höher als bei Embach-unterlauf, und erklären sich durch die verwickelteren Verhältnisse und zeitweilig kleinen Gesamtgefälle, jedoch auch in diesen Fall kann die Erfassung der Abflussverhältnisse durch das Kurvendiagramm als gelungen gelten.

Die vorliegenden Ausführungen können kurz in folgenden Feststellungen u. Vorschläge zusammengefasst werden:

1) Es kommen an Flüssen zuweilen Fälle vor, in denen die Abflussverhältnisse durch die gewöhnliche Wassermengenkurve nicht erfasst werden können und die Wassermenge eine Funktion zweiter oder mehrerer unabhängig Veränderlichen ist.

2) In Fällen mit 2 unabhängig Veränderlichen bietet das Kurvendiagramm ein Mittel die Verhältnisse einwandfrei darzustellen, und sollte statt der Zeichnung mehrerer gewöhnlicher Wassermengenkurven angewandt werden.

ESTICA

A-3707_I